

UNIVERZITET U BEOGRADU

SAOBRAĆAJNI FAKULTET

Dragan S. Sekulić

**ISTRAŽIVANJE OSCILATORNOG
KOMFORA PUTNIKA U AUTOBUSU SA
ASPEKTA POLOŽAJA I KVALITETA
SEDIŠTA**

doktorska disertacija

Beograd, 2013

UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF TRANSPORT AND TRAFFIC
ENGINEERING

Dragan S. Sekulić

**INVESTIGATION OF PASSENGERS'
OSCILLATORY COMFORT IN THE BUS
WITH RESPECT TO THE SEAT
POSITION AND QUALITY**

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2013

Mentor: Redovni profesor dr **Srdan L. RUSOV**,
Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet

Članovi komisije: Redovni profesor dr **Srdan L. RUSOV**,
Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet
Redovni profesor dr **Vlastimir DEDOVIĆ**,
Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet
Redovni profesor dr **Gradimir DANON**,
Univerzitet u Beogradu - Šumarski fakultet

Datum odbrane:

Rezime

Doktorska disertacija pod nazivom „**Istraživanje oscilatornog komfora putnika u autobusu sa aspekta položaja i kvaliteta sedišta**“ imala je za cilj određivanje oscilatornih karakteristika sedišta u cilju poboljšanja udobnosti korisnika čiji je komfor u pojedinim zonama na platformi autobusa u realnim uslovima eksploatacije smanjen ili ugrožen. Drugi cilj istraživanja je bio proveriti hipotezu da li promena oscilatornih parametara pojedinih sedišta može da omogućiti da se postigne ujednačen nivo oscilatornog komfora za sve putnike, bez obzira na njihov položaj na platformi autobusa.

U radu je definisan originalni prostorni oscilatorni model međugradskog autobusa IK 301, sa 65 stepeni slobode, koji je poslužio kao konkretna podloga za simulaciono istraživanje "zona jednakog oscilatornog komfora". U oscilatorni model je kao pobuda uvedeno sedam različitih neravnosti kolovoza, snimljenih u realnim uslovima eksploatacije, pri različitim brzinama kretanja mernog vozila (tri loše asfalt-betonske podloge pri brzinama od 64 km/h, 72 km/h i 80 km/h; dobar asfalt-beton i vrlo dobra cement-betonska podloga pri brzini od 80 km/h, kao i dve vremenski smaknute pobude - dobar asfalt-beton i vrlo dobar asfalt-beton pri brzini od 90 km/h). Za svakog korisnika autobusa i za svaku oscilatornu pobudu određen je komfor po metodi za kvantifikovanje vibracija celog tela čoveka, prema međunarodnom standardu ISO 2631 (1997).

Uvođenje realnih neravnosti kolovoza omogućilo je da se u obzir uzmu različiti uslovi eksploatacije, što je naročito važno prilikom određivanja oscilatornih zona i pravilnog izbora sedišta kojima treba da se poboljša oscilatorna udobnost u autobusu.

Poređenje oscilatornih veličina utvrđenih simulacijom sa kriterijumima koji postavlja međunarodni standard ISO 2631 omogućilo je da se oscilatorni komfor oceni na svakom pojedinačnom sedištu. Pokazalo se da se na platformi vozila mogu definisati "zone približno jednakog komfora". Najkomfortnija zona nalazi se u srednjem delu vozila (između osovina), a zona najnižeg komfora se nalazi na zadnjem prepustu, što je potvrđeno rezultatima istraživanja za sve vrste podloga i pri svim razmatranim brzinama kretanja.

Detaljna simulaciona istraživanja u relativno širokom rasponu parametara krutosti i prigušenja sedišta, pokazala su da postoje realni oscilatorni parametri sedišta ($c_{sp}=10000$ N/m, $b_{sp}=330$ Ns/m) koji omogućuju značajno poboljšanje kako oscilatornog komfora tako i dužine trajanja izlaganja vibracijama u manje komfornim ili ugroženim zonama.

Oscilatorna udobnost korisnika autobusa u svim eksploatacionim uslovima može se značajno poboljšati promenom oscilatornih parametara sedišta na mestima na kojima je smanjen ili ugrožen oscilatorni komfor. Međutim, komfor svih korisnika u svim uslovima eksploatacije nije moguće potpuno ujednačiti. Bolje ujednačenje oscilatorne udobnosti korisnika na celoj platformi postiže se na boljim podlogama pri većim brzinama kretanja autobusa i na lošim podlogama pri manjim brzinama kretanja autobusa.

Ključne reči: autobus, korisnici, neravnost kolovoza, oscilatorna udobnost, simulacija, zone jednakog oscilatornog komfora, vreme izlaganja, ISO 2631, Matlab, ADAMS/View

Naučna oblast: Drumska vozila

Uža naučna oblast: Dinamika vozila

UDK broj: 629.113(043.3)

Abstract

The aim of doctoral dissertation entitled "Investigation of passengers' oscillatory comfort in the bus with respect to the seat position and quality" was to define the oscillatory parameters of bus user's seats with goal to improve ride comfort for users sitting in the platform zones with lower or jeopardized oscillatory comfort, while the bus is running under real operating conditions. The second goal of investigation was to check the hypothesis whether the seats with oscillatory parameters that enable improved vibratory comfort also enable achievement of uniform ride comfort level for all bus occupants, regardless of a seat position on the bus platform.

The thesis defines the original spatial oscillatory model of the intercity bus IK 301 with 65 degrees of freedom, used as the basis to determine, by means of simulations, the "almost equal oscillatory comfort zones". The oscillatory model was excited by seven different road roughnesses, registered in service at different speeds (three asphalt-concrete roads in bad conditions recorded at speeds of 64 km/h, 72 km/h and 80 km/h; asphalt-concrete pavement in good condition and cement-concrete pavement in very good condition, both recorded at speed of 80 km/h and two time-staggered excitations - asphalt-concrete in good condition and asphalt-concrete in very good condition, both recorded at speed of 90 km/h). The oscillatory comfort has been determined for each bus occupant and for each excitation signal, according the method for quantifying the whole body vibration prescribed by the international standard ISO 2631 (1997).

The introduction of the real excitations into the model allowed the consideration of different bus service conditions, which is especially important for the definition of oscillatory comfort zones and proper choice of seats which should improve the ride comfort.

Comparison of oscillatory values defined through simulation and comfort criteria from international standard ISO 2631 (1997) allowed to assess the oscillatory comfort for each particular seat. It is confirmed that the "zones of approximately equal oscillatory comfort" on the vehicle platform can be defined. The most comfortable oscillatory zone is in the middle of the vehicle (between the front and the rear bus axle) and the less

comfortable oscillatory zone is on the rear overhang, which is approved by the results of investigation for all road surfaces and for all bus speeds considered.

Detailed simulation studies for a relatively wide range of seat stiffness and damping parameters, confirmed that there exist real oscillatory parameters of the seat ($c_{sp}=10000$ N/m, $b_{sp}=330$ Ns/m) which can allow significant improvement in comfort as well as in vibration exposure time, for zones of lower or jeopardized oscillatory comfort.

Bus occupant oscillatory comfort in different conditions of bus service can be significantly improved by change of the oscillatory parameters of seats in positions that have lower or jeopardized oscillatory comfort. However, complete equalization of the ride comfort for all bus occupants in all service conditions is not possible. Better balancing of the ride comfort of bus users on the whole platform can be achieved on better road surfaces at higher speeds and on poor road surfaces at lower speeds.

Keywords: bus, occupants, road roughness, oscillatory comfort, simulation, zone of equal oscillatory comfort, vibration exposure time, ISO 2631, Matlab, ADAMS/View

Scientific Field: Motor Vehicles

Field of Academic Expertise: Vehicle Dynamics

UDC: 629.113(043.3)

SADRŽAJ

Spisak slika.....	IV
Spisak tabela.....	X
1. Uvod.....	1
1.1. Motivi istraživanja	1
1.2. Predmet i cilj istraživanja	3
2. Dejstvo vibracija na telo čoveka.....	6
2.1. Izloženost vibracijama.....	6
2.2. Podela i osnovne karakteristike vibracija	8
2.3. Efekti dejstva vibracija na čoveka	11
2.3.1. Fiziološki uticaj vibracija	11
2.4. Percepcija vibracija	12
2.4.1. Prag opažanja vibracija celog tela.....	13
2.4.2. Opažanje komfora	14
2.5. Uticaj vibracija na komfor i bezbednost saobraćaja	16
3. Vrednovanje dejstva vibracija i preventivne mere.....	19
3.1. Standard BS 6841.....	19
3.2. Standard VDI 2057	21
3.3. Standard ISO 2631	22
3.3.1. Kvantifikovanje vibracija i vrednovanje dejstva vibracija na komfor prema Standardu ISO 2631 (1997).....	23
3.3.2. Kvantifikovanje vibracija i vrednovanje dejstva vibracija na komfor prema Standardu ISO 2631 (1985).....	24
3.4. Preventivne mere za smanjenje dejstva vibracija na telo čoveka	27
4. Oscilatorne pobude vozila	29
4.1. Neravnost kolovoza.....	29
4.2. Spektralna gustina snage neravnosti mikroprofila kolovoza.....	31
4.3. Modeliranje neravnosti kolovoza pomoću spektralne gustine snage neravnosti kolovoza	35
4.3.1. Primer generisane neravnosti kolovoza pomoću spektralne gustine snage neravnosti kolovoza	38
4.4. Realne neravnosti podloge.....	39
4.4.1. Merenje realnih neravnosti podloge.....	40
4.4.2. Softverski paketi za analize podužnih neravnosti kolovoza.....	43
4.4.3. Primeri realnih neravnosti podloge za pobudu oscilatornog modela vozila.....	46
5. Oscilatorni modeli vozila	51

5.1. Ravanski oscilatorni model vozila	51
5.1.1. Oscilatorna pobuda oscilatornog modela autobusa IK 103P.....	54
5.1.2. Rezultati simulacije i analiza rezultata.....	55
5.1.3. Uticaj krutosti i prigušenja sedišta na oscilatorni komfor vozača	55
5.1.4. Kratak zaključak istraživanja.....	58
5.2. Prostorni oscilatorni model vozila	58
5.2.1. Pobuda oscilatornog modela autobusa IK 301	61
5.2.2. Analiza rezultata simulacije.....	61
5.2.3. Analiza uticaja oscilatornih parametra sedišta na komfor vozača	63
5.2.4. Vreme izlaganja vozača vibracijama u odnosu na kriterijum umanjenog komfora	64
5.2.5. Kratak zaključak istraživanja.....	65
6. Programski paketi za složene dinamičke analize vozila	67
6.1. Softver <i>MSC.ADAMS</i>	69
6.2. Upotreba programskog paketa <i>MSC.ADAMS</i> u automobilske industriji	71
6.3. Proces modeliranja mehaničkih sistema u modulu <i>ADAMS/View</i> programskog paketa <i>MSC.ADAMS</i>	73
7. Oscilatorni model saobraćajnih sredstava za prevoz putnika.....	77
7.1. Elastično-oslonjena masa vozila	78
7.2. Sedišta putnika i vozača	79
7.3. Osovine vozila, točkovi i sistemi oslanjanja.....	80
7.4. Opšti oscilatorni model	86
7.5. Međugradski autobus IK 301.....	88
7.6. Oscilatorni model autobusa IK 301 u modulu <i>ADAMS/View</i> programskog paketa <i>MSC.ADAMS</i>	89
8. Priprema za simulaciono istraživanje.....	94
8.1. Validacija oscilatornog modela.....	94
8.2. Određivanje položaja težišta vozila	97
8.2.1. Određivanje položaja težišta oscilatornog modela praznog/opterećenog autobusa IK 301.....	98
8.3. Određivanje ekvivalentne krutosti opruge i ekvivalentnog prigušenja amortizera oscilatornog modela praznog/opterećenog autobusa	100
8.4. Ostali parametri autobusa korišćeni u simulacijama (za validaciju modela autobusa i određivanje zona oscilatornog komfora autobusa)	100
8.5. Rezultati merodavni za validaciju oscilatornog modela autobusa.....	103
9. Simulaciono istraživanje	111

9.1. Definisanje i određivanje komfora svih korisnika autobusa prema kriterijumu standarda ISO 2631 (1997) za različite pobude i brzine kretanja autobusa	111
9.1.1. Loš asfalt-betonski kolovoz za brzinu autobusa od 64 km/h.....	114
9.1.2. Loš asfalt-betonski kolovoz za brzinu autobusa od 80 km/h.....	117
9.1.3. Dobar asfalt-betonski kolovoz za brzinu autobusa od 80 km/h.....	120
9.1.4. Vrlo dobar cement-betonski kolovoz za brzinu autobusa od 80 km/h.....	123
9.1.5. Vrlo dobar asfalt-betonski kolovoz za brzinu autobusa od 90 km/h.....	126
9.1.6. Dobar asfalt-betonski kolovoz za brzinu autobusa od 90 km/h.....	129
9.1.7. Loš asfalt-betonski kolovoz za brzinu autobusa od 72 km/h.....	132
9.2. Određivanje dozvoljenog vremena izlaganja putnika autobusa sa najmanjim oscilatornim komforom prema kriterijumu umanjenog oscilatornog komfora standarda ISO 2631 (1985)	135
9.2.1. Dozvoljeno vreme izlaganja vibracijama za pobudu - Loš asfalt-betonski kolovoz za brzinu autobusa od 64 km/h	138
9.2.2. Dozvoljeno vreme izlaganja vibracijama za pobudu - Loš asfalt-betonski kolovoz za brzinu autobusa od 80 km/h	140
9.2.3. Dozvoljeno vreme izlaganja vibracijama za pobudu - Dobar asfalt-betonski kolovoz za brzinu autobusa od 80 km/h	141
9.2.4. Dozvoljeno vreme izlaganja vibracijama za pobudu - Vrlo dobar cement-betonski kolovoz za brzinu autobusa od 80 km/h	143
9.2.5. Dozvoljeno vreme izlaganja vibracijama za pobudu - Loš asfalt-betonski kolovoz za brzinu autobusa od 72 km/h	145
9.3. Definisanje i određivanje zona komfora za korisnike autobusa	147
9.3.1. Oscilatorna pobuda - loš asfalt-beton, brzina 64 km/h.....	148
9.3.2. Oscilatorna pobuda - loš asfalt-beton, brzina 80 km/h.....	148
9.3.3. Oscilatorna pobuda - dobar asfalt-beton, brzina 80 km/h	149
9.3.4. Oscilatorna pobuda - vrlo dobar cement-beton, brzina 80 km/h	149
9.3.5. Oscilatorna pobuda - vrlo dobar asfalt-beton, brzina 90 km/h.....	150
9.3.6. Oscilatorna pobuda - dobar asfalt-beton, brzina 90 km/h	150
9.3.7. Oscilatorna pobuda - loš asfalt-beton, brzina 72 km/h.....	151
10. Mogućnost ujednačavanja nivoa komfora za sve korisnike vozila.....	155
10.1. Pобољшanje oscilatornih parametara sedišta putnika sa ugroženim oscilatornim komforom	155
10.2. Analiza pobољшanja oscilatornog komfora putnika usled promene oscilatornih parametara sedišta u pojedinim zonama	160
10.2.1. Oscilatorna pobuda - loš asfalt-beton, brzina 64 km/h	160
10.2.2. Oscilatorna pobuda - loš asfalt-beton, brzina 80 km/h	162

10.2.3. Oscilatorna pobuda - dobar asfalt-beton, brzina 80 km/h.....	165
10.2.4. Oscilatorna pobuda - vrlo dobar cement-beton, brzina 80 km/h.....	167
10.2.5. Oscilatorna pobuda - vrlo dobar asfalt-beton, brzina 90 km/h.....	169
10.2.6. Oscilatorna pobuda - dobar asfalt-beton, brzina 90 km/h.....	171
10.2.7. Oscilatorna pobuda - loš asfalt-beton, brzina 72 km/h.....	173
10.3. Analiza vremena izlaganja korisnika nakon promene oscilatornih parametara sedišta u pojedinim zonama	175
10.3.1. Oscilatorna pobuda - loš asfalt-beton, brzina 64 km/h	176
10.3.2. Oscilatorna pobuda - loš asfalt-beton, brzina 80 km/h	178
10.3.3. Oscilatorna pobuda - dobar asfalt-beton, brzina 80 km/h.....	180
11. Završna razmatranja i zaključak	183
Literatura	190
Prilozi	200
Prilog 1: Oscilatorni model autobusa IK 301	201
Prilog 2: Registrovane neravnosti asfalt betonskog kolovoza u lošem stanju, brzina 64 km/h, za verifikaciju oscilatornog modela autobusa IK 301	204
Prilog 3: Rezultati analize “DOE - Deisign Of Experiments“ softvera ADAMS-View za korisnike autobusa IK 301	206
Prilog 4: Filteri W_k , W_d i W_z standarda ISO 2631 (1985) i ISO 2631 (1997) za vrednovanje vertikalnih i horizontalnih ubrzanja u programskom paketu <i>MATLAB</i>	222
Prilog 5: Programski kod u programskom paketu <i>MATLAB</i> za generisanje podužnih neravnosti vrlo dobrog asfalt-betonskog kolovoza.....	226
Prilog 6: Deo komandnog <i>cmd.</i> fajla za oscilatorni model autobusa IK 301.....	229
Biografija autora	235

Spisak slika

<i>Slika 2.1. Izloženost vibracijama prema sektorima ekonomske aktivnosti</i>	7
<i>Slika 2.2. Mesto prijema vibracija u vozilu za a) putnika i b) vozača</i>	10
<i>Slika 2.3. Pragovi opažanja vibracija za horizontalni, vertikalni i kombinovani pravac dejstva prema standardu ISO 2631</i>	13
<i>Slika 2.4. Pragovi opažanja vertikalnih vibracija celog tela a) prema različitim izvorima i b) za 17 subjekata</i>	14
<i>Slika 2.5. Krive jednakog opažanja komfora za a)stohastičku pobudu u vertikalnom pravcu i b) stohastičku i harmonijsku pobudu u vertikalnom pravcu</i>	15
<i>Slika 2.6. Primarni elementi vibracija i mogućnost nastanka saobraćajne nezgode</i>	17
<i>Slika 2.7. Zavisnost stope saobraćajnih nezgoda u funkciji od kvaliteta kolovoza</i>	18
<i>Slika 3.1. Filteri za vrednovanje vertikalnih ubrzanja vibracija za telo čoveka u sedećem položaju, prema BS 6841 i ISO 2631 (1997)</i>	21
<i>Slika 3.2. Filteri za vrednovanje horizontalnih i vertikalnih ubrzanja, prema ISO 2631 (1997)</i>	24
<i>Slika 3.3. Krive za vrednovanje dejstva vibracija a) u vertikalnom pravcu i b) u horizontalnom pravcu</i>	25
<i>Slika 3.4. Linije jednakog zamaranja za komfor, radnu sposobnost i zdravlje, prema ISO 2631 (1985)</i>	25
<i>Slika 3.5. Filteri za vrednovanje vertikalnih ubrzanja, prema ISO 2631 (1997), ISO 2631 (1985) i BS 6841 (1987)</i>	27
<i>Slika 4.1. Podužna i poprečna neravnost kolovoza</i>	29
<i>Slika 4.2. Spektralna gustina amplituda neravnosti za različite kolovoze</i>	31
<i>Slika 4.3. Spektralna gustina amplituda neravnosti za različite kolovoze</i>	32
<i>Slika 4.4. Cement-betonska podloga a) armatura kolovozne konstrukcije i b) poprečne deformacije kolovoza usled sleganja betona</i>	34
<i>Slika 4.5. Spektralna gustina brzine neravnosti deformisanog cement-betonskog kolovoza</i>	34
<i>Slika 4.6. Spektralna gustina neravnosti asfalt-betonskog kolovoza u vrlo dobrom stanju u funkciji od prinudne frekvencije za brzinu vozila od 100 km/h</i>	38
<i>Slika 4.7. Generisana neravnost asfalt-betonskog kolovoza (vrlo dobar) u funkciji od vremena za brzinu vozila od 100 km/h</i>	39
<i>Slika 4.8. Merni uređaj Dipstick a) šema uređaja sa mernim tačkama i b) merenje neravnosti</i>	40
<i>Slika 4.9. Merno vozilo za merenje mikroneravnina kolovoza</i>	41
<i>Slika 4.10. Merno vozilo a) K.J.Law i b) ProRut</i>	42

<i>Slika 4.11. Izgled mikroprofila puta snimljen sa dva merna uređaja</i>	43
<i>Slika 4.12. Merenje neravnosti a) poprečna pukotina i b) mikroprofil puta registrovan različitim davačima.....</i>	43
<i>Slika 4.13. Komponente softvera RoadRuf</i>	44
<i>Slika 4.14. Radno okruženje softvera ProVAL 2.73</i>	46
<i>Slika 4.15. Podužne neravnosti asfalt-betonskog kolovoza u lošem stanju u funkciji od pređenog puta (brzina mernog vozila 64 km/h).....</i>	47
<i>Slika 4.16. Podužne neravnosti asfalt-betonskog kolovoza u lošem stanju u funkciji od pređenog puta (brzina mernog vozila 80 km/h).....</i>	47
<i>Slika 4.17. Podužne neravnosti asfalt-betonskog kolovoza u dobrom stanju u funkciji od pređenog puta (brzina mernog vozila 80 km/h).....</i>	48
<i>Slika 4.18. Podužne neravnosti cement-betonskog kolovoza u vrlo dobrom stanju u funkciji od pređenog puta (brzina mernog vozila 80 km/h)</i>	48
<i>Slika 4.19. Podužne neravnosti lošeg asfalt-betonskog kolovoza u funkciji od pređenog puta (brzina mernog vozila 72 km/h)</i>	49
<i>Slika 4.20. Podužne neravnosti asfalt-betonskog kolovoza u dobrom i vrlo dobrom stanju (brzina mernog vozila 90 km/h)</i>	49
<i>Slika 4.21. Podužne neravnosti vrlo dobrog asfalt-betonskog kolovoza a) duž jednog traga i b) na levom i desnom tragu, u funkciji od vremena</i>	50
<i>Slika 4.22. Podužne neravnosti dobrog asfalt-betonskog kolovoza a) duž jednog traga i b) na levom i desnom tragu, u funkciji od vremena.....</i>	50
<i>Slika 5.1. Oscilatorni model vozila sa šest stepeni slobode.....</i>	51
<i>Slika 5.2. Strukturni blok dijagram oscilatornog modela vozila u Simulink-u.....</i>	53
<i>Slika 5.3. Snimljena neravnost kolovoza a) na levom i desnom tragu mernog vozila i b) filtrirana i osrednjena neravnost kolovoza</i>	54
<i>Slika 5.4. Odzivi vozača a) vertikalno pomeranje i b) vertikalno ubrzanje.....</i>	55
<i>Slika 5.5. Odzivi vozača a) vertikalno pomeranje i b) vertikalno ubrzanje, za promenljive krutosti opruga i konstantno prigušene od 450 Ns/m.....</i>	56
<i>Slika 5.6. Odzivi vozača a) vertikalno pomeranje i b) vertikalno ubrzanje, za promenljiva prigušenja i konstantnu krutost opruge od 3500 N/m.....</i>	57
<i>Slika 5.7. Prostorni oscilatorni model vozila.....</i>	58
<i>Slika 5.8. Sedišta vozača i putnika autobusa i položaj težišta autobusa</i>	59
<i>Slika 5.9. Vertikalno ubrzanje i vrednovano vertikalno ubrzanja na mestu vozača za neravnosti asfalt-betonskog kolovoza u vrlo dobrom stanju, za brzinu autobusa od 100 km/h</i>	62

<i>Slika 5.10. Srednja efektivna vrednost vrednovanog vertikalnog ubrzanja vozača u funkciji od koeficijenta krutosti opruge i koeficijenta prigušenja amortizera vozačevog sedišta.....</i>	63
<i>Slika 5.11. Vreme izlaganja vozača oscilacijama u pravcu z-ose za kriterijum umanjenog komfora</i>	64
<i>Slika 5.12. Šinsko putničko vozilo sa sedištima i naznačenim oscilatornim zonama.....</i>	66
<i>Slika 6.1. Radno okruženje softvera ADAMS/Car.....</i>	72
<i>Slika 6.2. Radno okruženje softvera ADAMS/Chassis.....</i>	73
<i>Slika 6.3. Skica sistema oslanjanja sa dve poprečne vođice.....</i>	74
<i>Slika 6.4. Radno okruženje softvera ADAMS/View.....</i>	75
<i>Slika 6.5. Najčešće korišćene veze pri izgradnji modela.....</i>	76
<i>Slika 7.1. Drumsko vozilo kao sistem krutih tela</i>	77
<i>Slika 7.2. Šinsko vozilo kao sistem krutih tela</i>	77
<i>Slika 7.3. Karoserija sa sedištima a) autobusa i b) šinskog putničkog vozila.....</i>	78
<i>Slika 7.4. Oslonjena masa vozila kao kruto telo sa putničkim sedištima</i>	79
<i>Slika 7.5. Sedište a) vozača i b) putnika autobusa</i>	79
<i>Slika 7.6. Sedište a) vozača i b) putnika putničkog šinskog vozila</i>	80
<i>Slika 7.7. Model sedišta u softveru ADAMS/View</i>	80
<i>Slika 7.8. Krute osovine autobusa a) prednja i b) zadnja</i>	80
<i>Slika 7.9. Postolje šinskog putničkog vozila sa a) krutom osovinom i b) kućištem za osovinu</i>	81
<i>Slika 7.10. Šinsko putničko vozilo</i>	81
<i>Slika 7.11. Šematski prikaz a) šinskog vozila i b) ekvivalentne osovine</i>	82
<i>Slika 7.12. SPRING-DAMPER elementi za modeliranje radijalne karakteristike pneumatika, elastičnih i prigušnih elemenata sistema oslanjanja</i>	83
<i>Slika 7.13. Uvedene veze za ograničavanje kretanja krutih tela (telo vozila i osovina/postolje) opšteg oscilatornog modela</i>	84
<i>Slika 7.14. Lažne mase i oscilatorna pobuda modela</i>	85
<i>Slika 7.15. Registrivana neravnost na levim i desnim točkovima šinskog vozila</i>	85
<i>Slika 7.16. Opšti oscilatorni model vozila za analizu oscilatornog komfora</i>	86
<i>Slika 7.17. Autobus double-decker</i>	87
<i>Slika 7.18. Oscilatorni model autobusa double-decker.....</i>	87
<i>Slika 7.19. Međugradski autobus IK 301.....</i>	88
<i>Slika 7.20. Međugradski autobus IK 301.....</i>	88
<i>Slika 7.21. Modeli a) prednje i b) zadnje osovine autobusa IK 301</i>	89
<i>Slika 7.22. Model elastičnog pneumatika autobusa IK 301</i>	91
<i>Slika 7.23. SPRING-DAMPER element sa naznačenim markerima</i>	91

<i>Slika 7.24. Prostorni oscilatorni model autobusa IK 301</i>	92
<i>Slika 8.1. Koordinatni sistem za određivanje položaja težišta autobusa</i>	97
<i>Slika 8.2. Komponente praznog/opterećenog autobusa IK 301</i>	98
<i>Slika 8.3. Elementi oslanjanja na zadnjem mostu autobusa IK 301</i>	100
<i>Slika 8.4. Šematski prikaz prostornog oscilatornog modela autobusa IK 301</i>	101
<i>Slika 8.5. Postavljanje merne opreme na mestu a) vozača i b) putnika</i>	104
<i>Slika 8.6. Postavljanje induktivnih davača ubrzanja na nadgradnji</i>	104
<i>Slika 8.7. Oscilatorni model autobusa sa naznačenim mestima na kojima su postavljeni markeri za beleženje signala vertikalnih ubrzanja</i>	104
<i>Slika 8.8. Položaj sedišta vozača i putnika iznad zadnje osovine</i>	105
<i>Slika 8.9. Pobuda oscilatornog modela autobusa - asfalt betonski kolovoz u lošem stanju, (brzina 64 km/h)</i>	106
<i>Slika 8.10. Vertikalno ubrzanje na podu ispod sedišta vozača: a) merenje i b) simulacija</i>	106
<i>Slika 8.11. Vertikalno ubrzanje na podu ispod sedišta putnika iznad zadnje osovine: a) merenje i b) simulacija</i>	107
<i>Slika 8.12. Vertikalno ubrzanje na sedištu vozača: a) merenje i b) simulacija</i>	108
<i>Slika 8.13. Vertikalno ubrzanje na sedištu putnika iznad zadnje osovine: a) merenje i b) simulacija</i>	108
<i>Slika 9.1. Raspored sedišta u autobusu IK 301</i>	111
<i>Slika 9.2. Filteri za vrednovanje vertikalnih i horizontalnih ubrzanja</i>	112
<i>Slika 9.3. Horizontalno i vrednovano horizontalno ubrzanje za vozača za pobudu loš-asfalt betonski kolovoz i brzinu kretanja autobusa od 64 km/h</i>	113
<i>Slika 9.4. Horizontalno i vrednovano horizontalno ubrzanje za putnika53 za pobudu vrlo dobar-asfalt betonski kolovoz i brzinu kretanja autobusa od 90 km/h</i>	113
<i>Slika 9.5. Oscilatorna pobuda autobusa loš asfalt-beton, brzina 64 km/h</i>	114
<i>Slika 9.6. Ubrzanja na mestu a) vozača, b) putnika23 i c) putnika53 za loš asfalt-betonski kolovoz, brzina 64 km/h</i>	115
<i>Slika 9.7. Oscilatorna pobuda autobusa loš asfalt-beton, brzina 80 km/h</i>	117
<i>Slika 9.8. Ubrzanja na mestu a) vozača, b) putnika12 i c) putnika49 za loš asfalt-betonski kolovoz, brzina 80 km/h</i>	118
<i>Slika 9.9. Oscilatorna pobuda autobusa dobar asfalt-beton, brzina 80 km/h</i>	120
<i>Slika 9.10. Ubrzanja na mestu a) vozača, b) putnika19 i c) putnika53 za dobar asfalt-betonski kolovoz, brzina 80 km/h</i>	121
<i>Slika 9.11. Oscilatorna pobuda autobusa vrlo dobar cement-beton, brzina 80 km/h</i> ..	123
<i>Slika 9.12. Ubrzanja na mestu a) vozača, b) putnika14 i c) putnika53 za vrlo dobar cement-betonski kolovoz, brzina 80 km/h</i>	124

<i>Slika 9.13. Oscilatorna pobuda autobusa vrlo dobar asfalt-beton, brzina 90 km/h, smaknuti levi i desni trag za jednu sekundu</i>	126
<i>Slika 9.14. Ubrzanja na mestu a) vozača, b) putnika27 i c) putnika53 za vrlo dobar asfalt-betonski kolovoz, brzina 90 km/h</i>	127
<i>Slika 9.15. Oscilatorna pobuda autobusa dobar asfalt-beton, brzina 90 km/h, smaknuti levi i desni trag za jednu sekundu</i>	129
<i>Slika 9.16. Ubrzanja na mestu a) vozača, b) putnika27 i c) putnika53 za dobar asfalt-betonski kolovoz, brzina 90 km/h</i>	130
<i>Slika 9.17. Oscilatorna pobuda autobusa loš asfalt-beton, brzina 72 km/h</i>	132
<i>Slika 9.18. Ubrzanja na mestu a) vozača, b) putnika22 i c) putnika49 za loš asfalt-betonski kolovoz, brzina 72 km/h</i>	133
<i>Slika 9.19. Filteri za vrednovanje vertikalnih ubrzanja, prema ISO 2631(1985) i ISO 2631(1997)</i>	137
<i>Slika 9.20. Spektralne gustine snage vrednovanog vertikalnog ubrzanja za vozača, suvozača, putnika7 i putnika53, za loš asfalt-betonski kolovoz, brzina 64 km/h</i>	138
<i>Slika 9.21. Vremena izlaganja za vozača, suvozača, putnika7 i putnika53 za pobudu loš asfalt-betonski kolovoz i brzinu od 64 km/h</i>	139
<i>Slika 9.22. Spektralne gustine snage vrednovanog vertikalnog ubrzanja za vozača, suvozača i putnika49, za loš asfalt-betonski kolovoz, brzina 80 km/h</i>	140
<i>Slika 9.23. Vremena izlaganja za vozača, suvozača i putnika49 za pobudu loš asfalt-betonski kolovoz i brzinu od 80 km/h</i>	141
<i>Slika 9.24. Spektralne gustine snage vrednovanog vertikalnog ubrzanja za vozača, suvozača, putnika1 i putnika53, za dobar asfalt-betonski kolovoz, brzina 80 km/h</i>	142
<i>Slika 9.25. Vremena izlaganja za vozača, suvozača, putnika1 i putnika53 za pobudu dobar asfalt-betonski kolovoz i brzinu od 80 km/h</i>	142
<i>Slika 9.26. Spektralne gustine snage vrednovanog vertikalnog ubrzanja za vozača, suvozača i putnika53, za vrlo dobar cement-betonski kolovoz, brzina 80 km/h</i>	143
<i>Slika 9.27. Vremena izlaganja za vozača, suvozača i putnika53 za pobudu vrlo dobar cement-betonski kolovoz i brzinu od 80 km/h</i>	144
<i>Slika 9.28. Spektralne gustine snage vrednovanog vertikalnog ubrzanja za vozača, suvozača i putnika49, za loš asfalt-betonski kolovoz, brzina 72 km/h</i>	145
<i>Slika 9.29. Vremena izlaganja za vozača, suvozača i putnika49 za pobudu loš asfalt-betonski kolovoz i brzinu od 72 km/h</i>	146
<i>Slika 9.30. Kriterijumi komfora u sredstvima javnog prevoza, prema ISO 2631 (1997)</i>	147
<i>Slika 9.31. Zone jednakog oscilatornog komfora za autobus IK 301 za pobudu loš asfalt-beton, brzina 64 km/h</i>	148

Slika 9.32. Zone jednakog oscilatornog komfora za autobus IK 301 za pobudu loš asflat-beton, brzina 80 km/h.....	148
Slika 9.33. Zone jednakog oscilatornog komfora za autobus IK 301 za pobudu dobar asflat-beton, brzina 80 km/h.....	149
Slika 9.34. Zone jednakog oscilatornog komfora za autobus IK 301 za pobudu vrlo dobar cement-beton, brzina 80 km/h	149
Slika 9.35. Zone jednakog oscilatornog komfora za autobus IK 301 za pobudu vrlo dobar asflat-beton, brzina 90 km/h.....	150
Slika 9.36. Zone jednakog oscilatornog komfora za autobus IK 301 za pobudu dobar asflat-beton, brzina 90 km/h.....	150
Slika 9.37. Zone jednakog oscilatornog komfora za autobus IK 301 za pobudu loš asflat-beton, brzina 72 km/h.....	151
Slika 9.38. Sedišta korisnika autobusa IK 301 sa umanjenim oscilatornim komforom	154
Slika 10.1. Zavisnost rms ubrzanja od krutosti i prigušenja sedišta za a) suvozača, b) putnika5 i c) putnika49, za pobudu loš-asfalt beton i brzinu od 80 km/h.....	156
Slika 10.2. Zavisnost rms ubrzanja od krutosti i prigušenja sedišta za a) suvozača, b) putnika1 i c) putnika12, za pobudu loš-asfalt beton i brzinu od 72 km/h.....	156
Slika 10.3. Zavisnost rms ubrzanja od krutosti i prigušenja sedišta za a) putnika42, b) putnika48 i c) putnika49, za pobudu loš-asfalt beton i brzinu od 72 km/h.....	157
Slika 10.4. Ubrzanje na mestu putnika49 za oscilatorne parametre sedišta a) $c_{sp}=10000$ (N/m) i $b_{sp}=330$ (Ns/m), b) $c_{sp}=20000$ (N/m) i $b_{sp}=220$ (Ns/m), i c) $c_{sp}=25000$ (N/m) i $b_{sp}=110$ (Ns/m)	158
Slika 10.5. Zavisnost rms ubrzanja od krutosti i prigušenja sedišta za a) suvozača, b) putnika1 i c) putnika8, za pobudu dobar-asfalt beton i brzinu od 90 km/h	158
Slika 10.6. Zavisnost rms ubrzanja od krutosti i prigušenja sedišta za a) putnika37, b) putnika50 i c) putnika53, za pobudu dobar-asfalt beton i brzinu od 90 km/h	159
Slika 10.7. Zone jednakog oscilatornog komfora autobusa IK 301 a) pre i b) nakon promene oscilatornih parametara sedišta sa umanjenim komforom za loš asfalt-betonski kolovoz, brzina 64 km/h.....	162
Slika 10.8. Zone jednakog oscilatornog komfora autobusa IK 301 a) pre i b) nakon promene oscilatornih parametara sedišta sa umanjenim komforom za loš asfalt-betonski kolovoz, brzina 80 km/h.....	164
Slika 10.9. Zone jednakog oscilatornog komfora autobusa IK 301 a) pre i b) nakon promene oscilatornih parametara sedišta sa umanjenim komforom za dobar asfalt-betonski kolovoz, brzina 80 km/h.....	165

<i>Slika 10.10. Zone jednakog oscilatornog komfora autobusa IK 301 a) pre i b) nakon promene oscilatornih parametara sedišta sa umanjenim komforom za vrlo dobar cement-betonski kolovoz, brzina 80 km/h.....</i>	<i>167</i>
<i>Slika 10.11. Zone jednakog oscilatornog komfora autobusa IK 301 a) pre i b) nakon promene oscilatornih parametara sedišta sa umanjenim komforom za vrlo dobar asfalt-betonski kolovoz, brzina 90 km/h.....</i>	<i>169</i>
<i>Slika 10.12. Zone jednakog oscilatornog komfora autobusa IK 301 a) pre i b) nakon promene oscilatornih parametara sedišta sa umanjenim komforom za dobar asfalt-betonski kolovoz, brzina 90 km/h.....</i>	<i>171</i>
<i>Slika 10.13. Zone jednakog oscilatornog komfora autobusa IK 301 a) pre i b) nakon promene oscilatornih parametara sedišta sa umanjenim komforom za loš asfalt-betonski kolovoz, brzina 72 km/h.....</i>	<i>173</i>
<i>Slika 10.14. Spektralne gustine snage vrednovanog vertikalnog ubrzanja za suvozača, putnika7 i putnika53, za loš asfalt-betonski kolovoz, brzina 64 km/h</i>	<i>176</i>
<i>Slika 10.15. Vremena izlaganja za suvozača, putnika7 i putnika53 za pobudu loš asfalt-betonski kolovoz i brzinu od 64 km/h</i>	<i>177</i>
<i>Slika 10.16. Spektralne gustine snage vrednovanog vertikalnog ubrzanja za suvozača i putnika49, za loš asfalt-betonski kolovoz, brzina 80 km/h.....</i>	<i>178</i>
<i>Slika 10.17. Vremena izlaganja za suvozača i putnika49 za pobudu loš asfalt-betonski kolovoz i brzinu od 80 km/h.....</i>	<i>179</i>
<i>Slika 10.18. Spektralne gustine snage vrednovanog vertikalnog ubrzanja za suvozača, putnika1 i putnika53, za dobar asfalt-betonski kolovoz, brzina 80 km/h.....</i>	<i>180</i>
<i>Slika 10.19. Vremena izlaganja za suvozača, putnika1 i putnika53 za pobudu dobar asfalt-betonski kolovoz i brzinu od 80 km/h</i>	<i>181</i>
<i>Slika P1.1. Pogled na model sa desne strane</i>	<i>202</i>
<i>Slika P1.2. Pogled na model sa prednje strane</i>	<i>202</i>
<i>Slika P1.3. Pogled na model sa zadnje strane</i>	<i>203</i>
<i>Slika P1.4. Pogled na model odozgo</i>	<i>203</i>

Spisak tabela

Tabela 2.1. Procenat radnika izložen vibracijama u funkciji od vremena izloženosti prema četvrtom istraživanju Eurofound-a	6
Tabela 2.2. Opažanje komfora putnika pema ISO 2631 (1997).....	16
Tabela 4.1. Srednja vrednost frekventnog spektra asfalt-betonskog kolovoza za $v_0=1(m^{-1})$	32
Tabela 5.1. Srednje efektivne vrednosti vrednovanog ubrzanja korisnika autobusa	62
Tabela 5.2. Srednje efektivne vrednosti vrednovanog ubrzanja vozača	63
Tabela 7.1. Elementi oscilatornog modela autobusa IK 301	93
Tabela 7.2. Pregled veza oscilatornog modela autobusa IK 301 i stepeni slobode koje uvedene veze ukidaju.....	93
Tabela 8.1. Komponente praznog/opterećenog autobusa i položaj njihovih težišta	99
Tabela 8.2. Koordinate težišta praznog/opterećenog autobusa IK 301	99
Tabela 8.3. Geometrijski parametri autobusa IK 301	101
Tabela 8.4. Parametri mase autobusa IK 301	102
Tabela 8.5. Oscilatorni parametri autobusa IK 301	102
Tabela 8.6. Statističke vrednosti vertikalnog ubrzanja za pod ispod sedišta vozača i putnika utvrđene merenjem i simulacijom	107
Tabela 8.7. Statističke vrednosti vertikalnog ubrzanja na sedištu vozača i putnika utvrđene merenjem i simulacijom	109
Tabela 9.1. RMS vrednosti ubrzanja i ocena komfora za loš asfalt-betonski kolovoz, brzina 64 km/h	116
Tabela 9.2. RMS vrednosti ubrzanja i ocena komfora za loš asfalt-betonski kolovoz, brzina 80 km/h	119
Tabela 9.3. RMS vrednosti ubrzanja i ocena komfora za dobar asfalt-betonski kolovoz, brzina 80 km/h	122
Tabela 9.4. RMS vrednosti ubrzanja i ocena komfora za vrlo dobar cement-betonski kolovoz, brzina 80 km/h.....	125
Tabela 9.5. RMS vrednosti ubrzanja i ocena komfora za vrlo dobar asfalt-betonski kolovoz, brzina 90 km/h.....	128
Tabela 9.6. RMS vrednosti ubrzanja i ocena komfora za dobar asfalt betonski kolovoz, brzina 90 km/h	131
Tabela 9.7. RMS vrednosti ubrzanja i ocena komfora za loš asfalt-betonski kolovoz, brzina 72 km/h	134
Tabela 9.8. RMS vrednosti vrednovanog vertikalnog ubrzanja korisnika za centralne frekvencije za loš asfalt-betonski kolovoz, brzina 64 km/h	139

Tabela 9.9. RMS vrednosti vrednovanog vertikalnog ubrzanja korisnika za centralne frekvencije za loš asfalt-betonski kolovoz, brzina 80 km/h	140
Tabela 9.10. RMS vrednosti vrednovanog vertikalnog ubrzanja korisnika za centralne frekvencije za dobar asfalt-betonski kolovoz, brzina 80 km/h.....	142
Tabela 9.11. RMS vrednosti vrednovanog vertikalnog ubrzanja korisnika za centralne frekvencije za vrlo dobar cement-betonski kolovoz, brzina 80 km/h	144
Tabela 9.12. RMS vrednosti vrednovanog vertikalnog ubrzanja korisnika za centralne frekvencije za loš asfalt-betonski kolovoz, brzina 72 km/h	145
Tabela 10.1. Vrednosti koeficijenta krutosti i koeficijenta prigušenja sedišta u analizi uticaja na rms vrednosti ubrzanja korisnika	155
Tabela 10.2. RMS vrednosti ubrzanja i ocena komfora za sedišta čije su oscilatorne karakteristike promenjene, za loš asfalt-betonski kolovoz, brzina 64 km/h.....	161
Tabela 10.3. RMS vrednosti ubrzanja i ocena komfora za sedišta čije su oscilatorne karakteristike promenjene, za loš asfalt-betonski kolovoz, brzina 80 km/h.....	163
Tabela 10.4. RMS vrednosti ubrzanja i ocena komfora za sedišta čije su oscilatorne karakteristike promenjene, za dobar asfalt-betonski kolovoz, brzina 80 km/h	166
Tabela 10.5. RMS vrednosti ubrzanja i ocena komfora za sedišta čije su oscilatorne karakteristike promenjene, za vrlo dobar cement betonski kolovoz, brzina 80 km/h ...	168
Tabela 10.6. RMS vrednosti ubrzanja i ocena komfora za sedišta čije su oscilatorne karakteristike promenjene, za vrlo dobar asfalt-betonski kolovoz, brzina 90 km/h	170
Tabela 10.7. RMS vrednosti ubrzanja i ocena komfora za sedišta čije su oscilatorne karakteristike promenjene, za dobar asfalt-betonski kolovoz, brzina 90 km/h	172
Tabela 10.8. RMS vrednosti ubrzanja i ocena komfora za sedišta čije su oscilatorne karakteristike promenjene, za loš asfalt-betonski kolovoz, brzina 72 km/h.....	174
Tabela 10.9. RMS vrednosti vrednovanog vertikalnog ubrzanja korisnika za centralne frekvencije za loš asfalt-betonski kolovoz, brzina 64 km/h	177
Tabela 10.10. RMS vrednosti vrednovanog vertikalnog ubrzanja korisnika za centralne frekvencije za loš asfalt-betonski kolovoz, brzina 80 km/h	179
Tabela 10.11. RMS vrednosti vrednovanog vertikalnog ubrzanja korisnika za centralne frekvencije za dobar asfalt-betonski kolovoz, brzina 80 km/h.....	181

1. Uvod

1.1. Motivi istraživanja

Vibracije predstavljaju oblik mehaničkog talasnog kretanja. Energija vibracija prenosi se na telo čoveka. Dejstvo vibracija na čoveka ima za posledicu neželjene efekte (fiziološke i psihološke poremećaje) koji su naročito izraženi u slučajevima dužeg izlaganja. Negativni uticaji dejstva vibracija uočeni su dvadesetih i tridesetih godina prošlog veka, sa naglim razvojem industrijskih mašina i motornih vozila. Od tog vremena do danas, istraživanjima uticaja vibracija i efekata koje one prouzrokuju pridaje se posebna pažnja. Istraživanja dobijaju na značaju zbog toga što su u savremenim tehničko-tehnološkim uslovima danas u svetu desetina miliona radnika i korisnika saobraćajnih sredstava izloženi štetnom dejstvu vibracija (European Agency for Safety and Health at Work, 2008).

Na osnovu epidemioloških istraživanja procenjeno je da je u industrijskim zemljama od 5% do 8% radne snage izloženo štetnom dejstvu vibracija celog tela (Palmer i ostali, 2000). Najčešća oboljenja kod čoveka usled dejstva vibracija su bol u donjem delu leđa i povrede kičmenog stuba. U pet Evropskih zemalja (Belgija, Nemačka, Holandija, Francuska i Danska) pomenuta oboljenja svrstana su u profesionalne bolesti (Hulshof i ostali, 2002). U cilju smanjenja negativnog uticaja vibracija i zaštite zdravlja radnika na radnim mestima, Evropska Unija je juna 2002. godine usvojila direktivu 2002/44/EC (direktiva o vibracijama). U ovoj direktivi definisani su dozvoljeni pragovi (nivoi) izloženosti vibracijama celog tela čoveka na radnim mestima i u skladu sa njima jasno je naglašena obaveza radnih organizacija za preduzimanje odgovarajućih bezbedonosnih mera. Mere iz direktive 2002/44/EC su svih 27 zemalja članica Evropske Unije počele da primenjuju kada je ona stupila na snagu 6. jula 2005. godine (EU Good Practice Guide WBV, 2008).

Vibracije deluju na učesnike u saobraćaju, naročito korisnike vozila (putnike i vozače) u svim vidovima transporta (drumski, železnički, vazdušni i vodni). U posebno rizičnu grupu spadaju rukovaoci građevinskih i poljoprivrednih mašina, kao i vozači teških teretnih vozila i autobusa (Alperovitch-Najenson, 2010; Eaton, 2003; Griffin, 2007; Kompier, 1996; Leelavathy i ostali, 2011).

U ovom radu posebna pažnja posvećena je oscilatornom komforu korisnika autobusa.

Oscilatorno kretanje autobusa se tokom vožnje pobuđuje iz više izvora. Ti izvori su makro i mikro neravnosti puta, neuravnoteženost točkova i elemenata transmisije, pogonski agregat, aerodinamičke sile i dr. Međutim, dominantna pobuda oscilatornog kretanja autobusa potiče od neravnosti kolovoza.

Oscilacije imaju višestruko nepovoljno dejstvo: na korisnike autobusa, na vozilo i na kolovoz. Neke od negativnih posledica su: smanjenje komfora i radne sposobnosti vozača i putnika, smanjenje brzine kretanja autobusa, skraćenje veka autobusa kao i oštećenja kolovoza. Istraživanja uticaja vibracija celog tela na pojavu bola u donjem delu leđa kod vozača autobusa pokazala su da od ove bolesti boluje 84% vozača u SAD i 49% vozača u Švedskoj (Magnusson i ostali, 1996).

Oscilatorno ponašanje autobusa i efekti uticaja vibracija na korisnike autobusa zavise od više parametara. Parametri autobusa koji utiču na njegovo oscilatorno ponašanje su geometrijski parametri (arhitektura vozila, dužina, visina i širina autobusa, položaj osovina i međuosovinsko rastojanje, položaj sedišta korisnika u autobusu i dr.), parametri koncentrisanih masa i njihov položaj (karoserija/noseća struktura, prednja i zadnja osovina, masa pogonske grupe i momenti inercije ovih masa) i oscilatorni parametri autobusa (krutost i prigušenje pneumatika, sistema elastičnog oslanjanja i sedišta vozača i putnika).

Intezitet vibracija u autobusu zavisi pre svega od vrste i stanja podloge po kojoj se autobus kreće i od brzine kretanja autobusa.

Vibracije se na tela korisnika autobusa prenose preko sedišta. Ustanovljeno je da intezitet vibracija kojima su korisnici autobusa izloženi zavisi od položaja sedišta u autobusu (Sekulić i Dedović, 2011). Uticaj vibracija na korisnike zavisi od konstruktivnih karakteristika njihovih sedišta. U ovom smislu posebno su značajne karakteristike krutosti i prigušenja sedišta. Sedište vozača autobusa, za razliku od sedišta putnika, poseduje sopstveni sistem elastičnog oslanjanja koji vozaču omogućuje komfornu i produženu vožnju. U savremenim autobusima sedišta putnika su kruto oslonjenja, a prigušenje vibracija obavlja se samo pomoću elastičnih jastuka na sedištima. Ako se ima u vidu da položaj sedišta putnika značajno utiče na intezitet

vibracija, otvara se pitanje da li putnička sedišta sa istim konstruktivnim karakteristikama tj. istim karakteristikama krutosti i prigušenja obezbeđuju zadovoljavajući oscilatorni komfor za putnike autobusa bez obzira na položaj sedišta na kom se nalaze. Adekvatan odgovor na postavljeno pitanje moguć je ukoliko se analizira i utvrdi oscilatorni komfor putnika na svim sedištima u autobusu. Razmatranjem komfora svakog pojedinog korisnika mogle bi se definisati *zone približno (jednakog) oscilatornog komfora u autobusu* koje bi ukazale na ona sedišta koja imaju niži oscilatorni komfor. Na ta sedišta bi trebalo obratiti pažnju u cilju poboljšanja i ujednačenja oscilatorne udobnosti svih putnika u autobusu.

U dosadašnjim radovima koji se bave problemima vertikalne dinamike autobusa većina sprovedenih analiza i istraživanja usmerena je na određivanje dejstva oscilacija na komfor i radnu sposobnost vozača (Blood i ostali, 2010; Eaton, 2003; Okunribido i ostali, 2007; Picu, 2009; Sekulić i Dedović, 2011). To je i razumljivo, budući da vozač autobusa najveći deo svog radnog vremena provede u vožnji. Manji broj istraživanja razmatra uticaj vibracija na oscilatorni komfor putnika, pri čemu su u tim istraživanjima uzeti u obzir putnici na karakterističnim mestima u autobusu (na primer, putnici u srednjem delu i na prednjem i zadnjem prepustu autobusa) (Diligenski i Demić, 2000; Diligenski i ostali, 2005; Seidel i ostali, 2008). Takve analize nisu dale potpune informacije neophodne za ujednačenje oscilatornog komfora svih korisnika autobusa i stoga treba da se prošire i upotpune. *Zone približno (jednakog) oscilatornog komfora autobusa* su novi pojam koji se definiše ovim radom, a njihovo određivanje u dosadašnjim istraživanjima nije sprovedeno.

1.2. Predmet i cilj istraživanja

Predmet istraživanja doktorske disertacije je oscilatorni komfor svakog pojedinačnog korisnika autobusa, uzimajući u obzir položaj i kvalitet sedišta u autobusu. Primenom originalnog prostornog oscilatornog modela autobusa, metoda i postupaka za vrednovanje dejstva vibracija koje propisuje međunarodni standard ISO 2631 moguće je na jednoznačan i ponovljiv način proveriti oscilatorni komfor korisnika autobusa kada se on kreće različitim brzinama po realnim podlogama različitih tipova i stanja.

Cilj istraživanja je da se definišu zone oscilatornog komfora korisnika u autobusu u realnim uslovima eksploatacije. Takođe, cilj isitraživanja je i da se odrede oscilatorne karakteristike sedišta korisnika, čiji je oscilatorni komfor u definisanim zonama ugrožen, koje bi omogućile poboljšanje njihove oscilatorne udobnosti. Dalje, cilj istraživanja je da se proveri da li bi sedišta sa oscilatornim parametrima koji omogućavaju bolji oscilatorni komfor, takođe omogućila da se postigne ujednačen nivo komfora za sve putnike, bez obzira na položaj sedišta na platformi autobusa.

U skladu sa postavljenim predmetom i ciljem istraživanja ova doktorska disertacija zajedno sa uvodnim delom podeljena je na jedanaest poglavlja.

U drugom poglavlju prikazani su rezultati istraživanja izloženosti vibracijma koje je sprovedla Evropska fondacija za poboljšanje uslova života i rada (Eurofound, 2008). Navedeni su fiziološki uticaji vibracija, a posebna pažnja posvećena je percepciji vibracija, tj. opažanju komfora, kao i uticaju vibracija na bezbednost saobraćaja.

U trećem delu dat je pregled standarda koji se koriste prilikom procene uticaja vibracija na telo čoveka.

U četvrtom poglavlju izvršena je podela oscilatornih pobuda autobusa, a posebna pažnja posvećena je primarnoj oscilatornoj pobudi vozila - neravnost podloge.

U petom delu predstavljena su dva originalna oscilatorna modela vozila - ravanski i prostorni oscilatorni model. Modeli su izgrađeni u modulu *Simulink* i programskom paketu *Matlab*.

U šestom poglavlju predstavljeni su programski paketi za analize dinamičkog ponašanja vozila, gde je posebna pažnja posvećena “*multibody*“ programskom paketu *MSC.ADAMS* i postupku modeliranja mehaničkih sistema u modulu *ADAMS/View*.

U sedmom poglavlju definisan je opšti oscilatorni model kopnenih saobraćajnih sredstava za prevoz putnika (autobusa i šinskih vozila). U sedmom poglavlju definisan je i originalni prostorni oscilatorni model međugradskog autobusa IK 301.

U osmom poglavlju izvršena je validacija oscilatornog modela uzimajući u obzir rezultate merenja vibracija u realnim uslovima eksploatacije autobusa.

U devetom poglavlju, pomoću validiranog oscilatornog modela autobusa, obavljen je niz analiza sa ciljem da se definišu i odrede zone jednakog oscilatornog komfora u autobusu IK 301.

U desetom poglavlju analizirana je mogućnost ujednačavanja oscilatorne udobnosti svih korisnika autobusa IK 301. Izvršena je analiza ponašanja modela sa izmenjenim parametrima sedišta i pokazano je da je moguće ujednačiti oscilatorni komfor na celoj platformi.

Zaključak u okviru koga su istaknuti glavni rezultati istraživanja i naučni doprinos doktorske teze prikazani su u poglavlju jedanaest.

2. Dejstvo vibracija na telo čoveka

Vibracije predstavljaju oblik mehaničkog talasnog kretanja. Energija vibracije prenosi se na telo čoveka. Dejstvo vibracija ima za posledicu neželjene efekte (fiziološke i psihološke poremećaje) koji su naročito izraženi u slučajevima dužeg izlaganja. Negativni uticaji dejstva vibracija uočeni su još dvadesetih i tridesetih godina prošlog veka sa naglim razvojem industrijskih mašina i motornih vozila. U savremenim tehničko-tehnološkim uslovima danas u svetu desetina miliona radnika i korisnika transportnih sredstava izloženo je štetnom dejstvu vibracija.

2.1. Izloženost vibracijama

Prema četvrtom po redu istraživanju radnih uslova u Evropi, koje je sprovedla Evropska fondacija za poboljšanje uslova života i rada (Eurofound, 2008), u proseku svaki treći radnik u Evropi izložen je nekom vidu vibracija, a svaki četvrti izložen je vibracijama četvrtinu svog radnog vremena. U tabeli 2.1 dat je procenat radnika koji je izložen vibracijama za šest zemalja u Evropi i prosečno za sve zemlje Evropske Unije (EU) u zavisnosti od vremena izloženosti vibracijama. Rezultati istraživanja iz tabele 2.1 slični su sa rezultatima prethodna tri istraživanja koja su sprovedena 1996, 2000 i 2005. godine.

Tabela 2.1. Procenat radnika izložen vibracijama u funkciji od vremena izloženosti prema četvrtom istraživanju Eurofound-a

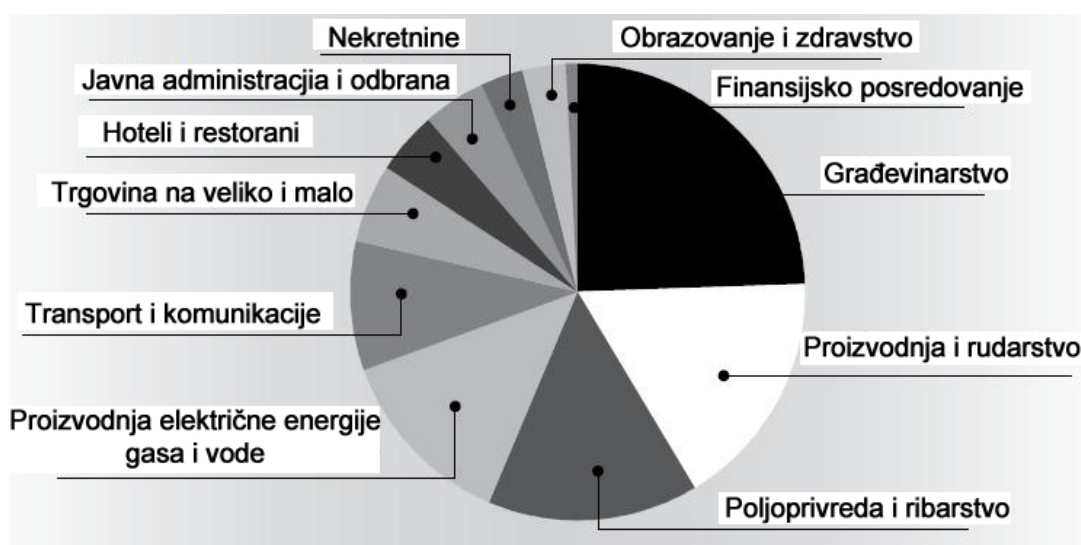
Vreme izloženosti vibracijama	Belgija	Nemačka	Španija	Francuska	Poljska	Finska	EU-27
Svo radno vreme	5.70%	4.50%	4.60%	7.30%	10.10%	3.50%	5.50%
Skoro svo radno vreme	2.70%	4.90%	10.00%	4.70%	4.30%	3.50%	5.00%
3/4 radnog vremena	2.00%	3.90%	3.30%	1.70%	3.40%	2.10%	2.80%
1/2 radnog vremena	1.80%	6.10%	3.80%	2.40%	4.80%	4.20%	4.00%
1/4 radnog vremena	6.50%	9.40%	5.20%	5.70%	8.70%	8.30%	7.00%
Skoro nikada	13.10%	11.60%	10.70%	10.70%	11.00%	16.60%	11.10%
Nikada	68.30%	59.60%	62.50%	67.50%	57.80%	61.90%	64.70%

Izvor: European Agency for Safety and Health at Work, 2008.

Pomenuto istraživanje Eurofound-a ne pravi razliku između vibracija celog tela i segmentnih vibracija (npr. ruke, noge). U (Bovenzi i Hulshof, 1998) se navodi da je prema procenama od 4% do 7% radne snage u zemljama EU izloženo štetnom dejstvu vibracija celog tela. Prema (Hulshof i ostali, 2002) šest miliona radnika izloženo je

dejstvu vibracija celog tela u sedećem položaju (vozači dostavnih vozila, rukovaoci viljuškara, piloti helikoptera i rukovaoci građevinskih mašina).

Iz tabele 2.1 uočava se da je približno 24% svih radnika u zemaljama EU izloženo vibracijama na radnim mestima najmanje četvrtinu radnog vremena. Slika 2.1 pokazuje izloženost vibracijama po sektorima, prema istraživanju Eurofound-a iz 2008.godine. Uočava se da je najveći procenat izloženosti vibracijama u građevinarstvu (63% radnika), zatim proizvodnji i rudarstvu (44% radnika), poljoprivredi i ribarstvu (38%), proizvodnji električne energije, gasa i vode (34%) i transportu i komunikacijama (23%).



Izvor: European Agency for Safety and Health at Work, 2008.

Slika 2.1. Izloženost vibracijama prema sektorima ekonomske aktivnosti

U naročito rizičnu grupu spadaju vozači građevinskih mašina, poljoprivednih mašina, vozači teških teretnih vozila i autobusa (Kompier, 1996; Whitelegg, 1995). U poređenju sa vozačima automobila, vozači teških teretnih vozila i autobusa izloženi su vibracijama većeg inteziteta tokom osmočasovnog radnog vremena.

U cilju smanjenja negativnog uticaja vibracija i zaštite zdravlja na radnim mestima EU je juna 2002. godine usvojila direktivu 2002/44/EC¹ (direktiva o vibracijama). Direktiva 2002/44/EC ima za cilj uvođenje, na nivou EU, minimalnih uslova za zaštitu zdravlja

¹ Direktiva 2002/44/EC proizašla je iz Direktive 89/391/EEC. Direktiva 89/391/EEC doneta je 12. juna 1989. godine i definiše mere za poboljšanje bezbednosti i zdravlja radnika na radnim mestima.

radnika koji su tokom radnog vremena izloženi rizicima oboljenja zbog dejstva vibracija na radnim mestima.

Direktiva 2002/44/EC definiše pokazatelj izloženosti vibracijama A(8) (A(8)-dnevna izloženost vibracijama) čija vrednost ukazuje na potrebu preduzimanja odgovarajućih mera. Direktiva propisuje dva kriterijuma dnevne izloženosti vibracijama, dnevna upozoravajuća vrednost izloženosti (*exposure action value*) koja iznosi 0.5 m/s^2 i dnevna granična vrednost izloženosti vibracijama (*exposure limit value*) koja iznosi 1.15 m/s^2 . Ako vrednost dnevne izloženosti vibracijama premašuje 0.5 m/s^2 , direktiva zahteva od poslodavaca preduzimanje organizacionih i/ili tehničkih mera u cilju smanjivanja ili otklanjanja rizika oboljenja od dejstva vibracija. Radnici na radnim mestima ne bi trebalo da budu izloženi vibracijama čija je vrednost dnevne izloženosti iznad 1.15 m/s^2 . Obavljanje radnih aktivnosti na kojima je vrednost dnevne izloženosti iznad 1.15 m/s^2 se, prema direktivi, zabranjuje. U (Granlund, 2008) navodi se da vozači autobusa mogu biti izloženi vibracijama iznad 0.5 m/s^2 .

U cilju što efikasnijeg umanjenja dejstva vibracija, EU je formirala upustvo "Vodič dobre prakse za vibracije koje se prenose na celo telo". Cilj vodiča je da ubraza i olakša procenu rizika od izloženosti vibracijama celog tela, utvrđivanje mehanizama za smanjenje ili potpuno uklanjanje izloženosti vibracijama, kao i uvođenje sistema za sprečavanje nastanka i razvoj oštećenja zdravlja. Prilikom pripreme vodiča koristili su se podaci dva projekta koje je finansirala EU: Rizici zbog izloženosti vibracijama na radnim mestima (*VIBRISKS - Risks of Occupational Vibration Exposures*) i Istraživačka mreža usmerena na otkrivanje i sprečavanje oštećenja zdravlja zbog izloženosti vibracijama na radnim mestima (*VINET - Research Network on Detection and Prevention of Injuries due to Occupational Vibration Exposures*).

2.2. Podela i osnovne karakteristike vibracija

Prema mestu dejstva, vibracije mogu da se podele na dve grupe:

I) vibracije celog tela i

II) lokalne, koje se odnose na vibracije pojedinih delova (segmenata) tela čoveka.

Vibracije celog tela javljaju se kada je telo u kontaktu sa površinom koja vibrira. Ovakve vibracije deluju na telo u različitim položajima (sedeći, stojeći ili ležeći). Na primer, putnici u motornom vozilu su izloženi dejstvu ovih vibracija. Vibracije se prenose na celo telo preko nogu putnika (kada putnik stoji), sedalnog dela kod putnika koji sedi ili cele površine tela kod putnika koji leži.

U naročito rizičnu grupu koja je izložena dejstvu vibracija celog tela spadaju vozači građevinskih mašina (vozači buldožera, bagera, i sl.) i poljoprivrednih mašina (npr. vozači traktora i kombajna) (EU Good Practice Guide WBV, 2008).

Vibracija celog tela su posebno značajne u frekventnom opsegu od 1 Hz do 80 Hz. U ovom frekventnom opsegu nalaze se i glavne rezonantne tačke pojedinih organa i delova čovekovog tela (npr. glava, oči, stomak i kičma) (Ahn, 2010; Griffin, 1996). Nepoželjni uticaji dejstva ovih vibracija odnose se na pojavu niza zdravstvenih problema, među kojima su najkarakterističniji bolovi u leđima i u vratu. Vibracije celog tela u oblasti izrazito niskih frekvencija (ispod 0.5 Hz) izazivaju “morsku bolest” (Hopcroft i Skinner, 2005).

Pod lokalnim vibracijama se podrazumevaju vibracije koje se prenose na pojedine delove tela (ruke, noge, glavu i sl.). Kod ovog tipa vibracija najzastupljenije su vibracije ruku. Vibracije ruku se javljaju prilikom rada sa alima i oruđima koje se drže u ruci, kao što su pneumatski čekić, bušilice, brusilice, testere i sl. U rizičnu grupu spadaju radnici koji regularno ili povremeno koriste vibrirajuće alate, a čiji su poslovi vezani za građevinarstvo (npr. održavanje i izgradnju puteva), drvnu industriju, rudarstvo, metalnu industriju i dr (EU Good Practice Guide HAV, 2006). U motornom vozilu vibracije ruku se javljaju kod vozača usled kontakta pre svega sa upravljačem, ali i sa drugim komandama (npr. menjač).

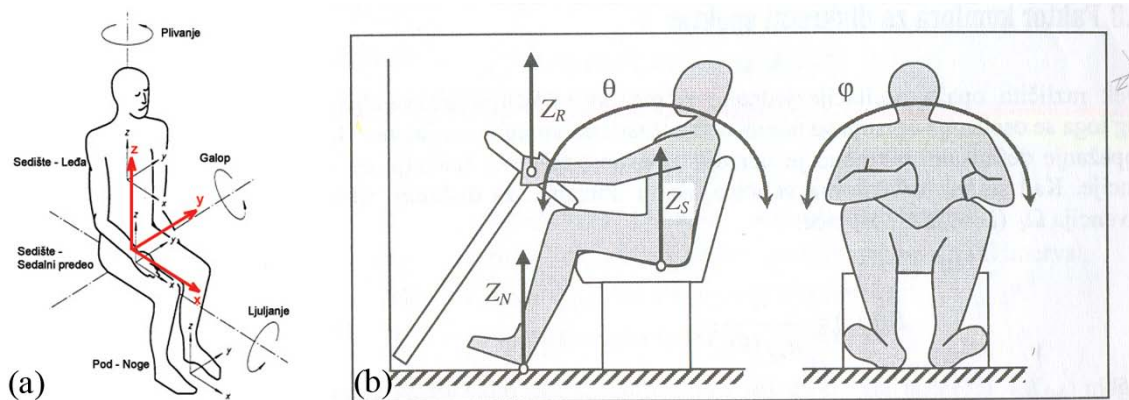
Lokalne vibracije su posebno interesantne u frekventnom opsegu od 8 do 1000 Hz i prouzrokuju oboljenja krvnih sudova, zglobova, kostiju i mišića, neurološke poremećaje i poremećaje centralnog nervnog sistema. Najpoznatiji štetni uticaj vibracija koje deluju na ruke poznat je kao Raynaud-ova bolest ili “beli prsti”, a nastaje usled oboljenja krvnih sudova prstiju šake. Istraživanja Medical Research Council-a tokom 1998/99 godine pokazuju da približno 288.000 ljudi u Velikoj Britaniji boluje od Raynaud-ovog

sindroma. Posledica ovoga je veliki broj izgubljenih radnih dana koji se kreće do 300.000 dana po godini (European Agency for Safety and Health at Work, 2008.).

Treba istaći da vibracije celog tela deluju i na pojedine delove tela, ali isto tako i vibracije segmenata tela izazivaju vibracije celog tela.

Uticao vibracija na telo čoveka zavisi od mesta i pravca dejstva, frekvencije, jačine, vremena izlaganja vibracijama i tipa vibracija (harmonijske, slučajne i udarne). Uticaj kratkotrajnih udarnih vibracija opasniji po zdravlje čoveka u poređenju sa dejstvom slučajnih vibracija (Sandover, 1998).

Na slici 2.2 prikazana su mesta delovanja vibracija na telo putnika i telo vozača u vozilu. Vibracije se prenose od poda vozila na noge putnika, na sedalni predeo preko sedišta i na leđa preko naslona za sedišta. Na telo vozača deluju i vibracije koje se prenose od upravljača na ruke (slika 2.2(b)). Na telo putnika i vozača deluju i ugaone (obrtne) vibracije koje se prenose sa njihovih sedišta.



Izvor: Standard ISO 2631, 1997; Dedović, 2004.

Slika 2.2. Mesto prijema vibracija u vozilu za a) putnika i b) vozača

U ovom radu će prilikom određivanja komfora putnika i vozača u obzir biti uzete translatorne vibracije koje deluju na celo telo, a koje se prenose preko njihovih sedišta. Ovakve vibracije imaju najveće intezitete, pa shodno tome i najveći negativni uticaj na njihova tela (Griffin, 2007).

2.3. Efekti dejstva vibracija na čoveka

I pored velikog broja istraživanja u kojima su proučavani efekti dejstva vibracija na čoveka potpuno precizna uzročno-posledična veza nije utvrđena. Osnovni razlog za to je značajan broj faktora koji, osim vibracija, imaju uticaj na razmatrane efekte. Iznalaženje tačne uzročno-posledične veze se još više komplikuje ako se ima u vidu da pojedini faktori ne deluju nezavisno već u sadejstvu sa vibracijama. Uopšteno posmatrano, faktori se mogu podeliti na unutrašnje i spoljašnje. U unutrašnje faktore ubrajaju se ergonomske parametri čoveka (visina, masa tela i dr.), zatim položaj tela, pol i starost, fizička kondicija i sl. Pod spoljašnjim faktorima se podrazumevaju parametri mikroklimе (vlažnost, temperatura, itd.), buka, oscilatorne karakteristike sedišta i sl.

Bez obzira na prethodno rečeno, rezultati sprovedenih studija ukazuju da vibracije mogu da prouzrokuju određene poremećaje kako fizioloških tako i psiholoških funkcija čoveka. Fiziološki uticaji vibracija se odnose na promene fiziološkog stanja čoveka. Kod psiholoških uticaja naročito je važan uticaj na kognitivne procese. Značajan uticaj vibracije imaju i na performanse praćenja i vidne funkcije.

2.3.1. Fiziološki uticaj vibracija

Fiziološki uticaj vibracija se ogleda u mnogostrukim promenama fiziološkog stanja čovekovog organizma. One se odnose na biohemijske promene, organske promene koje su u vezi sa neurovegetativnim smetnjama i kardiovaskularnim oboljenjima, mišićno-koštani poremećaji i sl.

Dejstvo vibracija izaziva biohemijske promene (hormonalne, mokraćna kiselina, nivoi enzima, gastrične sekrecije i dr). Utvrđeno je da su, iako prisutne, ove promene u okvirima normalnih fizioloških granica.

Neurovegetativne reakcije su zapažene pri dejstvu vibracija niskih frekvencija i ogledaju se kao pojava vrtoglavice, mučnine i sl. Vibracije imaju takođe uticaj i na rad srca i krvni pritisak. U (Hedberg i ostali, 1991) navodi se da je u Švedskoj rizik za određene tipove kardiovaskularnih bolesti (npr. infarkt miokarda) više od tri puta veći za profesionalne vozače u odnosu na radnike koji nisu izloženi vibracijama.

Mišićno-koštani poremećaji kao što su povrede leđa i bolovi u leđima (posebno bol u donjem delu leđa ili lumbosakralni bol), deformacije intervertebralnog diskusa, oštećenja kičmenih pršljenova i osteoartritis su povezani sa dejstvom vibracija. Zaključci analize velikog broja epidemioloških istraživanja, koja su sprovedena u vremenskom periodu od 1986. do 1997. godine, jasno ukazuju na povećani rizik od oboljenja donjeg dela leđa radnika koji su izloženi vibracijama celog tela (Bovenzi i Hulshof, 1999).

Kada je reč o segmentalnim vibracijama, konkretno o vibracijama ruku, vredi napomenuti dva dobro poznata fenomena, Rayand-ovu bolest i sindrom karpalnog tunela.

Vibracije koje deluju na šaku i ruku mogu izazvati skupljanje krvnih sudova, što dalje rezultira u smanjenju dotoka krvi u šakama i prstima. Ovakav poremećaj nastaje usled duže upotrebe vibracionih alata i naziva se Rayand-ov fenomen ili vibracijski beli prst.

Sindrom karpalnog tunela je specifičan poremećaj (karpalnog tunela), koji se javlja kao rezultat kompresije medijalnog nerva, koji prolazi kroz karpalni tunel u ručnom zglobu (EU Good Practice Guide HAV, 2006). Simptomi mogu biti utrnulost i ukočenost šake, kao i gubitak snage i spretnosti šake.

2.4. Percepcija vibracija

Čovek je fiziološki i mehanički sistem koji sa okolinom komunicira preko čula. Na čula deluju različiti draži (stimulusi) iz spoljašnje sredine. Draži predstavljaju različite fizičke i hemijske energije. Delovanjem draži određene jačine javlja se opažanje (percepcija). Opažanje, odnosno percepcija se može definisati kao psihički proces kojim se postaje neposredno svestan predmeta i pojava iz okoline (Milošević, 1981).

Izučavanje percepcije vibracija, bilo celog tela ili segmenta tela, značajno je iz više razloga. Pre svega, standardi za vrednovanje dejstva vibracija na telo čoveka i ruke se zasnivaju na percepciji jačine vibracija. Osim toga, percepcija apsolutnog praga vibracija koje deluju na ruke može biti jedan od pokazatelja pojave vibracione bolesti šake i ruke (Nakashima i Cheung, 2006).

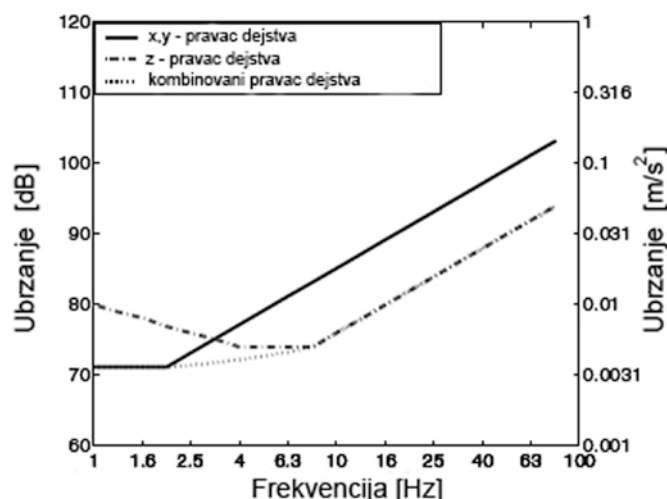
2.4.1. Prag opažanja vibracija celog tela

Različita čula osetljiva su na različite energije. Dva čovekova čula (čulo sluha i čulo dodira) osetljiva su na mehaničke oscilacije (vibracije).

Da bi čula reagovala na nadražaj, odnosno, fizičku energiju, potrebno je da nadražaj ima odgovarajuću jačinu. Na suviše slabe nadražaje čula ne reaguju. Najmanja jačina fizičkog nadražaja koja može da izazove čulni doživljaj naziva se apsolutni prag nadražaja. Apsolutni prag nadražaja zavisi od same prirode nadražaja i stanja organizma. Za apsolutni prag nadražaja uzima se, najčešće, ona veličina koja se opaža u polovini slučajeva.

Kada je reč o mehaničkim vibracijama, apsolutni prag nadražaja se može analizirati i odrediti u odnosu na različite pravce dejstva vibracija, različite frekvencije vibracija, kao i za različite položaje tela (stojeći, sedeći ili ležeći).

U standardu ISO 2631 definisani su pragovi opažanja za vibracije koje deluju u pravcu x , y i z -ose za frekventni opseg od 1 Hz do 80 Hz i to za vibracije celog tela. Pomenuti pragovi opažanja predstavljeni su na slici 2.3 (Bellman, 2005). Tačkastom linijom dat je prag opažanja za kombinovane vibracije (vibracije koje istovremeno deluju u više pravaca).



Izvor: Bellman, 2005.

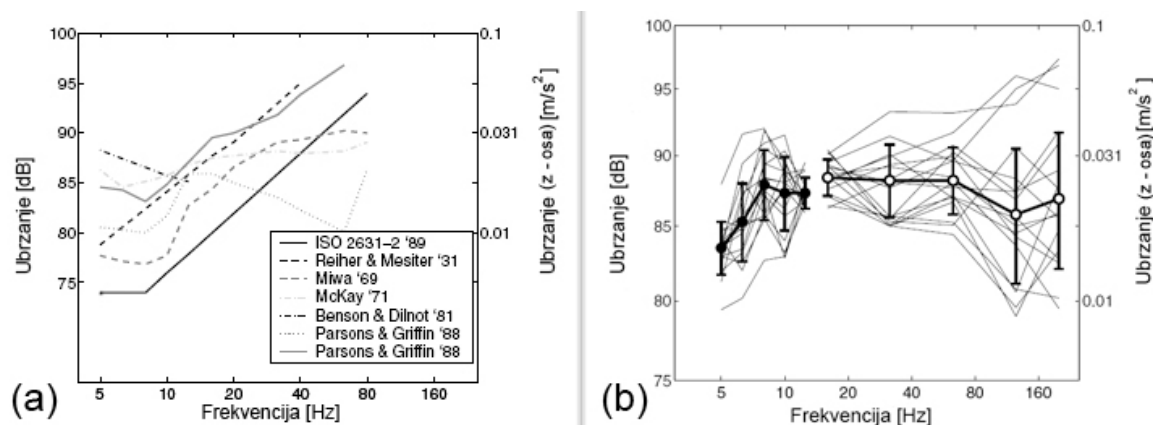
Slika 2.3. Pragovi opažanja vibracija za horizontalni, vertikalni i kombinovani pravac dejstva prema standardu ISO 2631

Prema slici 2.3, prag opažanja za horizontalne vibracije (x,y -pravac) je konstantan za frekventni opseg od 0.1 Hz do 2 Hz i iznosi 0.0036 m/s^2 . Na frekvencijama iznad 2 Hz

prag opažanja raste i to približno 6 dB po oktavi. Najniži prag opažanja za vertikalne vibracije (z-pravac) je u frekventnom opsegu od 4 Hz do 8 Hz. Sa porastom frekvencije, za vibracije manje od 4 Hz, prag opažanja opada za 6 dB po oktavi. Obrnut je slučaj za vibracije iznad 8 Hz. Sa slike 2.3 se uočava i da je, iznad 3 Hz, prag opažanja za vertikalne vibracije niži u odnosu na horizontalne vibracije.

Osim onih definisanih u pomenutom standardu, pragove opažanja vibracija su merili i drugi istraživači - Reiher i Mesiter, Miwa, McKay, Benson i Dilnot, Parsons i Griffin (Bellman, 2005). Na slici 2.4(a) predstavljeni su pragovi opažanja navedenih autora za vertikalne harmonijske vibracije celog tela u frekventnom opsegu od 5 Hz do 80 Hz. Sa slike se jasno uočava da se pragovi opažanja razlikuju. Razlike u vrednostima pragova, prema (Bellman, 2005), potiču od različitih psihofizičkih metoda korišćenih za utvrđivanje pragova, nejednakog vremena trajanja stimulusa pri utvrđivanju praga i dr.

Zbog toga što su tela ljudi različito osetljiva na vibracije, postoji značajna razlika u pragu opažanja vibracija. Na slici 2.4(b) su navedeni rezultati istraživanja pragova opažanja vertikalnih harmonijskih vibracija za 17 subjekata u sedećem položaju. Značajna razlika u pragovima je naročito izražena na višim frekvencijama (Bellman, 2005).



Izvor: Bellman, 2005.

Slika 2.4. Pragovi opažanja vertikalnih vibracija celog tela a) prema različitim izvorima i b) za 17 subjekata

2.4.2. Opažanje komfora

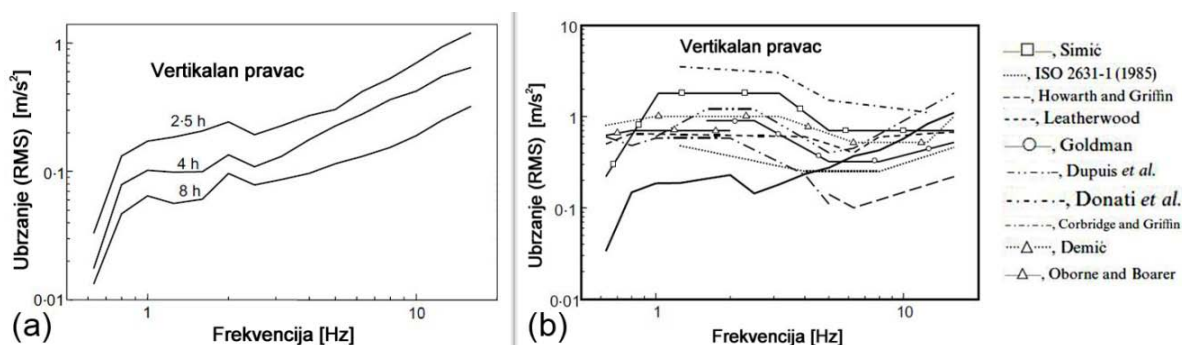
Za potpunije razumevanje uticaja vibracija na čoveka, osim navedenih faktora, potrebno je uzeti u obzir i tip vibracija. Razlikuju se harmonijske, poliharmonijske i stohastičke

(slučajne) vibracije. Ove vibracije se značajno razlikuju po spektralnom sastavu, odnosno po frekvencijama i jačinama harmonijskih komponenata koje ulaze u njihov sastav. Telo čoveka je u najvećem broju slučajeva izloženo dejstvu stohastičkih vibracija.

U (Demić i ostali, 2002) određene su krive jednakog opažanja komfora za slučaj stohastičke pobude u vertikalnom pravcu za frekventni opseg od 0.63 Hz do 16 Hz. Ispitivanje je obavljeno na 30 ispitanika. Vreme izlaganja ispitanika vibracijama bilo je 75 sekundi, a od ispitanika se zahtevalo da procene nivo vibracija kojima mogu biti izloženi 2.5 h, 4 h i 8 h, a da im se ne ugrozi komfor. Za pobudni signal određene su *rms* vrednosti ubrzanja za svaku centralnu frekvenciju tercnih opsega za pomenuti frekventni opseg.

Na slici 2.5(a) date su osrednjene linije jednakog opažanja komfora ispitanika za vremena izlaganja od 2.5 h, 4 h i 8 h. Uočava se da su, za pobudni stohastički signal u vertikalnom pravcu, ispitanici najviše osetljivi na niske frekvencije (ispod 1 Hz), a da su najmanje osetljivi na frekvencije iznad 5 Hz.

Na slici 2.5(b) uporedno su prikazane krive jednakog opažanja komfora za slučajnu pobudu u vertikalnom pravcu prema istraživanju (Demić i ostali, 2002) i za harmonijsku pobudu u vertikalnom pravcu prema ISO 2631 (1985), za vreme izlaganja od 2.5 h. Na slici 2.5(b), takođe, su date krive jednakog opažanja komfora za slučajnu pobudu (Donnati, Demić i Leatherwood) i za harmonijsku pobudu (ostali autori).



Izvor: Demić i ostali, 2002.

Slika 2.5. Krive jednakog opažanja komfora za a) stohastičku pobudu u vertikalnom pravcu i b) stohastičku i harmonijsku pobudu u vertikalnom pravcu

U tabeli 2.2 su prikazana opažanja komfora putnika javnog gradskog prevoza za različite jačine vibracija prema standardu ISO 2631 (1997), utvrđena laboratorijskim ispitivanjima. Očigledno je da se sa povećanjem jačine vibracija komfor putnika smanjuje (Marjanen i Nevala, 2003).

Tabela 2.2. Opažanje komfora putnika prema ISO 2631 (1997)

Jačina vibracija [m/s ²]	Opažanje komfora
< 0.315	komforno
0.315 - 0.63	malo neudobno
0.5 - 1.0	prilično neudobno
0.8 - 1.6	neudobno
1.25 - 2.5	vrlo neudobno
> 2.0	izrazito neudobno

Izvor: Standard ISO 2631, 1997.

Istraživanje (Hassan i McManus, 2001) je pokazalo da su profesionalni vozači manje osetljivi na jačine vibracije iz tabele 2.2. Kao objašnjenje navode se dva razloga. Prvo, vozači opažaju prepreke na putu i pripremljeni su za poremećaje koji dopiru do njihovih tela (prigušena su pomeranja unutrašnjih organa povećanjem mišićnog tonusa). Drugo, upravljač omogućava vozaču da umiri ugaona pomeranja oko poprečne ose i translatorna pomeranja (napred-nazad) tela.

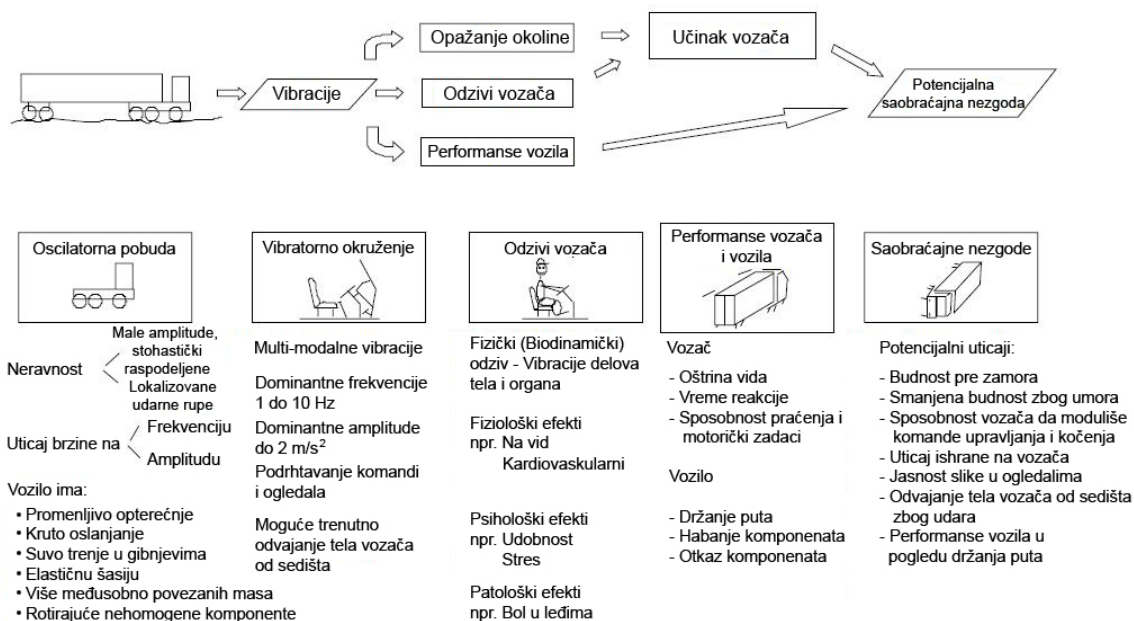
U (Granlund, 2008) navodi se da opažanju komfora putnika u realnim uslovima vožnje odgovaraju veći inteziteti vibracija u odnosu na opažanje istog nivoa komfora u laboratorijskim ispitivanjima. Ovo se objašnjava prisustvom brojnih stimulansa koji u realnim uslovima vožnje utiču na pažnju putnika.

2.5. Uticaj vibracija na komfor i bezbednost saobraćaja

Iako uticaj vibracija, koje deluju u radnom okruženju vozača, na pojavu saobraćajne nezgode nije naučno potvrđen, postoje pokušaji da se elementi koji posreduju u toj vezi sagledaju i objasne.

Sredinom sedamdesetih godina u SAD sprovedno je opširno petogodišnje istraživanje pod nazivom "Oscilatorni komfor komercijalnih motornih vozila i uticaj vibracija na

vozačeve performanse“ sa ciljem da se utvrdi uticaj vibracija na zdravlje vozača i bezbednost saobraćaja. Rezultati istraživanja sumirani su u izveštaju “Vibracije kabine teretnih vozila i bezbednost na autoputevima“ (Campbell i ostali, 1982). Utvrđeno je da postoji korelacija između vibracija kabine vozača teretnog vozila i bezbednosti saobraćaja. U izveštaju se navodi da vibracije treba otkloniti efikasnim održavanjem puteva. Takođe, u izveštaju se zaključuje da ako se nastavi dalje pogoršanje stanja putne mreže, rezultat će biti ugroženo zdravlje vozača i pogoršanje bezbednosti saobraćaja usled dejstva vibracija.



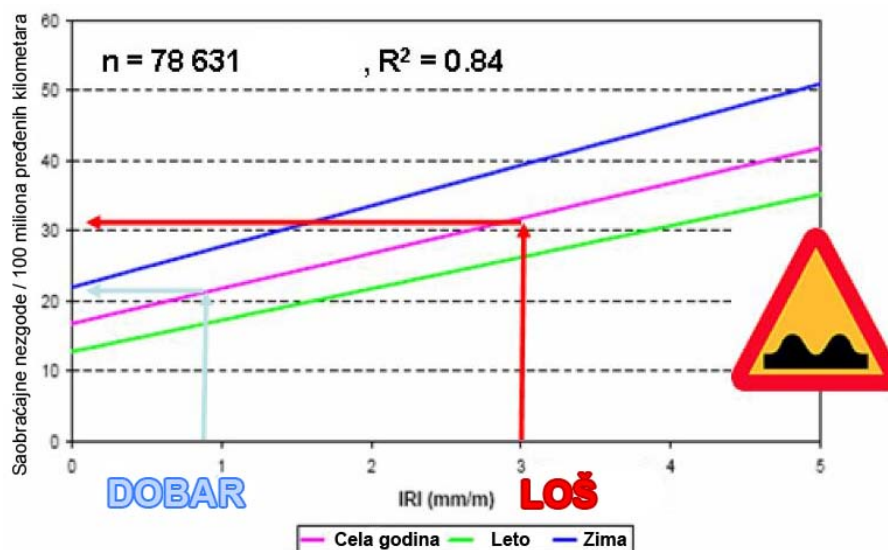
Izvor: Campbell i ostali, 1982.

Slika 2.6. Primarni elementi vibracija i mogućnost nastanka saobraćajne nezgode

Na slici 2.6 prikazani su primarni elementi koji čine vezu između vibracija teretnih vozila i bezbednosti saobraćaja. Fiziološki uticaji (kardiovaskularne bolesti) i psihološki efekti (stres) zbog dejstva vibracija koje se navode u (Campbell i ostali, 1982) su u skladu sa rezultatima istraživanja (Hedberg i ostali, 1991). U (Hedberg i ostali, 1991) navodi se da vibracije utiču na mortalitet usled ishemijske bolesti srca i da utiču na povećanje nivoa hormona stresa kod čoveka.

Istraživanje (Ihs i ostali, 2002) sprovedeno u Švedskoj ukazuje na pozitivnu korelaciju između neravnosti kolovoza (tj. oscilatornog komfora) i broja saobraćajnih nezgoda (rizik učešća u saobraćajnoj nezgodi), slika 2.7. Na putevima sa lošom podlogom, kod

kojih je Međunarodni indeks neravnina (International Roughness Index - IRI) veći od 3 mm/m, stopa saobraćajnih nezgoda je za 50% veća nego na putevima sa dobrom podlogom (IRI manji od 0.9 mm/m). U (Ihs i ostali, 2002) navodi se da je za izrazito loše podloge (IRI veći od 10 mm/m) stopa saobraćajnih nezgoda veća nego što to pokazuje linearna zavisnost na slici 2.7.



Izvor: Ihs i ostali, 2002.

Slika 2.7. Zavisnost stope saobraćajnih nezgoda u funkciji od kvaliteta kolovoza

Sa slike 2.7 se uočava da je, zbog smanjenog koeficijenta prijanjanja i smanjene vidljivosti na putevima, stopa saobraćajnih nezgoda na putevima veća u zimskom nego u letnjem periodu (Ihs i ostali, 2002).

3. Vrednovanje dejstva vibracija i preventivne mere

Dejstvo vibracija ima negativan uticaj na čoveka. Najopštije posmatrano, negativan uticaj vibracija se ispoljava kroz uticaj na smanjenje komfora, radne sposobnosti i ugrožavanja zdravlja. Sprečavanje ili ublažavanje negativnih uticaja vibracija moguće je postići primenom adekvatnih mera. Ali pre toga, potrebno je sprovesti odgovarajuća merenja kako bi se odredio i kvantifikovao nivo izloženosti vibracijama. Postupak i metod merenja dejstva vibracija propisuju različiti standardi - ISO 2631², BS 6841³, VDI 2057-1, DIN 4150⁴, ANSI S3.18⁵, AS 2670.1⁶.

U ovom delu u kratkim crtama biće izložen postupak i veličine za vrednovanje dejstva vibracija na komfor čoveka tri često korišćena standarda BS 6841, VDI 2057 i ISO 2631. Među najpoznatijima i najčešće korišćenim standardima je međunarodni standard ISO 2631, pa će više pažnje u ovom delu biti posvećeno ovom standardu. Ovaj standard je predstavljao i osnovu za nastanak ostalih standarda. U ovom radu komfor korisnika autobusa je određen prema postupku i veličinama koji su propisani u standardu ISO 2631.

3.1. Standard BS 6841

BS 6841 - Measurement and evaluation of human exposure to whole-body mechanical vibration and repeated shock je Britanski standard. Uticaj vibracija na percepciju, komfor i zdravlje standard razmatra u frekventnom opsegu od 0.5 Hz do 80 Hz. Osnovna veličina za kvantifikovanje vibracija i procenu uticaja na telo čoveka je ukupna srednja efektivna vrednost (*rms*) vrednovanog ubrzanja, izraz [3.1].

$$a_v = (\ddot{x}_{rms,w}^2 + \ddot{y}_{rms,w}^2 + \ddot{z}_{rms,w}^2)^{1/2} \quad [3.1]$$

² Internacionalna organizacija za standardizaciju (ISO) je objavila ovaj standard 1974 godine. Od tog vremena do danas standard je, u skladu sa kritikama, pretrpeo ozbiljne revizije, ali je koncepcija standarda ostala ista;

³ BS 6841 je Britanski standard;

⁴ VDI 2057-1, DIN 4150 su Nemački standardi;

⁵ ANSI S3.18 je Američki nacionalni standard;

⁶ AS 2670.1 je Australijski standard;

gde je:

a_v - ukupna vrednost srednjeg efektivnog ubrzanja na mestima prijema vibracija (m/s^2);

$\ddot{x}_{rms,w}$, $\ddot{y}_{rms,w}$, $\ddot{z}_{rms,w}$ - srednja efektivna vrednost vrednovanog ubrzanja za pravce x , y , z osa (m/s^2);

Srednje efektivne vrednosti vrednovanog ubrzanja za pravce x , y i z -osa, određuju su prema izrazima [3.2], [3.3] i [3.4].

$$\ddot{x}_{rms,w} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \ddot{x}_{w_i}^2} \quad [3.2]$$

$$\ddot{y}_{rms,w} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \ddot{y}_{w_i}^2} \quad [3.3]$$

$$\ddot{z}_{rms,w} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \ddot{z}_{w_i}^2} \quad [3.4]$$

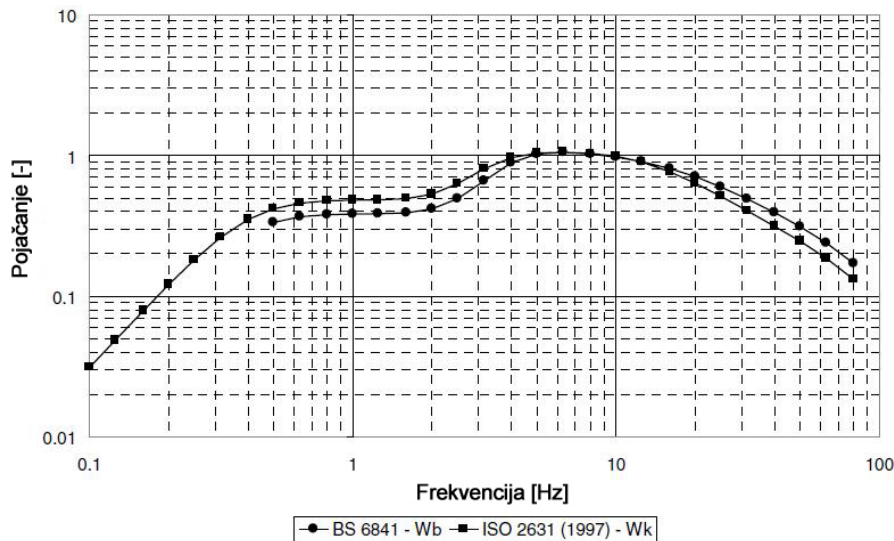
gde je:

$\ddot{x}_{rms,w}$, $\ddot{y}_{rms,w}$, $\ddot{z}_{rms,w}$ - srednje efektivne vrednosti vrednovanog ubrzanja za pravce x , y i z osa na mestima korisnika (m/s^2);

\ddot{x}_{w_i} , \ddot{y}_{w_i} , \ddot{z}_{w_i} - i -ti uzorak vrednovanih ubrzanja korisnika za pravce x , y i z osa (m/s^2);

N - broj uzoraka signala vrednovanih ubrzanja;

Vrednovani signali ubrzanja dobijaju se propuštanjem signala ubrzanja kroz odgovarajuće filtere. Karakteristike filtera zavise od pravca i mesta dejstva vibracija i efekta vibracija (zdravlje, aktivnosti, komfor, percepcija i morska bolest) koji se procenjuje na telo čoveka. Na primer, za procenu uticaja vibracija, koje se prenose sa sedišta na telo čoveka, na komfor koristi se filter W_d (za pravce x i y -osa) i filter W_b (za pravac z -ose) . Standard ISO 2631 (1997) umesto filtera W_b koristi filter W_k (slika 3.1).



Izvor: Els, 2005.

Slika 3.1. Filteri za vrednovanje vertikalnih ubrzanja vibracija za telo čoveka u sedećem položaju, prema BS 6841 i ISO 2631 (1997)

3.2. Standard VDI 2057

VDI⁷ 2057-1 *Human exposure to mechanical vibrations - Whole-body vibration* je Nemački standard kojeg je 1963. godine objavilo društvo Nemačkih Inženjera. Standard VDI 2057 razmatra uticaj vibracija na percepciju, komfor i zdravlje u frekventnom opsegu od 1 Hz do 80 Hz. Standard definiše veličinu *indeks oscilatornog komfora-K* čija se proračunata vrednost poredi sa subjektivnim ocenama komfora. U standardu VDI 2057 od 1979. godine počinju da se primenjuje i koncept krivih jednakog zamaranja za vrednovanje dejstva vibracija iz standarda ISO 2631 (1978). Signal ubrzanja se prevodi u frekventni domen pomoću brze Furijeove transformacije (FFT), proračunavaju se *rms* vrednosti ubrzanja za svaku centralnu frekvenciju tercnih opsega. Zatim se ubrzanje vrednuje težinskim faktorima za svaki terčni opseg i proračunavaju se vrednosti indeksa *K*. Za proračun vrednosti *indeksa oscilatornog komfora - K*, za npr. *z*-osu, koriste se izrazi [3.5], [3.6] i [3.7].

$$K_z = 10 \cdot a_z \cdot \sqrt{f} \quad \text{za} \quad 1 \leq f \leq 4[\text{Hz}] \quad [3.5]$$

⁷ VDI (Verein Deutscher Ingenieure)

$$K_z = 20 \cdot a_z \quad \text{za} \quad 4 \leq f \leq 8 \text{ [Hz]} \quad [3.6]$$

$$K_z = 160 \cdot a_z \cdot f \quad \text{za} \quad 8 \leq f \leq 80 \text{ [Hz]} \quad [3.7]$$

Prorčunate vrednosti za K_z se zatim ucrtavaju u dijagrame za određivanje dozvoljenog vremena izlaganja vibracijama koje deluju u vertikalnom pravcu. Dijagrami sa krivama jednakog zamaranja iz standarda VDI 2057 slični su dijagramima iz standarda ISO 2631 (1985).

3.3. Standard ISO 2631

Međunarodni standard *ISO 2631 Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration* propisuje metode za merenje, kvantifikovanje i vrednovanje dejstva vibracija na telo čoveka. Za analizu uticaja dejstva vibracija koriste se dve verzije ovog standarda, ISO 2631 (1997) i ISO 2631 (1985).

Standard ISO 2631 (1997) definiše metode za kvantifikovanje vibracija celog tela čoveka i procenu dejstva vibracija na zdravlje, komfor, percepciju i pojavu morske bolesti kod čoveka.

Standard ISO 2631 (1985) propisuje dozvoljeno vreme izlaganja korisnika vibracijama sa aspekta ugroženog komfora, ugrožene radne sposobnosti i ugroženog zdravlja. Za procenu dozvoljenog vremena izlaganja koriste se dijagrami sa krivama jednakog zamaranja.

U novijoj verziji standarda ISO 2631 (1997) predstavljeni su novi pristupi za ocenu uticaja vibracija na komfor i zdravlje čoveka. Naime, koncept krivih jednakog zamaranja u novijem standardu se više ne koristi, a uvedni su kriterijumi za procenu uticaja vibracija na komfor. Novija istraživanja pokazala su da uticaj vibracija na komfor ne zavisi od vremena izlaganja vibracijama, naročito pri kratkim vremenskim intervalima izlaganja (Internacionalna organizacija za standardizaciju, 1997).

Takođe, u standardu ISO 2631 (1997) ne analizira se uticaj vibracija na radnu sposobnost, definišu se novi težinski koeficijenti (tj. filteri) za vrednovanje ubrzanja

(npr. za vrednovanje vertikalnih ubrzanja na sedištu, standard ISO 2631 (1997) koristi filter W_k , a standard ISO 2631 (1985) filter W_z) i dr.

3.3.1. Kvantifikovanje vibracija i vrednovanje dejstva vibracija na komfor prema Standardu ISO 2631 (1997)

Slično standardu BS 6841, standard ISO 2631 (1997) propisuje ukupnu vrednost srednjih efektivnih vrednovanih ubrzanja kao osnovnu veličinu za procenu uticija vibracija na komfor, izraz [3.8].

$$a_v = ((k_x \cdot \ddot{x}_{rms,w})^2 + (k_y \cdot \ddot{y}_{rms,w})^2 + (k_z \cdot \ddot{z}_{rms,w})^2)^{1/2} \quad [3.8]$$

gde je:

a_v - ukupna vrednost srednjeg efektivnog ubrzanja na sedištu (m/s^2);

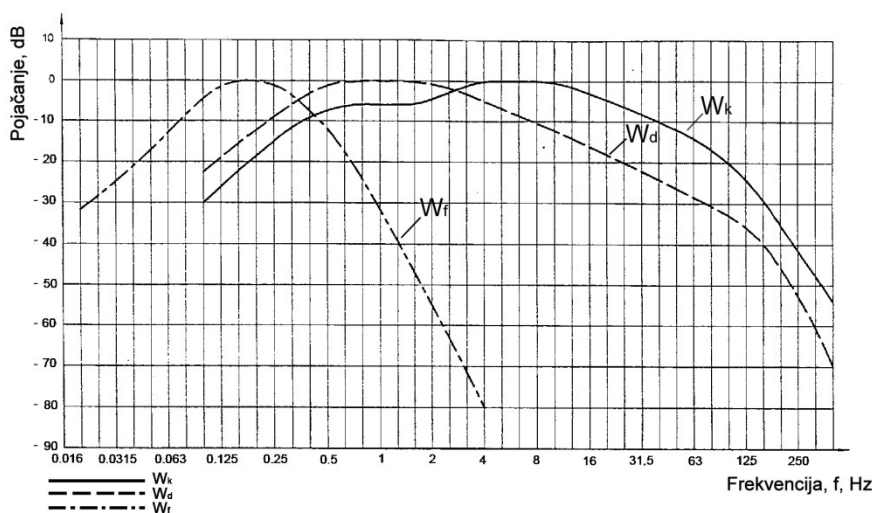
$\ddot{x}_{rms,w}, \ddot{y}_{rms,w}, \ddot{z}_{rms,w}$ - srednja efektivna vrednost vrednovanog ubrzanja za pravce x, y i z osa (m/s^2) (određuju se prema izrazima [3.2], [3.3] i [3.4]);

k_x, k_y, k_z - množeći faktori za *rms* vrednosti vrednovanih ubrzanja za pravce x, y i z osa;

Vrednosti faktora k_x, k_y i k_z za procenu uticaja vibracija na komfor, jednaki su jedinici (ISO 2631, 1997).

Telo čoveka nije podjednako osetljivo na vibracije istih amplituda, a različitih frekvencija. Zbog toga standard ISO 2631 preporučuje upotrebu filtra za vrednovanje ubrzanja. Za ocenu uticaja vibracija na komfor, radnu sposobnost i zdravlje za vibracije koje se preko sedišta prenose na telo korisnika koriste se filteri W_k i W_d (slika 3.2). Filter W_k koristi se za vrednovanje ubrzanja u vertikalnom pravcu, a filter W_d za vrednovanje horizontalnih ubrzanja (ubrzanja za pravce x i y -osa). Na slici 3.2 je, takođe, prikazan filter W_f za vrednovanje vertikalnih ubrzanja korisnika na sedištimima za slučajeve pobuda niskih frekvencija, odnosno za ocenu uticaja vibracija na pojavu morske bolesti kod korisnika. Funkcije kojima su opisani filteri W_k i W_d dati su u (Standard ISO 2631, 1997). Na osnovu analitičkih izraza iz Standarda ISO 2631 (1997) u ovom radu su

definisani potprogrami za vrednovanje ubrzanja koja se sa sedišta prenose na tela korisnika autobusa u programskom paketu *Matlab* (prilog4).



Izvor: Standard ISO 2631, 1997.

Slika 3.2. Filteri za vrednovanje horizontalnih i vertikalnih ubrzanja, prema ISO 2631 (1997)

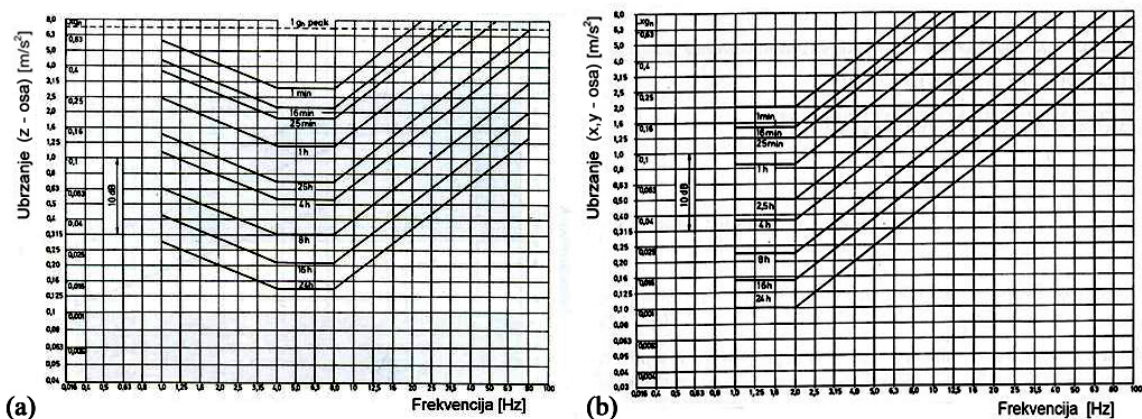
Navedeni filteri za vrednovanje, u suštini, odslikavaju osetljivost čovekovog tela na vibracije u zavisnosti od frekvencija. Na primer, telo čoveka je najosetljivije na vertikalna ubrzanja u frekventnom opsegu od 4 Hz do 8 Hz. Izvan tog opsega osetljivost opada i to sa smanjivanjem frekvencije ispod 4 Hz i sa povećavanjem frekvencija iznad 8 Hz. Shodno tome moduo prenosne funkcije filtera W_k za frekvencije od 4 Hz do 8 Hz jednak je jedinici, odnosno 0 dB (slika 3.2).

Standard ISO 2631 (1997) propisuje kriterijume udobnosti u sredstvima javnog prevoza (tabela 2.2). U ovom radu procena komfora korisnika obavljena je prema kriterijumima iz tabele 2.2.

3.3.2. Kvantifikovanje vibracija i vrednovanje dejstva vibracija na komfor prema Standardu ISO 2631 (1985)

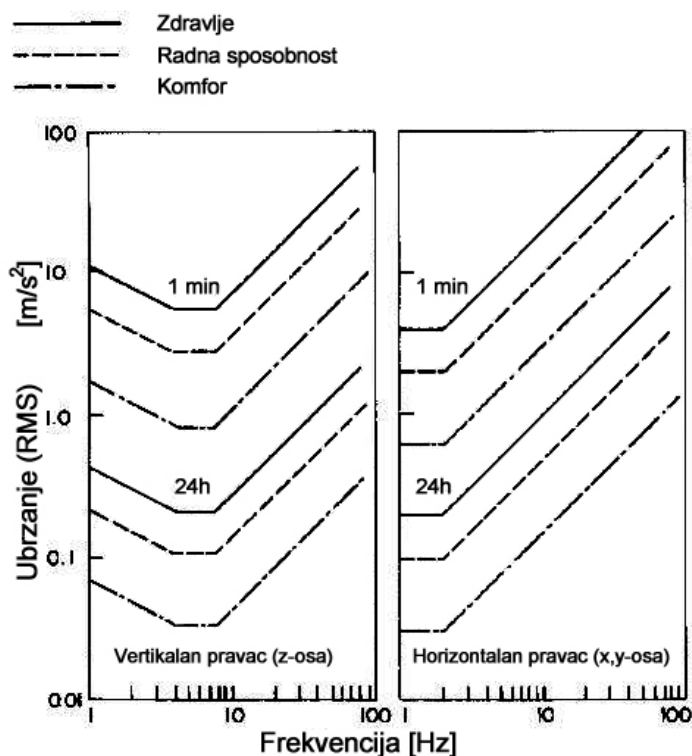
Standard 2631 (1985) propisuje krive jednakog zamaranja za određivanje dozvoljenog vremena izlaganja u odnosu na kriterijume ugroženog komfora, ugrožene radne sposobnosti i ugroženog zdravlja. Na (slici 3.3) prikazane su krive jednakog zamaranja za kriterijum ugrožene radne sposobnosti za vibracije koje deluju u vertikalnom pravcu

(duž z -ose) i horizontalnom pravcu (duž x i y -osa). Krive za vrednovanje komfora i zdravlja imaju isti oblik, ali su niže za 10 dB, odnosno više za 6 dB u odnosu na krive za radnu sposobnost (slika 3.4).



Izvor: Standard ISO 2631, 1985.

Slika 3.3. Krive za vrednovanje dejstva vibracija a) u vertikalnom pravcu i b) u horizontalnom pravcu



Izvor: Griffin, 1978.

Slika 3.4. Linije jednakog zamaranja za komfor, radnu sposobnost i zdravlje, prema ISO 2631 (1985)

Da bi se odredilo dozvoljeno vreme izlaganja potrebno je za svaki terčni opseg, za frekventni interval od 0.5 Hz do 80 Hz, odrediti *rms* vrednost signala ubrzanja. Širine terčnih intervala Δf_i za centralne frekvencije f_i računaju se prema izrazu [3.9]

$$\Delta f_i = f_{Ri} - f_{Li} \quad [3.9]$$

gde je:

f_{Li} – leva granica tercnog opsega za centralnu frekvenciju f_i (Hz) i

f_{Ri} – desna granica tercnog opsega za centralnu frekvenciju f_i (Hz);

Leva i desna granica terčnih opsega određuju se prema izrazima [3.10] i [3.11]

$$f_{Li} = 0.89 \cdot f_i \quad [3.10]$$

$$f_{Ri} = 1.26 \cdot f_{Li} = 1.12 \cdot f_i \quad [3.11]$$

RMS vrednosti ubrzanja se vrednuju faktorima vrednovanja W_i , izraz [3.12]. Vrednosti faktora W_i za centralne frekvencije, za vertikalne i horizontalne vibracije, date su u (ISO 2631, 1985).

$$a_{wi} = W_i \cdot a_{rms_i} \quad [3.12]$$

gde je:

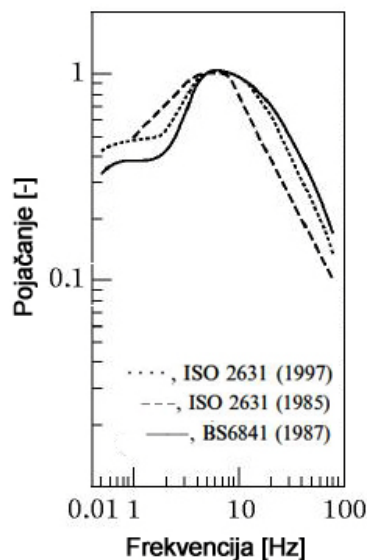
a_{wi} - vrednovana *rms* ubrzanja za centralne frekvencije terčnih opsega (m/s^2);

W_i - faktori vrednovanja za pojedine terčne opsege (-) i

a_{rms_i} - *rms* vrednosti ubrzanja za pojedine terčne opsege (m/s^2).

Vrednovane *rms* vrednosti ubrzanja a_{wi} ucrtavaju se u dijagrame za svaku centralnu frekvenciju f_i . Najveća vrednost ubrzanja u dijagramu definiše dozvoljeno vreme izlaganja vibracijama.

Na slici 3.5 uporedno su prikazani filteri W_k , W_z i W_b za vrednovanje vertikalnih ubrzanja na sedištu prema standardima ISO 2631 (1997), ISO 2631 (1985) i BS 6841 (1987).



Izvor: Griffin, 2002.

Slika 3.5. Filteri za vrednovanje vertikalnih ubrzanja, prema ISO 2631 (1997), ISO 2631 (1985) i BS 6841 (1987)

3.4. Preventivne mere za smanjenje dejstva vibracija na telo čoveka

Preventivne mere za smanjenje negativnih uticaja dejstva vibracija se, u najopštijem slučaju, mogu podeliti u tri grupe: mere koje deluju na samom izvoru nastanka vibracija, mere koje deluju na “putevima“ prenosa vibracija od izvora do prijemnika (tela čoveka) i mere koje deluju na mestu prijema vibracija. Najefikasniji način kontrole vibracija postiže se pomoću mera koje deluju na sam izvor nastanka vibracija. Međutim, ovakve mere nekada nije moguće sprovesti. U tom slučaju primenjuju se mere iz druge grupe. Ublažavanje dejstva vibracija ove mere postižu gušenjem vibratorne energije i izolacijom vibracija. Treća grupa mera se primenjuje onda kada mera iz prve dve grupe ne daje željene efekte. Karakteristične mere iz ove grupe su mere lične zaštite (antivibracione cipele i antivibracione rukavice) (Veličković, 1990.).

Smanjenje negativnih uticaja dejstva vibracija na korisnike vozila u drumskom transportu (vozači i putnici) moguće je postići pomoću niza mera. One se mogu posmatrati u odnosu na gore navedene grupe mera.

Osnovni i primarni izvor vibracija motornog vozila su neravnosti kolovoza. Njihovo dejstvo se značajno može umanjiti građevinskim merama. Međutim, ma koja se tehnologija pri tome koristila ne može se napraviti idelano ravan kolovoz, tako da su neravnine kolovoza kao izvor vibracija uvek prisutne. Vibracije se od kolovoza preko pneumatika vozila, sistema oslanjanja vozila, poda i sedišta prenose na tela korisnika u vozilu. Navedeni elementi vozila predstavljaju mesta na kojima se može delovati u procesu prenosa vibracija od kolovoza do tela korisnika. Istraživanja pokazuju da tip pneumatika, kao i vrednost pritiska vazduha u pneumaticima utiču na ubrzanja (jačinu) vibracija na sedištima, a time i na komfor korisnika (Boileau, 1995). Značajno smanjenje uticaja vibracija može se postići pomoću poluaktivnih i aktivnih sistema oslanjanja vozila (Uys i ostali, 2007). Ovakvi sistemi mogu da se primene i na sedišta korisnika, ali su komplikovani i skupi. Smanjivanje inteziteta vibracija na sedištima korisnika u vozilu može da se postigne i jednostavnije, kao na primer pravilnim izborom oscilatornih parametara sedišta.

Direktni kontakt sa sedištem korisnik ostvaruje preko jastuka sedišta. Izborom jastuka sedišta odgovarajućih oscilatornih karakteristika se, takođe, može uticati na smanjenje jačine vibracija. Mogućnost poboljšanja komfora korisnika autobusa izborom odgovarajućih oscilatornih parametara sedišta biće proverena u ovoj disertaciji.

U treću grupu mera spadaju one koje se tiču korisnika vozila. Za razliku od ostalih, ove mere spadaju u grupu ne tako skupih i relativno lako sprovodljivih mera. Poznato je da osim jačine vibracija i vreme izlaganja utiče na njihov efekat. U tom kontekstu odgovarajući rad po smenama i pauze za vreme rada mogu biti efikasni u umanjivanju negativnog dejstva vibracija na radnike. Osim toga, studije pokazuju da su ponašanje i veštine vozača (npr. izbor brzine kretanja vozila, držanje (položaj) tela za vreme vožnje, podešavanje sedišta, fizička kondicija i dr.) faktori koji imaju uticaj na dejstvo vibracija (Tiemessen, 2007; Nelson i Brereton, 2005). Stoga dobro osmišljeni treninzi, informativni i edukativni programi mogu dati odgovarajuće rezultate.

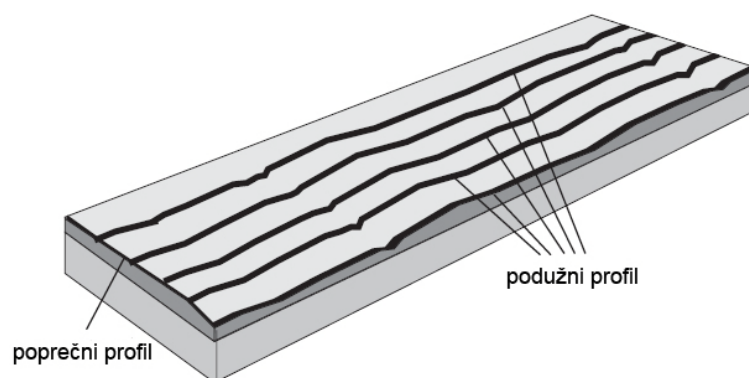
4. Oscilatorne pobude vozila

Oscilatorno kretanje vozila se tokom vožnje pobuđuje iz više izvora. Ti izvori se mogu svrstati u dve grupe, unutrašanje i spoljašnje izvore. U unutrašnje izvore spadaju pogonski agregat, transmisija, točkovi i pneumatik vozila. U spoljene izvore spadaju makro i mikro neravnosti puta i aerodinamičke sile.

Značajan izvor oscilacija kod vozila čine motori sa unutrašnjim sagorevanjem, posebno klipni, zbog neuravnoteženosti sila i momenata. Transmisija učestvuje u stvaranju i prenošenju torzionih pobuda. Ove pobude mogu da generišu i dodatne vibracije, npr. podužno (napred - nazad) oscilovanje celog vozila. Pobuda od točkova i pneumatika javlja se usled nehomogenosti točkova i pneumatika, ekscentričnosti točka i neuravnoteženosti točkova. Dominantna pobuda oscilatornog kretanja vozila potiče od neravnosti kolovoza.

4.1. Neravnost kolovoza

Put se može indetifikovati na osnovu njegove prostorne geometrije (makroreljefa) i mikroreljefa. Mikroreljef čine mikroneravnine puta. Na slici 4.1 prikazan je mikroreljef površine puta sačinjen od podužnih i poprečnih mikroneravnina. U literaturi (Shahin, 2005) se često koriste i termini podužni i poprečni profil, odnosno podužna i poprečna neravnost kolovoza.



Izvor: Sayers, 1998.

Slika 4.1. Podužna i poprečna neravnost kolovoza

Podužna neravnost se definiše kao devijacije površine kolovoza u podužnom pravcu koje imaju uticaj na dinamičko ponašanje vozila, oscilatornu udobnost i opterećenje kolovozne konstrukcije (Shahin, 2005).

Neravnost kolovoza izazivaju raznovrsni i brojni faktori, kao na primer opterećenje od saobraćaja, uticaj spoljašnje sredine, nedostaci pri projektovanju kolovozne konstrukcije (npr. nedovoljna debljina pojedinih slojeva), nedostaci pri građenju (npr. nepravilan izbor materijala za izradu pojedinih slojeva), nedovoljno i neblagovremeno održavanje i dr. Podužna neravnost kolovoza se može posmatrati kao slučajna funkcija sastavljena od velikog broja amplituda i frekvencija, odnosno talasnih dužina neravnosti. Neravnosti kratkih talasnih dužina, najčešće, potiču od deformacija kolovoznog zastora (npr. ulegnuća i pukotine kolovoza). Ovakve deformacije utiču na dinamički osovinski pritisak vozila (naročito teških vozila) i nepovoljno deluju na bezbednost kretanja vozila i njegovu konstrukciju. Sa druge strane, izražene promene dinamičkog osovinskog pritiska prouzrokuju opterećenje kolovozne konstrukcije i dalja oštećenja kolovoza. Neravnosti velikih talasnih dužina su obično prouzrokovane uticajem spoljašnjih faktora (npr. smrzavanje i odmrzavanje tla), kao i deformacijama kolovoznih slojeva ispod kolovoznog zastora.

Istraživanja (Gillespie i Sayers, 1985) su pokazala da je neravnost kolovoza povezana sa značajnim troškovima za korisnike puteva (npr. troškovi usled povećane potrošnje goriva, istrošenosti pneumatika, oštećenja prevožene robe, zamena delova i popravka vozila). Osim toga, neravnost kolovoza utiče i na broj saobraćajnih nezgoda, bezbednost i udobnost vožnje, brzinu kretanja vozila, propusnu moć (kapacitet) puta i sl.

Karakteristike jednog mikroprofila puta mogu biti sagledane u vremenskom, amplitudnom i frekventnom domenu (Demić, 2006). Vremenski domen podrazumeva izračunavanje različitih srednjih vrednosti (npr. klasična srednja vrednost, srednja efektivna vrednost, srednja apsolutna vrednost, autkorelaciona funkcija). Amplitudni domen se odnosi na izračunavanje verovatnoće pojavljivanja amplituda mikroprofila puta u određenom intervalu. U okviru frekventnog domena, koji je zasnovan na Furijeovoj transformaciji, spektralna gustina snage neravnosti kolovoza ima najširu primenu i predstavlja osnovu za izračunavanje karakteristika mikroprofila puta.

4.2. Spektralna gustina snage neravnosti mikroprofila kolovoza

Spektralna gustina snage neravnina kolovoza predstavlja snagu signala neravnina raspodeljenu na putne frekvencije (talasne dužine neravnosti). Spektralne gustinu neravnosti definisalo je više autora, a kao osnova za nekoliko standarda prihvaćen je model H.Brauna-a, izraz [4.1],

$$\Phi_{\xi}(\nu) = \Phi(\nu_0) \cdot (\nu / \nu_0)^{-w} \quad [4.1]$$

gde je:

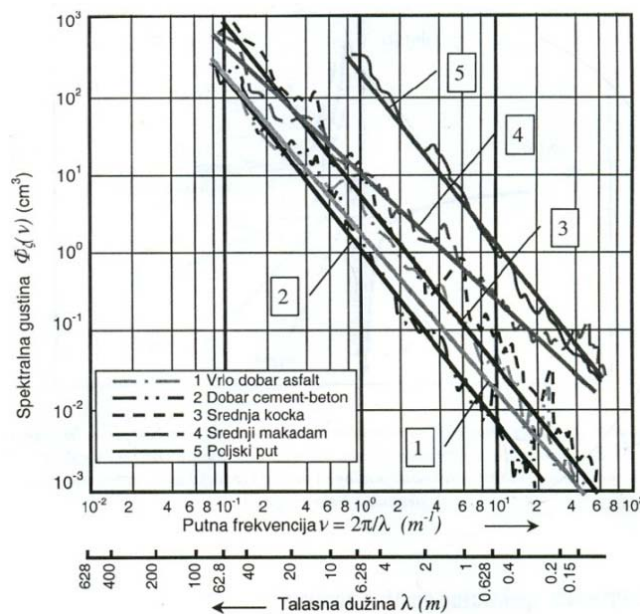
ν - putna frekvencija (m^{-1}),

ν_0 - reporna vrednost putne frekvencije (m^{-1}),

$\Phi_{\xi}(\nu_0)$ - spektralna gustina neravnosti za vrednost ν_0 (cm^3) i

w - talasni broj koji nosi informaciju o dužini neravnosti (-).

Na slici 4.2 prikazane su spektralne gustine snage neravnosti za različite vrste puteva (Dedović, 2004). Zajednička karakteristika svih puteva je da višim vrednostima neravnina odgovaraju niže putne frekvencije (veće talasne dužine neravnina).



Izvor: Dedović, 2004.

Slika 4.2. Spektralna gustina amplituda neravnosti za različite kolovoze

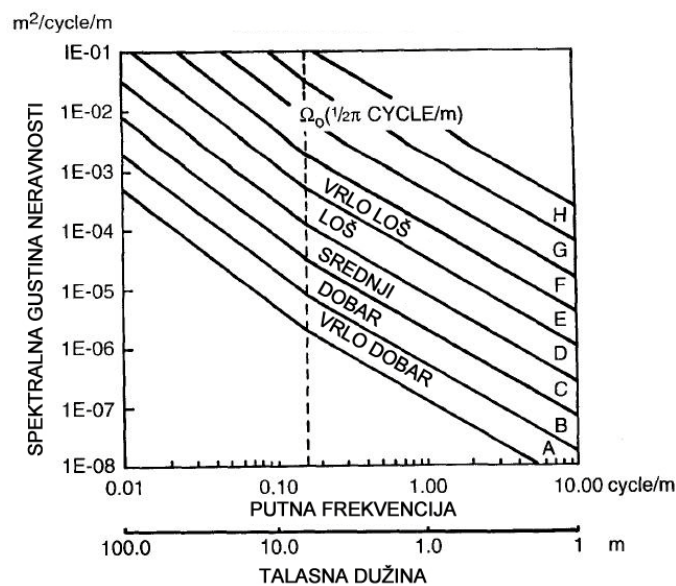
U tabeli 4.1 date su karakteristične vrednosti koeficijenata za asfalt-betonski kolovoz u vrlo dobrom stanju za repenu vrednost putne frekvencije.

Tabela 4.1. Srednja vrednost frekventnog spektra asfalt-betonskog kolovoza za $v_0=1(m^{-1})$

Vrsta podloge	Stanje (subjektivno)	Srednja vrednost	
		Talasni broj w	Spektralna gustina neravnosti $\Phi_{\xi}(v_0)$
Asfalt-beton	vrlo-dobar	2.2	1.3

Izvor: Dedović, 2004.

Na slici 4.3 su date spektralne gustine klasa puteva prema međunarodnoj organizaciji za standarde ISO 8608 - *Mechanical vibration - Road surface profiles - Reporting of measured data* (ISO 8608, 1995). Putevi su svrstani u osam klasa od **A** do **H**. Veza između spektralne gustine neravnosti i putne frekvencije se, u *log-log* dijagramu, može aproksimirati sa dve prave linije različitih nagiba.



Izvor: Standard ISO 8608, 1995.

Slika 4.3. Spektralna gustina amplituda neravnosti za različite kolovoze

Za $v \leq v_0 = 1/2\pi (m^{-1})$ spektralna gustina neravnosti data je izrazom [4.2]

$$\Phi_{\xi}(v) = \Phi(v_0) \cdot (v/v_0)^{-N_1} \quad [4.2]$$

Za $\nu > \nu_0 = 1/2\pi (m^{-1})$ spektralna gustina neravnosti data je izrazom [4.3]

$$\Phi_{\xi}(\nu) = \Phi(\nu_0) \cdot (\nu/\nu_0)^{-N_2} \quad [4.3]$$

gde je:

$\Phi_{\xi}(\nu_0)$ - stepen neravnosti ($10^{-6} \text{ m}^2/1/\text{m}$);

N_1 i N_2 - koeficijenti čije su vrednosti 1.5 i 2;

Vrednosti $\Phi_{\xi}(\nu_0)$ za različite klase puteva, za putnu frekvenciju $\nu_0 = 1.5 (m^{-1})$, kreću se u određenim granicama, tabela 7.2 u (Wong, 2001). Na primer, za klasu puteva **B** stepen neravnosti $\Phi_{\xi}(\nu_0)$ kreće se u granicama od $8 \cdot 10^{-6}$ do $32 \cdot 10^{-6}$ ($\text{m}^2/1/\text{m}$).

Prema (Wong, 2001) veza između spektralne gustine neravnosti i putne frekvencije može se predstaviti izrazom [4.4]

$$\Phi_{\xi}(\nu) = C_{sp} \cdot \nu^{-N} \quad [4.4]$$

gde je:

$\Phi_{\xi}(\nu)$ - spektralna gustina neravnosti u funkciji od putne frekvencije ($\text{m}^2/1/\text{m}$);

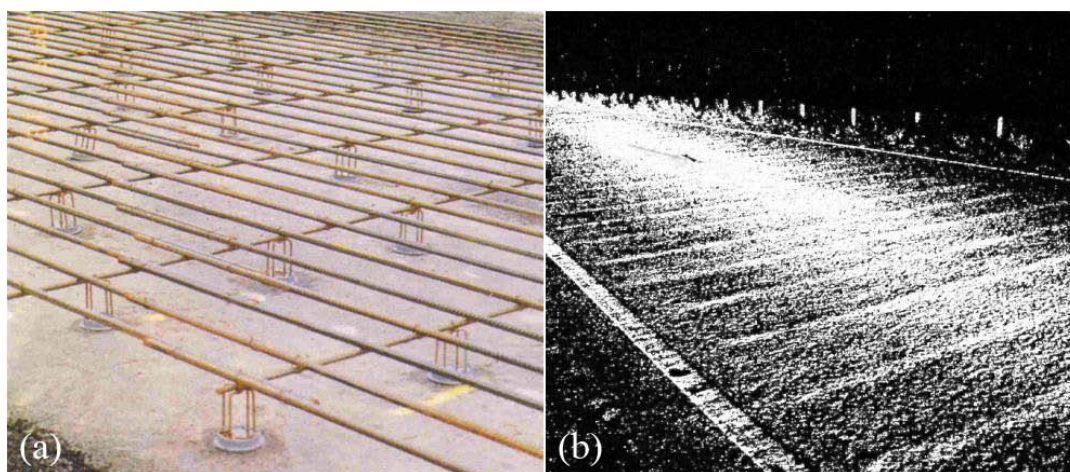
N - konstanta (-);

C_{sp} - konstantna vrednost čija dimenzija zavisi od vrednosti konstante N ;

Vrednosti za N i C_{sp} za različite vrste i stanja puteva date su u tabeli 7.1 u (Wong, 2001). Na primer, za autoput u dobrom stanju $N=2.1$, a $C_{sp}=4.8 \cdot 10^{-7}$.

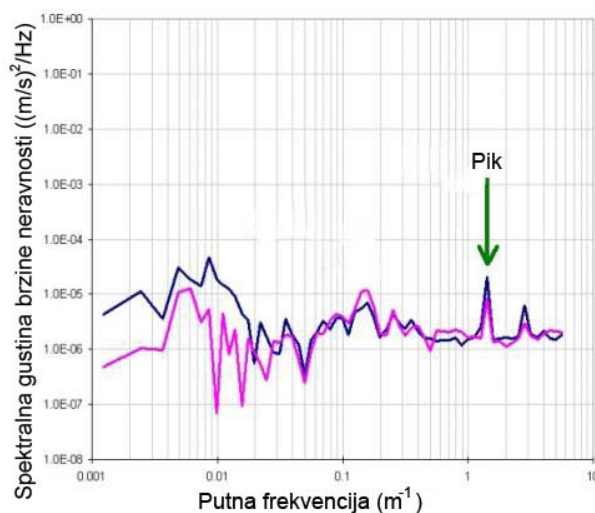
Osim klasifikacije putne mreže, spektralna gustina neravnosti puta može da ukaže na tip oštećenja puta. Na primer, spektralne gustine puteva koje imaju izrazite amplitude na velikim talasnim dužinama ukazuju na oštećenja podloge (donjeg stroja puta). Putevi sa spektralnim gustinama neravnosti kod kojih su dominantne amplitude na višim putnim frekvencijama ukazuju na površinska oštećenja kolovoza (npr. pukotine i ulegnuća).

Na slici 4.4(b) predstavljene su deformacije cement-betonskog kolovoznog zastora u vidu poprečnih ispuščenja (Prem i Ayton, 2005). Prikazane deformacije odražavaju poprečnu armaturu kolovozne konstrukcije (slika 4.4(a)), a nastaju zbog sleganja betona. Na slici 4.5 dat je grafik spektralne gustine brzine neravnosti kolovoza gde je istaknut “pik“ koji odgovara pomenutim deformacijama kolovoza. Ovakve deformacije kolovoza izazivaju vibracije male jačine sa frekvencijama ispod 50 Hz (Prem i Ayton, 2005).



Izvor: Prem i Ayton, 2005.

Slika 4.4. Cement-betonska podloga a) armatura kolovozne konstrukcije i b) poprečne deformacije kolovoza usled sleganja betona



Izvor: Prem i Ayton, 2005.

Slika 4.5. Spektralna gustina brzine neravnosti deformisanog cement-betonskog kolovoza

4.3. Modeliranje neravnosti kolovoza pomoću spektralne gustine snage neravnosti kolovoza

Prilikom analiza oscilatornog komfora korisnika simulacijom za pobudni signal oscilatornog modela poželjno je koristiti prethodno registrovane realne neravnosti podloge. Osim realnih neravnosti, za pobudni signal koriste se i modeli neravnosti podloge. Model za simuliranje slučajnih procesa, koji je predložio Shinozuka (Shinozuka, 1972), često je korišćen za generisanje podužnih neravnosti različitih vrsta puteva (Verros i ostali, 2005; Sun, 2003; Lu i ostali, 2010; Schiehlen i Hu, 2003). Slučajni proces se prema (Shinozuka, 1972; Demić i ostali, 2002) može predstaviti beskonačnom sumom harmonijskih kosinusnih funkcija različitih amplituda, kružnih frekvencija i faznih uglova. Na osnovu ovog modela neravnosti kolovoza na jednom tragu mogu se opisati analitičkim izrazom [4.5]

$$\xi(t) = \sum_{i=1}^N A_i \cos(\Omega_i t + \alpha_i) \quad [4.5]$$

gde je:

N - broj harmonika,

α_i - ravnomerno raspodeljena faza u intervalu od 0 do 2π radijana (rad),

Ω_i - diskretne prinudne frekvencije pobude (Hz),

A_i - diskretni amplitudni spektar neravnosti (m).

Diskretne prinudne frekvencije pobude Ω_i računaju se prema izrazu [4.6]

$$\Omega_i = \Omega_l + (i - \frac{1}{2})\Delta\Omega \quad [4.6]$$

U izrazu [4.6], $\Delta\Omega$ je frekventni interval koji se, dalje, može predstaviti izrazom [4.7]

$$\Delta\Omega = \frac{\Omega_u - \Omega_l}{N} \quad [4.7]$$

U izrazima [4.6] i [4.7], Ω_l i Ω_u su donja i gornja granica razmatranog frekventnog opsega pobude. Diskretni amplitudni spektar neravnosti A_i može se sračunati prema izrazu [4.8]

$$A_i = \sqrt{2\Phi_\xi(\Omega_i)\Delta\Omega} \quad [4.8]$$

gde je:

$\Phi_\xi(\Omega)$ - spektralna gustina neravnosti u funkciji od prinudne frekvencije pobude (m^2/Hz).

Za modeliranje neravnosti kolovoza u vremenskom domenu pogodno je spektralnu gustinu neravnosti kolovoza izraziti u funkciji od prinudne frekvencije pobude. Veza između spektralnih gustina izraženih u funkciji prinudne i putne frekvencije data je izrazom [4.9],

$$\Phi_\xi(\Omega) = \frac{1}{V} \Phi_\xi(\nu) \quad [4.9]$$

gde je:

Ω - prinudna frekvencija pobude (Hz) i

V - konstantna brzina kretanja vozila (m/s).

Na osnovu veze između prinudne i putne frekvencije, izraz [4.10]

$$\Omega = \nu V \quad [4.10]$$

stohastički model Brauna može se predstaviti izrazom [4.11]

$$\Phi_\xi(\Omega) = V^{w-1} \Phi_\xi(\nu_0) \left(\frac{\nu_0}{\Omega}\right)^w \quad [4.11]$$

Ako se pretpostavi da je izrazom [4.5] opisana neravnost kolovoza na levom tragu i da između neravnosti na levom i desnom tragu postoji korelacija, onda se pobuda na desnom tragu vozila može dobiti pomoću uzajamne spektralne gustine neravnosti

kolovoza levog i desnog traga. Pobuda na drugom tragu (npr. desnom), na osnovu (Sayers, 1988), može se predstaviti izrazom [4.12]

$$\xi_d(t) = \sum_{i=1}^N [\sqrt{2\Phi_{\xi\xi_d}(\Omega_i)\Delta\Omega} \cos(\Omega_i t + \alpha_i) + \sqrt{2(\Phi_{\xi\xi}(\Omega_i) - \Phi_{\xi\xi_d}(\Omega_i))\Delta\Omega} \cos(\Omega_i t + \beta_i)] \quad [4.12]$$

gde je:

β_i - ravnomerno raspodeljena faza u intervalu od 0 do 2π radijana (rad),

$\Phi_{\xi\xi_d}(\Omega_i)$ - uzajamna spektralna gustina neravnosti kolovoza levog i desnog traga (m^2/Hz).

Uzajamna spektralna gustina može se odrediti prema izrazu [4.13]

$$\Phi_{\xi\xi_d}(\Omega_i) = \gamma_i \cdot \Phi_{\xi\xi}(\Omega_i) \quad [4.13]$$

gde je:

γ_i - kvadrat modula prenosne funkcije filtra za diskretne prinudne frekvencije pobude definisan izrazom [4.14]

$$\gamma_i = \frac{v_1^2}{v_1^2 + \left(\frac{\Omega_i}{V}\right)^2} \quad [4.14]$$

U izrazu [4.14], v_1 je granična putna frekvencija čija je vrednost utvrđena merenjem i iznosi $0.2 \text{ (m}^{-1}\text{)}$ (Sayers, 1988).

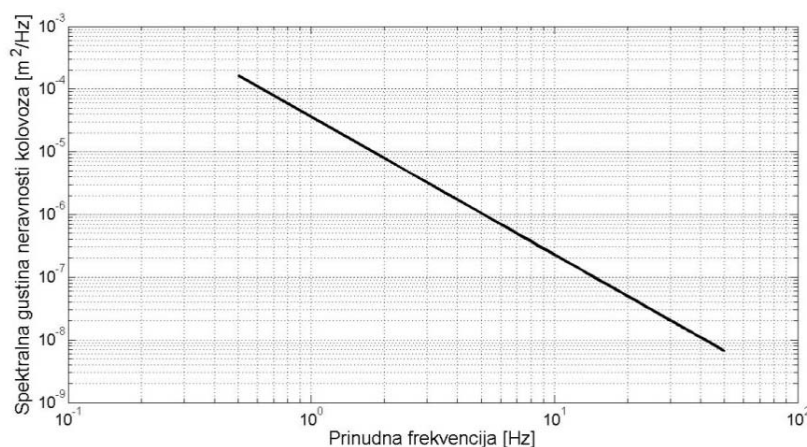
Postupak za generisanje neravnosti kolovoza određenog tipa i stanja se, imajući u vidu prethodno navedene izraze, može pregledno opisati sledećim koracima:

- (1) definisati spektralnu gustinu neravnosti kolovoza za jednu brzinu vozila prema [4.11];
- (2) generisati $p_{i \text{ (} i=1-N \text{)}}$ realizacija slučajne promenljive $p \sim U(0,1)$;
- (3) generisati $n_{i \text{ (} i=1-N \text{)}}$ realizacija slučajne promenljive $n \sim U(0,1)$;

- (4) proračunati vrednosti α_i ($\alpha_i=2\pi p_i$) i β_i ($\beta_i=2\pi n_i$) slučajnih promenljivih α i β , tako da navedene promenljive imaju ravnomernu raspodelu u intervalu od 0 do 2π radijana, tj. $\alpha \sim U(0, 2\pi)$ i $\beta \sim U(0, 2\pi)$;
- (5) definisati donju i gornju granicu frekventnog opsega pobude (vrednosti Ω_l i Ω_u);
- (6) definisati broj harmonika N i odrediti frekventni opseg $\Delta\Omega$;
- (7) odrediti neravnost kolovoza na jednom tragu (npr. levom) prema izrazu [4.5];
- (8) proračunati uzajamnu spektralnu gustinu neravnosti kolovoza na levom i desnom tragu prema izrazu [4.13] i
- (9) odrediti neravnost kolovoza na drugom tragu (npr. desnom), izraz [4.12];

4.3.1. Primer generisanje neravnosti kolovoza pomoću spektralne gustine snage neravnosti kolovoza

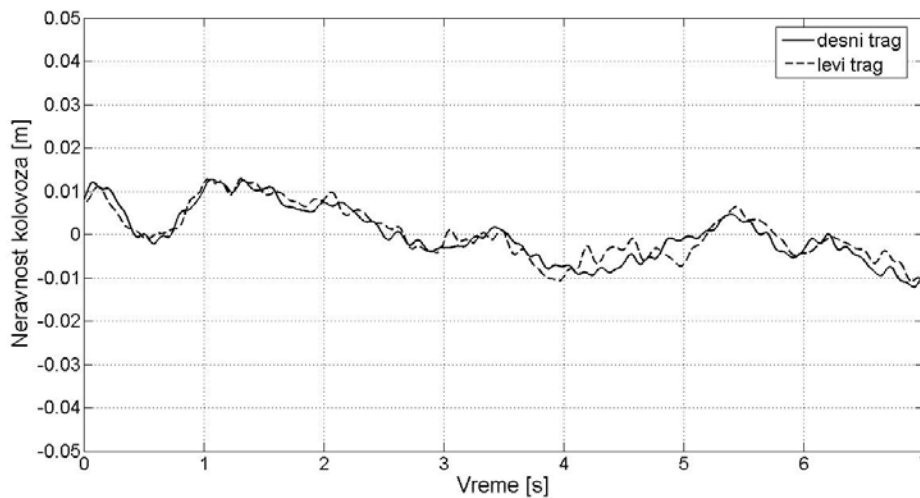
Na slici 4.6 prikazana je spektralna gustina neravnosti vrlo dobrog asfalt-betonskog kolovoza za brzinu vozila od 100 km/h u zavisnosti od prinudne frekvencije za vrednosti koeficijenata iz tabele 4.1. Kako su neravnosti kolovoza iz frekventnog opsega od 0.5 Hz do 50 Hz naročito značajne za analizu oscilatornog komfora (Kawamura i Kaku, 1985), to je i spektralna gustina neravnosti kolovoza na slici 4.6 prikazana za navedeni frekventni opseg.



Slika 4.6. Spektralna gustina neravnosti asfalt-betonskog kolovoza u vrlo dobrom stanju u funkciji od prinudne frekvencije za brzinu vozila od 100 km/h

Prema navedenom postupku, pomoću programa napisanog u programskom paketu *Matlab* (prilog 5), simulirane su neravnosti za vrstu i stanje podloge iz tabele 4.1 i za brzinu kretanja vozila od 100 km/h. Realizacije slučajnih promenljivih $p \sim U(0,1)$ i $n \sim U(0,1)$ dobijene su pomoću funkcije *rand* (The MathWorks, Inc. 2001). Neravnosti na levom i desnom tragu određene su za $N=1000$ harmonika.

Na slici 4.7 prikazane su generisane neravnosti asfalt-betonskog kolovoza u vrlo dobrom stanju u funkciji od vremena za brzinu vozila od 100 km/h.



Slika 4.7. Generisana neravnost asfalt-betonskog kolovoza (vrlo dobar) u funkciji od vremena za brzinu vozila od 100 km/h

4.4. Realne neravnosti podloge

Vrsta i stanje podloge po kojoj se vozilo kreće i brzina kretanja vozila su značajni faktori od kojih zavisi intezitet vibracija u vozlu. Postoji jaka pozitivna korelacija između brzine vozila i inteziteta vibracija. Pri brzinama ispod 30 km/h, za lošije podloge, povećanje brzine za jedan procenat uslovljava povećanje inteziteta vibracija za nekoliko procenata (Forsén, 1999). Uticaj brzine na intezitet vibracija manje je izražen pri većim brzinama kretanja vozila na dobrim podlogama. Ako se brzina smanji za 29 % (od 70 km/h na 50 km/h), prosečni intezitet vibracija se smanji za 18 % (Forsén, 1999).

Istraživanje (Ahlin i ostali, 2000) je pokazalo da stanje podloge ima značajno veći uticaj na vibracije celog tela kojima su izloženi vozači vozila nego faktori kao što su brzina vozila, tip vozila i stanje vozila.

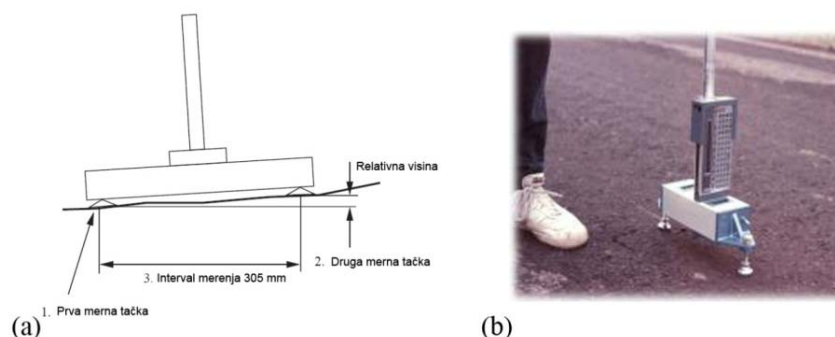
4.4.1. Merenje realnih neravnosti podloge

Podužni mikroprofil puta se sastoji od mikroneravnina koje se mere pomoću specijalnih uređaja i odgovarajućih metoda merenja. Uređaji za merenje parametara podužnog mikroprofila puta se mogu svrstati u dve grupe:

- I) bez oscilatornih svojstava (manuelni) i
- II) sa oscilatornim svojstvima (automatizovani).

Svi uređaji mere amplitude mikroneravnina u odnosu na neku referentnu liniju (nivo) i u odnosu na podužno rastojanje. U daljem tekstu, u kratkim crtama, biće prikazani neki od uređaja i opisani njihovi načini rada. Uređaji iz druge grupe su savremeniji, pa će posebna pažanja biti njima posvećena.

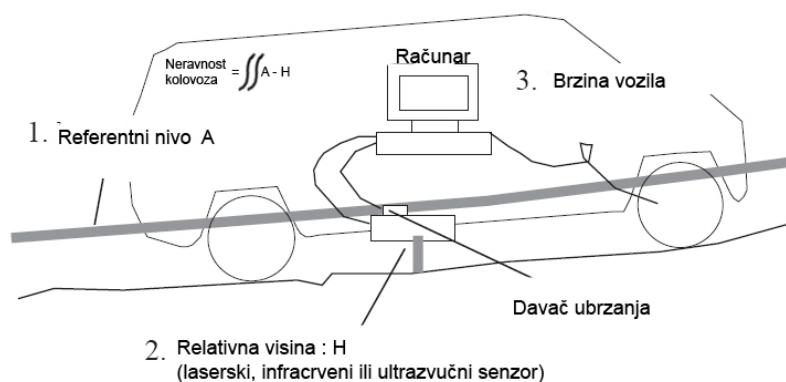
Često korišćeni uređaj iz prve grupe predstavljen je na slici 4.8 i naziva se “merna šipka“ (Dipstick). Prikazani uređaj sadrži precizan merač visine koji meri razliku visina dve nožice koje se oslanjaju na podlogu na međusobnom rastojanju od 305 mm. Uređaj se pomera duž linije kolovoza tako što se obrće za 180 stepeni oko vodeće nožice (uvek prva nožica). Prilikom kontakta nožice sa podlogom uređaj automatski registruje promenu u visini i proizvodi zvučni signal obaveštavajući da sledeće merenje može da se izvrši. Prva merna tačka predstavlja referentni nivo, a relativna visina u odnosu na referentni nivo se određuje u drugoj mernoj tački. Podužno rastojanje se meri tako što se broj koraka (merenja) pomnoži sa rastojanjem nožica. Ovaj uređaj se obično koristi za utvrđivanje validnosti izmerenih neravnosti kolovoza pomoću uređaja sa oscilatornim svojstvima.



Izvor: Demić, 2006.

Slika 4.8. Merni uređaj Dipstick a) šema uređaja sa mernim tačkama i b) merenje neravnosti

Jedan od najsavremenijih postupaka za registrovanje podužnih mikroneravnina kolovoza je merno vozilo opremljeno sa specijalnim mernim uređajima (slika 4.9)⁸. Osnovni delovi ovakvog uređaja su bezkontaktni davač pomeranja (laserski, ultrazvučni, radarski) za registrovanje pomeranja (visine) od neke karakteristične tačke na vozilu⁹ do tla, akcelerometar (davač ubrzanja) za istovremeno registrovanje ubrzanja iste tačke na vozilu, zatim senzor za merenje pređenog podužnog rastojanja i računar. Amplitude mikroneravnina izračunavaju se na osnovu dve izmerene veličine (ubrzanje i pomeranje) uz primenu računara i dobijaju se kao razlika između referentnog nivoa i izmerenog rastojanja od vozila do podloge. Uređaji, osim neravnosti, daju i neke statističke veličine kojima se ocenjuje kvalitet kolovoza.



Izvor: Sayers i Karamihis, 1996.

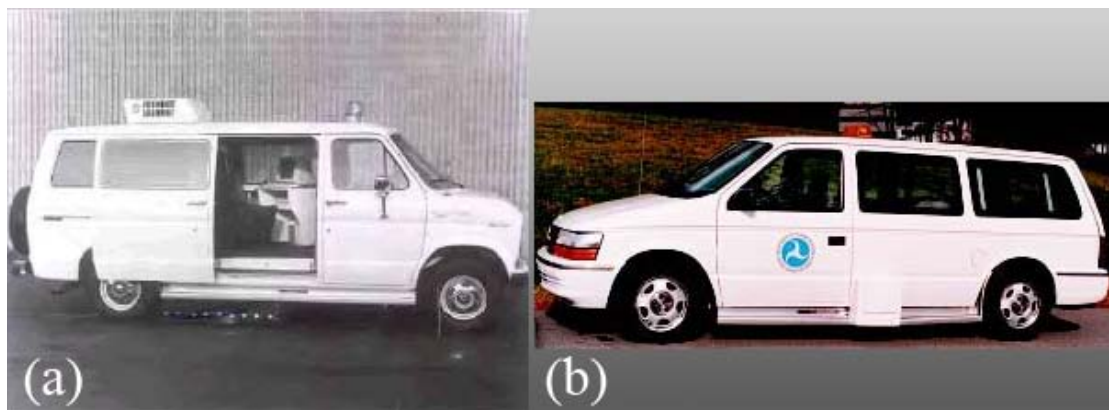
Slika 4.9. Merno vozilo za merenje mikroneravnina kolovoza

Ovaj postupak ima svoje prednosti i nedostatke. Prednosti se odnose na veliku brzinu merenja, ponovljivost rezultata, delimični eliminaciji uticaja oscilatornih parametara vozila. Nedostaci se ogledaju u prisustvu grešaka merenja zbog promene prostornog položaja vozila tokom njegovog kretanja, kao i promena položaja ose bočnog ljujanja sa promenom opterećenja vozila. Da bi merno vozilo beležilo potrebne podatke ono mora da se kreće odgovarajućim brzinama. Za brzinu vozila ispod 15 km/h amplitude neravnosti kolovoza ne mogu da budu zabeležene, što predstavlja još jedan nedostatak ovakvog načina merenja.

⁸ Prvi uređaj ovakvog tipa su razvili Elson Spangler i William Kelly u General Motors-u;

⁹ Karakteristična tačka se uobičajeno nalazi na osi bočnog ljujanja vozila;

Postoje razne varijante ovih mernih uređaja i one se uglavnom razlikuju po mestu postavljanja pomenutih davača i vrsti davača. Primeri ovakvih uređaja prikazani su na slici 4.10. Na slici 4.10(a) prikazano je merno vozilo firme *K.J.Law Engineers.Inc* koje koristi optičke bezkontaktne davače. Na slici 4.10(b) predstavljeno je merno vozilo za snimanje profila i registrovanje pukotina kolovoza (*ProRut-Profile and Rut Depth Measuring System*). ProRut koristi laserske davače.

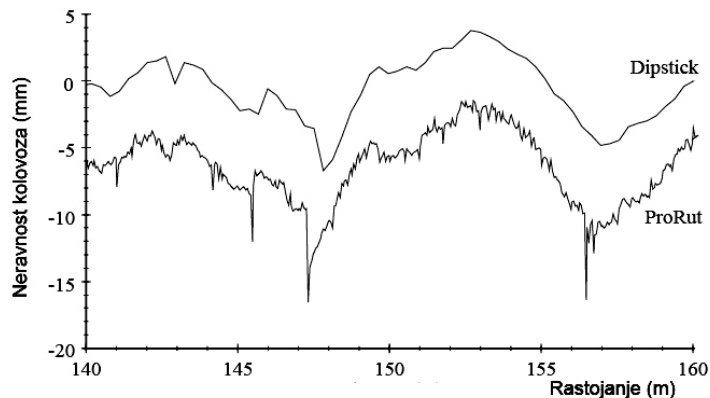


Izvor: Karamihas i ostali, 1999.

Slika 4.10. Merno vozilo a) *K.J.Law* i b) *ProRut*

Osnovne razlike između prve i druge grupe uređaja odnose se na izgled snimljenog mikroprofila puta, brzinu snimanja i validnost zabeleženih podataka.

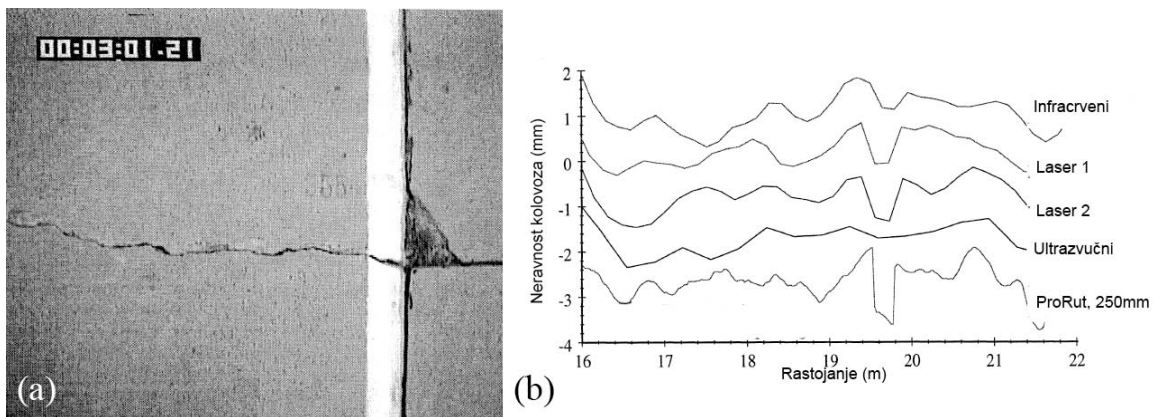
Na slici 4.11 je prikazan izgled profila kolovoza snimljenog sa mernom šipkom i mernim vozilom ProRut. Iako je bazični oblik oba mikroprofila isti, postoje značajne razlike između njih. Razlike potiču otuda što merno vozilo ProRut registruje neravnost u vrlo kratkim intervalima (oko 50 mm). Zbog toga ovaj uređaj, za razliku od merne šipke, može da registruje mala oštećenja kolovoza (npr. sa slike 4.11 se uočava da je merno vozilo ProRut registrovalo oštećenja kolovoza na rastojanjima od 147 m i 156.5 m, a merni uređaj Dipstick nije registrovao ova oštećenja kolovoza). Međutim, merna šipka može da registruje podužni nagib puta i neravnine velikih talasnih dužina. Može se reći da nijedan uređaj nije potpuno prikladan za sva merenja. Izbor uređaja zavisi od potrebnih informacija o profilu puta.



Izvor: Karamihas i ostali, 1999.

Slika 4.11. Izgled mikroprofila puta snimljen sa dva merna uređaja

Na slici 4.12(b) prikazan je primer registrovanja poprečne pukotine na jednom cement-betonskom kolovozu (slika 4.12(a)), uređajima sa različitim bezkontaktnim davačima pomeranja (Karamihas i ostali, 1999). Uočava se da uređaj ProRut najbolje registruje pukotinu (na 19.6 m). Uređaj sa ultrazvučnim senzorom registruje neravnosti na rastojanjima većim od širine pukotine. Zbog toga se na podužnom mikroprofilu, snimljenim sa ovim uređajem, ovakvo oštećenje i ne uočava.



Izvor: Karamihas i ostali, 1999.

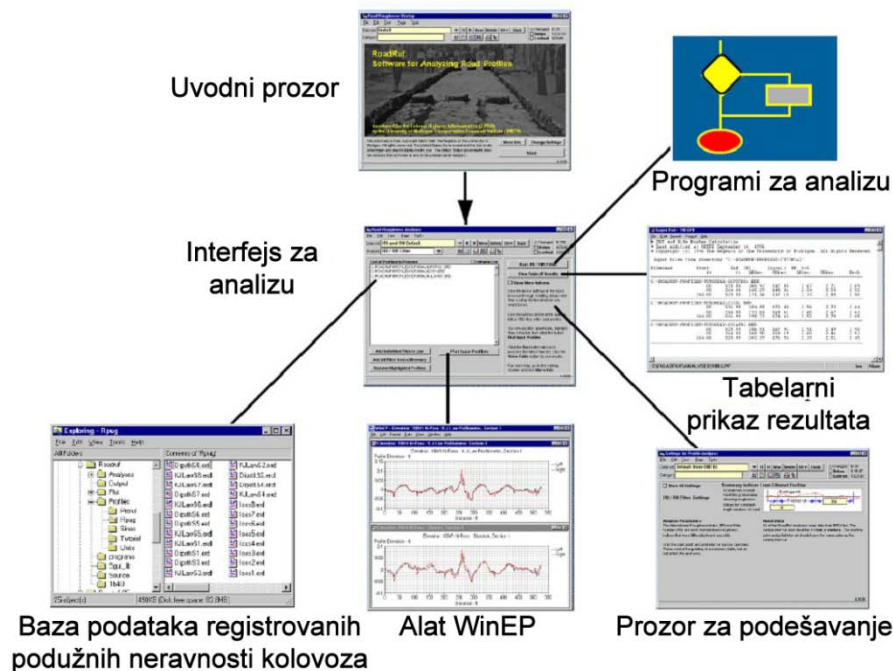
Slika 4.12. Merenje neravnosti a) poprečna pukotina i b) mikroprofil puta registrovan različitim davačima

4.4.2. Softverski paketi za analize podužnih neravnosti kolovoza

U ovom delu biće predstavljene osnovne karakteristike dva softverska paketa za analizu podužnih neravnosti kolovoza - **RoadRuf** (Road Profile Analysis Software) i **ProVAL** (Profile Viewing and Analysis Software).

Softver *RoadRuf* je skup kompjuterskih alata za analizu i interpretaciju podatka o podužnim neravnostima kolovoza. *RoadRuf* je razvijen u cilju standardizacije postupka za određivanje indeksa IRI u okviru istraživačkog projekta “Interpretacija podatka o neravnostima kolovoza” sprovedenog u vremenskom periodu od 1992. do 1996. godine u SAD. Softver je razvio tim Istraživačkog Instituta za Transport pri Univerzitetu u Mičigenu (The University of Michigan Transportation Research Institute - UMTRI), a finasiran je od Uprave za puteve (Federal Highway Administration - FHWA).

Svrha softvera *RoadRuf* je da obezbedi pouzdane analize stanja podužnog profila puta pomoću dva indeksa neravnosti za ocenu stanja puta - IRI i Indeks Udobnosti (Ride Number). Algoritme za određivanje indeksa neravnosti, za softver *RoadRuf*, razvili su istraživači Sayers, Karamihas i Gillespie.



Izvor: The University of Michigan Transportation Research Institute, 1997.

Slika 4.13. Komponente softvera *RoadRuf*

Na slici 4.13 prikazane su komponente softvera *RoadRuf*. Ključna i osnovna komponenta je grafički korisnički interfejs (interfejs za analizu) pomoću koga su integrisani svi alati *RoadRuf*-a. Grafički interfejs softvera *RoadRuf* razvijen je na osnovu grafičkog korisničkog interfejsa softvera za simulaciju dinamike vozila (CarSim, TruckSim i ArcSim).

Interfejs obezbeđuje pristup bazi podataka "PROFILES" u kojoj su smeštene registrovane podužne neravnosti kolovoza, alatu WinEP (Windows Engineering Plotter) za grafički prikaz ulaza (podužnih neravnosti) i izlaznih veličina analize, i dva programa (*Profan.exe* i *Spectrum.exe*) za analize tj. za filtriranje neravnosti i za proračun spektralnih gustina. Takođe, interfejs omogućava izbor i podešavanje parametara za analizu, kao i pristup rezultatima analiza koje se zapisuju tabelarno u tekstualnim *LPF* fajlovima. UMTRI je izdao i upustvo za korišćene softvera *RoadRuf* "RoadRuf User Reference Manual" (The University of Michigan Transportation Research Institute, 1997).

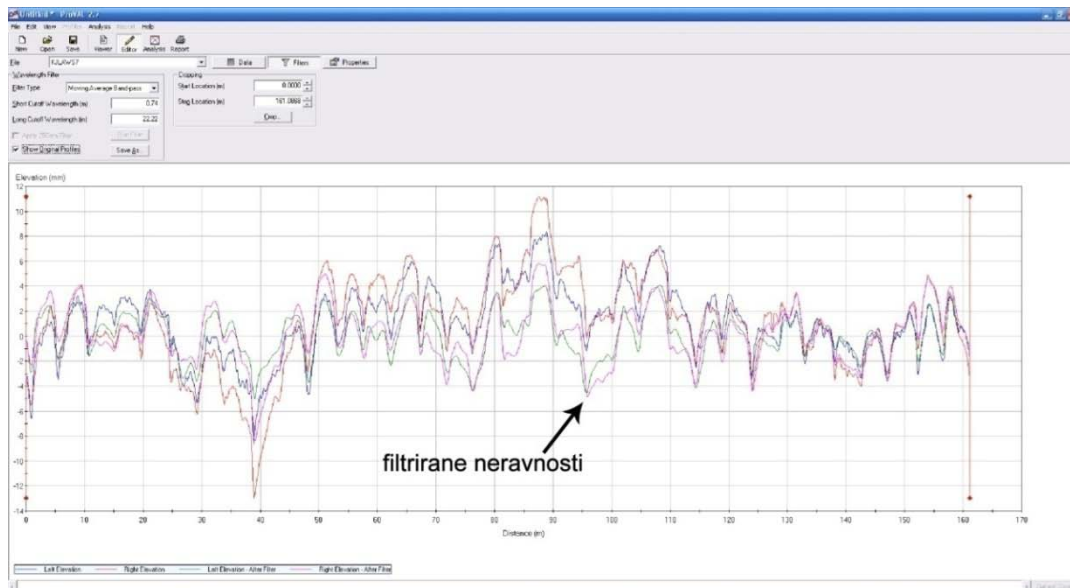
Registrovane neravnosti kolovoza u bazi podataka "PROFILES" *RoadRuf* softvera smeštene su u folderu "RPUG", a zapisane su u tekstualne *erd* fajlove. Folder "RPUG" sadrži 24 zapisa podužnih neravnosti osam različitih odseka puteva (četiri asfalt-betonska kolovoza i četiri cement-betonska kolovoza). Neravnosti svakog odseka registrovana su pomoću tri različita merna uređaja - merna šipka "Dipstick", merno vozilo firme *K.J.Law Engineers.Inc* sa optičkim davačima i merno vozilo firme *ICC (International Cybernetics Corporation)* sa ultrazvučnim davačima. Za pobudu oscilatornog modela autobusa IK 301 iskorišćena su četiri zapisa neravnosti asfalt-betonskog kolovoza i jedan zapis cement-betonskog kolovoza (fajlovi *kjlaws1.erd*, *kjlaws4.erd*, *kjlaws5.erd*, *kjlaws6.erd* i *kjlaws8.erd*). Izabrane neravnosti su registrovane pomoću mernog vozila *K.J.Law* na svakih 0.15 m pređenog puta pomoću optičkih bezkontaktnih davača. Profili kolovoza prikazani su na slikama 4.15-4.22.

ProVAL je inženjerska softverska aplikacija za analizu podužnih neravnosti kolovoza. Softver je razvila kompanija *The Transtec Group* u saradnji sa Američkim ministarstvom za saobraćaj (*US Department of Transportation*) i Upravom za puteve (*Federal Highway Administration - FHWA*).

Softver *ProVAL* ima više opcija za analize od *RoadRuf* softvera. Neke od analiza koje se mogu obaviti pomoću ovog softvera su: editovanje profila (npr. izdvajanje određenog dela profila, filtriranje i dr.), proračun različitih indeksa neravnosti (IRI, Indeks udobnosti, Indeks neravnina dobijen pomoću polovinskog oscilatornog modela vozila (*Half-car Roughness Index*), Osrednjeni indeks neravnina (*Mean Roughness Index*)) za odseke puta različitih dužina i za celu deonicu puta, proračun spektralnih gustina

neravnosti u funkciji od putne i prinudne frekvencije (Chang i ostali, 2007). Editovani profili neravnosti mogu da se snime u binarnim *ppf*. fajlovima. Softver *ProVAL* može da čita zapise neravnosti iz tekstualnih *erd*.fajlova iz baze podataka "PROFILES" softvera RoadRuf.

Na slici 4.14 prikazano je radno okruženje softvera *ProVAL* (verzija 2.73). U radnom prozoru su učitane podužne neravnosti cement-betonskog kolovoza u dobrom stanju (fajl *kjlaws7.erd*) iz foldera "RPUG". Neravnosti su registrovane pomoću mernog vozila *K.J.Law* na deonici puta od 161 m pri brzini od 80 km/h. U istom prozoru prikazane su i filtrirane neravnosti pomoću pojasnog "moving average" filtera. Filtrirane neravnosti su iskorišćene za pobudu podužnog oscilatornog modela autobusa koji je prikazan na slici 5.1 u poglavlju 5.1 ovog rada.



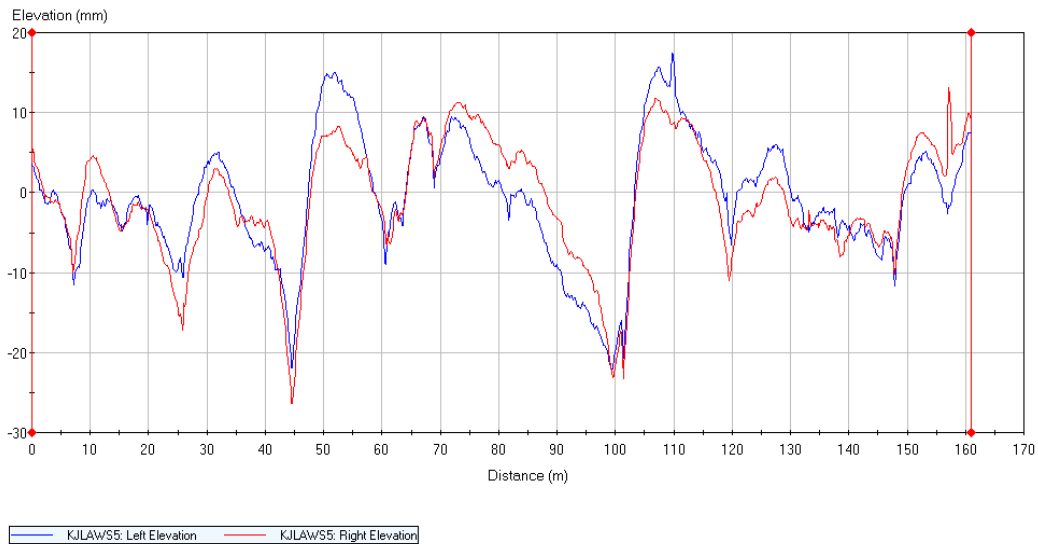
Slika 4.14. Radno okruženje softvera *ProVAL* 2.73

4.4.3. Primeri realnih neravnosti podloge za pobudu oscilatornog modela vozila

U ovom delu dati su primeri realnih neravnosti kolovoza koji su iskorišćeni kao pobudni signali oscilatornog modela autobusa IK 301 prilikom analize oscilatornog komfora putnika autobusa.

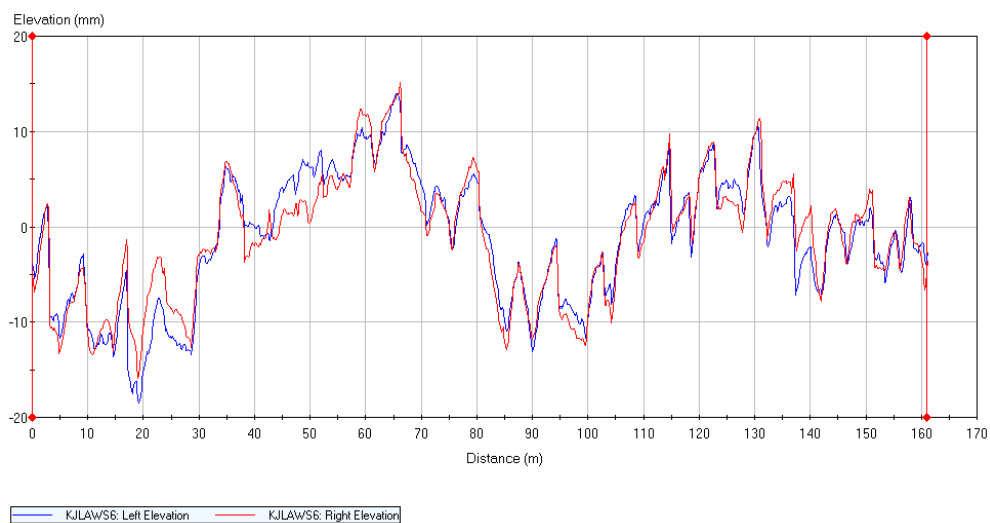
Na slikama 4.15-4.22 prikazani su primeri pet realnih neravnosti kolovoza - četiri asfalt-betonska kolovoza i jedan cement-betonski kolovoz.

Na slici 4.15 prikazane su neravnosti asfalt-betonskog kolovoza u lošem stanju u funkciji od pređenog puta. Neravnosti su registrovane na deonici puta dužine 161 m pri brzini kretanja mernog vozila od 64 km/h. Neravnosti, prevedene u funkciji od vremena, su iskorišćene kao pobudni signali prilikom validacije oscilatornog modela autobusa IK 301 (poglavlje 8). U prilogu 2 dat je deo zapisa neravnosti prikazanih na slici 4.15 koje je registrovalo merno vozilo.



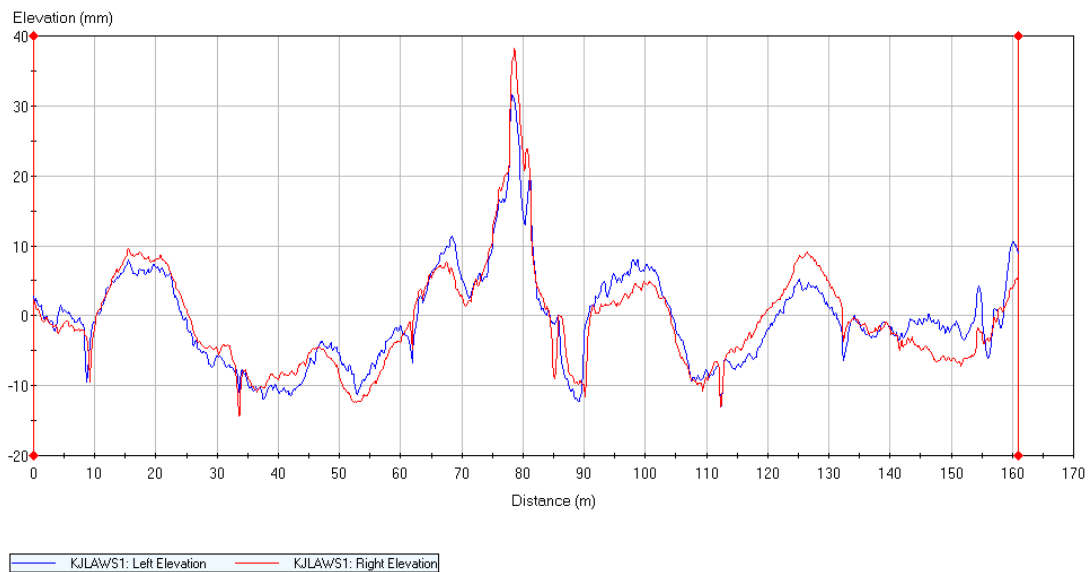
Slika 4.15. Podužne neravnosti asfalt-betonskog kolovoza u lošem stanju u funkciji od pređenog puta (brzina mernog vozila 64 km/h)

Na slici 4.16 prikazana je neravnost asfalt-betonskog kolovoza u lošem stanju registrovana na deonici puta od 161 m pri brzini kretanja mernog vozila od 80 km/h.



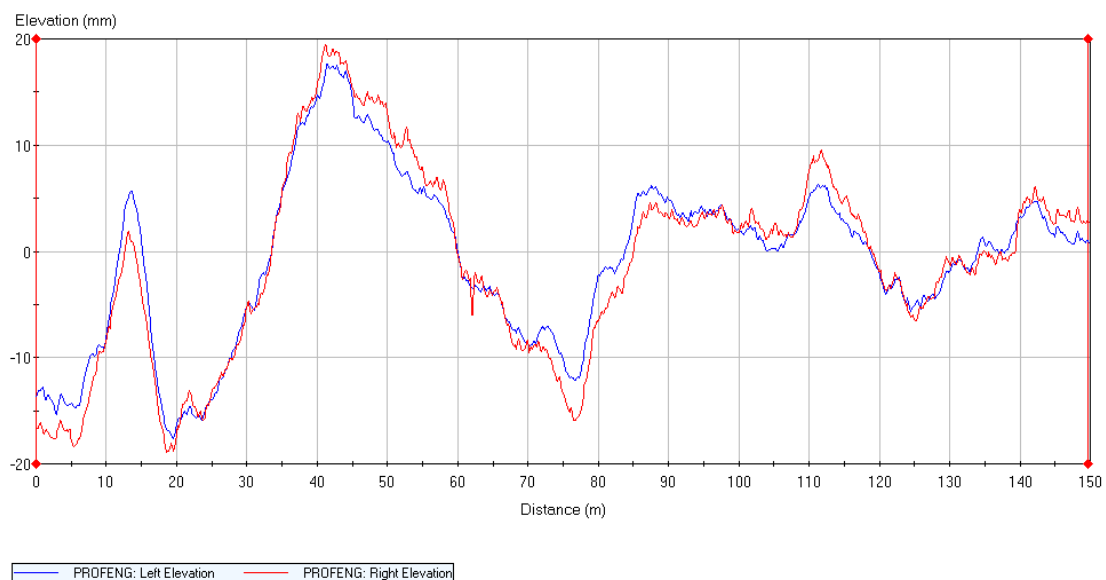
Slika 4.16. Podužne neravnosti asfalt-betonskog kolovoza u lošem stanju u funkciji od pređenog puta (brzina mernog vozila 80 km/h)

Na slici 4.17 prikazana je neravnost asfalt-betonskog kolovoza u dobrom stanju registrovana na deonici puta od 161 m pri brzini kretanja mernog vozila od 80 km/h.



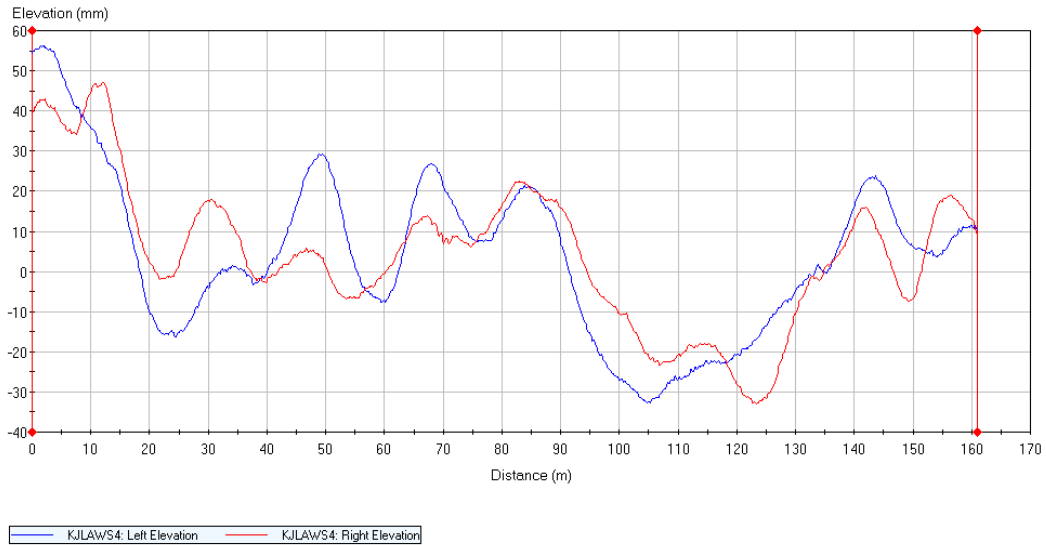
Slika 4.17. Podužne neravnosti asfalt-betonskog kolovoza u dobrom stanju u funkciji od pređenog puta (brzina mernog vozila 80 km/h)

Na slici 4.18 prikazana je neravnost vrlo dobrog cement-betonskog kolovoza. Neravnosti su snimljene na deonici puta od 150 m pri brzini od 80 km/h.



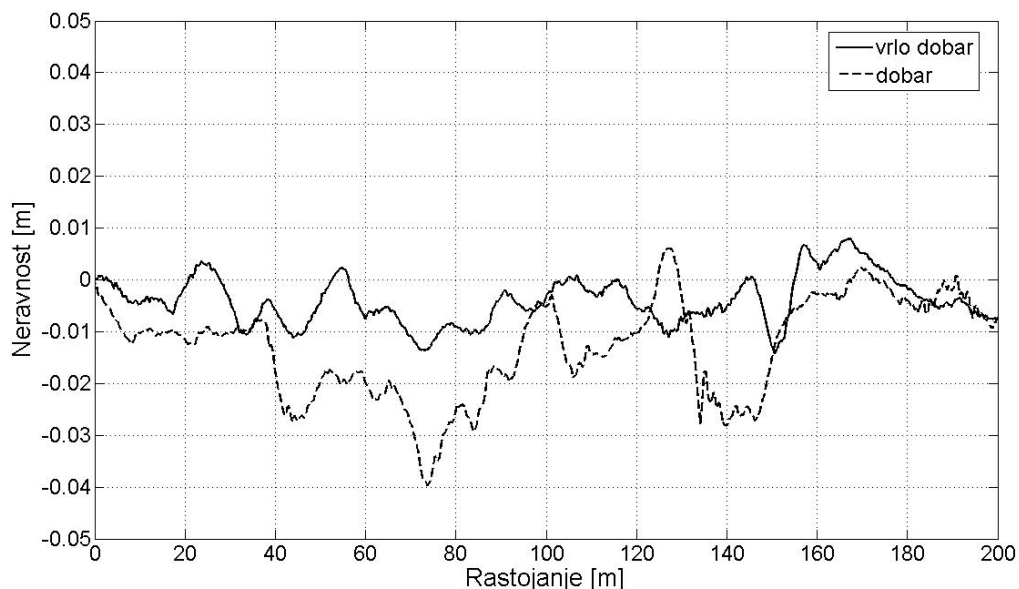
Slika 4.18. Podužne neravnosti cement-betonskog kolovoza u vrlo dobrom stanju u funkciji od pređenog puta (brzina mernog vozila 80 km/h)

Na slici 4.19 prikazana je neravnost asfalt-betonskog kolovoza u lošem stanju registrovana na deonici puta od 161 m pri brzini kretanja mernog vozila od 72 km/h.



Slika 4.19. Podužne neravnosti lošeg asfalt-betonskog kolovoza u funkciji od pređenog puta (brzina mernog vozila 72 km/h)

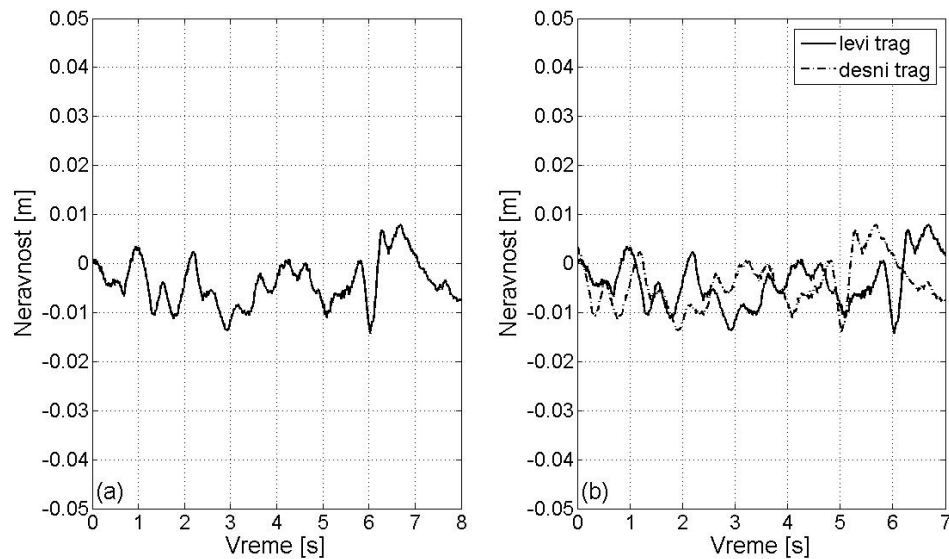
Na slici 4.20 prikazane su dve neravnosti za asfalt-betonski kolovoz u dobrom i vrlo dobrom stanju (podaci profesora Gorana Mladenovića, Građevinski fakultet Univeziteta u Beogradu). Prikazane neravnosti su registrovane duž jednog traga na deonicama puteva od po 200 m na svakih 0.025 m pri brzini mernog vozila od 90 km/h.



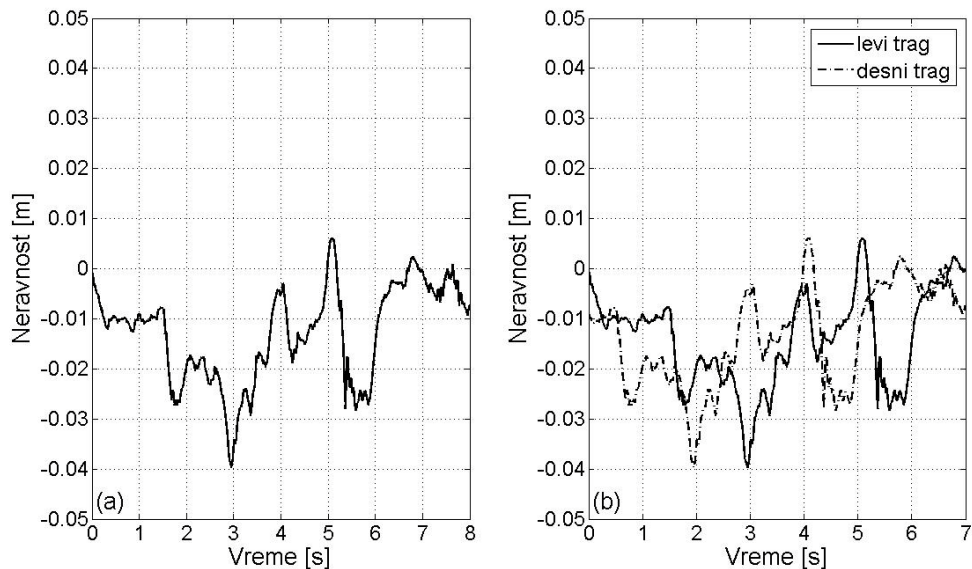
Slika 4.20. Podužne neravnosti asfalt-betonskog kolovoza u dobrom i vrlo dobrom stanju (brzina mernog vozila 90 km/h)

Na slici 4.21(a) prikazana je neravnost istog asfalt-betonskog kolovoza u vrlo dobrom stanju u funkciji od vremena. Na slici 4.21(b) prikazana je pobuda oscilatornog modela

dobijena na osnovu zapisa neravnosti duž jednog traga. Za levi trag uzete su registrovane neravnosti za prvih sedam sekundi, a za desni trag uzete su neravnosti od prve do osme sekunde. Na taj način, dobijena je pobuda čije su neravnosti na levom i desnom tragu vremenski pomerene (smaknute) za jednu sekundu. Na sličan način dobijena je i pobuda prikazana na slici 4.22(b) za dobar asfalt-betonski kolovoz.



Slika 4.21. Podužne neravnosti vrlo dobrog asfalt-betonskog kolovoza a) duž jednog traga i b) na levom i desnom tragu, u funkciji od vremena



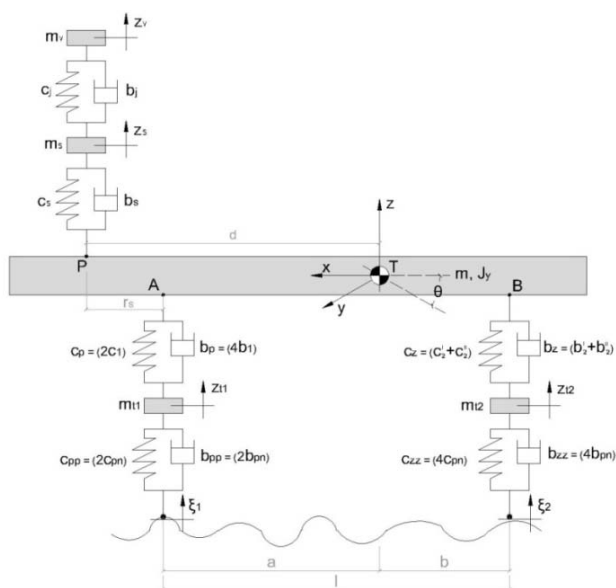
Slika 4.22. Podužne neravnosti dobrog asfalt-betonskog kolovoza a) duž jednog traga i b) na levom i desnom tragu, u funkciji od vremena

5. Oscilatorni modeli vozila

Za analizu oscilatornog ponašanja vozila koriste se oscilatorni modeli vozila (Pečeliūnas i ostali, 2003; Pečeliūnas i ostali, 2005; Gillespie, 1992; Genta, 1997; Jazar, 2008; Mitschke, 2004; Rajamani, 2006). Oscilatorni model realnog vozila može da se formira povezivanjem krutih tela elasto-prigušnim vezama (Kropáč i Múčka, 2009; Janković i Todorović, 1990). Oscilatorni modeli vozila mogu se podeliti na tačkaste, ravanske i prostorne. U ovom delu biće prikazan jedan primer ravanskog podužnog oscilatornog modela vozila sa šest stepeni slobode i jedan primer prostornog oscilatornog modela vozila sa deset stepeni slobode. Ravanski model formiran je u modulu Simulink programskog paketa *Matlab*, a prostorni model u programskom paketu *Matlab*. Pomoću ravanskog modela analiziran je oscilatorni komfor vozača prigradskog autobusa IK 103P, a rezultati su saopšteni u (Sekulić i Dedović, 2011). Pomoću prostornog oscilatornog modela izvršena je analiza oscilatornog komfora korisnika (vozač i dva putnika) međugradskog autobusa IK 301 (Sekulić i ostali, 2013). U daljem tekstu, biće prikazani najvažniji rezultati obavljenih simulacija.

5.1. Ravanski oscilatorni model vozila

Na slici 5.1 prikazan je ravanski podužni oscilatorni model vozila sa šest stepeni slobode.



Slika 5.1. Oscilatorni model vozila sa šest stepeni slobode

Nezavisna pomeranja koncentrisanih masa mehaničkog oscilatornog sistema sa slike 5.1 su: vertikalna pomeranja vozača, sedišta, težišta vozila, prednje i zadnje osovine vozila i ugaono pomeranje elastično oslonjene mase vozila oko y -ose, tzv. galopiranje. Ovakav oscilatorni model omogućava analizu karakterističnih oscilatornih veličina na osnovu kojih se može proceniti pasivna i aktivna bezbednost vozila.

Na osnovu diferencijalnih jednačina kretanja (izrazi [5.1-5.6]) u programu Simulink formiran je strukturni blok dijagram (slika 5.2). On omogućava da se za oscilatornu pobudu analizira niz različitih odziva modela vozila (npr. vertikalna pomeranja i vertikalna ubrzanja vozača, sedišta, oslonjene mase vozila, prednje i zadnje osovine vozila, dinamička deformacija sistema oslanjanja sedišta, sistema oslanjanja na prednjoj i zadnjoj osovini, dinamičke deformacije pneumatika, dinamičke sile u kontaktu između prednjeg odnosno zadnjeg točka i podloge i dr.).

$$m_v \ddot{z}_v + b_j \dot{z}_v + c_j z_v - b_j \dot{z}_s - c_j z_s = 0 \quad [5.1]$$

$$m_s \ddot{z}_s + (b_j + b_s) \dot{z}_s + (c_j + c_s) z_s - b_j \dot{z}_v - c_j z_v - b_s \dot{z} - c_s z - b_s d \dot{\theta} - c_s d \theta = 0 \quad [5.2]$$

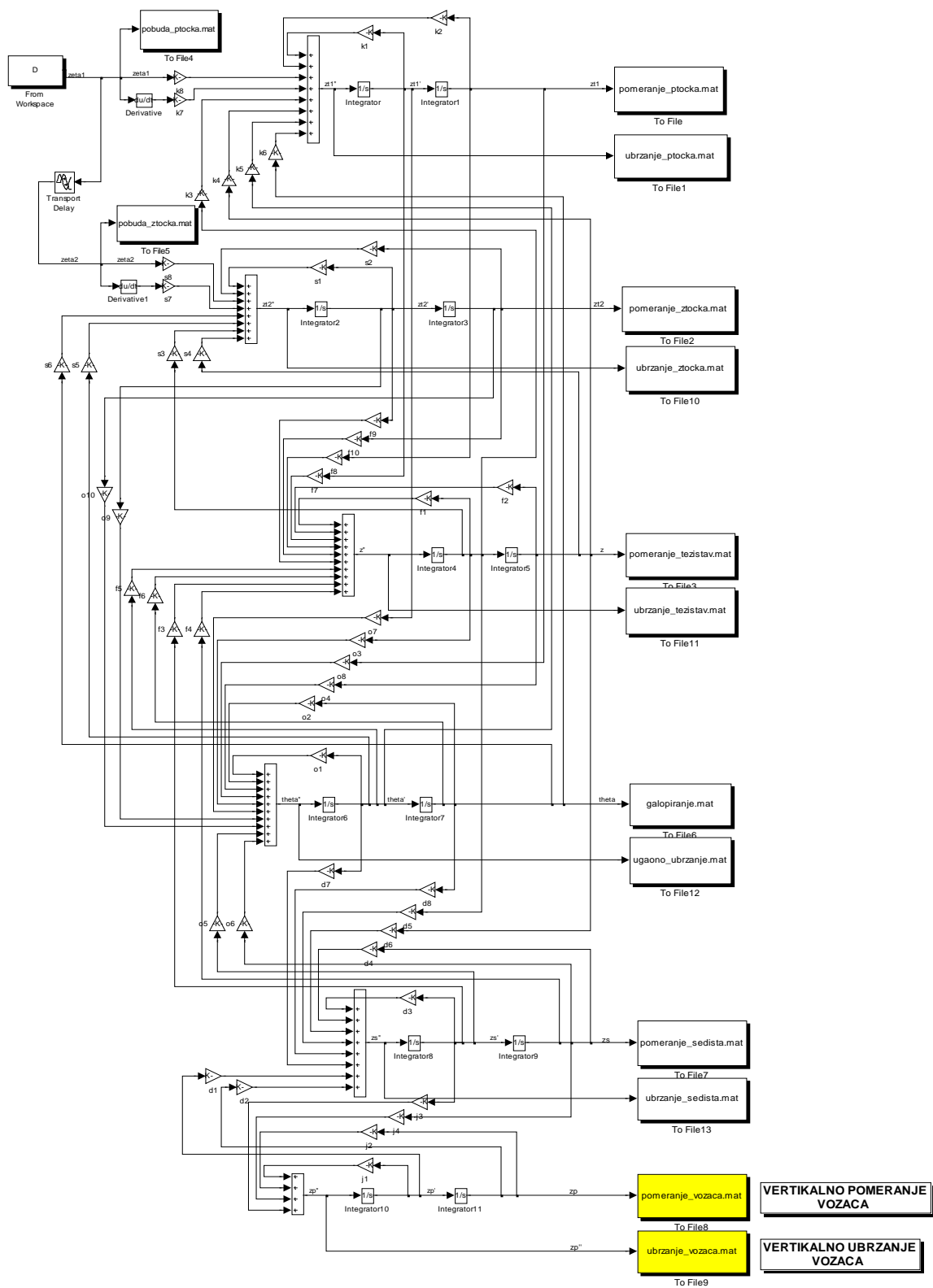
$$m \ddot{z} + (b_s + b_p + b_z) \dot{z} + (c_s + c_p + c_z) z + (db_s + ab_p - bb_z) \dot{\theta} + (dc_s + ac_p - bc_z) \theta - b_s \dot{z}_s - c_s z_s - b_p \dot{z}_{t1} - c_p z_{t1} - b_z \dot{z}_{t2} - c_z z_{t2} = 0 \quad [5.3]$$

$$J \ddot{\theta} + (d^2 b_s + a^2 b_p + b^2 b_z) \dot{\theta} + (d^2 c_s + a^2 c_p + b^2 c_z) \theta - db_s \dot{z}_s - dc_s z_s + (db_s + ab_p - bb_z) \dot{z} + (dc_s + ac_p - bc_z) z - ab_p \dot{z}_{t1} - ac_p z_{t1} + bb_z \dot{z}_{t2} + bc_z z_{t2} = 0 \quad [5.4]$$

$$m_{t1} \ddot{z}_{t1} + (b_p + b_{pp}) \dot{z}_{t1} + (c_p + c_{pp}) z_{t1} - b_p \dot{z} - c_p z - ab_p \dot{\theta} - ac_p \theta = b_{pp} \dot{\xi}_1 + c_{pp} \xi_1 \quad [5.5]$$

$$m_{t2} \ddot{z}_{t2} + (b_z + b_{zz}) \dot{z}_{t2} + (c_z + c_{zz}) z_{t2} - b_z \dot{z} - c_z z + bb_z \dot{\theta} + bc_z \theta = b_{zz} \dot{\xi}_2 + c_{zz} \xi_2 \quad [5.6]$$

U diferencijalnim jednačinama kretanja figurišu različiti parametri vozila (geometrijski parametri, parametri mase i oscilatorni parametri) od kojih zavisi oscilatorno ponašanje vozila. U istraživanju (Sekulić i Dedović, 2011) analiziran je oscilatorni komfor vozača prigradskog autobusa IK 103P, pa se u obzir uzete realne vrednosti parametra ovog autobusa.

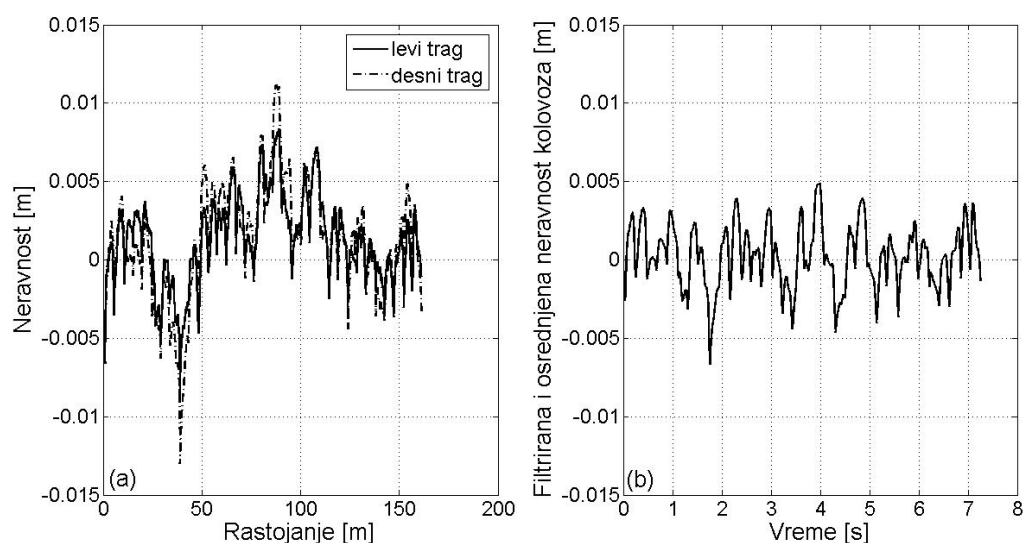


Slika 5.2. Strukturni blok dijagram oscilatornog modela vozila u Simulink-u

U daljem tekstu biće opisana oscilatorna pobuda modela i biće prikazani najvažniji rezultati sprovedene simulacije.

5.1.1. Oscilatorna pobuda oscilatornog modela autobusa IK 103P

U (Sekulić i Dedović, 2011) za pobudu oscilatornog modela uzet je signal neravnosti snimljen na realnoj podlozi - cement-betonski kolovoz u dobrom stanju pri brzini mernog vozila od 80 km/h (slika 5.3). Neravnosti kolovoza preuzete su iz baze podataka "PROFILES" softvera *RoadRuf* (*RoadRuf* software, 1997).



Slika 5.3. Snimljena neravnost kolovoza a) na levom i desnom tragu mernog vozila i b) filtrirana i osrednjena neravnost kolovoza

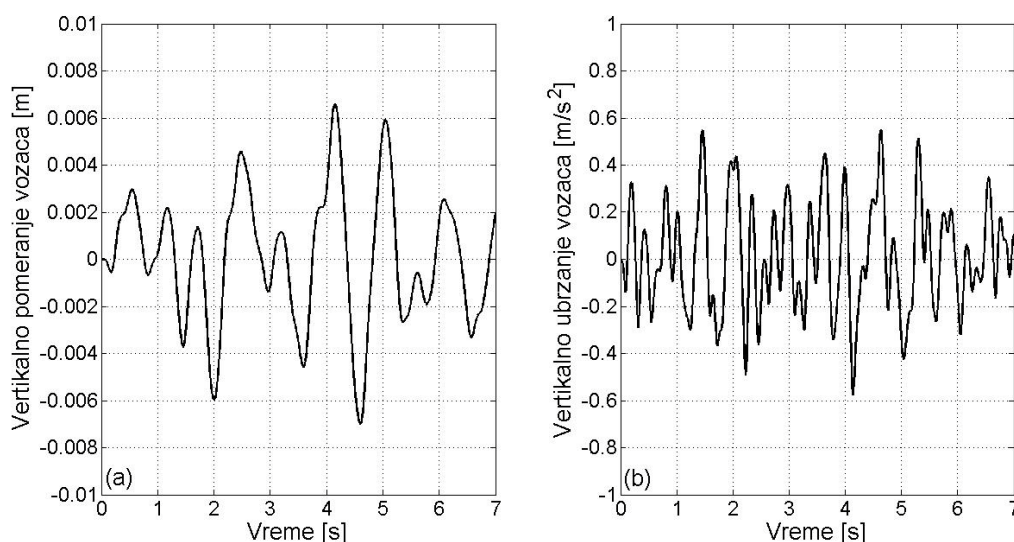
U obzir su uzete talasne dužine neravnosti iz frekventnog opsega od 1 Hz do 30 Hz, zbog toga što talasne dužine iz tog opsega imaju najveći uticaj na oscilatorno dinamičko ponašanje vozila (Simić, 1975).

Brzini vozila od 80 km/h, odgovara opseg talasnih dužina neravnosti od 22.22 m do 0.74 m (Sekulić i Dedović, 2011). Snimljeni signal neravnosti kolovoza filtriran je pomoću pojasnog (*moving average*) filtera u programskom paketu *ProVal 2.73*. Na slici 5.3(b) prikazan je filtriran i osrednjen pobudni signal neravnosti kolovoza levog i desnog traga u funkciji vremena.

5.1.2. Rezultati simulacije i analiza rezultata

Za ocenu oscilatorne udobnosti vozača u (Sekulić i Dedović, 2011) posmatrano je vertikalno pomeranje i vertikalno ubrzanje na mestu vozača. Oscilatorne veličine određene su za orginalne vrednosti oscilatornih parametara vozačevog sedišta ($c_s=3500$ N/m i $b_s=450$ Ns/m), a zatim i za različite vrednosti krutosti opruge i prigušenja amortizera sistema oslanjanja vozačevog sedišta (tabela 3 u (Sekulić i Dedović, 2011)). Ovde će biti prikazani rezultati analize u vidu dijagrama, a tabelarni rezultati statističkih parametara oscilatornih veličina dostupni su u (Sekulić i Dedović, 2011).

Na slici 5.4 prikazano je vertikalno pomeranje i ubrzanje tela vozača za oscilatorne parametre vozačevog sedišta ($c_s=3500$ N/m i $b_s=450$ Ns/m).

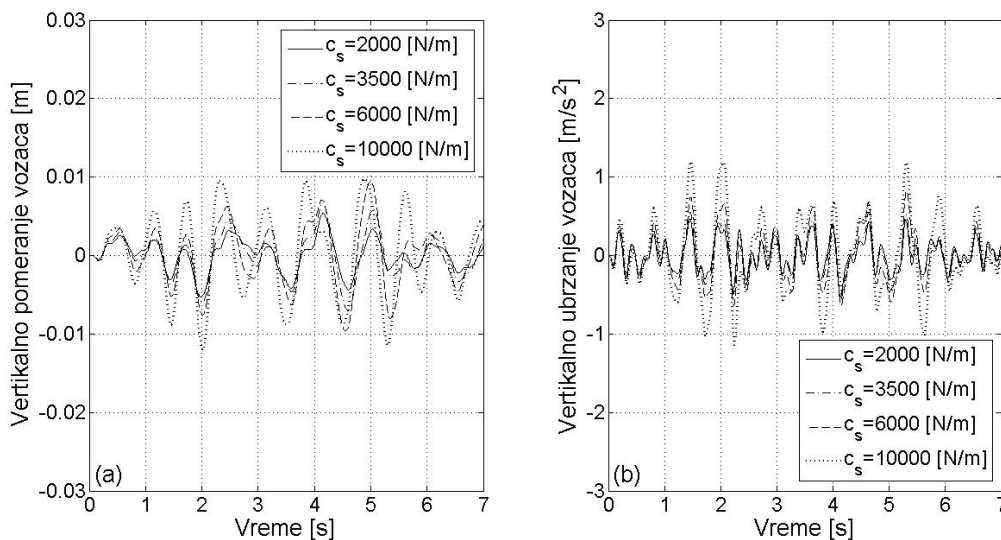


Slika 5.4. Odzivi vozača a) vertikalno pomeranje i b) vertikalno ubrzanje

Izračunata sredanja efektivna vrednost ubrzanja vozača iznosi 0.23 m/s^2 , što je u skladu sa rezultatima merenja u (Mladenović, 1997). Poređenjem sa kriterijumima standarda ISO 2631 (1997) (tabela 2.2), zaključilo se da predmetne vibracije nemaju uticaja na komfor vozača.

5.1.3. Uticaj krutosti i prigušenja sedišta na oscilatorni komfor vozača

Na slici 5.5 prikazano je pomeranje i ubrzanje tela vozača za promenljive krutosti opruge i konstantnu vrednost prigušenja amortizera od $b_s = 450$ Ns/m.

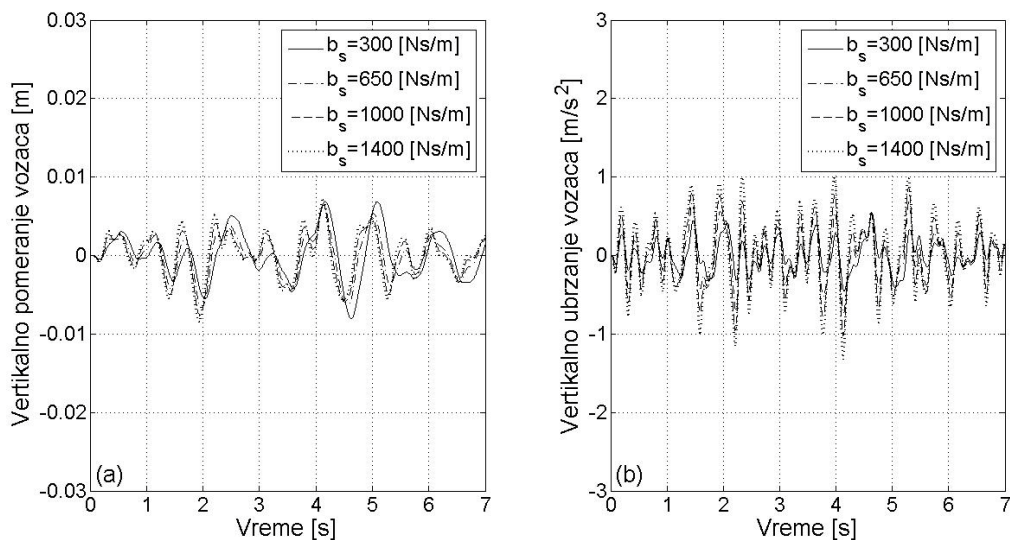


Slika 5.5. Odzivi vozača a) vertikalno pomeranje i b) vertikalno ubrzanje, za promenljive krutosti opruga i konstantno prigušene od 450 Ns/m

Uočava da višim vrednostima krutosti opruge odgovaraju veće vrednosti pomeranja vozača na sedištu (slika 5.5(a)). Pomeranja vozača naročito su izražena za velike krutosti opruga - od 6000 N/m i 10000 N/m. Kod opruga manje krutosti, od 2000 N/m i 3500 N/m, pomeranja vozača su znatno manja. Za bolji oscilatorni komfor vozača potrebno da sistem oslanjanja vozačevog sedišta ima oprugu manje krutosti.

Kada je reč o ubrzanju tela vozača na sedištu, većim krutostima opruge sistema oslanjanja odgovaraju i veće vrednosti vertikalnog ubrzanja (slika 5.5(b)). Vibracije, za slučaj opruga manjih krutosti, ne utiču na komfor vozača (tabela 4 u (Sekulić i Dedović, 2011)).

Na slici 5.6(a) prikazano je vertikalno pomeranje vozača za različite vrednosti prigušenja i konstantnu vrednost krutosti opruge od 3500 N/m. Izdvajaju se dva karakteristična perioda promene vertikalnog pomeranja. (1) Do kraja druge sekunde simulacije pomeranja vozača za najmanje prigušenje amortizera manja su u odnosu na pomeranja vozača za ostale posmatrane vrednosti prigušenja. (2) Posle druge sekunde, pomeranja vozača za najmanje prigušenje veća su u poređenju sa pomeranjima vozača za veće vrednosti prigušenja. Ovakva situacija naročito je izražena u petoj i šestoj sekundi simulacije.



Slika 5.6. Odzivi vozača a) vertikalno pomeranje i b) vertikalno ubrzanje, za promenljiva prigušenja i konstantnu krutost opruge od 3500 N/m

Pomeranja vozača na sedištu prigušuju se pomoću hidrauličnog amortizera u sistemu oslanjanja sedišta. Amortizer vrši prigušivanje oscilatornog kretanja stvaranjem sile viskoznog trenja usled pomeranja klipa u cilindru. U situacijama kada su pomeranja klipa mala, a prigušenje amortizera veliko, amortizer se praktično ponaša kao da je blokiran, što za posledicu ima da se kretanje tela vozača praktično kontroliše pomoću jastuka vozačevog sedišta. Iz tog razloga pomeranja tela vozača u ovakvom slučaju imaju veće vrednosti u odnosu na pomeranja koja nastaju pri korišćenju amortizera sa malim prigušenjem. Dejstvo amortizera sa većim prigušenjem dolazi do izražaja prilikom snažnijih pobuda, usled čega je pomeranje vozača manje u poređenju sa pomeranjem kada amortizera ima manje prigušenje.

Izbor amortizera po kriterijumu zadovoljenja oscilatornog komfora se, zbog pomenute karakteristične promene pomeranja tela vozača, može jasnije sagledati iz analize uticaja prigušenja na vertikalno ubrzanje vozača.

Dijagram ubrzanja tela vozača za različite vrednosti prigušenja i konstantnu vrednost krutosti opruge prikazan je na slici 5.6(b). Može se konstatovati da sedišta opremljena amortizerima koji imaju manje vrednosti prigušenja obezbeđuju bolji oscilatorni komfor vozača.

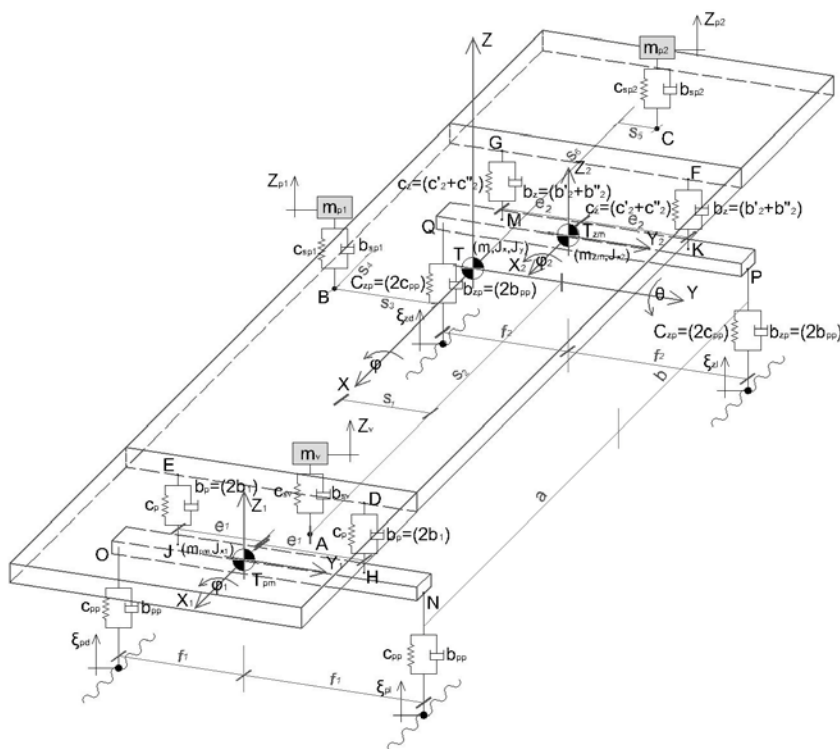
5.1.4. Kratak zaključak istraživanja

Ravanski oscilatorni model vozila omogućio je relevantnu analizu oscilatorne udobnosti vozača autobusa. Pokazano je da opruge manje krutosti omogućuju bolji oscilatorni komfor vozača. Sa povećavanjem krutosti opruge povećava se i pomeranje i ubrzanje vozača.

Za realnu oscilatornu pobudu dobar cement-beton i brzinu od 80 km/h, pokazano je da amortizeri sa manjim prigušenjem obezbeđuju bolji oscilatorni komfor vozaču. Većim vrednostima prigušenja odgovaraju veće vršne vrednosti ubrzanja vozača na sedištu.

5.2. Prostorni oscilatorni model vozila

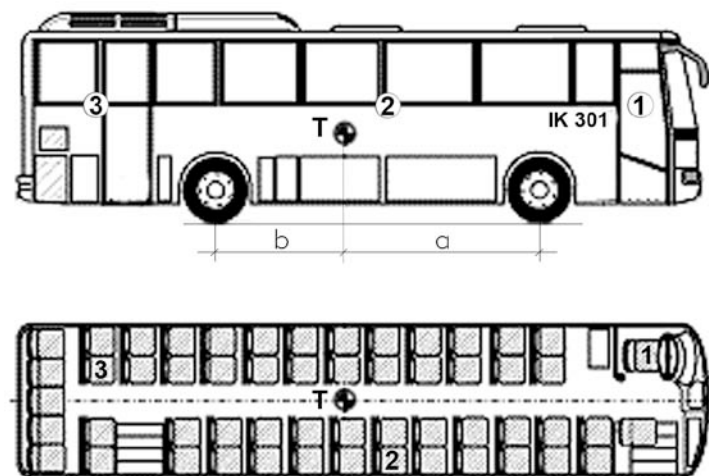
Na slici 5.7 prikazan je prostorni oscilatorni model vozila. Prostorni model je sastavljen od tri kruta tela (prednja i zadnja osovina i karoserija vozila) i tri koncentrisane mase (vozač i dva putnika) koje su međusobno povezane elasto-prigušnim vezama. Pomoću ovog modela ispitan je oscilatorni komfor vozača i dva putnika međugradskog autobusa IK 301.



Slika 5.7. Prostorni oscilatorni model vozila

Nezavisna pomeranja koncentrisanih masa i krutih tela razmatranog mehaničkog oscilatornog sistema su: vertikalna pomeranja vozača, putnika u srednjem delu autobusa (putnik1), putnika na zadnjem prepustu autobusa (putnik2), težišta elastično oslonjene mase autobusa, težišta prednje i zadnje osovine autobusa, zatim ugaono pomeranje elastično oslonjene mase autobusa oko podužne i poprečne ose (x -osa i y -osa) i ugaono pomeranje prednje i zadnje osovine autobusa oko osa x_1 i x_2 .

Sedišta vozača, putnika u srednjem delu autobusa i putnika na zadnjem prepustu označeni su na slici 5.8 brojevima 1, 2 i 3, respektivno. Na slici 5.8 je, takođe, označen i položaj težišta potpuno opterećenog autobusa.



Izvor: Nijemčević i ostali, 2001.

Slika 5.8. Sedišta vozača i putnika autobusa i položaj težišta autobusa

Oznakama na slikama 5.7 i 5.8 nazančeni su parametri (geometrijski parametri, parametri mase i oscilatorni parametri) vozila. Važno je napomenuti da su u analizama korišćeni realni parametri međugradskog autobusa IK 301, koja potiču iz dostupne literature (Mladenović, 1997; Simić i ostali, 1975; Nijemčević i ostali, 2001; Dedović i Mladenović, 1999).

Primenom Lagranžovih jednačina druge vrste diferencijalne jednačine kretanja određene su izrazima [5.7-5.16]:

$$m_v \ddot{z}_v + b_{sv} \dot{z}_v + c_{sv} z_v - b_{sv} \dot{z} - c_{sv} z - s_1 b_{sv} \dot{\varphi} - s_1 c_{sv} \varphi + s_2 b_{sv} \dot{\theta} + s_2 c_{sv} \theta = 0 \quad [5.7]$$

$$m_{p1}\ddot{z}_{p1} + b_{sp1}\dot{z}_{p1} + c_{sp1}z_{p1} - b_{sp1}\dot{z} - c_{sp1}z + s_3b_{sp1}\dot{\varphi} + s_3c_{sp1}\varphi + s_4b_{sp1}\dot{\theta} + s_4c_{sp1}\theta = 0 \quad [5.8]$$

$$m_{p2}\ddot{z}_{p2} + b_{sp2}\dot{z}_{p2} + c_{sp2}z_{p2} - b_{sp2}\dot{z} - c_{sp2}z - s_5b_{sp2}\dot{\varphi} - s_5c_{sp2}\varphi - s_6b_{sp2}\dot{\theta} - s_6c_{sp2}\theta = 0 \quad [5.9]$$

$$\begin{aligned} m\ddot{z} + (b_{sv} + b_{sp1} + b_{sp2} + 2b_p + 2b_z)\dot{z} + (c_{sv} + c_{sp1} + c_{sp2} + 2c_p + 2c_z)z + (s_1b_{sv} - s_3b_{sp1} + \\ + s_5b_{sp2})\dot{\varphi} + (s_1c_{sv} - s_3c_{sp1} + s_5c_{sp2})\varphi - (s_2b_{sv} + s_4b_{sp1} - s_6b_{sp2} + 2ab_p - 2bb_z)\dot{\theta} - (s_2c_{sv} + \\ + s_4c_{sp1} - s_6c_{sp2} + 2ac_p - 2bc_z)\theta - b_{sv}\dot{z}_v - c_{sv}z_v - b_{sp1}\dot{z}_{p1} - c_{sp1}z_{p1} - b_{sp2}\dot{z}_{p2} - c_{sp2}z_{p2} - \\ - 2b_p\dot{z}_1 - 2c_pz_1 - 2b_z\dot{z}_2 - 2c_zz_2 = 0 \end{aligned} \quad [5.10]$$

$$\begin{aligned} J_x\ddot{\theta} + (s_1^2b_{sv} + s_3^2b_{sp1} + s_5^2b_{sp2} + 2e_1^2b_p + 2e_2^2b_z)\dot{\varphi} + (s_1^2c_{sv} + s_3^2c_{sp1} + s_5^2c_{sp2} + 2e_1^2c_p + 2e_2^2c_z)\varphi - \\ - s_1b_{sv}\dot{z}_v - s_1c_{sv}z_v + s_3b_{sp1}\dot{z}_{p1} + s_3c_{sp1}z_{p1} - s_5b_{sp2}\dot{z}_{p2} - s_5c_{sp2}z_{p2} + (s_1b_{sv} - s_3b_{sp1} + s_5b_{sp2})\dot{z} + \\ (s_1c_{sv} - s_3c_{sp1} + s_5c_{sp2})z - (s_1s_2b_{sv} - s_3s_4b_{sp1} - s_5s_6b_{sp2})\dot{\theta} - (s_1s_2c_{sv} - s_3s_4c_{sp1} - s_5s_6c_{sp2})\theta - \\ 2e_1^2b_p\dot{\varphi}_1 - 2e_1^2c_p\varphi_1 - 2e_2^2b_z\dot{\varphi}_2 - 2e_2^2c_z\varphi_2 = 0 \end{aligned} \quad [5.11]$$

$$\begin{aligned} J_y\ddot{\theta} + (s_2^2b_{sv} + s_4^2b_{sp1} + s_6^2b_{sp2} + 2a^2b_p + 2b^2b_z)\dot{\theta} + (s_2^2c_{sv} + s_4^2c_{sp1} + s_6^2c_{sp2} + 2a^2c_p + 2b^2c_z)\theta + \\ + s_2b_{sv}\dot{z}_v + s_2c_{sv}z_v + s_4b_{sp1}\dot{z}_{p1} + s_4c_{sp1}z_{p1} - s_6b_{sp2}\dot{z}_{p2} - s_6c_{sp2}z_{p2} - (s_2b_{sv} + s_4b_{sp1} - s_6b_{sp2} + 2ab_p - \\ - 2bb_z)\dot{z} - (s_2c_{sv} + s_4c_{sp1} - s_6c_{sp2} + 2ac_p - 2bc_z)z - (s_1s_2b_{sv} - s_3s_4b_{sp1} - s_5s_6b_{sp2})\dot{\varphi} - (s_1s_2c_{sv} - \\ - s_3s_4c_{sp1} - s_5s_6c_{sp2})\varphi + 2ab_p\dot{z}_1 + 2ac_pz_1 - 2bb_z\dot{z}_2 - 2bc_zz_2 = 0 \end{aligned} \quad [5.12]$$

$$\begin{aligned} m_{pm}\ddot{z}_1 + 2(b_p + b_{pp})\dot{z}_1 + 2(c_p + c_{pp})z_1 - 2b_p\dot{z} - 2c_pz + 2ab_p\dot{\theta} + 2ac_p\theta = \\ = b_{pp}\dot{\xi}_{pd} + c_{pp}\xi_{pd} + b_{pp}\dot{\xi}_{pl} + c_{pp}\xi_{pl} \end{aligned} \quad [5.13]$$

$$\begin{aligned} J_{x1}\ddot{\varphi}_1 + 2(e_1^2b_p + f_1^2b_{pp})\dot{\varphi}_1 + 2(e_1^2c_p + f_1^2c_{pp})\varphi_1 - 2e_1^2b_p\dot{\varphi} - 2e_1^2c_p\varphi = \\ = -f_1b_{pp}\dot{\xi}_{pd} - f_1c_{pp}\xi_{pd} + f_1b_{pp}\dot{\xi}_{pl} + f_1c_{pp}\xi_{pl} \end{aligned} \quad [5.14]$$

$$\begin{aligned} m_{zm}\ddot{z}_2 + 2(b_z + b_{zp})\dot{z}_2 + 2(c_z + c_{zp})z_2 - 2b_z\dot{z} - 2c_zz - 2bb_z\dot{\theta} - 2bc_z\theta = \\ = b_{zp}\dot{\xi}_{zd} + c_{zp}\xi_{zd} + b_{zp}\dot{\xi}_{zl} + c_{zp}\xi_{zl} \end{aligned} \quad [5.15]$$

$$\begin{aligned} J_{x2}\ddot{\varphi}_2 + 2(e_2^2b_z + f_2^2b_{zp})\dot{\varphi}_2 + 2(e_2^2c_z + f_2^2c_{zp})\varphi_2 - 2e_2^2b_z\dot{\varphi} - 2e_2^2c_z\varphi = \\ = -f_2b_{zp}\dot{\xi}_{zd} - f_2c_{zp}\xi_{zd} + f_2b_{zp}\dot{\xi}_{zl} + f_2c_{zp}\xi_{zl} \end{aligned} \quad [5.16]$$

Diferencijalne jednačine kretanja su numerički rešene pomoću programskog koda u programskom paketu *Matlab* u kojem je iskorišćena funkcija *ode45* sa varijabilnim

korakom numeričke integracije (Yang i ostali, 2005). Definisani početni uslovi za sve promenljive jednaki su nuli. Izabrano je vreme simulacije od 7 sekundi. Sve analize koje slede obavljene su pomoću programskih kodova napisanih u programskom paketu *Matlab*.

5.2.1. Pobuda oscilatornog modela autobusa IK 301

Za oscilatornu pobudu iskorišćen je signal modelirane podužne neravnosti asfalt-betonskog kolovoza u vrlo dobrom stanju, za brzinu autobusa od 100 km/h (slika 4.7. u poglavlju 4.2.1.).

5.2.2. Analiza rezultata simulacije

Ocena uticaja vibracija na komfor korisnika autobusa sprovedena je pomoću postupka koji propisuje međunarodni standard ISO 2631 (1997). Analiza komfora sprovedena je u odnosu na proračunatu srednju efektivnu vrednost vrednovanog vertikalnog ubrzanja na mestima vozača i putnika, izraz [5.17].

$$\ddot{z}_{rms,w} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T \ddot{z}_w^2(t) dt} \quad [5.17]$$

gde je:

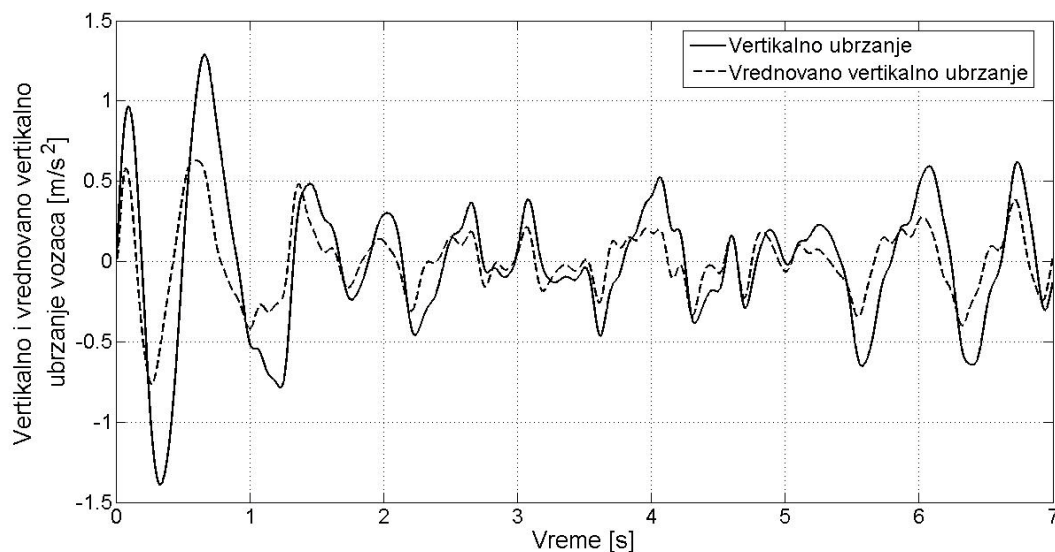
$\ddot{z}_{rms,w}$ - srednja efektivna vrednost vrednovanog vertikalnog ubrzanja (m/s^2);

$\ddot{z}_w(t)$ - vrednovano vertikalno ubrzanje u funkciji od vremena (m/s^2);

T - razmatrani vremenski period (s);

Vrednovano ubrzanje $\ddot{z}_w(t)$ dobijeno je propuštanjem signala vertikalnog ubrzanja na mestima korisnika $\ddot{z}(t)$ kroz filter W_k koji je u standardu ISO 2631 (1997) definisan za analizu komfora tela čoveka izloženog dejstvu oscilacija za vertikalni pravac u sedećem položaju.

Na slici 5.9 prikazan je primer vertikalnog ubrzanja i vrednovanog vertikalnog ubrzanja za vozača za krutost opruge od 10000 N/m i prigušenje amortizera od 750 Ns/m.



Slika 5.9. Vertikalno ubrzanje i vrednovano vertikalno ubrzanja na mestu vozača za neravnosti asfalt-betonskog kolovoza u vrlo dobrom stanju, za brzinu autobusa od 100 km/h

Ocena komfora je izvršena poređenjem simulacijom utvrđenih srednjih efektivnih vrednosti vrednovanog ubrzanja korisnika autobusa (tabela 5.1) sa graničnim vrednostima kriterijuma udobnosti u sredstvima javnog prevoza (tabela 2.2), prema ISO 2631 (1997).

Tabela 5.1. Srednje efektivne vrednosti vrednovanog ubrzanja korisnika autobusa

Vrsta i stanje kolovoza	Brzina autobusa [km/h]	Srednja efektivna vrednost vrednovanog ubrzanja [m/s^2]		
		vozač	putnik1	putnik2
Asfalt-beton (vrlo dobar)	100	0.23	0.3	0.62

Za generisanu pobudu asfalt-beton u vrlo dobrom stanju vibracije ne utiču na komfor vozača i putnika1. Srednja efektivna vrednost ubrzanja za putnika2 za brzinu autobusa od 100 km/h iznosi $0.62 m/s^2$. Prema kriterijumima vrednovanja, koje propisuje standrad ISO 2631 (1997), vibracije imaju uticaj na komfor putnika2 označen sa “prilično neudoban“.

5.2.3. Analiza uticaja oscilatornih parametra sedišta na komfor vozača

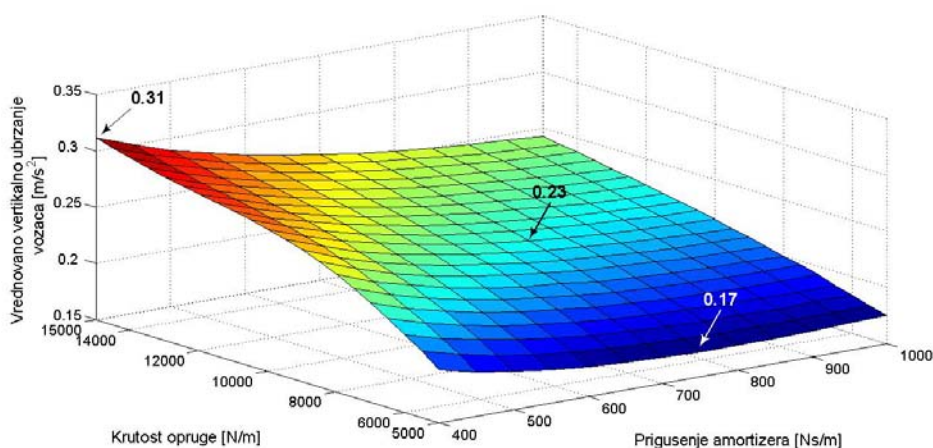
U tabeli 5.2 date su srednje efektivne vrednosti vrednovanog ubrzanja vozača za krutosti opruga od 5000 N/m, 10000 N/m i 15000 N/m i koeficijente prigušenja amortizera sedišta vozača od 400 Ns/m, 750 Ns/m i 1000 Ns/m.

Tabela 5.2. Srednje efektivne vrednosti vrednovanog ubrzanja vozača

		Prigušenje amortizera [Ns/m]		
		400	750	1000
Krutost opruge [N/m]	5000	0.2	0.17	0.18
	10000	0.28	0.23	0.22
	15000	0.31	0.26	0.24

Najnižu srednju efektivnu vrednost vrednovanog ubrzanja od 0.17 m/s^2 obezbeđuje opruga krutosti od 5000 N/m i koeficijent prigušenja amortizera od 750 Ns/m. Najviša srednja efektivna vrednost vrednovanog ubrzanja vozača iznosi 0.31 m/s^2 za krutost opruge od 15000 N/m i koeficijent prigušenja amortizera od 400 Ns/m. Za realne oscilatorne parametere vozačevog sedišta efektivna vrednost vrednovanog ubrzanja iznosi 0.23 m/s^2 .

Na slici 5.10 predstavljena je zavisnost srednje efektivne vrednosti vrednovanog vertikalnog ubrzanja vozača u funkciji od krutosti opruge i koeficijenta prigušenja amortizera.

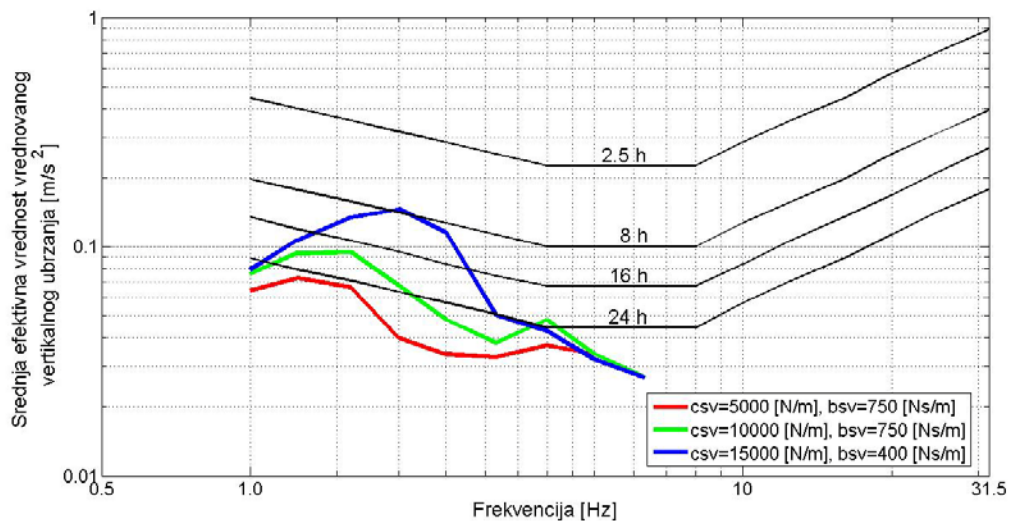


Slika 5.10. Srednja efektivna vrednost vrednovanog vertikalnog ubrzanja vozača u funkciji od koeficijenta krutosti opruge i koeficijenta prigušenja amortizera vozačevog sedišta

Uočava se da niže srednje efektivne vrednosti ubrzanja obezbeđuju sedišta sa oprugama manjih krutosti i sa amortizerima viših prigušenja. Sedišta sa oprugama viših krutosti i nižih vrednosti prigušenja amortizera povećavaju srednje efektivne vrednosti ubrzanje vozača.

5.2.4. Vreme izlaganja vozača vibracijama u odnosu na kriterijum umanjenog komfora

Na slici 5.11 su prikazane linije za vrednovanje dejstva oscilacija u z-pravcu na komfor prema ISO 2631 (1985) i proračunate *RMS* krive za oscilatorne parametre sedišta.



Slika 5.11. Vreme izlaganja vozača oscilacijama u pravcu z-ose za kriterijum umanjenog komfora

Uočava se da se dozvoljeno vreme izlaganja tela vozača oscilacijama smanjuje sa povećavanjem krutosti opruge vozačevog sedišta. Za sedišta vozača sa realnim oscilatornim parametrima ($c_{sv}=10000$ N/m, $b_{sv}=750$ Ns/m) dozvoljeno vreme izlaganja vozača vertikalnim vibracijama iznosi približno 16 časova. Ako se krutost opruge smanji za 50%, dozvoljeno vreme izlaganja se poveća za približno 50%, i obrunuto. Za sedišta sa oprugama krutosti od 5000 N/m i 15000 N/m dozvoljena vremena izlaganja vozača vibracijama, prema rezultatima sprovedene simulacije, iznose približno 24 časa i 8 časova (slika 5.11).

5.2.5. Kratak zaključak istraživanja

Za brzinu autobusa od 100 km/h i pobudu asfalt-beton u vrlo dobrom stanju prema kriterijumima vrednovanja iz standarda ISO 2631 (1997) vibracije imaju uticaj na komfor putnika na zadnjem prepustu autobusa.

Prema rezultatima sprovedene simulacije bolji oscilatorni komfor vozača obezbeđuju sedišta sa oprugama nižih krutosti i amortizerima sa relativno nižim prigušenjima.

Sedišta sa oprugama manjih krutosti obezbeđuju duže dozvoljeno vreme izlaganja vibracijama za kriterijum umanjenog komfora.

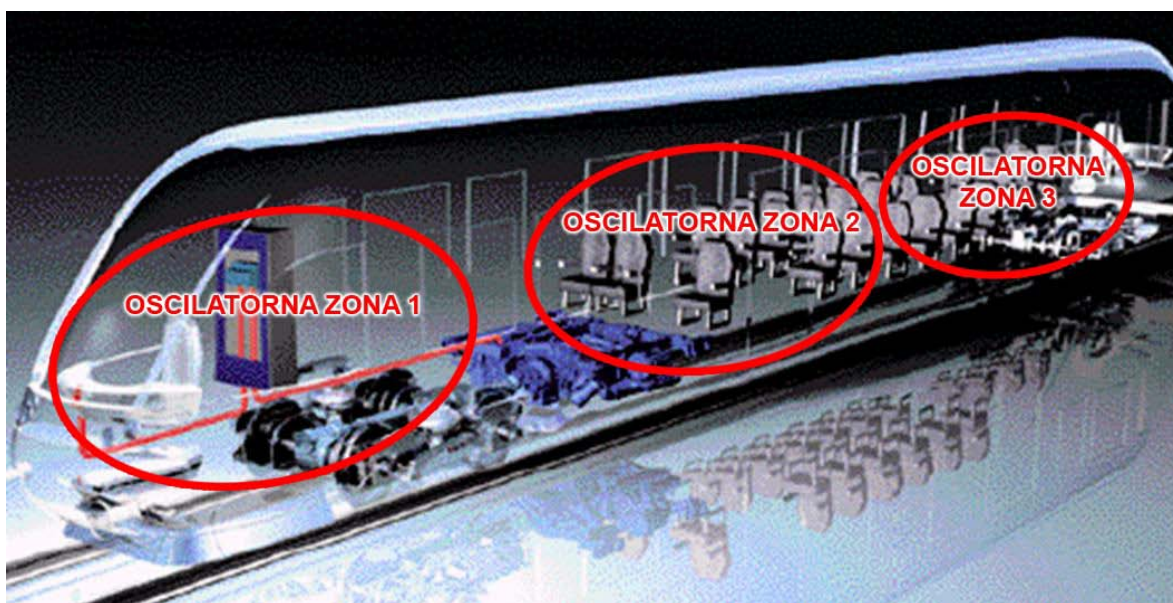
U istraživanjima (Sekulić i Dedović, 2011; Sekulić i ostali, 2013) izvršena je analiza oscilatornog komfora korisnika (vozača i putnika) dva tipa autobusa domaćeg proizvođača - IK 103P i IK 301. Analizu oscilatorne udobnosti omogućila su dva originalna oscilatorna modela vozila.

Na osnovu rezultata istraživanja pokazano je da komfor putnika autobusa značajno zavisi od položaja sedišta u autobusu. Ovo je takođe tačno i za druga kopnena saobraćajna sredstva namenjena prevozu putnika (npr. šinska putnička vozila (Ismail i ostali, 2010; Kardas-Cinal, 2010)). Na osnovu rezultata istraživanja nastala je ideja da se definišu i odrede *zone jednakog oscilatornog komfora* u autobusu. *Zone jednakog oscilatornog komfora vozila* je novi termin koji ranije nije definisan u oblasti vertikalne dinamike vozila. *Zona jednakog oscilatornog komfora u sredstvima nemenjenim za prevoz putnika može se definisati kao skup sedišta na kojima korisnici vozila imaju približno isti oscilatorni komfor*. Definisane oscilatorne zone vozila bi ukazale na sedišta u vozilu koja imaju umanjenu oscilatornu udobnost.

Da bi u vozilu mogle da se odrede oscilatorne zone neophodno je da se odredi komfor korisnika na svakom sedištu vozila. Određivanje komfora svakog korisnika u vozilu eksperimentalnim putem bi bilo nepraktično i teško izvodljivo. Praktičan način da se odrede oscilatorne zone vozila omogućila bi simulacija i odgovarajući validiran oscilatorni model vozila. Kako su kopnena saobraćajna sredstva za prevoz putnika (npr. autobusi i šinska vozila) u konstruktivnom pogledu (u odnosu na njihovo oscilatorno ponašanje) slična (Janićijević i ostali, 1998; Iwincki, 2006), ideja je da se prvo definiše

opšti oscilatorni model. Opšti oscilatorni model treba da bude tako definisan da obuhvati sve elemente koji su važni i imaju uticaja na oscilatorno ponašanje vozila, da omogući analizu oscilatorne udobnosti svih korisnika vozila i da može da se unapredi u cilju približavanja modela realnom vozilu. Na osnovu opšteg modela definisaće se originalni prostorni model međugradskog autobusa IK 301, koji će poslužiti kao konkretan primer za određivanje zona jednakog oscilatornog komfora (glava 7 i 9).

Na slici 5.12 prikazano je jedno šinsko putničko vozilo sa sedištima i naznačenim primerima oscilatornih zona.



Izvor: Rusov, 2012.

Slika 5.12. Šinsko putničko vozilo sa sedištima i naznačenim oscilatornim zonama

6. Programski paketi za složene dinamičke analize vozila

Postoji veliki broj programskih paketa za simulaciju dinamičkog ponašanja vozila. Oni se mogu svrstati u četiri grupe (Crolla i Horton, 1993):

- Specijalizovani simulacioni kodovi;
- Numerički “*multibody*“ simulacioni softveri (npr. *MSC.ADAMS*);
- Simbolički “*multibody*“ simulacioni softveri;
- Alati (toolkits) (npr. *Matlab*);

Specijalizovani simulacioni kodovi razvijeni su u cilju rešavanja specifične grupe problema u dinamici vozila. To su namenski kodovi koji omogućavaju obavljanje određenih tipova simulacija na modelima vozila. Za određeno vozilo definiše se set (diferencijalnih i algebarskih) jednačina kretanja koje se zatim ugrađuju u kompjuterski program. Ovakvi programi omogućavaju da se simulacija obavlja sa različitim setom vrednosti za parametre modela, a izlazne veličine su najčešće u funkciji od vremena. Tipičan primer ovakve vrste programa je *AUTOSIM* namenjen za analize upravljivosti vozila. Program je razvijen kao simbolički kod sa ciljem da omogući obavljanje brzih simulacija, a korisnik ima mogućnost izbora modela vozila različite složenosti. Program *HVOSM* (*Highway Vehicle Object Simulation Model*) takođe spada u ovu grupu kompjuterskih programa, a razvio ga je Institut za istraživanje transporta na Univerzitetu Mičigen (*The University of Michigan Transport Research Institute - UMTRI*). Program *HVOSM* uključuje različite modele za pneumatike i za sistem oslanjanja i može da se koristi za analize sudara kao i za analize oscilatornog komfora i upravljivosti vozila.

U specijalizovane kodove za dinamiku vozila spadaju i *LVDS* (*Light Vehicle Dynamics Simulation*) razvijen na Univerzitetu Misuri; *VDANL* (*Vehicle Dynamics Analysis, Non-Linear*) razvijen od strane Systems Technology Inc.; *ADVS* (*Advanced Dynamic Vehicle Simulation*) razvijen na Univerzitetu Misuri (McCarthy, 1998).

“*Multibody*“ programski paketi su najpoznatiji kada je reč o modeliranju vozila i za obavljanje simulacija u dinamici vozila (Schiehlen, 1997; Kvasnička i Palčak, 1996).

“*Multibody*“ programski paketi automatizuju proces kreiranja matematičkog modela mehaničkih sistema tj. automatski generišu i rešavaju diferencijalne jednačine kretanja. Pomoću takvih programskih paketa moguće je izgraditi modele mehaničkih sistema koji sadrže skoro sve elemente od kojih je sastavljen realan sistem. Ovakav način modeliranja konceptualno je prihvatljiv, ali i komplikovan, jer zahteva veliku količinu ulaznih podataka, generisanje velikog broja jednačina i ozbiljnu snagu računara.

“*Multibody*“ programski paketi mogu se podeliti u dve grupe (Blundell i Harty, 2004). U prvou grupu spadaju paketi gde se jednačine kretanja generišu u numeričkom obliku i rešavaju se metodama numeričke integracije koje sadrži sam programski paket. Korisnik nema pristup generisanim jednačinama kretanja. Nedostatak ove grupe paketa je taj što svaki put kada se promeni vrednost jednog parametra modela, jednačine kretanja za obavljanje simulacije se generišu iznova. U ovu grupu paketa spada *MSC.ADAMS*. U drugu grupu spadaju relativno noviji programski paketi kod kojih se jednačine kretanja generišu u algebarskoj tj. simboličkoj formi. U ovakvim paketima jednačine kretanja se zapisuju u posebne fajlove, tako da korisnik ima mogućnost pristupa i mogućnost analiziranja generisanih jednačina kretanja. Za njihovo rešavanje često se koriste poseban integrator. Glavna prednost ove grupe paketa u odnosu na prethodnu je ta što se, u slučaju promene vrednosti nekog parametra modela, jednačine kretanja ne generišu ponovo što omogućava brzo obavljanje simulacija.

Alati (toolkits) naročito su pogodni za jednostavnije modele dinamike vozila (sa manjim brojem stepeni slobode) za koje se diferencijalne jednačine najčešće ručno izvode. Da bi se obavila simulacija od korisnika se zahteva da napiše odgovarajući programski kod za rešavanje diferencijalnih jednačina kretanja u nekom od programskih paketa (npr. *Matlab (Matrix laboratory)*, *Mathcad*). Postoji i alati koji poluautomatizuju generisanje diferencijalnih jednačina kretanja, a od korisnika se zahteva da definiše jednostavne jednačine za sistem u simboličkom obliku. Program *VDAS (Vehicle Dynamics Analysis Software)* koristi ovaj pristup, gde se pomoću “*pre-processing*“ modula olakšava generisanje jednačina kretanja za sistem koji se razmatra (Crolla i Horton, 1993).

6.1. Softver *MSC.ADAMS*

Programski paket *ADAMS* (*Automatic Dynamic Analysis of Mechanical System*) zasnovan je na teoriji koju je razvio Nick Orlandea na univerzitetu Mičigen, Ann Arbor, 1973. godine. Ovaj program je bio unapređenje prethodnih softvera (*DAMN*¹⁰ - *Dynamic Analysis of Mechanical Networks*, *DRAM* - *Dynamic Response of Articulated Machinery*). Jedan od glavnih poboljšanja *ADAMS*-a je simulacija kretanja mehaničkih sistema u prostoru. Dalje razvijanje *ADAMS*-a nastavila je kompanija Mechanical Dynamics Incorporated (MDI), USA, koja je oformljena 1980. godine. Od 1980. godine *ADAMS* je komercijalno dostupan softverski paket. MDI postaje deo kompanije MSC.Software 2002. godine.

MSC.ADAMS spada u grupu moćnih “*multibody*“ programskih paketa i predstavlja skup softverskih proizvoda koji mogu da se klasifikuju u četiri grupe: osnovni softveri, pomoćni softveri, softveri namenjeni za specifične industrije i softveri za rad sa CAD paketima.

Osnovni softveri (*ADAMS/Solver*, *ADAMS/View* i *ADAMS/PostProcessor*) predstavljali su osnovu za razvoj ostalih grupa softvera *MSC.ADAMS*-a. Druga grupa softvera unapređuje karakteristike modeliranja koje nude osnovni softveri (omogućavaju modeliranje elastičnih tela, analize vibracija i izdržljivosti elemenata i dr.). Pored toga, korisnicima obezbeđuju sofisticirane alate za eksperimentisanje sa virtuelnim prototipovima. Neki od proizvoda koji spadaju u ovu grupu su: *ADAMS/Insight*, *ADAMS/Flex*, *ADAMS/Controls*, *ADAMS/Vibration*, *ADAMS/Durability*. Treća grupa softvera namenjena je za brzu izgradnju i testiranje modela pomoću standardnih i prilagođenih šablona. Ovde spadaju proizvodi *ADAMS/Car*, *ADAMS/Truck*, *ADAMS/Chassis*, *ADAMS/Tire*, *ADAMS/Driver*, *ADAMS/Driveline*, *ADAMS/Aircraft*, *ADAMS/Rail*. Navedeni softveri koriste se u automobilskoj, avio i železničkoj industriji. Četvrta grupa softvera (npr. softver *ADAMS/Exchange*) omogućava korisniku prenos podataka iz CAD/CAM/CAE paketa u radno okruženje *ADAMS*-a.

¹⁰ Do kraja 1969. godine Chace and Korybalski su završili originalnu verziju softvera *DAMN* (*Dynamic Analysis of Mechanical Networks*). To je bio prvi program koji je omogućavao vremenske zapise izlaza za sistem sa velikim dinamičkim pomeranjima.

ADAMS/Solver je ključni program. Naročito je pogodan za analize kompleksnih mehaničkih sistema u kojima elementi mogu da imaju velika pomeranja. Njegove važne numeričke mogućnosti obezbeđuje proveru definisanih modela, formiranje i rešavanje jednačina kretanja prilikom analiza statičkog, kvazi-statičkog, kinematičkog i dinamičkog ponašanja. *ADAMS/Solver* koristi *Euler-Lagrange* metodu prilikom automatskog formiranja jednačina kretanja. Po formiranju diferencijalnih jednačina kretanja i algebarskih jednačina pomoću kojih se opisuju veze u sistemu, simulacioni kod *ADAMS/Solver*-a uvodi nove zavisne promenljive. Time je omogućeno svodenje diferencijalnih jednačina drugog reda na prvi red, a kao krajnji rezultat dobija se sistem nelinearnih diferencijalnih i algebarskih jednačina (*DAE - Differential and Algebraic Equations*). Za rešavanje sistema nelinearnih jednačina *ADAMS/Solver* koristi sofisticirane numeričke integratore (GSTIF, WSTIF, Runge-Kuta, ABAM). Najširu primenu ima GSTIFF (Gear Stiff) integrator. GSTIFF integrator koristi formulu za diferenciranje unazad i *Newton-Raphson* algoritam za numeričku integraciju diferencijalnih jednačina (Negrut i Dyer, 2004). Postupak zapisivanja diferencijalnih jednačina u *ADAMS/Solver*-u detaljno je prikazan u (Negrut i Dyer, 2004; McConville i McGrath, 1998; Blundell i Harty, 2004).

Priprema modela u *ADAMS/Solveru* sprovodi se pomoću komandi zapisanih u tekstualni fajl (*.adm* fajl) pomoću tekstualnih editora (npr. Notepad, Word) poštujući sintaksu programskog jezika *FORTRAN*. Odgovarajućim komandama i izrazima opisuju se i definišu kruta tela od kojih je model sastavljen, veze koje ih povezuju, sile koje deluju u sistemu, pomeranja, markeri, sistem jedinica i dr. U poseban tekstualni fajl (*.acf* fajl) pomoću komandi definiše se simulacija koja se želi sprovesti, pa se zatim učitava u *ADAMS/Solver*. Potom se rezultati simulacije smeštaju u tekstualne fajlove (*.out*, *.gra*, *.req*, *.res* fajlovi), a onda se učitavaju u modul *ADAMS/PostProcessor* radi njihove vizualizacije, analize i obrade. Rezultate simulacije je u *ADAMS/Postprocessor*-u moguće prikazati tabelarno, grafički, u vidu izveštaja i animacija.

Za razliku od *ADAMS/Solvera*, korisnik *ADAMS/View*-a je oslobođen pisanja programskog koda za simulaciju. *ADAMS/View* ima jedinstveno *user-friendly* grafičko okruženje koje korisniku omogućava modeliranje mehaničkih sistema, simulacije kretanja u ravni i prostoru, vizuelizacije, analize i obrade rezultata sprovedenih

simulacija. To je omogućeno integriranjem *ADAMS/Solver*-a i *ADAMS/PostProcessor*-a u *ADAMS/View* (Mechanical Dynamics, Incorporated, 2002).

Modul *ADAMS/View* nudi više biblioteka sa komponentama koje se koriste u procesu definisanja modela, tj. virtuelnog prototipa realnog sistema. Model se sklapa na sličan način kao što se sklapa fizički prototip - u grafičkom editoru kreiraju se delovi (kruta i elastična tela), povezuju se odgovarajućim vezama, uvode se sile i pomeranja u sistem. Posle izgradnje modela, a pre pokretanja simulacije, *ADAMS/Solver* proverava da li su svi delovi u sistemu ispravno povezani (*assemble* simulacija).

U ovom radu za kreiranje prostornog oscilatornog modela korišćen je modul *ADAMS/View* programskog paketa *MSC.ADAMS* (verzija *MD ADAMS M3*).

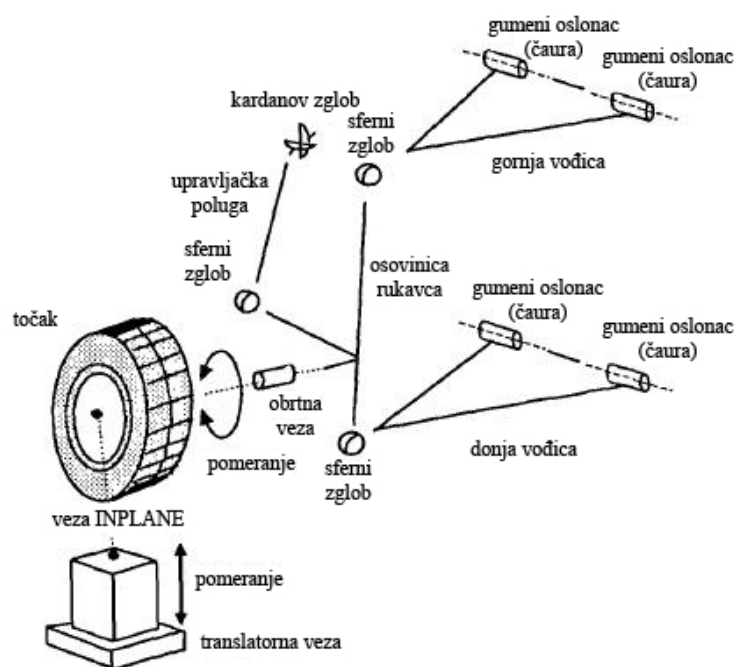
6.2. Upotreba programskog paketa *MSC.ADAMS* u automobilske industriji

Jedna od glavnih svrha upotrebe programskog paketa *MSC.ADAMS* u automobilske industriji je analiziranje performansi podsistema vozila i celog vozila sprovođenjem simulacija na odgovarajućim modelima. Veliku primenu programski paket *MSC.ADAMS* je našao kod analiziranja problema nelinearnih vibracija koje potiču od pogonskog agregata i sistema za prenos snage. Takođe, često se koristi za analiziranje performansi modela sistema za oslanjanje vozila kroz ceo opseg vrednosti pomeranja od najvišeg do najnižeg položaja točka pre sklapanja modela celog vozila. Ceo model vozila koristi se za analize oscilatornog ponašanja i upravljivosti vozila, analize izdržljivosti i sudara vozila (Mrazek i Marzy, 2000; Wang i Liu, 2010; Li i Li, 2007; Juan i ostali, 1996; Jeong-Hyun i ostali, 2010; Costa Neto i ostali, 1998; Prem i ostali, 2002; Da Cunha i ostali, 2001; Hix i ostali, 2000).

Model celog vozila može da uključuje elemente kao što su telo (karoserija) vozila, pomoćna šasija, poluge sistema oslanjanja, stabilizator, sistem za upravljanje, motor, sistem za prenos snage i pneumatike.

Jedan od prvih modula *ADAMS*-a za primenu u automobilske industriji bio je program *ADAMS/Vehicle* razvijen za komercijalnu upotrebu. Program je omogućavao kreiranje sistema oslanjanja vozila, analize, obradu podataka i prikazivanje rezultata bez detaljnog poznavanja *MSC.ADAMS*-a. Program je, takođe, omogućavao automatsko

Analiziranje realnog sistema podrazumeva utvrđivanje dimenzija, položaja, tačaka vezivanja, vrste veza za važne komponente sistema, tj. komponente koje imaju značajan uticaj na pojavu koja se ispituje. Po završetku analize poželjno je da se realni sistem predstavi kao skica sa ucrtanim svim važnim komponentama (delovima, vezama, silama i pomeranjima). Ovaj korak omogućava modelaru pregled elemenata koji ulaze u sastav modela i procenu stepeni slobode modela kao i razumevanje rada mehaničkog sistema. Na slici 6.3 dat je primer skice sistema oslanjanja sa dve poprečne vođice sa označenim komponentama i njihovim vezama.

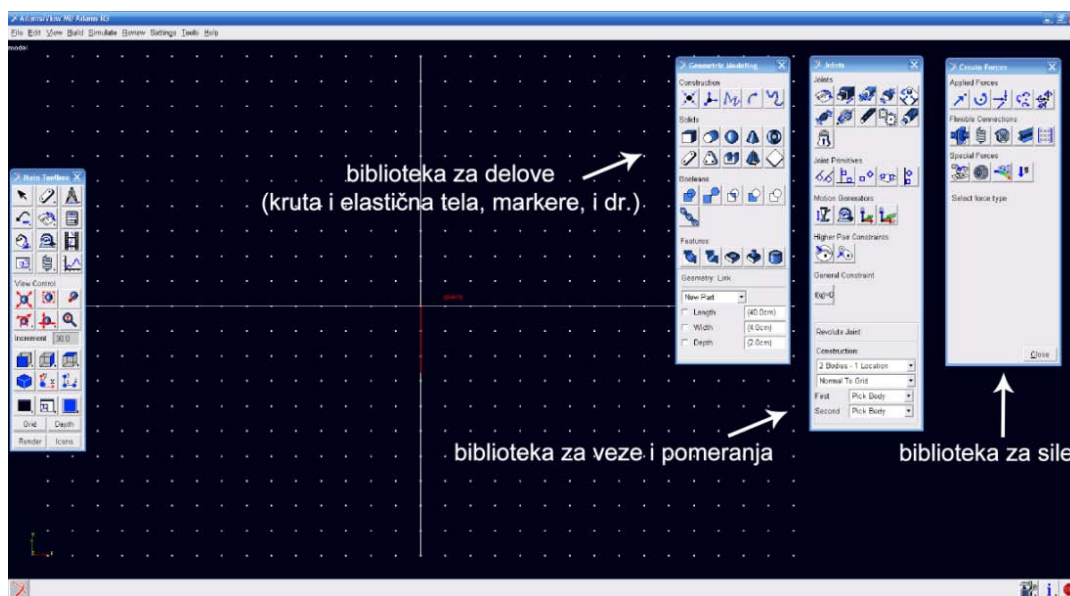


Izvor: Blundell, 2004.

Slika 6.3. Skica sistema oslanjanja sa dve poprečne vođice

U radnom okruženju modula *ADAMS/View* modelar definiše položaj tela u odnosu na referentni (globalni) koordinatni sistem koji je postavljen na nepokretnom delu *GROUND*. Modelar bira odgovarajući geometrijski oblik tela za određenu komponentu iz raspoložive biblioteke ili ih sam definiše. Takođe, može da ih i uveze u grafičko okruženje *ADAMS/View*-a ukoliko su definisani u nekom od CAD programa (fajlovi formata Parasolid, STEP, IGES, DXF, and STL/SLA). Korisnik može za tela da definiše vrednosti za važne veličine kao što su masa, položaj težišta i momente inercije. Svakom krutom telu koje se definiše u *ADAMS/View*-u pripisuje se lokalni koordinatni sistem. Pomoću lokalnog koordinatnog sistema određuje se mesto i položaj tela u

odnosu na globalni koordinatni sistem. Takođe, svakom krutom telu pripisuje se set koordinatnih sistema (tkz. markeri) pomoću kojih se definiše položaj težišta, mesto i orijentacija uvedenih veza, pravac i smer dejstva sile na telo i dr. Na slici 6.4 prikazano je grafičko radno okruženje softvera *ADAMS/View* sa bibliotekama za delove (kruta i elastična tela, markere, konstrukcione tačke i dr.), veze, sile i pomeranja.



Slika 6.4. Radno okruženje softvera *ADAMS/View*

Nakon definisanja krutih tela, ona se povezuju pomoću odgovarajućih veza. Veze nameću ograničenja za pomeranje tela i ukidaju stepene slobode. Postoje dva tipa veza: standardne veze i ograničene veze (*joint primitives*). Standardne veze (npr. obrtna veza, translatorna veza) imaju svoje fizičke dvojnice (npr. šarke, klizač i vođica). Druga grupa veza postavlja ograničenja na relativna pomeranja, npr. veza koja dopušta da se jedno telo uvek pomera paralelno u odnosu na drugo telo. Na slici 6.5 predstavljeno je osam veza koje se vrlo često koriste prilikom izgradnje modela (Blundell, 1998; Mechanical Dynamics, Incorporated, 2002).



Izvor: Blundell, 2009.

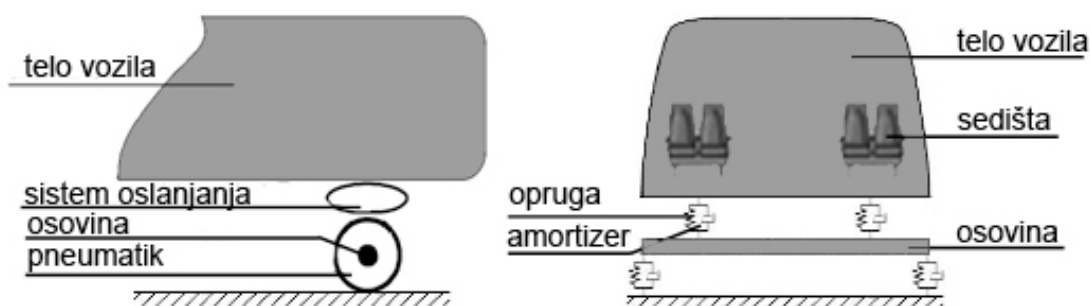
Slika 6.5. Najčešće korišćene veze pri izgradnji modela

Posle uspostavljanja veza, u sistem se uvode sile i pomeranja. Biblioteka sa silama uključuje generalizovane sile i momente, sile u elastičnim vezama (*spring-damper* elementi, *bushing* elementi), specijalne (posebne) sile (npr. aerodinamička opterećenja) i sile koje se javljaju prilikom kontakta dva tela. Za svaku silu koja se uvodi u sistem potrebno je definisati telo, odnosno tela na koje sila deluje, tačku/tačke u kojima deluje sila, intezitet i smer dejstva sile. Korisnik može da definiše komplikovane matematičke izraze za opis sila pomoću *ADAMS/View*-og alata *Function Builder* (Mechanical Dynamics, Incorporated, 2001). Uvedene sile, za razliku od uvedenih pomeranja, ne ukidaju stepene slobode mehaničkog sistema. Pomeranja u sistemu definišu se u odgovarajućim vezama (translatornim, obrtnim i cilindričnim) i to isključivo u funkciji od vremena. Uvedena pomeranja smanjuju broj stepeni slobode mehaničkog sistema.

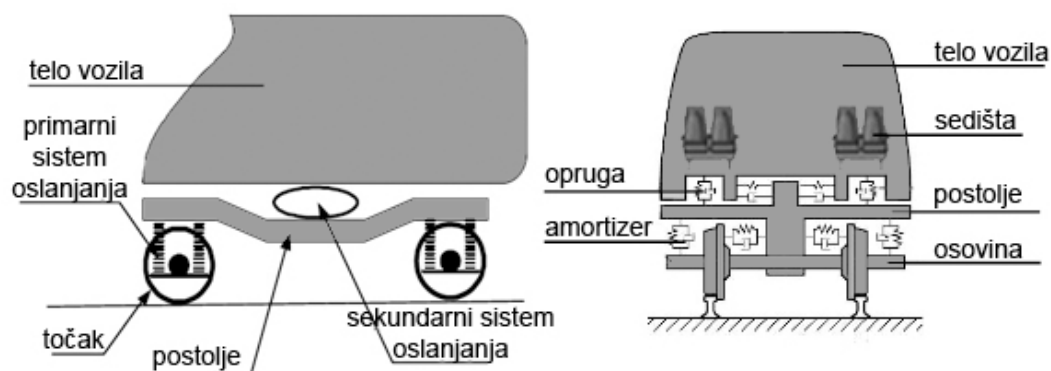
Definisanje i priprema modela (*preprocessing*) jedan je od najzahtevnijih i najobimnijih poslova u radu sa programskim paketom *MSC.ADAMS*. Model iz *ADAMS/View*-a moguće je sačuvati kao binarni fajl (*.bin* fajl) ili kao tekstualne fajlove (*.cmd* fajl, *.adm* fajl).

7. Oscilatorni model saobraćajnih sredstava za prevoz putnika

U ovom delu biće definisan opšti oscilatorni model kopnenih saobraćajnih sredstava za transport putnika (drumska i šinska vozila) pomoću koga će moći da se analizira oscilatorna udobnost svih korisnika (vozača i putnika) vozila. Kopnena saobraćajna sredstva za transport putnika mogu se predstaviti kao sistem krutih tela koja su međusobno povezana pomoću elasto-prigušnih veza. Da bi se modeliranjem došlo do praktičnih rešenja neophodno je da se uvedu razne pretpostavke i uprošćenja, kako bi model bio praktičan i obezbedio analizu određenog ponašanja koje je bitno za cilj istraživanja. Opšti oscilatorni model bi trebao da obuhvati važne elemente (kruta tela i veze) koji imaju značajan uticaj na oscilatorno ponašanje vozila i oscilatorni komfor korisnika, kao na primer, elastično-oslonjenu masu vozila (telo vozila), sedišta korisnika, osovine, sisteme oslanjanja i točkove. Na slikama 7.1 i 7.2 prikazano je drumsko i šinsko vozilo za prevoz putnika kao sistem krutih tela.



Slika 7.1. Drumsko vozilo kao sistem krutih tela



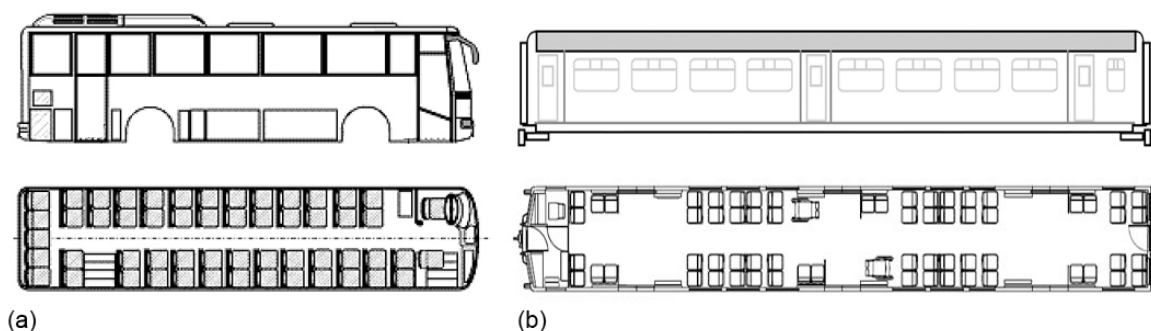
Izvor: Buonsanti i Leonardi, 2012; Brčić, 2012.

Slika 7.2. Šinsko vozilo kao sistem krutih tela

U daljem tekstu biće uporedno prikazane sličnosti i razlike između elementa (krutih tela i njihovih veza) za drumska i šinska transportna sredstva za prevoz putnika koje bi opšti oscilatorni model trebao da sadrži. Uporedna analiza obezbediće osnovu za definisanje opšteg oscilatornog modela pomoću koga će moći da se istražuje pre svega oscilatorni komfor putnika. Opšti oscilatorni model će biti izgrađen pomoću modula *ADAMS/View* programskog paketa *MSC.ADAMS*.

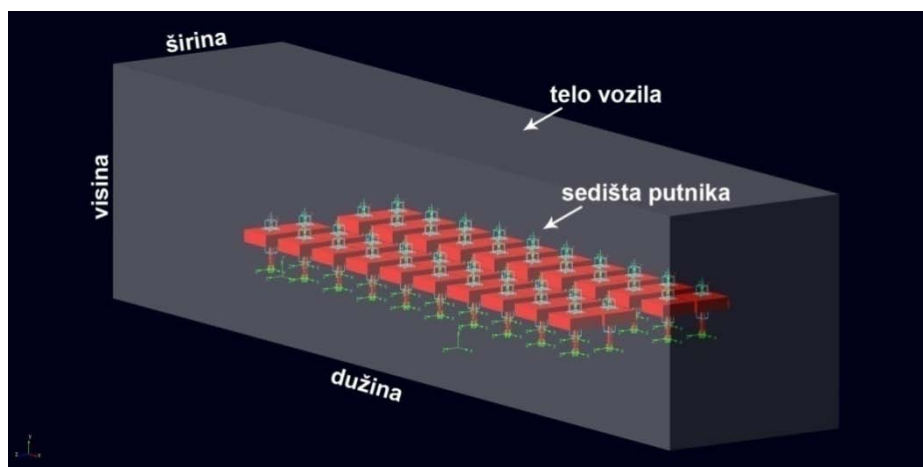
7.1. Elastično-oslonjena masa vozila

Drumska i šinska vozila namenjena za transport putnika imaju elastično-oslonjenu masu (telo vozila) sa sedištimama za putnike. Na slikama 7.3 (a) i 7.3 (b) prikazani su primeri elastično-oslonjene mase sa sedištimama za jedan autobusa i jedno šinsko putničko vozilo. Telo vozila može da se modelira kao kruto ili kao elastično (Tianfei i ostali, 2010; Eriksson i Friberg, 2000). U ovom radu telo vozila će biti posmatrano kao jedno kruto telo. Na slici 7.4 prikazana je oslonjena masa vozila sa sedištimama modelirana kao kruto telo u softveru *ADAMS/View*. Geometrijski parametri oslonjene mase (npr. dužina, visina i širina) i maseni parametri (masa i momenti inercije) se, u radnom okruženju softvera *ADAMS/View*, na jednostavan način mogu menjati i prilagođavati određenom tipu vozila pomoću komandi za podešavanje pomenutih parametara.



Izvor: Nijemčević i ostali, 2001; Iwincki, 2006.

Slika 7.3. Karoserija sa sedištimama a) autobusa i b) šinskog putničkog vozila



Slika 7.4. Oslonjena masa vozila kao kruto telo sa putničkim sedištima

7.2. Sedišta putnika i vozača

Vibracije se u vozilu preko sedišta prenose na tela korisnika. Sedišta putnika kod kopnenih saobraćajnih sredstava za prevoz putnika su kruto oslonjena, a prigušenje vibracija se obavlja samo pomoću elastičnih jastuka na sedištima. Sedište vozača, za razliku od sedišta putnika, poseduju sopstveni sistem elastičnog oslanjanja koji im omogućava komforniju vožnju. U softveru *ADAMS/View* sedišta korisnika mogu da se modeliraju kao kruta tela povezana sa karoserijom vozila pomoću translatornih veza. Translatorne veze dopuštaju kretanje krutog tela samo u vertikalnom pravcu. Radi ocene uticaja vibracija na komfor korisnika, na sedištima mogu da se postave markeri za prikupljanje signala translatornih ubrzanja za pravce x , y i z -osa.

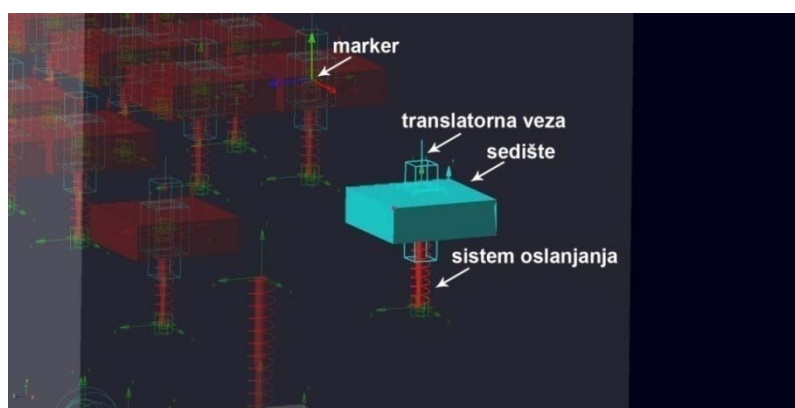
Na slikama 7.5 i 7.6 prikazana su sedišta vozača i putnika jednog autobusa i šinskog putničkog vozila. Na slici 7.7 prikazan je model sedišta formiran u *ADAMS/View* softveru.



Slika 7.5. Sedište a) vozača i b) putnika autobusa



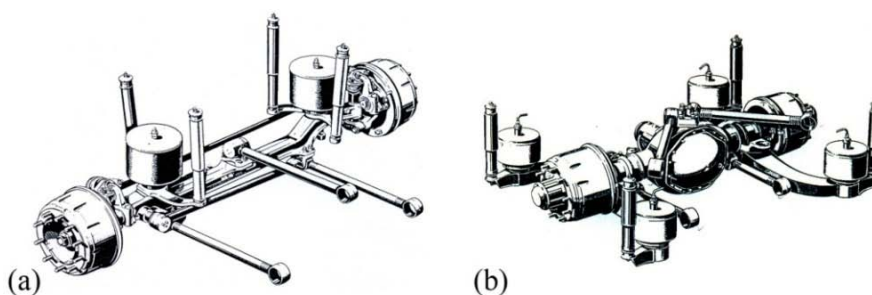
Slika 7.6. Sedište a) vozača i b) putnika putničkog šinskog vozila



Slika 7.7. Model sedišta u softveru ADAMS/View

7.3. Osovine vozila, točkovi i sistemi oslanjanja

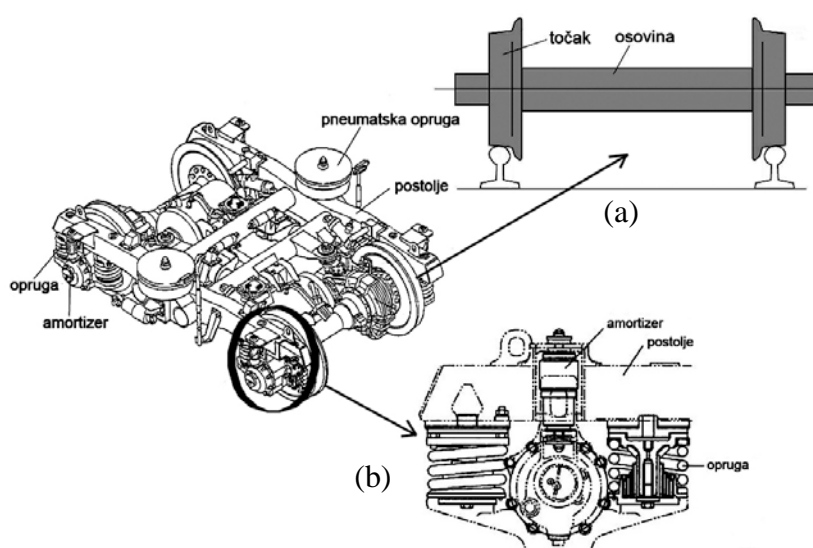
Sistemi oslanjanja kod drumskih transportnih sredstava za prevoz putnika mogu biti zavisni - sa krutom osovinom ili nezavisni - sa točkovima koji su pojedinačno oslonjeni. Oscilatorna pobuda (neravnost podloge) se preko elastičnih točkova prenosi na osovine vozila. Krute osovine, kod vozila koje imaju točkove sa pneumaticima pri kretanju po neravnoj podlozi, osciluju na elastičnim pneumaticima. Na slici 7.8 prikazan je primer prednje i zadnje krute osovine jednog autobusa.



Izvor: Mladenovic, 1997.

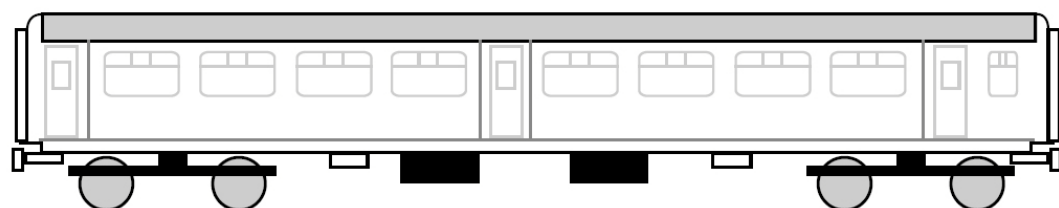
Slika 7.8. Krute osovine autobusa a) prednja i b) zadnja

Šinsko putničko vozilo ima krutu osovinu (slika 7.9(a)) koja je povezana sa postoljem pomoću kućišta za osovine (slika 7.9(b)). Jedno postolje najčešće ima dva para krutih osovina (slika 7.9), a šinsko putničko vozilo obično ima dva postolja (slika 7.10). Za razliku od drumskih sredstava za prevoz putnika, šinska putnička vozila imaju krute točkove. Oscilatorna pobuda (neravnost koloseka) se preko krutih točkova prenosi na krute osovine. Sa krutih osovina, oscilatorna pobuda se preko elemenata primarnog sistema oslanjanja prenosi na postolje šinskog vozila. Prilikom formiranja oscilatornog modela navedenu razliku u prenosu oscilatorne pobude kod drumskog i šinskog vozila treba uzeti u obzir.



Izvor: Iwincki, 2006.

Slika 7.9. Postolje šinskog putničkog vozila sa a) krutom osovinom i b) kućištem za osovinu

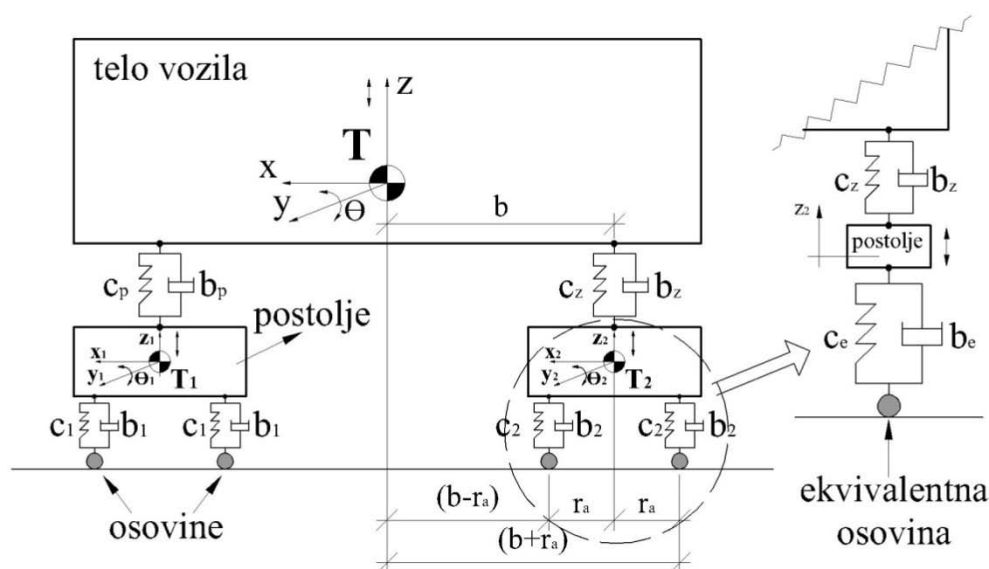


Izvor: Iwincki, 2006.

Slika 7.10. Šinsko putničko vozilo

Kućište osovina sadrži elemente primarnog sistema oslanjanja - čelične opruge i hidraulične amortizere (slika 7.9(b)). Opruge i amortizeri su povezani za postolje vagona. Prilikom definisanja opšteg oscilatornog modela vozila, moguće je da se dve

(ili više) osovina na postolju zamene sa jednom ekvivalentnom osovinom. Pod ekvivalentnom osovinom podrazumeva se osovina koja je povezana sa postoljem vagona pomoću ekvivalentnih opruga i ekvivalentnih amortizera. Ekvivalentne krutosti opruga i ekvivalentna prigušenja amortizera mogu se, prema šemi prikazanoj na slici 7.11, proračunati na osnovu izraza [7.1] i [7.2].



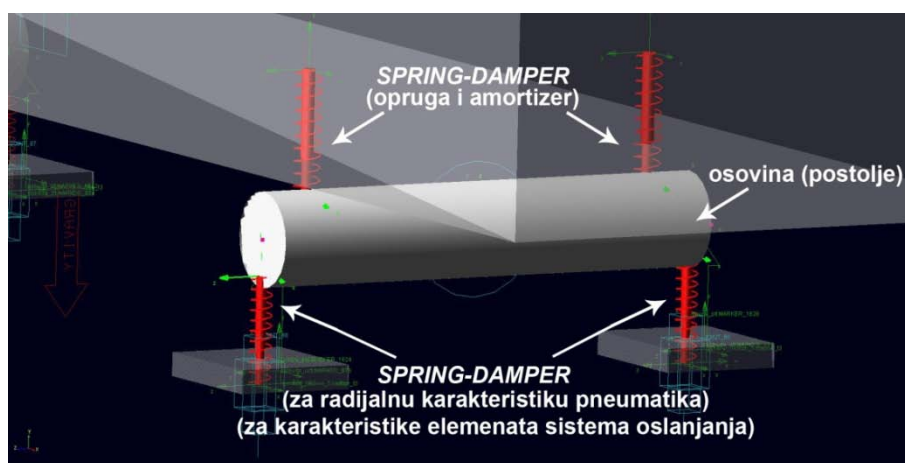
Slika 7.11. Šematski prikaz a) šinskog vozila i b) ekvivalentne osovine

$$c_e = c_2 \frac{(b - r_a)^2}{b^2} + c_2 \frac{(b + r_a)^2}{b^2} \quad [7.1]$$

$$b_e = b_2 \frac{(b - r_a)^2}{b^2} + b_2 \frac{(b + r_a)^2}{b^2} \quad [7.2]$$

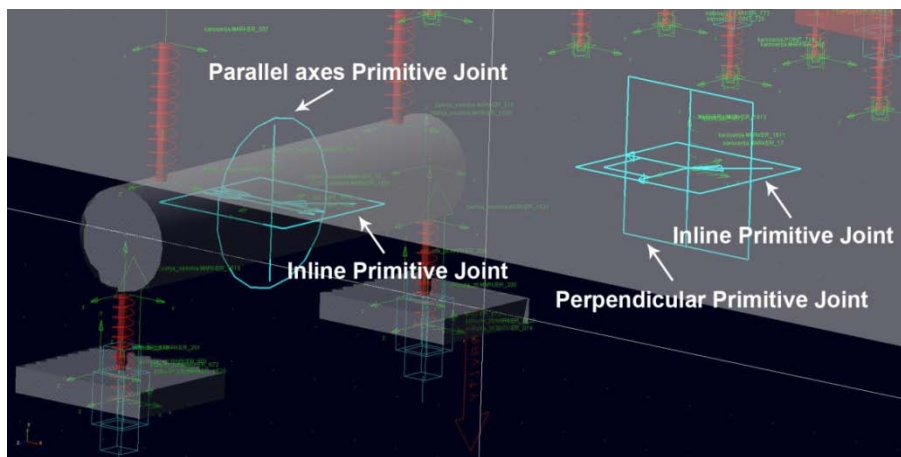
Na oscilatorno ponašanje drumskih vozila značajan uticaj imaju pneumatici, a posebno karakteristike pneumatika u radijalnom pravcu. Karakteristike elastičnih pneumatika (krutost i prigušenje u radijalnom pravcu) drumskih sredstava za prevoz putnika (npr. autobusa), kao i karakteristike opruga (krutost) i hidrauličnih amortizera (prigušenje) primarnog sistema oslanjanja šinskog putničkog vozila, mogu se modelirati pomoću *SPRING-DAMPER* elemenata u softveru *ADAMS/View* (slika 7.12). Može se smatrati da pneumatik ima linearnu radijalnu karakteristiku (Miege, 2004; Pacejka, 2005). Sila prigušenja u pneumatiku je mala i često se zanemaruje. Karakteristike elastičnog elementa (čelične opruge) i hidrauličkog amortizera *primarnog* sistema oslanjanja kod

šinskih vozila su uglavnom nelinearne (Iwincki, 2006.). Nelinearne i linearne karakteristike opruga i amortizera mogu da se definišu analitičkim izrazima pomoću *ADAMS/View*-ovg alata *Function builder*. Funkcija *SPLINE* omogućava da se u oscilatorni model učitaju karakteristike opruga i amortizera, zapisane u tekstualnim fajlovima, a koje su dobijene laboratorijskim istraživanjem.



Slika 7.12. *SPRING-DAMPER* elementi za modeliranje radijalne karakteristike pneumatika, elastičnih i prigušnih elemenata sistema oslanjanja

Dominantna oscilatorna kretanja krutih osovine kod vozila sa elastičnim pneumaticima su vertikalno pomeranje i ugaono pomeranje oko podužne težišne ose osovine. Dominantna oscilatorna kretanja postolja šinskog vozila su vertikalno pomeranje, ugaona pomeranja oko podužne i poprečne težišne ose postolja. Svođenjem na jednu ekvivalentnu osovinu, prilikom formiranja opšteg oscilatornog modela vozila, ukida se ugaono pomeranje postolja oko poprečne težišne ose (slika 7.11). Osovina drumskog vozila, odnosno postolja šinskog vozila, u softveru *ADAMS/View* može da se predstavi kao kruto telo sa odgovarajućom masom i momentima inercije (slika 7.12). Pomoću dve veze - *Inline Primitive Joint* i *Parallel axes Primitive Joint* kretanje krutog tela opšteg oscilatornog modela biće ograničeno na vertikalno pomeranje i ugaono pomeranje oko njegove podužne težišne ose (slika 7.13).



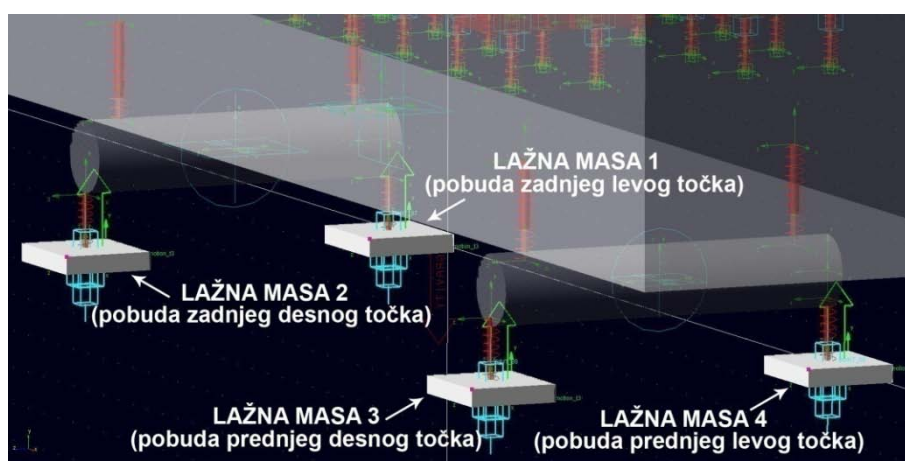
Slika 7.13. Uvedene veze za ograničavanje kretanja krutih tela (telo vozila i osovina/postolje) opšteg oscilatornog modela

Savremena drumska sredstava za prevoz putnika (autobusi) imaju pneumatski sistem oslanjanja. Najznačajniji element ovih sistema je pneumatski oslonac ili pneumatski jastuk. Na slici 7.8 prikazan je pneumatski sistem oslanjanja jednog autobusa. Prednja i zadnja osovina autobusa povezane su sa karoserijom pomoću pneumatskih jastuka (vazdušnih opruga) i teleskopskih amortizera. Na prednjoj osovini se najčešće nalaze dva vazdušna jastuka i četiri teleskopska amortizera, a na zadnjoj osovini četiri vazdušna jastuka i četiri teleskopska amortizera (slika 7.8(a) i 7.8(b)).

Postolje putničkog šinskog vozila povezano je sa karoserijom pomoću dva vazdušna jastuka koji čine *sekundarni* sistem elastičnog oslanjanja (slika 7.9). Karakteristike elemenata pneumatskog sistema oslanjanja mogu se, takođe, u softveru *ADAMS/View* definisati pomoću *SPRING-DAMPER* elemenata (slika 7.12).

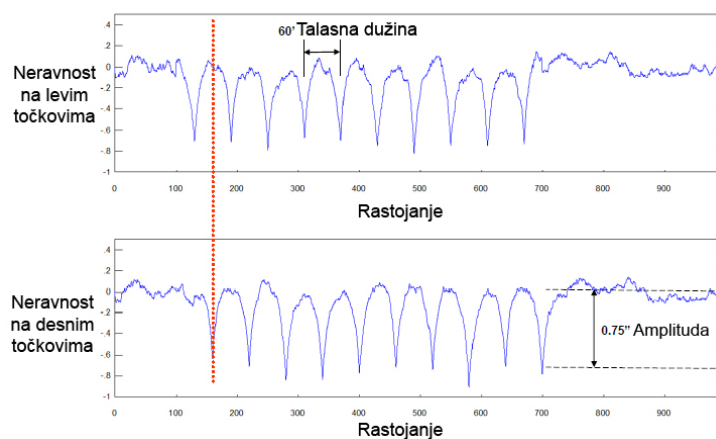
Telo vozila, posmatrano kao kruto telo, u prostoru ima šest stepeni slobode. Međutim, zbog veza neka pomeranja tela vozila su zanemarljiva (npr. ugaono pomeranje oko vertikalne težišne ose vozila (plivanje)). Dominantna oscilatorna pomeranja tela vozila su vertikalno pomeranje (gore-dole), ugaono pomeranje oko poprečne težišne ose (galopiranje) i ugaono pomeranje oko podužne težišne ose (ljuljanje) (Dedović, 1998). Da bi se u obzir uzela navedena dominantna oscilatorna pomeranja, karoserija opšteg oscilatornog modela vozila povezana je sa nepokretnim delom *GROUND* pomoću dve veze - *Inline Primitive Joint* i *Perpendicular Primitive Joint* (slika 7.13). Kombinacija ove dve veze dopušta translatorno pomeranje karoserije u vertikalnom pravcu i ugaona pomeranja karoserije oko podužne i poprečne težišne ose.

Da bi se u opšti oscilatorni model uvela oscilatorna pobuda (snimljena ili modelirana podužna neravnost kolovoza, odnosno koloseka) definisana su četiri kruta tela, tzv. četiri lažne mase koje su povezane sa delom *GROUND* translatorskim vezama (slika 7.14). U translatorskim vezama moguće je uvesti oscilatornu pobudu pomoću *CUBSPL* funkcije (Dong, 1997). Treba napomenuti da definisana kruta tela oscilatornog modela, tj. lažne mase, ukoliko je reč o šinskom vozilu, predstavljaju leve i desne krute točkove prednje i zadnje ekvivalentne krute osovine.



Slika 7.14. Lažne mase i oscilatorna pobuda modela

Na slici 7.15 dat je jedan primer realne neravnosti koloseka na levim i desnim točkovima jednog šinskog vozila.

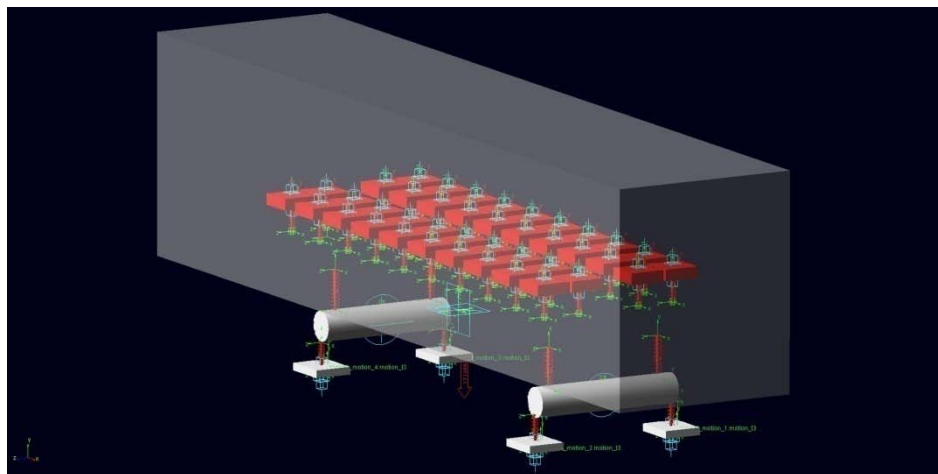


Izvor: Shust, 2007.

Slika 7.15. Registrirovana neravnost na levim i desnim točkovima šinskog vozila

7.4. Opšti oscilatorni model

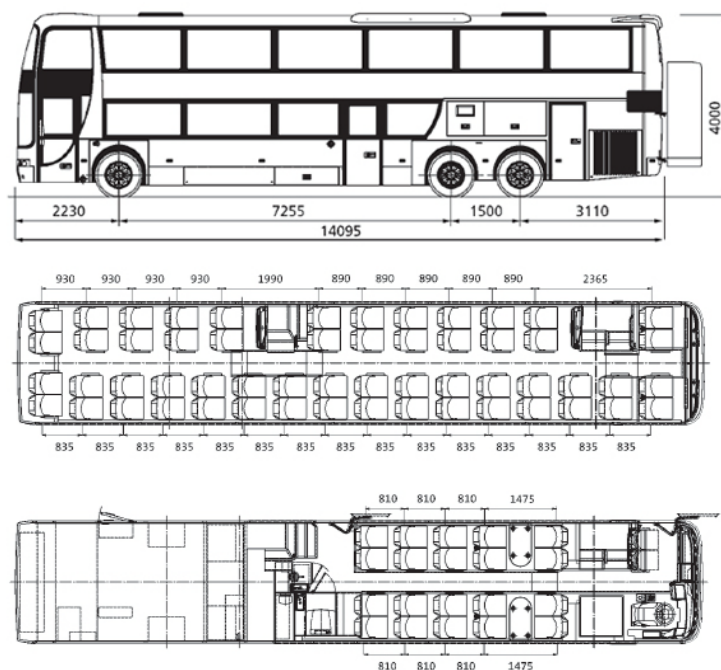
Na osnovu uporedne analize, zaključuje se da postoji velika sličnost između elemenata važnih za oscilatorno ponašanje drumskih i šinskih vozila, pa je moguće definisati jedan opšti oscilatorni model koji bi poslužio za analizu oscilatornog komfora putnika. Opšti oscilatorni model vozila izgrađen u *ADAMS/View* softveru prikazan je na slici 7.16. Odgovarajućim komandama u softveru *ADAMS/View* mogu se menjati vrednosti geometrijskih parametara vozila (međuosovinsko rastojanje, visina, širina i dužina karoserije, položaj sedišta korisnika), vrednosti oscilatornih parametara vozila (karakteristike krutosti i prigušenja svih sistema oslanjanja vozila) i vrednosti parametara mase vozila (mase sedišta, karoserije, osovina, momenti inercije karoserije i osovina i dr.).



Slika 7.16. Opšti oscilatorni model vozila za analizu oscilatornog komfora

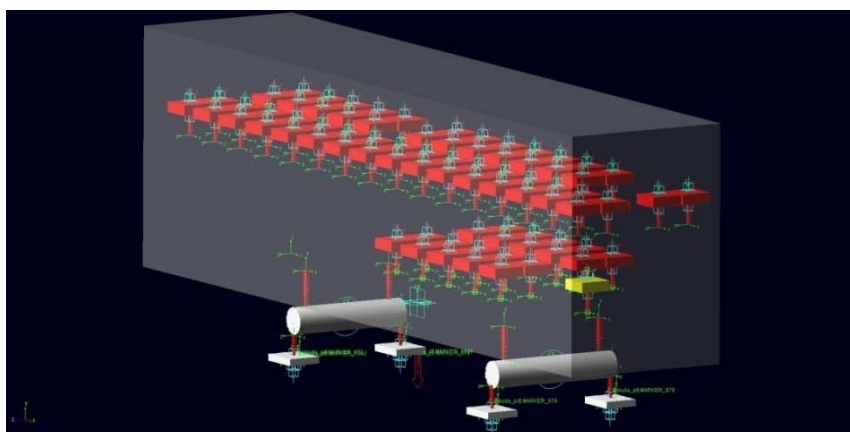
Definisani opšti oscilatorni modela zamišljen je tako da može da se koristiti ne samo za analize oscilatorne udobnosti korisnika, već i za analize drugih problema vertikalne dinamike vozila (npr. ocenu aktivne bezbednosti vozila).

Na osnovu opšteg oscilatornog modela, pomoću odgovarajućih komandi za podešavanje geometrijskih parametara vozila, mogu da se formiraju i oscilatorni modeli za specijalne autobuse, kao na primer autobusi na dva nivoa (double-decker autobusi). Na slici 7.17 prikazan je turistički autobus double-decker. Autobus ima tri osovine. Na slici 7.18 prikazan je oscilatorni model autobusa double-decker pomoću koga može da se analizira oscilatorni komfor putnika na sedištima koja su postavljena na dva nivoa.



Izvor: www.busevi.com.

Slika 7.17. Autobus double-decker



Slika 7.18. Oscilatorni model autobusa double-decker

U sledećem delu na osnovu opšteg oscilatornog modela i uz njegove manje modifikacije biće definisan originalni prostorni oscilatorni model za međugradski autobus IK 301. Ovaj model će, nakon obavljenje validacije, poslužiti za analizu komfora svih korisnika (vozača i putnika), za određivanje zona jednakog oscilatornog komfora u autobusu i dozvoljenog vremena izlaganja korisnika vibracijama. U obzir će biti uzeti realni parametri (geometrijski parametri, parametri mase i oscilatorni parametri) ovog autobusa.

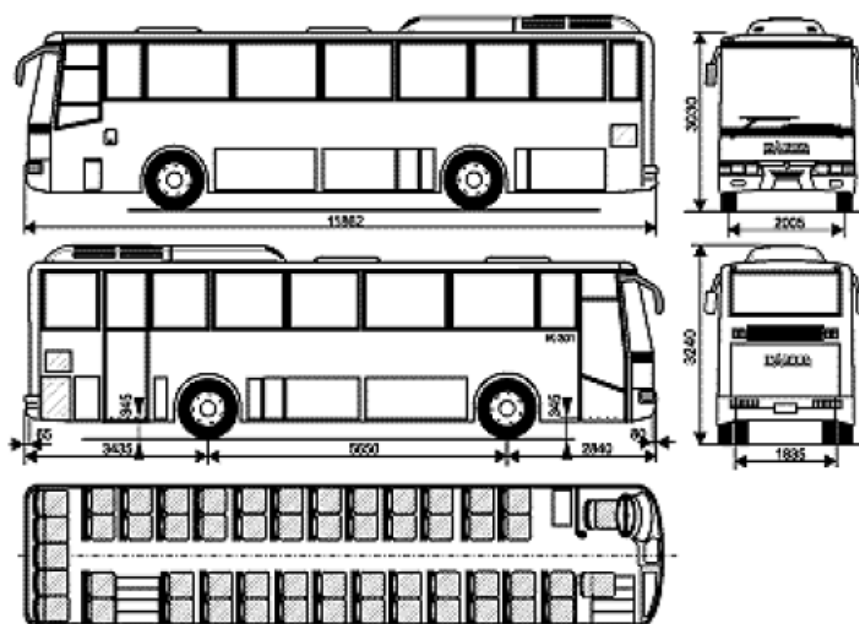
7.5. Međugradski autobus IK 301

Autobus IK 301 (slike 7.19, 7.20) je autobus namenjen za međugradski prevoz putnika. Tehnički podaci ovog autobusa dati su u (Nijemčević i ostali, 2001).



Izvor: Nijemčević i ostali, 2001.

Slika 7.19. Međugradski autobus IK 301



Izvor: Nijemčević i ostali, 2001.

Slika 7.20. Međugradski autobus IK 301

Autobus ima sistem oslanjanja sa krutim osovinama (Glumac i ostali, 2002). Prednja osovina (RABA/A 932.10) vezana je sa karoserijom pomoću dva vazdušna jastuka i četiri teleskopska amortizera (slika 7.8(a)), a zadnja osovina (RABA/A 109.29) pomoću četiri vazdušna jastuka i četiri teleskopska amortizera (slika 7.8(b)).

Autobus ima dva točka na prednjoj i četiri na zadnjoj osovini. Tip pneumatika je 295/80 R22.5. Dinamički poluprečnik točka iznosi 512 mm (Nijemčević i ostali, 2001).

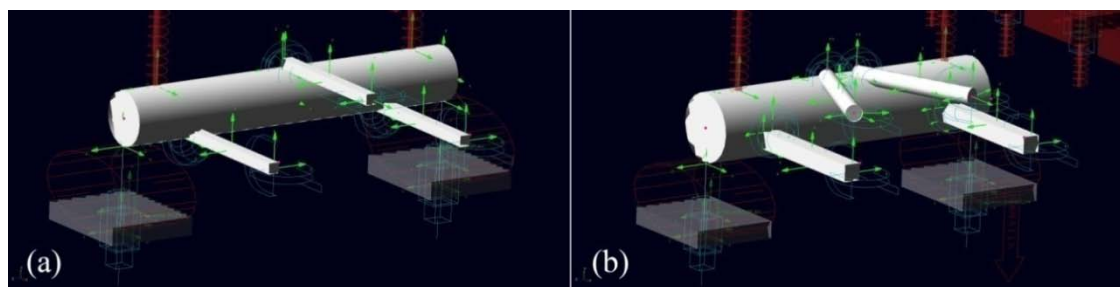
Sedišta vozača imaju pneumatski sistem oslanjanja, a sedišta putnika i suvozača su kruto oslonjena o karoseriju autobusa (slika 7.5). Sedišta putnika i suvozača imaju elastične jastuke pomoću kojih se obavlja prigušenje vibracija. Autobus ima 53 putnička sedišta, sedište za vozača i suvozača.

7.6. Oscilatorni model autobusa IK 301 u modulu *ADAMS/View* programskog paketa *MSC.ADAMS*

Oscilatorni model autobusa IK 301 formiran je uzimajući u obzir sledeće pretpostavke: karakteristike svih elastičnih i prigušnih elemenata su linearne, točkovi autobusa su u stalnom kontaktu sa podlogom, autobus se kreće pravolinijski konstantnom brzinom, sva tela od kojih je formiran oscilatorni model autobusa su kruta i motor autobusa nije posmatrano kao posebno kruto telo, već zajedno sa karoserijom autobusa.

Oscilatorni model autobusa IK 301 izgrađen je od krutih tela koja su međusobno povezana odgovarajućim vezama i elasto-prigušnim elementima. Uvedene veze ograničavaju slobodu kretanja krutih tela od kojih je sastavljen model u prostoru.

Na slici 7.21 prikazani su modeli prednje i zadnje krute osovine autobusa IK 301. Prednja osovina vezana je za karoseriju pomoću tri podužne poluge i jedne poprečne poluge, a zadnja osovina pomoću dve podužne i dve kose poluge (slika 7.8). U modelu prednje osovine autobusa, funkcija poprečne poluge na prednjoj osovni modelirana je u okviru veze gornje (srednje) podužne poluge i noseće konstrukcije (slika 7.22(a)). Uspostavljanjem takve veze sprečeno je translatorno pomeranje prednje osovine u poprečnom (y)-pravcu. Translatorska pomeranja osovine autobusa u pravcu y-osa od malog su uticaja na oscilatorni komfor korisnika.



Slika 7.21. Modeli a) prednje i b) zadnje osovine autobusa IK 301

Pneumatici oscilatornog modela autobusa IK 301 definisani su pomoću *BUSHING* elemenata (slika 7.22). Pomoću elementa *BUSHING* u softveru *ADAMS/View* modeliraju se gumeno elastični elementi opterećeni na pritisak i torziju. Ovaj element omogućava da se definišu linearne karakteristike pneumatika u radijalnom, poprečnom i podužnom pravcu. Izraz [7.3] definiše silu i moment uvijanja koje generiše element *BUSHING*

$$\begin{bmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \\ T_x \\ T_y \\ T_z \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} K_{11} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & K_{22} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & K_{33} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & K_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & K_{55} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & K_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ a \\ b \\ c \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} C_{11} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & C_{22} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & C_{33} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & C_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & C_{55} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & C_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ V_z \\ \omega_x \\ \omega_y \\ \omega_z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \\ T_1 \\ T_2 \\ T_3 \end{bmatrix} \quad [7.3]$$

gde je:

(F_x, F_y, F_z) - komponente sile za pravce x, y i z ose;

(T_x, T_y, T_z) - komponente momenta uvijanja za pravce x, y i z ose;

(K_{11}, K_{22}, K_{33}) - koeficijenti krutosti elastičnog elementa za pravce x, y i z ose;

(K_{44}, K_{55}, K_{66}) - koeficijenti krutositi na uvijanje za pravce x, y i z ose;

(x, y, z) - relativno pomeranje oslonaca (markera I u odnosu na marker J) elastičnog elementa izraženo preko x, y i z ose;

(a, b, c) - relativni uglovi uvijanja krajeva elastičnog elementa (markera I u odnosu na marker J);

(C_{11}, C_{22}, C_{33}) - koeficijenti prigušenja elastičnog elementa za pravce x, y i z ose;

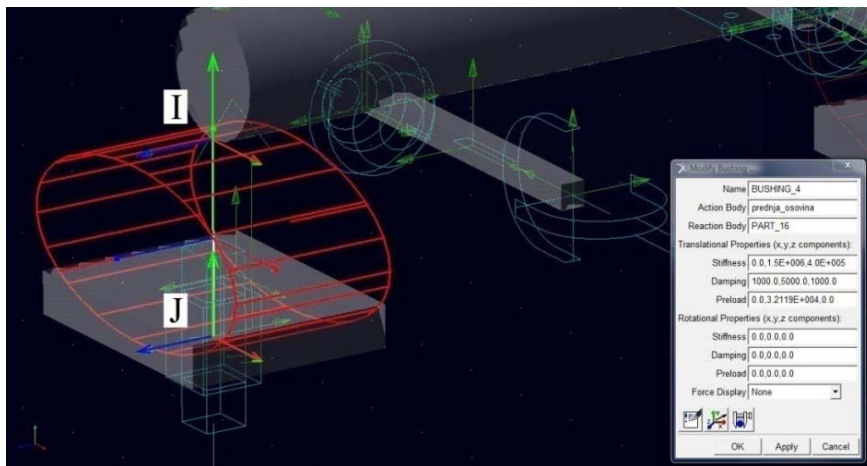
(C_{44}, C_{55}, C_{66}) - koeficijenti prigušenja na uvijanje elastičnog elementa za pravce x, y i z ose;

(V_x, V_y, V_z) - relativna brzina pomeranja oslonaca (markera I u odnosu na marker J) elastičnog elementa za pravce x, y i z ose;

(W_x, W_y, W_z) - relativna ugaona brzina uvijanja krajeva elastičnog elementa (markera I u odnosu na marker J);

(F_1, F_2, F_3) - komponente predopterećajne sile za pravce x , y i z ose;

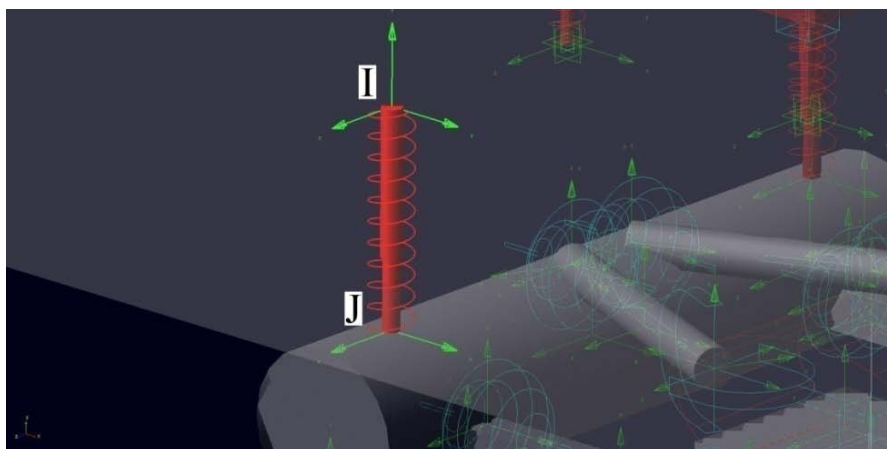
(T_1, T_2, T_3) - komponente početnog momenta uvijanja za pravce x , y i z ose;



Slika 7.22. Model elastičnog pneumatika autobusa IK 301

Sedišta putnika, vozača i svozača zajedno sa telima korisnika definisana su kao kruta tela (slika 7.7). U masu sedišta uključena je masa korisnika.

Linearne karakteristike elastičnih i prigušnih elementa sistema oslanjanja autobusa i sedišta svih korisnika definisani su pomoću *SPRING-DAMPER* elemenata. Sila u *SPRING-DAMPER* elementu linerano je zavisna od relativnog pomeranja i relativne brzine oslonaca (krajeva) ovog elementa (markera I i markera J , slika 7.23).



Slika 7.23. *SPRING-DAMPER* element sa naznačenim markerima

Sila generisana pomoću *SPRING-DAMPER* elemenata data je izrazom [7.4]

$$F = \begin{cases} -b(dz/dt) - c(z - L_p) + F_p & \text{za } z \neq L_p, \\ F_p & \text{za } z = L_p, \end{cases} \quad [7.4]$$

gde je:

z - rastojanje između oslonaca elementa;

dz/dt - relativna brzina pomeranja oslonaca elementa;

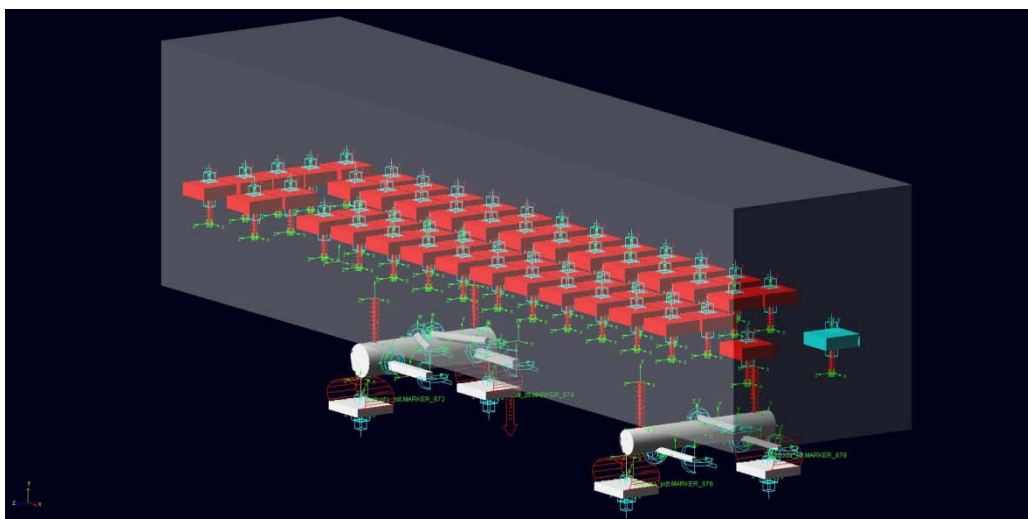
b - koeficijent prigušenja amortizera;

c - koeficijent krutosti opruge;

L_p - dužina predopterećene opruge (definiše referentnu dužinu opruge);

F_p - sila predopterećenja (definiše referentnu silu u opruzi);

Na slici 7.24 prikazan je oscilatorni model autobusa IK 301 dobijen na opisan način. Elementi oscilatornog modela autobusa IK 301 (ukupan broj krutih tela, uvedene veze i sile u modelu) dati su u tabeli 7.1. U prilogu 1 na slikama prikazan je model sa desne, prednje i zadnje strane, i pogled odozgo.



Slika 7.24. Prostorni oscilatorni model autobusa IK 301

Tabela 7.1. Elementi oscilatornog modela autobusa IK 301

Pregled oscilatornog modela autobusa	Vrednosti	Pregled oscilatornog modela autobusa	Vrednosti
Kruta tela	69	Elementi za sile u modelu :	
Veze između krutih tela modela :		<i>SPRING-DAMPER</i> elementi	59
Obrtna veza	1	<i>BUSHING</i> elementi	4
Sferični zglob	7	Ukupan broj elemenata za sile	63
Translatorna veza	59	Uvedena pomeranja - <i>CUBSPL</i> funk.	4
Kardanov zglob	6		
Ukupan broj veza	73		

U tabeli 7.2 dat je pregled uvedenih veza između krutih tela oscilatornog modela autobusa IK 301 i stepeni slobode koje te veze ukidaju.

Tabela 7.2. Pregled veza oscilatornog modela autobusa IK 301 i stepeni slobode koje uvedene veze ukidaju

		Stepeni slobode (rotaciona kretanja)			
		0	1	2	3
Stepeni slobode (translatorna kretanja)	0				
	1				
	2				translatorna veza
	3	sferični zglob	kardanov zglob	obrotna veza	

Izraz [7.5] predstavlja *Gruebler*-ova jednačinu za određivanje stepeni slobode (*Degrees Of Freedom - DOF*) mehaničkih sistema sastavljenih od krutih tela i veza.

$$DOF = (\text{broj krutih tela} * 6) - \sum_i (\text{veza}_i * \text{ogranicenje}_i) - \sum_j \text{pomeranja}_j \quad [7.5]$$

Prema *Gruebler*-ovoj jednačini, broj stepeni slobode oscilatornog modela autobusa IK 301 jednak je:

$$DOF = (69 * 6) - (7 * SV * 3 + 6 * KV * 4 + 1 * OV * 5 + 59 * TV * 5) - 4 * TP = 65 \quad [7.6]$$

8. Priprema za simulaciono istraživanje

Da bi oscilatorni model mogao da se koristi u simulacijama, potrebno je sprovesti validaciju modela. Validacija oscilatornog modela sprovodi se poređenjem istih oscilatornih veličina utvrđenih simulacijom i ispitivanjem realnog vozila u približno istim uslovima. Ako su karakter promene oscilatorne vrednosti, rasponi i statistički parametri oscilatornih veličina približno jednaki, oscilatorni model verno odslikava ponašanje realnog vozila i može se koristiti za simulacione analize.

8.1. Validacija oscilatornog modela

Da bi se validacija modela obavila na pravi način, potrebno je raspolagati odgovarajućim i potpunim informacijama o konkretnom vozilu i njegovom ponašanju u precizno definisanim uslovima eksploatacije. Analizirani model, da bi se mogao okvalifikovati kao validiran, sa svim razmatranim parametrima realnog vozila i podloge, nakon simulacije treba da pokaže statistički relevantno poklapanje ponašanja sa realnim vozilom u realnim uslovima kretanja.

Za konkretno vozilo potrebno je poznavati geometrijske parametre (sve relevantne dimenzije) i parametre mase vozila (uključujući momente inercije pojedinačno razmatranih celina vozila oko svih koordinatnih osa lokalnog i opšteg koordinatnog sistema), a potom znati/odrediti/izmeriti i karakteristike svih elasto-prigušnih elemenata (pneumatika, vazdušnih jastuka-opruga i prigušivača na obe osovine, jastuka, opruga i prigušivača sedišta i dr.). Ove informacije neophodne su za precizno i tačno definisanje oscilatornog modela.

Uslovi eksploatacije obuhvataju opterećenje, karakteristike podloge - kolovoza i brzinu kretanja. Uslovi eksploatacije pri simulacionom ispitivanju modela treba da budu isti ili što bliži uslovima eksploatacije konkretnog vozila u realnim uslovima.

Na deonicama na kojima se obavljaju analize ponašanja vozila u eksploatacionim uslovima potrebno je snimiti makro i mikro neravnosti kolovoza. Pri tome je važno da neravnosti kolovoza budu registrovane na oba traga po kojima se vozilo kretalo. Snimljeni signali neravnosti kolovoza koriste se u simulacionom modelu kao pobuda.

Potpuno poznavanje realnih uslova eksploatacije podrazumeva obimna i složena merenja ubrzanja na vozilu, pri kretanju različitim brzinama, po različitim podlogama. Snimljeni signali ubrzanja na različitim mestima na i unutar vozila služe kao reperne vrednosti za kasnije poređenje sa rezultatima koji se dobijaju simulacijom.

Za najpravilniji postupak trebalo bi obaviti istovremeno/simultano merenje svih signala koji se koriste za validaciju oscilatornog modela.

Validaciju modela na opisani način, kojom bi se u obzir uzeli pomenuti činioci, često nije moguće sprovesti zbog složenosti i cene potrebnih merenja. Sprovođenje merenja na realnom vozilu u eksploatacionim uslovima podrazumeva angažovanje vozila, vozača i mehaničara na duži vremenski period, angažovanje 50 ljudi kao putnika koji su voljni i spremni (ili plaćeni) da ovakvim merenjima posvete nekoliko dana svog vremena, veliku količinu merne opreme i vremena za njenu ugradnju i demontažu. Ovakva merenja mogu sebi da priušte samo jaki proizvođači u okviru razvojnih ispitivanja svojih novih modela.

Poseban problem kod takvih ispitivanja predstavlja snimanje karakteristika kolovoza. Opisne karakteristike tipa "dobar asfalt" ili "loš asfalt-beton" su samo okvirne i moraju biti praćene snimkom stvarnih neravnosti na kolovozu. Snimanje karakteristika kolovoza podrazumeva specifičnu opremu smeštenu u specijalno, tome posvećeno vozilo i posebno obučenu ekipu ljudi za snimanje, obradu i prikaz rezultata. Da bi rezultati bili validni i priznati, kompletno vozilo sa mernom opremom mora se zvanično kalibrisati i često proveravati. U našoj zemlji, prema informacijama koje je prikupio kandidat, postoje dva takva specijalna vozila, od kojih jedno nije u operativnom stanju, a drugo nije kalibrisano i zbog toga se ne koristi.

Drugi način validacije modela predstavlja poređenje rezultata simulacije sa najpribližnijim merenjima koja su sproveli drugi autori. Ovaj način validacije je bez sumnje manje pouzdan od predhodno opisanog, ali se pažljivom i kritičkom primenom može postići zadovoljavajući nivo poverenja.

Istraživanje prikazano u ovoj doktorskoj disertaciji, predstavljalo je individualni naučno-istraživački napor kandidata i raspolagalo je veoma ograničenim resursima, koji nisu mogli da u cilju validacije modela omoguće sprovođenje posebnih obimnih i

skupih merenja na realnom vozilu. Stoga je autor smatrao da je u kontekstu teme i cilja istraživanja bilo prihvatljivo da se validacija modela izvrši sa odabranim podacima dostupnim iz ranije sprovedenih naučno-istraživačkih aktivnosti autorskih timova Saobraćajnog i Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu, Instituta Vinča i fabrike Ikarbus.

Validacija modela u ovom radu obavljena je analizom četiri oscilatorne veličine (vertikalno ubrzanje na podu autobusa ispod sedišta vozača, vertikalno ubrzanje na podu autobusa ispod sedišta putnika nad zadnjom osovinom, vertikalno ubrzanje na sedištu vozača i vertikalno ubrzanje na sedištu putnika nad zadnjom osovinom). Snimanje oscilatornih veličina obavljeno je na praznom međugradskom autobusu IK 302 (vozač i tri putnika) na lošem asfalt-betonskom kolovozu (ne postoji snimak neravnosti) i pri konstantnoj brzini kretanja autobusa od 60 km/h (Mladenović, 1997).

U ovakvom postupku postoji određeni broj inherentnih neusaglašenosti, koje utiču na tačnost analize. To su, pre svega:

- razlike u analiziranim vozilima (tip autobusa IK 301 i IK 302); ova dva vozila su veoma slična po geometrijskim, masenim i oscilatornim parametrima, zbog čega se procenjuje da je u kontekstu ovog rada ovaj uticaj zanemarljivog značaja;
- neravnost podloge pri ispitivanju nije snimljena, već su karakteristike podloge date opisno (loš asfalt-betonski kolovoz); za simulaciju je korišćen snimljeni signal sa lošeg asfalt-betona iz drugog izvora; autor procenjuje da je razlika u pobudama najznačajniji razlog za pojavu razlika u oscilatornom ponašanju realnog vozila i modela tokom simulacije.

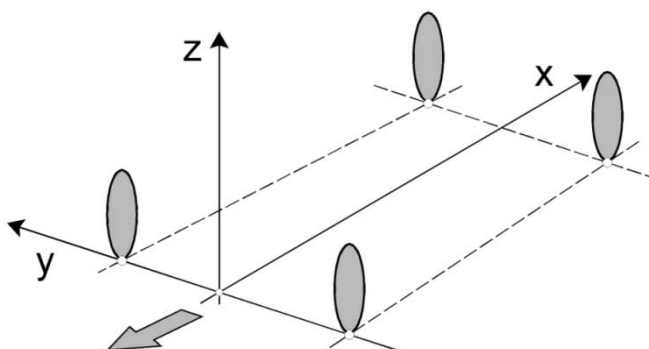
Za pobudu simulacionog modela korišćen je signal neravnosti asfalt-betonskog kolovoza u lošem stanju iz baze podatka "PROFILES" programskog paketa *RoadRuf* (RoadRuf Software, 1997). Podužne neravnosti su registrovane na dva traga na deonici puta od 161 m pomoću mernog vozila *K. J. Law* pri brzini kretanja od 64 km/h (slika 4.15).

Imajući u vidu temu, svrhu i cilj istraživanja, autor smatra da je sa dovoljnim nivoom poverenja na opisani način moguće sprovesti validaciju oscilatornog modela. Postupak validacije detaljnije je prikazan u nastavku ovog poglavlja.

8.2. Određivanje položaja težišta vozila

Na osnovu tehničkih podataka proizvođača na početku analize određen je položaj težišta modela praznog i opterećenog autobusa, a zatim ekvivalentne krutosti opruga i ekvivalentna prigušenja amortizera na zadnjoj osovini.

Položaj težišta modela autobusa određen je u odnosu na trodimenzionalni referentni koordinatni sistem (slika 8.1).



Izvor: Dedović, 1998.

Slika 8.1. Koordinatni sistem za određivanje položaja težišta autobusa

Za prikazani koordinatni sistem važi sledeće:

- koordinatni početak je na podlozi, u preseku podužne ravni simetrije vozila i projekcije prednje osovine na podlogu,
- x - osa je u ravni simetrije vozila i usmerena u nazad,
- y - osa je paralelna sa prednjom osovinom i usmerena je od leve ka desnoj strani vozila,
- z - osa je usmerena prema gore.

Na osnovu jednačina ravnoteže momenata za sve tri ose i ravnoteže sila u vertikalnom pravcu, položaj težišta autobusa može se odrediti prema izrazima [8.1-8.3]:

$$\sum_{i=1}^n M_{y_i} = 0, \quad \sum_{i=1}^n m_i \cdot y_i - m \cdot y_T = 0, \quad \Rightarrow \quad y_T = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \cdot y_i}{m} \quad [8.1]$$

$$\sum_{i=1}^n M_{x_i} = 0, \quad \sum_{i=1}^n m_i \cdot x_i - m \cdot x_T = 0, \quad \Rightarrow \quad x_T = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \cdot x_i}{m} \quad [8.2]$$

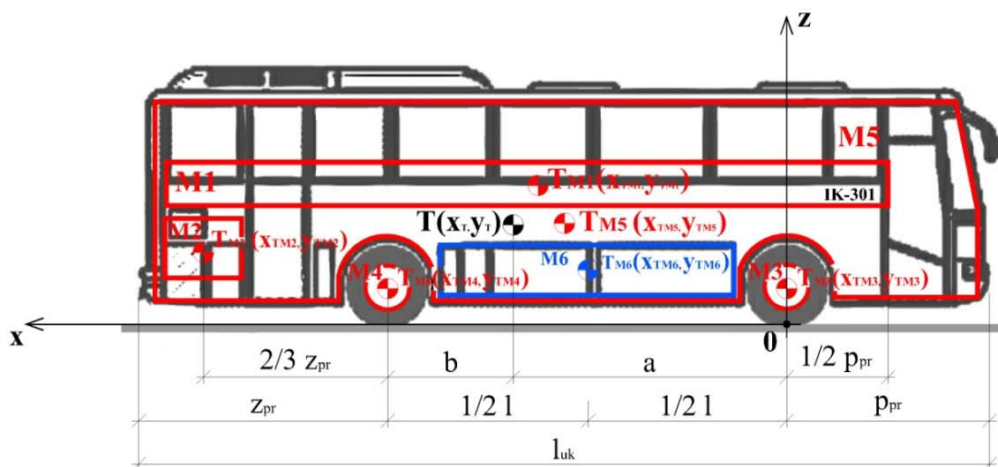
$$\sum_{i=1}^n M_{z_i} = 0, \quad \sum_{i=1}^n m_i \cdot z_i - m \cdot z_T = 0, \quad \Rightarrow \quad z_T = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \cdot z_i}{m} \quad [8.3]$$

gde su:

- $M_{x_i}, M_{y_i}, M_{z_i}$ - momenti i -te mase oko osa x, y i z ,
- m_i - masa i -te komponente,
- x_i, y_i, z_i - koordinate težišta i -te komponente,
- n - ukupna broj komponentata na koje je autobus podeljen,
- m - ukupna masa praznog/opterećenog autobusa,
- x_T, y_T, z_T - koordinate težišta autobusa.

8.2.1. Određivanje položaja težišta oscilatornog modela praznog/opterećenog autobusa IK 301

Za određivanje položaja težišta $T(x_T, y_T)$ praznog i opterećenog autobusa IK 301, autobus je razložen na 5, odnosno 6 velikih komponentata, slika 8.2.



Slika 8.2. Komponente praznog/opterećenog autobusa IK 301

Značenja oznaka na slici 8.2 i njihove vrednosti prikazani su u tabeli 8.1.

Tabela 8.1. Komponente praznog/opterećenog autobusa i položaj njihovih težišta

Komponente autobusa	Masa komponente (kg)		Koordinate težišta komp. praznog autobusa		Koordinate težišta komp. opterećenog autobusa	
	prazan	opterećen	x_i (mm)	z_i (mm)	x_i (mm)	z_i (mm)
M1 - sedišta (sa putnicima)	1250	4960	3816	1280	3816	1450
M2 - motor i menjač	950	950	7911	800	7911	800
M3 - prednja osovina autobusa	746	746	0	512	0	512
M4 - zadnja osovina autobusa	1356	1356	5650	512	5650	512
M5 - karoserija autobusa	7198	7193	3816	1100	3816	1100
M6 - prtljag	-	795	-	-	2825	365

x_T koordinate težišta masa M1, M2, M5 i M6 proračunate su prema izrazima [8.4 - 8.7].

$$x_{TM1} = \frac{(luk - p_{pr} / 2)}{2} - \frac{p_{pr}}{2} \quad [8.4]$$

$$x_{TM2} = \frac{2}{3} z_{pr} + l \quad [8.5]$$

$$x_{TM5} = \frac{l}{2} \quad [8.6]$$

$$x_{TM6} = \frac{l_{uk}}{2} - p_{pr} \quad [8.7]$$

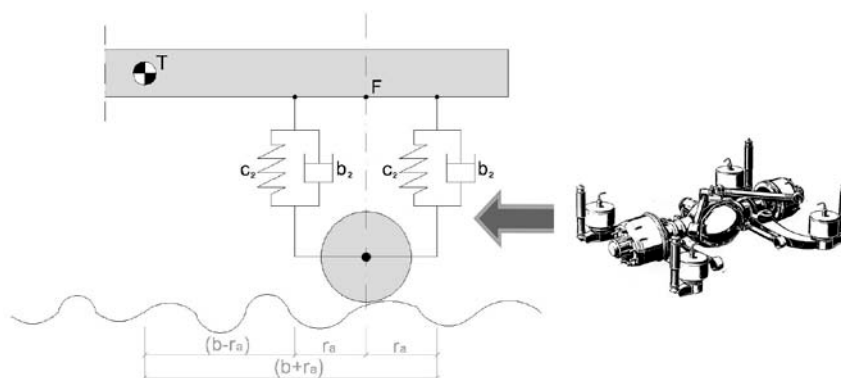
Pri proračunu položaja težišta T, za prazan i opterećen autobus, predpostavlja se da se ono nalazi u ravni podužne simetrije vozila (koordinata težišta y_T jednaka je nuli), pa je položaj težišta određen u odnosu na x i z osu, prema izrazima [8.2] i [8.3]. U tabeli 8.2 date su proračunate koordinate x_T i z_T težišta praznog i opterećenog autobusa.

Tabela 8.2. Koordinate težišta praznog/opterećenog autobusa IK 301

	Koordinate težišta modela praznog autobusa	Koordinate težišta modela opterećenog autobusa
x_T	3681 (mm)	3670 (mm)
y_T	0 (mm)	0 (mm)
z_T	987.3 (mm)	1077 (mm)

8.3. Određivanje ekvivalentne krutosti opruge i ekvivalentnog prigušenja amortizera oscilatornog modela praznog/opterećenog autobusa

Na slici 8.3 šematski su predstavljeni elementi oslanjanja na zadnjem mostu sa karakterističnom geometrijom na osnovu koje su određeni ekvivalentna krutost i ekvivalentno prigušenje za oscilatorni model autobusa. Ekvivalentne krutosti opruga i ekvivalentna prigušenja amortizera na zadnjoj osovini izračunati su prema izrazima [8.8] i [8.9].



Slika 8.3. Elementi oslanjanja na zadnjem mostu autobusa IK 301

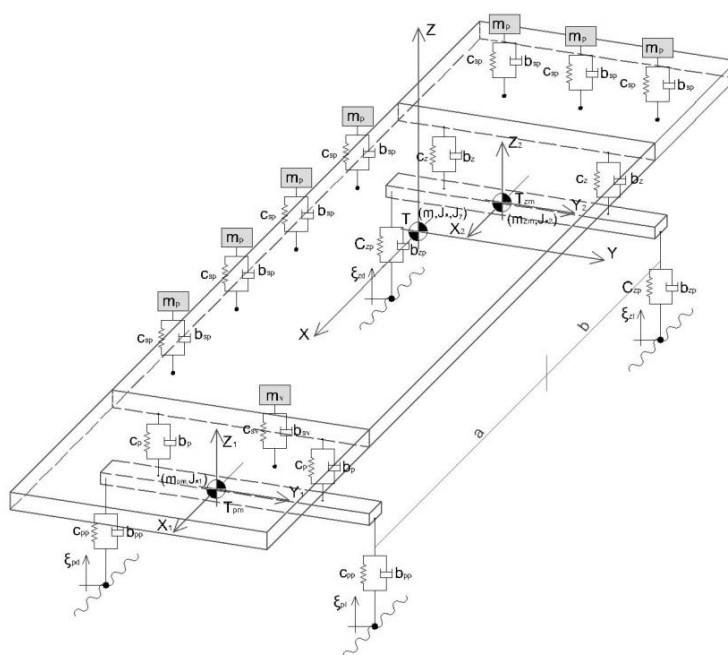
$$c_z = c_2' + c_2'' = c_2 \frac{(b - r_a)^2}{b^2} + c_2 \frac{(b + r_a)^2}{b^2} \quad [8.8]$$

$$b_z = b_2' + b_2'' = b_2 \frac{(b - r_a)^2}{b^2} + b_2 \frac{(b + r_a)^2}{b^2} \quad [8.9]$$

Značenja simbola na slici 8.3 data su u tabelama 8.3-8.5. U njima su takođe date i proračunate vrednosti parametara c_z i b_z za prazan i opterećen autobus.

8.4. Ostali parametri autobusa korišćeni u simulacijama (za validaciju modela autobusa i određivanje zona oscilatornog komfora autobusa)

Na slici 8.4 šematski prikazan je prostorni oscilatorni model autobusa IK 301. Značenja simbola na slici 8.4 data su u tabelama (8.3-8.5). U njima su takođe date i vrednosti važnih parametara od kojih je formiran oscilatorni model. Vrednosti parametara potiču iz dostupne literature (Mladenović, 1997; Simić i ostali, 1975; Nijemčević i ostali, 2001).



Slika 8.4. Šematski prikaz prostornog oscilatornog modela autobusa IK 301

U prilogu 7 dat je deo tekstualnog komandnog fajla (fajl *cmd.*) koji je importovan iz radnog okruženja *ADAMS/View*-a. U fajlu je definisan oscilatorni model autobusa pomoću komandi *ADAMS/View*-ovog komandnog jezika. Fajl sadrži vrednosti svih parametara svakog objekta od kojeg je model sastavljen. Na primer, mase podužnih i kosih poluga na prednjoj i zadnjoj osovini autobusa, momente inercija prednje i zadnje osovine, krutosti i prigušenja pneumatika i dr.

Tabela 8.3. Geometrijski parametri autobusa IK 301

Geometrijski parametri autobusa	Vrednosti
l - međuosovinsko rastojanje	5.650 [m]
a - rastojanje od prednje osovine do težišta praznog/opterećenog autobusa	3.681/3.670 [m]
b - rastojanje od zadnje osovine do težišta praznog/opterećenog autobusa	1.969/1.980 [m]
r _a - rastojanje od elemenata oslanjanja zadnjeg mosta do zadnje osovine	0.3 [m]

Izvor: Mladenović, 1997; Simić i ostali, 1975; Nijemčević i ostali, 2001.

Tabela 8.4. Parametri mase autobusa IK 301

Parametri mase autobusa	Vrednosti	Parametri mase autobusa	Vrednosti
m_s - masa sedišta putnika	20 [kg]	m_{zm} - masa zadnjeg mosta	1355 [kg]
m_v - masa vozača i sedišta	100 [kg]	J_x - moment inercije oslonjene mase u odnosu na podužnu težišnu osu (x-osu)	13000 [kgm ²]
m_p - masa putnika i sedišta	90 [kg]	J_y - moment inercije oslonjene mase u odnosu na poprečnu težišnu osu (y-osu)	150000 [kgm ²]
m - elastično oslonjena masa potpuno opterećenog autobusa	15890 [kg]	J_{x1} - moment inercije prednjeg mosta u odnosu na osu x_1	350 [kgm ²]
m_{pm} - masa prednjeg mosta	746 [kg]	J_{x2} - moment inercije zadnjeg mosta u odnosu na osu x_2	620 [kgm ²]

Izvor: Mladenović, 1997; Simić i ostali, 1975; Nijemčević i ostali, 2001.

Tabela 8.5. Oscilatorni parametri autobusa IK 301

Oscilatorni parametri autobusa	Vrednosti	Oscilatorni parametri autobusa	Vrednosti
c_{sv} - krutost opruge sistema oslanjanja sedišta vozača	5600 [N/m]	c_z - ekvivalentna krutost vazdušnih jastuka na levoj i desnoj strani zadnjeg mosta za prazan/opterećen autobus	409290/409180 [N/m]
b_{sv} - prigušenje amortizera sistema oslanjanja sedišta vozača	750 [Ns/m]	b_2 - prigušenje jednog amortizera na zadnjoj osovini autobusa	22500 [Ns/m]
c_{sp} - krutost sedišta putnika	20000 [N/m]	b_z - ekvivalentno prigušenje amortizera na levoj i desnoj strani zadnjeg mosta za prazan/opterećen autobus	46045/46033 [Ns/m]
b_{sp} - prigušenje sedišta putnika	220 [Ns/m]	c_{pp} - radijalna krutost jednog pneumatika na prednjoj i zadnjoj osovini autobusa	1000000 [N/m]
c_p - krutost jednog vazdušnog jastuka na prednjoj osovini autobusa	175000 [N/m]	c_{zp} - ekvivalentna radijalna krutost pneumatika na levoj i desnoj strani zadnjeg mosta autobusa	2000000 [N/m]
b_1 - prigušenje jednog amortizera na prednjoj osovini autobusa	15000 [Ns/m]	b_{pp} - prigušenje jednog pneumatika na prednjoj i zadnjoj osovini autobusa u vertikalnom pravcu	150 [Ns/m]
b_p - ekvivalentno prigušenje amortizera na levoj i desnoj strani prednjeg mosta	30000 [Ns/m]	b_{zp} - ekvivalentno prigušenje pneumatika na levoj i desnoj strani zadnjeg mosta autobusa u vertikalnom pravcu	300 [Ns/m]
c_2 - krutost jednog vazdušnog jastuka na zadnjoj osovini autobusa	200000 [N/m]	/	/

Izvor: Mladenović, 1997; Simić i ostali, 1975; Nijemčević i ostali, 2001.

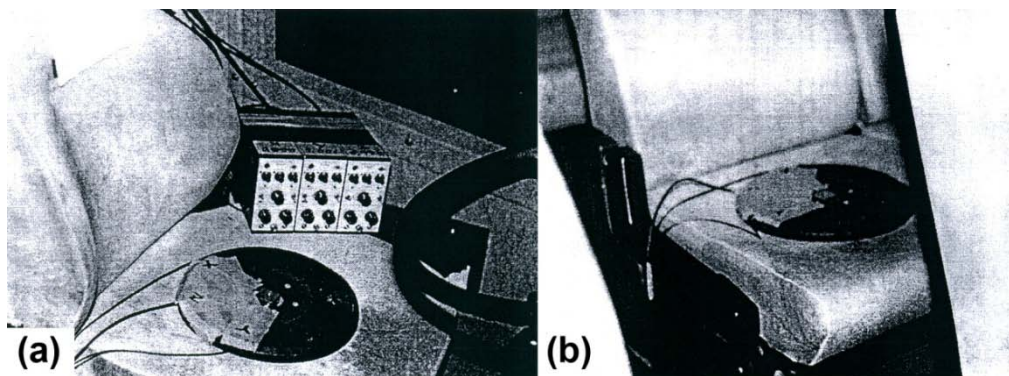
Vrednosti geometrijskih parametara, parametara mase i oscilatornih parametara autobusa IK 301 iz tabela korišćeni su u simulacijama za analize oscilatornog komfora korisnika. Za validaciju modela iskorišćena je oscilatorna pobuda loš asfalt-betonski kolovoz, brzina 64 km/h (slika 8.9). Po završetku simulacije izvršeno je poređenje oscilatornih veličina.

8.5. Rezultati merodavni za validaciju oscilatornog modela autobusa

Na slikama 8.5 i 8.6 prikazana su merna mesta u međugradskom autobusu IK 302. Na slikama 8.14(a)-8.17(a) prikazani su signali vertikalnog ubrzanja dobijeni merenjem u opširnom istraživanju (Mladenović, 1997). U istraživanju se navodi da je sprovedeno ukupno 14 merenja na različitim tipovima podloga (asfalt-betonski kolovoz, makadam i kocka) sa različitim stanjima (loš, srednje i dobar) i pri različitim brzinama kretanja autobusa (40, 60, 80, 100 i 130 km/h). Za validaciju prostornog oscilatornog modela autobusa IK 301 iskorišćeni su registrovani signali ubrzanja dva različita merenja označena sa MERENJE2 i MERENJE10 u (Mladenović, 1997). Oba merenja su obavljena na dve različite deonice puta na potezu "Aerodrom - Ikarbus" sa asfalt-betonskim kolovozom u lošem stanju pri konstantnoj brzini kretanja autobusa od 60 km/h. U prvom merenju (MERENJE2) registrovani su signali ubrzanja na podu ispod vozačevog sedišta i na sedištu vozača. U drugom merenju (MERENJE10) snimljeni su signali ubrzanja na podu autobusa ispod sedišta putnika iznad zadnje osovine i na sedištu putnika iznad zadnje osovine.

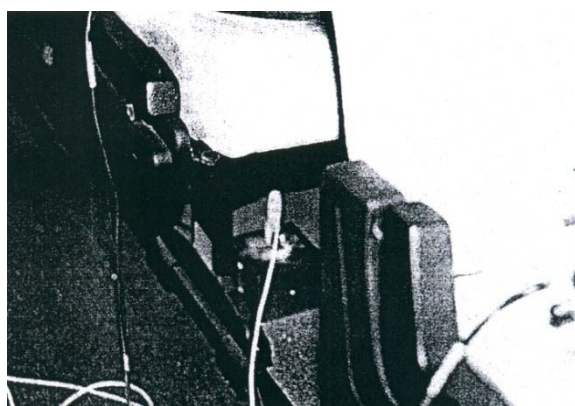
Za registrovanje signala ubrzanja na sedištima putnika i vozača korišćen je troosni davač ubrzanja marke B&K tip B&K 4321, a za pojačanje izlaznih signala iz davača korišćen je pojačivač tipa B&K 2635 (slika 8.5). Pojačanje na pojačivaču odabrano je tako da naponu od 1 Volt odgovara ubrzanje od 10 m/s^2 .

Za registrovanje signala ubrzanja na nadgradnji (podu ispod sedišta vozača i putnika) korišćeni su induktivni davači ubrzanja marke HBM tip B12/200 (slika 8.6). Svi signali su zabeleženi u vremenu od 13.65 sekundi.



Izvor: Mladenović, 1997.

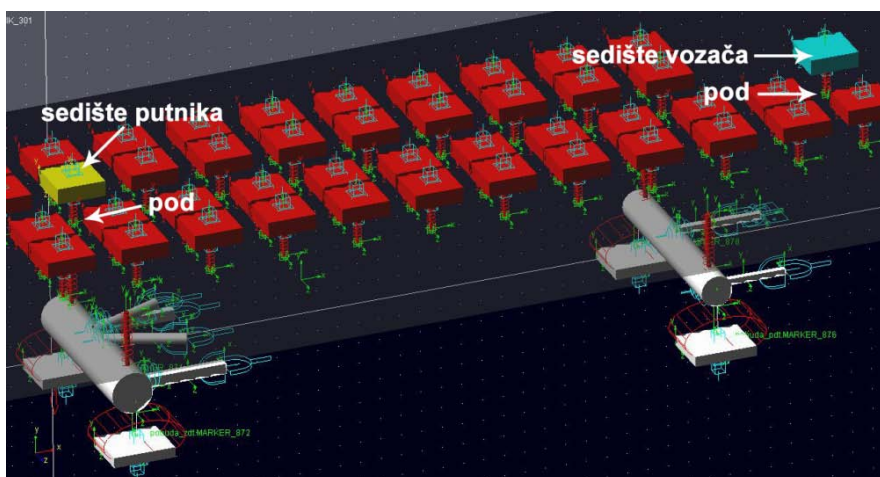
Slika 8.5. Postavljanje merne opreme na mestu a) vozača i b) putnika



Izvor: Mladenović, 1997.

Slika 8.6. Postavljanje induktivnih davača ubrzanja na nadgradnji

Na slici 8.7 prikazan je oscilatorni model praznog autobusa sa naznačenim mestima na kojima su postavljeni markeri za beleženje signala vertikalnog ubrzanja.



Slika 8.7. Oscilatorni model autobusa sa naznačenim mestima na kojima su postavljeni markeri za beleženje signala vertikalnih ubrzanja

Na slici 8.8 prikazani su položaji sedišta vozača i putnika iznad zadnje osovine autobusa.

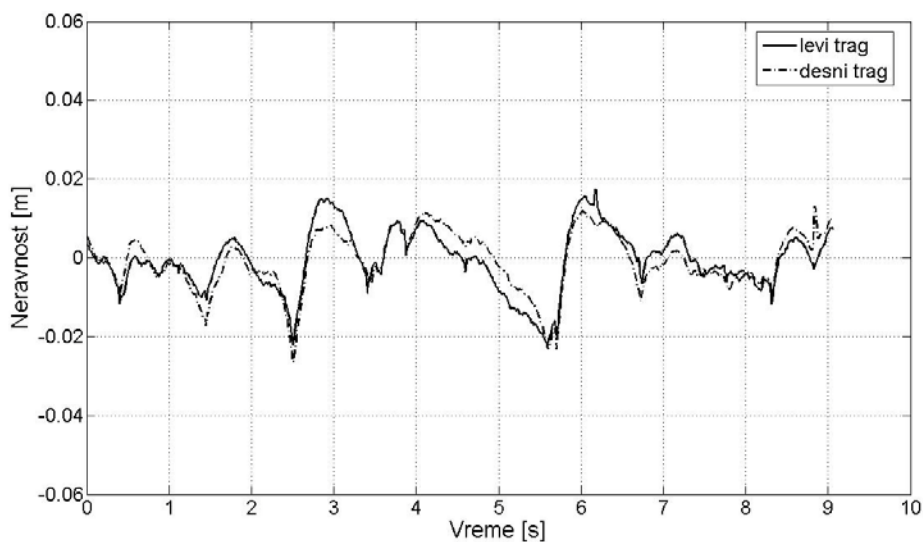


Slika 8.8. Položaj sedišta vozača i putnika iznad zadnje osovine

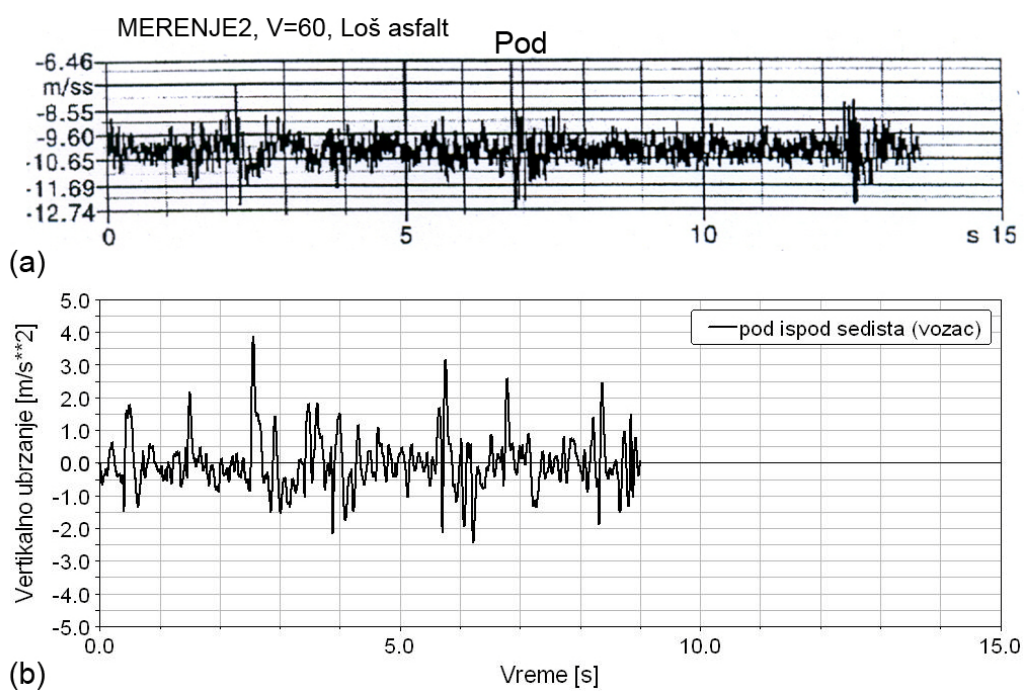
Na slici 8.9 prikazana je realna pobuda oscilatornog modela autobusa IK 301 - asfalt-betonski kolovoz u lošem stanju (brzina 64 km/h) u funkciji od vremena.

Za numeričku integraciju izabran je Gear Stiff (GSTIFF) integrator sa formulacijom I3. GSTIFF integrator koristi formulu za diferenciranje unazad i Newton-Raphson algoritam za numeričku integraciju diferencijalnih jednačina (Mechanical Dynamics, Incorporated, 2000; Steigerwald, 1996). Izabrano je vreme simulacije od 9 sekundi. Signali ubrzanja odabirani su na svakih 0.001 sekundi. Simulacija je sprovedena tako što je prvo oscilatorni model autobusa postavljen u ravnotežni položaj pomoću “*Find static equilibrium*” komande, a potom je izvršena dinamička simulacija. Integrator GSTIFF je korišćen i kasnije u svim obavljenim simulacijama.

Na slikama 8.10 i 8.11 prikazan su signali vertikalnog ubrzanja, dobijeni merenjem i simulacijom, na podu ispod vozačevog sedišta i ispod sedišta putnika iznad zadnje osovine. U tabeli 8.6 date su vrednosti statističkih parametara (maksimalna, minimalna, srednja vrednost i disperzija).

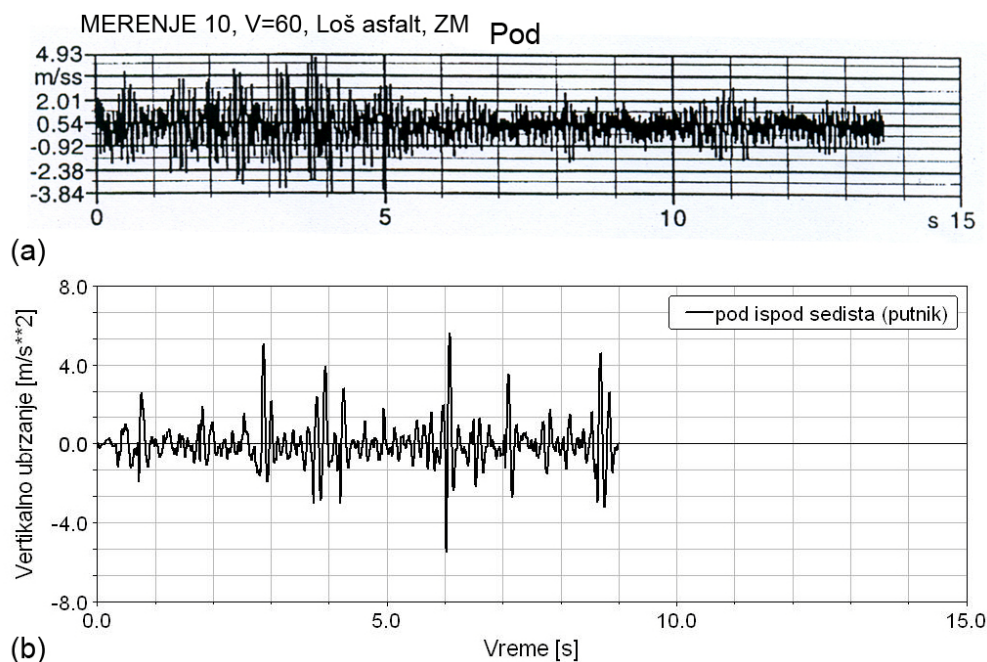


Slika 8.9. Pobuda oscilatornog modela autobusa - asfalt betonski kolovoz u lošem stanju, brzina 64 km/h



Izvor: Sl.8.10(a), Mladenović, 1997.

Slika 8.10. Vertikalno ubrzanje na podu ispod sedišta vozača: a) merenje i b) simulacija



Izvor: Sl.8.11(a), Mladenović, 1997.

Slika 8.11. Vertikalno ubrzanje na podu ispod sedišta putnika iznad zadnje osovine:
a) merenje i b) simulacija

Tabela 8.6. Statističke vrednosti vertikalnog ubrzanja za pod ispod sedišta vozača i putnika utvrđene merenjem i simulacijom

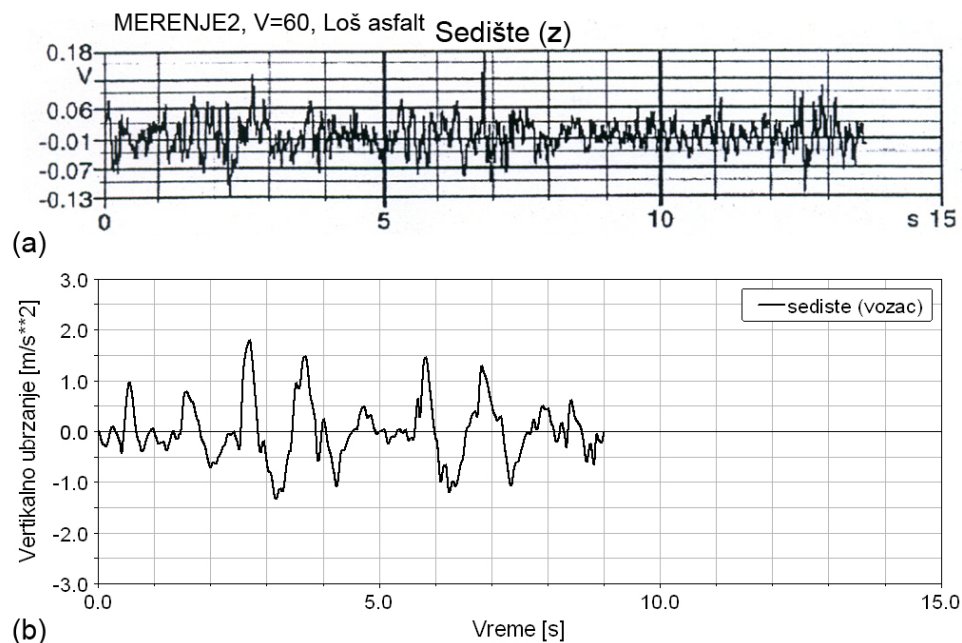
Statističke vrednosti	Pod ispod sedišta vozača		Pod ispod sedišta putnika	
	merenje	simulacija	merenje	simulacija
Maksimalna vr.	16.27	3.8913	4.93	5.6162
Minimalna vr.	2.93	-2.4365	-3.84	-5.4642
Srednja vr.	0.42	-0.0013	0.44	0.0011
Disperzija	0.53	0.6431	1.07	1.1545

Izvor: merenje, Mladenović, 1997.

Srednje vrednosti ubrzanja izmerene na podu ispod sedišta vozača i ispod sedišta putnika iznose 0.42 m/s^2 i 0.44 m/s^2 , a njihove disperzije su 0.53 i 1.07. Srednje vrednosti ubrzanja dobijene simulacijom iznose 0.0111 m/s^2 i -0.0026 m/s^2 , a disperzije su 0.6431 i 1.1545. Disperzije ubrzanja su uporedive, pa oscilatorni model autobusa omogućava relativno dobru procenu ubrzanja pomenutih oscilatornih veličina.

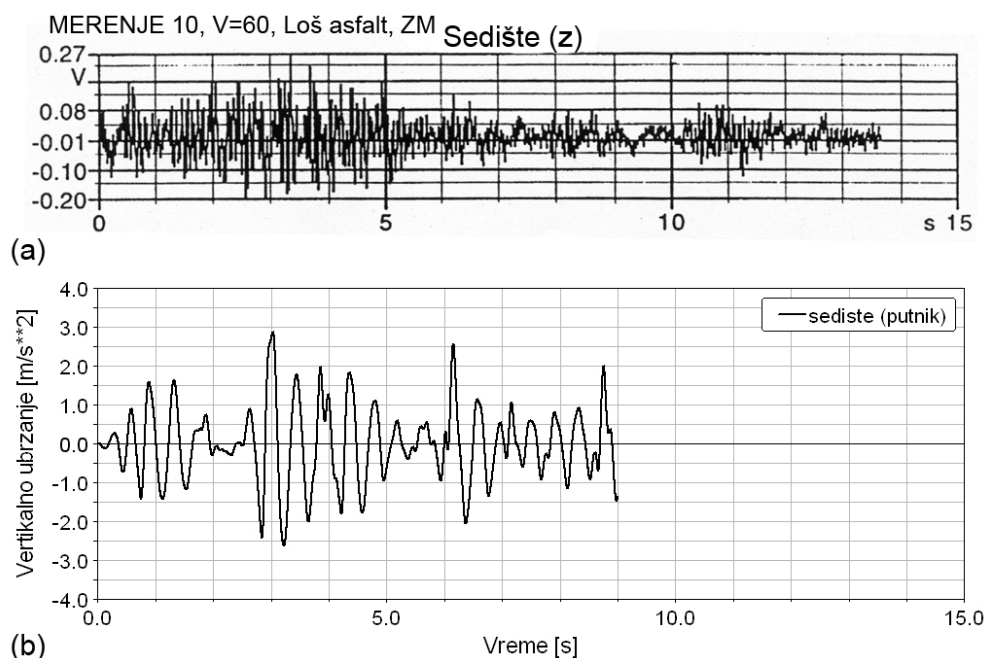
Na slikama 8.12 i 8.13 prikazani su signali vertikalnog ubrzanja na mestu vozača i na mestu putnika iznad zadnje osovine utvrđene merenjem i simulacijom. U tabeli 8.7 date su vrednosti statističkih parametara (maksimalna, minimalna, srednja vrednost i

disperzija) koji su dobijeni na osnovu merenja i simulacije. U tabeli 8.9 su, takođe, date i proračunate vrednosti standardnog odstupanja i efektivnih (*rms*) vrednosti vertikalnih ubrzanja.



Izvor: Sl.8.12(a), Mladenović, 1997.

Slika 8.12. Vertikalno ubrzanje na sedištu vozača: a) merenje i b) simulacija



Izvor: Sl.8.13(a), Mladenović, 1997.

Slika 8.13. Vertikalno ubrzanje na sedištu putnika iznad zadnje osovine:
a) merenje i b) simulacija

Tabela 8.7. Statističke vrednosti vertikalnog ubrzanja na sedištu vozača i putnika utvrđene merenjem i simulacijom

Statističke vrednosti	Sedište vozača		Sedište putnika	
	merenje	simulacija	merenje	simulacija
Maksimalna vr.	1.8	1.789	2.7	2.8709
Minimalna vr.	-1.3	-1.3244	-2.0	-2.6311
Srednja vr.	0	-0.0042	0.0	0.002
Disperzija	0.3	0.3437	0.6	0.91
Standardno odstupanje	0.5477	0.58622	0.7745	0.9539
Efektivna (rms) vr.	0.5477	0.58624	0.7745	0.954

Izvor: merenje, Mladenović, 1997.

Izmerene vršne vrednosti vertikalnog ubrzanja na sedištu vozača su 1.8 m/s^2 i -1.3 m/s^2 . Vršne vrednosti dobijene simulacijom su 1.7890 m/s^2 i -1.3244 m/s^2 . Izmerena srednja vrednost ubrzanja vozača jednaka je nuli, a simulacijom utvrđena srednja vrednost ubrzanja približno je jednaka nuli i iznosi -0.0042 m/s^2 . Disperzije ubrzanja, takođe, se neznato razlikuju (0.3 za merenje i 0.3437 za simulaciju). Gotovo sve vrednosti oba signala vertikalnog ubrzanja vozača nalaze se u opsegu od -1.0 m/s^2 do 1.0 m/s^2 . Oscilatorni model omogućava vrlo dobru procenu ubrzanja na mestu vozača autobusa.

Srednje vrednosti vertikalnog ubrzanja putnika utvrđene merenjem i simulacijom približno su jednake (0.0 m/s^2 za merenje i 0.0020 m/s^2 za simulaciju). Disperzije se razlikuju za 0.31 . Gotovo sve vrednosti oba signala vertikalnog ubrzanja putnika iznad zadnje osovine nalaze se u opsegu od -2.0 m/s^2 do 2.0 m/s^2 . Prema rezultatima merenja i simulacije zaključuje se da oscilatorni model omogućava relativno dobru procenu vertikalnih signala ubrzanja na mestu putnika međugradskog autobusa.

Standardno odstupanje oscilatorne veličine q računa se prema izrazu:

$$D(q) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (q_i - q_{sr})^2} \quad [8.10]$$

gde je:

$D(q)$ - standardno odstupanje oscilatorne veličine;

N - broj uzoraka signala;

q_i - vrednost oscilatorne veličine za i -ti uzorak;

q_{sr} - srednja vrednost uzorka;

Potkorena veličina u izrazu [8.10] predstavlja disperziju oscilatorne veličine. Važno je primetiti da ukoliko je srednja vrednost oscilatorne veličine jednaka nuli, tada je standardno odstupanje jednako efektivnoj (*rms*) vrednosti oscilatorne veličine, izraz [8.11].

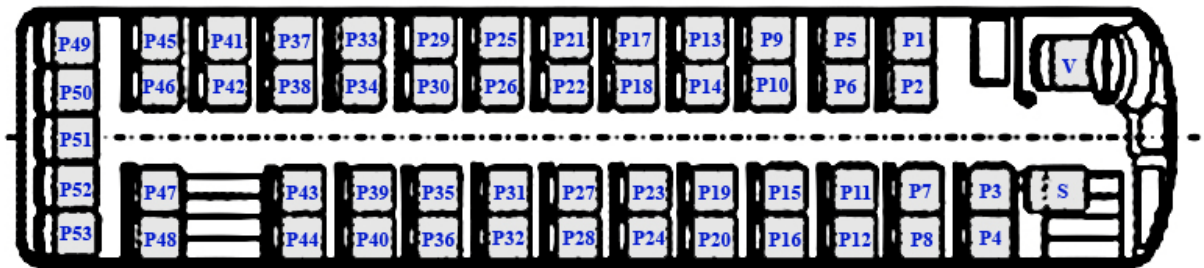
$$D(q) = q_{eff} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N q_i^2} \quad [8.11]$$

Proračunate efektivne (*rms*) vrednosti vertikalnog ubrzanja vozača i putnika dobijene za slučaj merenja i simulacije uporedive se i iznose 0.5477 m/s^2 i 0.58624 m/s^2 , odnosno 0.7745 m/s^2 i 0.9540 m/s^2 . Ovo je vrlo važno ako se zna da je efektivna vrednost vertikalnog ubrzanja najznačajnija veličina za procenu uticaja vibracija na komfor korisnika autobusa.

Budući da je opisanom analizom ustanovljeno da se karakteristike relevantnih oscilatornih veličina (karakter promene, apsolutne vrednosti, raspon i statistički parametri oscilatornih veličina) u najvećoj meri poklapaju, može se smatrati da je oscilatorni model korišćen za simulaciju odgovarajući i da se on može sa poverenjem koristiti za analize oscilatornog komfora korisnika autobusa.

9. Simulaciono istraživanje

U ovom delu određen je komfor svakog korisnika (vozač, suvozač i putnici) autobusa IK 301 (slika 9.1) za sedam različitih realnih neravnost pri različitim brzinama kretanja autobusa. Analize su sprovedne pomoću validiranog oscilatornog modela koji je opisan u prethodnom poglavlju ovog rada. Oscilatorni komfor određen je prema kriterijumima standarda ISO 2631 (1997). Na osnovu proračunatog komfora korisnika, u autobusu IK 301 definisane su zone jednakog oscilatornog komfora.



Slika 9.1. Raspored sedišta u autobusu IK 301

9.1. Definisanje i određivanje komfora svih korisnika autobusa prema kriterijumu standarda ISO 2631 (1997) za različite pobude i brzine kretanja autobusa

Komfor korisnika određen je prema izrazu [9.1].

$$a_v = ((k_x \cdot \ddot{x}_{rms,w})^2 + (k_y \cdot \ddot{y}_{rms,w})^2 + (k_z \cdot \ddot{z}_{rms,w})^2)^{1/2} \quad [9.1]$$

gde je:

a_v - ukupna vrednost vrednovanog srednjeg efektivnog ubrzanja na mestima korisnika autobusa (m/s^2);

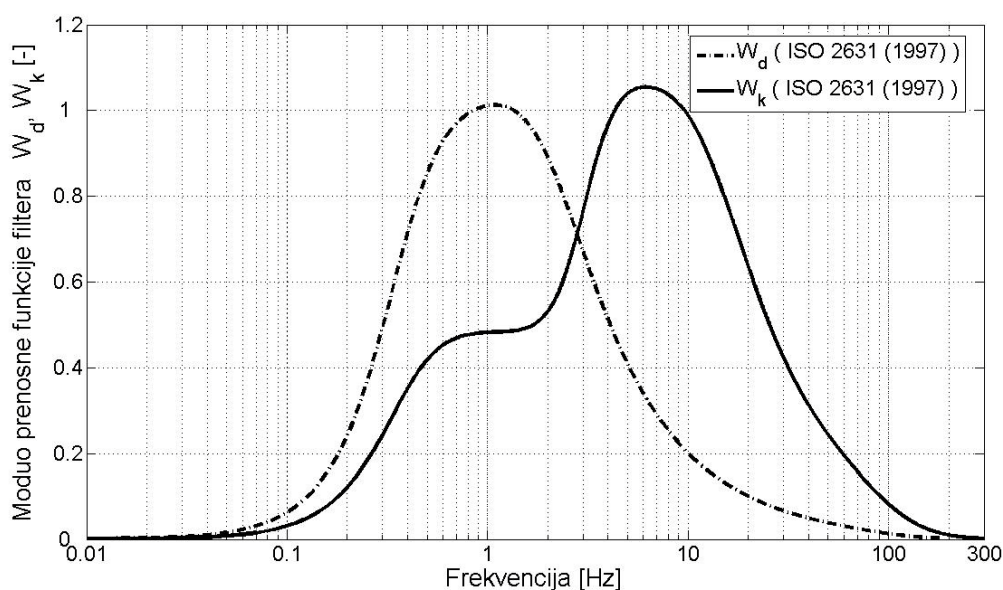
$\ddot{x}_{rms,w}$, $\ddot{y}_{rms,w}$, $\ddot{z}_{rms,w}$ - srednja efektivna vrednost vrednovanog ubrzanja za pravce x , y , z osa (m/s^2);

k_x , k_y , k_z - faktori za vrednovanje RMS ubrzanja za pravce x , y , z osa;

Vrednosti faktora k_x , k_y , k_z za vrednovanje RMS ubrzanja, za procenu uticaja vibracija na komfor, jednaki su jedinici (ISO 2631, 1997).

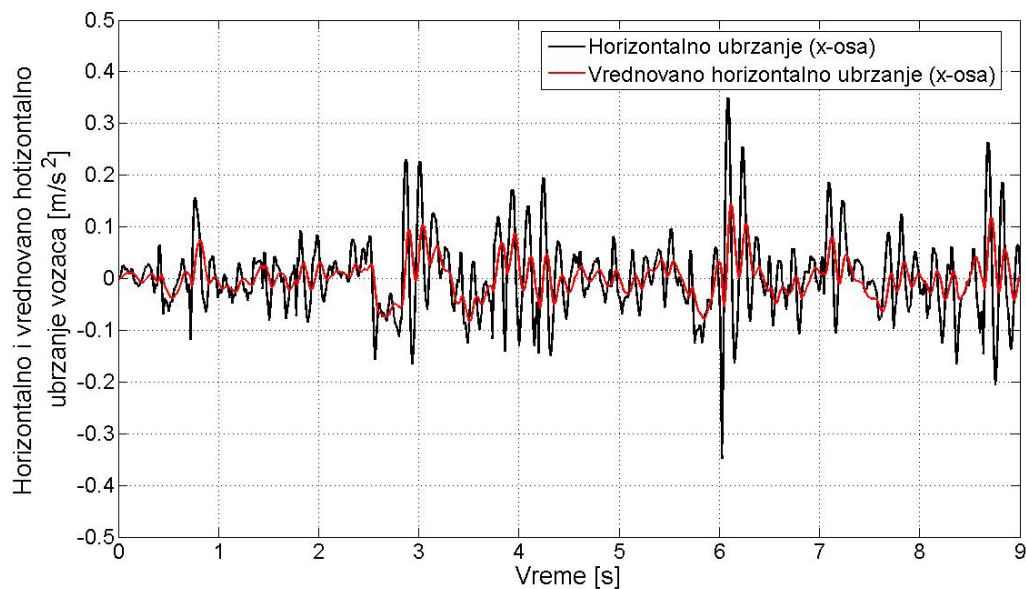
Srednje efektivne vrednosti vrednovanog ubrzanja za pravce x , y i z -osa, određene su prema izrazima [3.2], [3.3] i [3.4].

Broj uzoraka signala ubrzanja N zavisi od vremena trajanja simulacije (npr. za vreme simulacije od 7 sekundi broj uzorka jednak je 7001). U programskom paketu *Matlab* napisani su potprogrami za vrednovanje ubrzanja korisnika autobusa (prilog 4). U njima su, u skladu sa standardom ISO 2631 (1997), definisani filteri W_k i W_d za vrednovanje vertikalnog ubrzanja (ubrzanje za pravac z -ose) i horizontalnih ubrzanja (ubrzanja za pravce x i y -osa) korisnika na sedištima (slika 9.2).



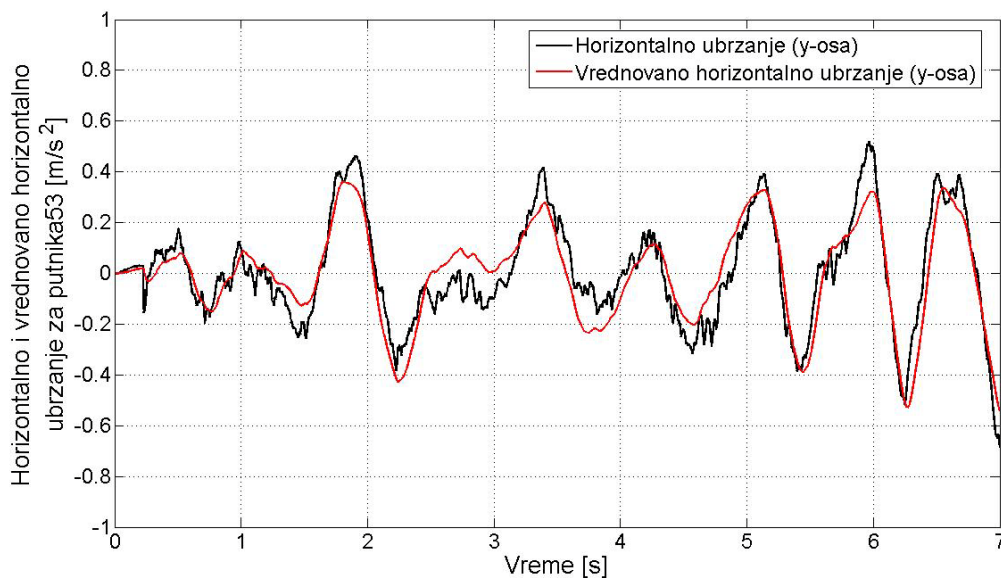
Slika 9.2. Filteri za vrednovanje vertikalnih i horizontalnih ubrzanja

Na slici 9.3 prikazan je primer horizontalnog i vrednovanog horizontalnog ubrzanja za pravac x -ose na mestu vozača za pobudu loš-asfalt betonski kolovoz i brzinu kretanja autobusa od 64 km/h.



Slika 9.3. Horizontalno i vrednovano horizontalno ubrzanje za vozača za pobudu loš-asfalt betonski kolovoz i brzinu kretanja autobusa od 64 km/h

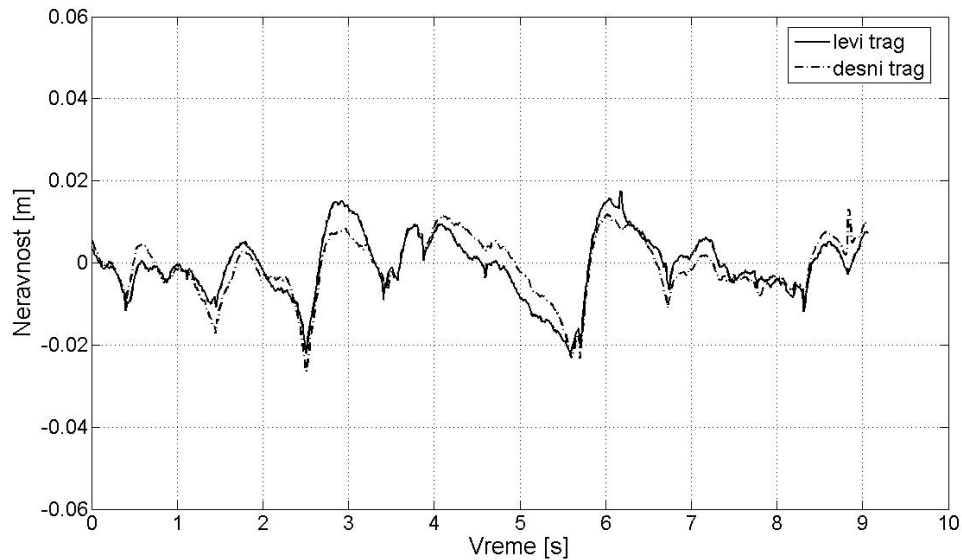
Na slici 9.4 prikazan je primer horizontalnog i vrednovanog horizontalnog ubrzanja za pravac y-ose, za putnika53 za pobudu vrlo dobar asfalt-betonski kolovoz i brzinu kretanja od 90 km/h.



Slika 9.4. Horizontalno i vrednovano horizontalno ubrzanje za putnika53 za pobudu vrlo dobar-asfalt betonski kolovoz i brzinu kretanja autobusa od 90 km/h

9.1.1. Loš asfalt-betonski kolovoz za brzinu autobusa od 64 km/h

Na slici 9.5 prikazane su neravnosti asfalt-betonskog kolovoza u lošem stanju u funkciji od vremena. Merno vozilo je registrovalo neravnosti duž dva traga (levog i desnog) na deonici puta dužine 161 m pri brzini kretanja od 64 km/h.



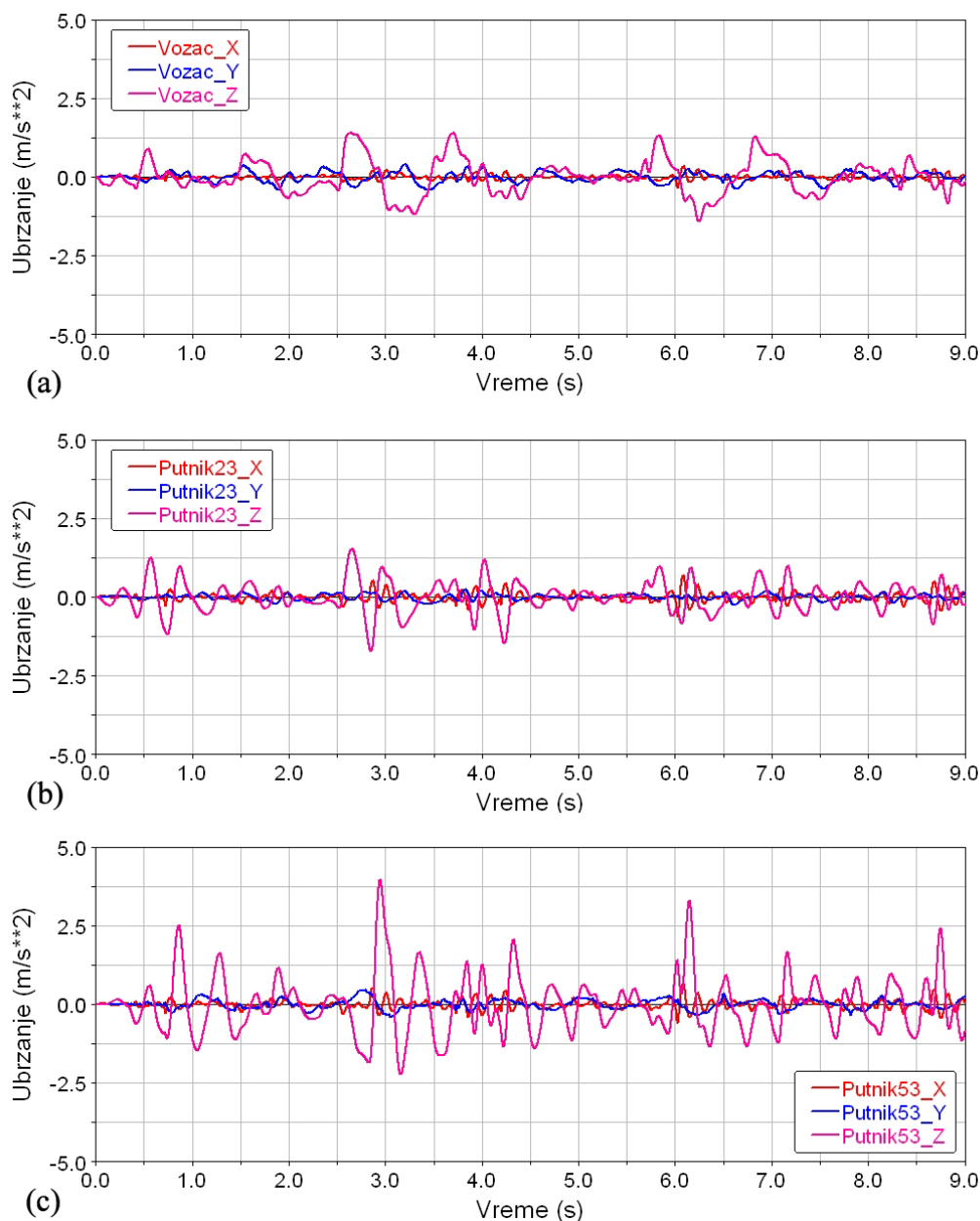
Slika 9.5. Oscilatorna pobuda autobusa loš asfalt-beton, brzina 64 km/h

U tabeli 9.1 date su srednja efektivna vrednost (*rms* vrednost) vrednovanog ubrzanja za pravce x , y i z -osa, kao i ukupna srednja efektivna vrednost (ukupna *rms* vrednost) vrednovanog ubrzanja na mestima svih korisnika autobusa IK 301. U poslednjoj koloni tabele 9.1 data je procena komfora prema kriterijumima standarda ISO 2631 (1997). Uočava se da su *rms* vrednosti vrednovanog ubrzanja korisnika za vertikalni pravac dominantne.

Zbog uticaja sistema elastičnog oslanjanja vozačevog sedišta na gušenje vibracija, najnižu ukupnu *rms* vrednost vrednovanog ubrzanja od 0.336 m/s^2 ima vozač. Putnici na sedištimu u zadnjem redu na zadnjem prepustu autobusa (putnik49-putnik53) imaju najviše ukupne *rms* vrednosti ubrzanja. Putnik23 ima najnižu ukupnu *rms* vrednost ubrzanja od 0.378 m/s^2 , a putnik53 ima najvišu ukupnu *rms* vrednost ubrzanja od 0.669 m/s^2 . Takođe se uočava da *rms* vrednosti ubrzanja putnika opadaju od sedišta na prednjem prepustu autobusa ka sedištimu u srednjem delu autobusa. Od sedišta u sredini autobusa ka sedištimu na zadnjem prepustu autobusa, *rms* vrednosti ubrzanja rastu.

Ukupne *rms* vrednosti vrednovanih ubrzanja za putnike na sedištima na prednjem prepustu (putnik1, putnik2, putnik3, putnik4) su bliske 0.5 m/s^2 (tabela 9.1). Na mestu suvozača *rms* vrednost ubrzanja veća je od 0.5 m/s^2 i jednaka je 0.519 m/s^2 .

Na slikama 9.6(a), 9.6(b) i 9.6(c) prikazana su ubrzanja za vozača, putnika23 i putnika53 za pravce *x*, *y* i *z*-osa. Uočava se da je putnik53 trpi najveće intezitete vertikalnih ubrzanja.



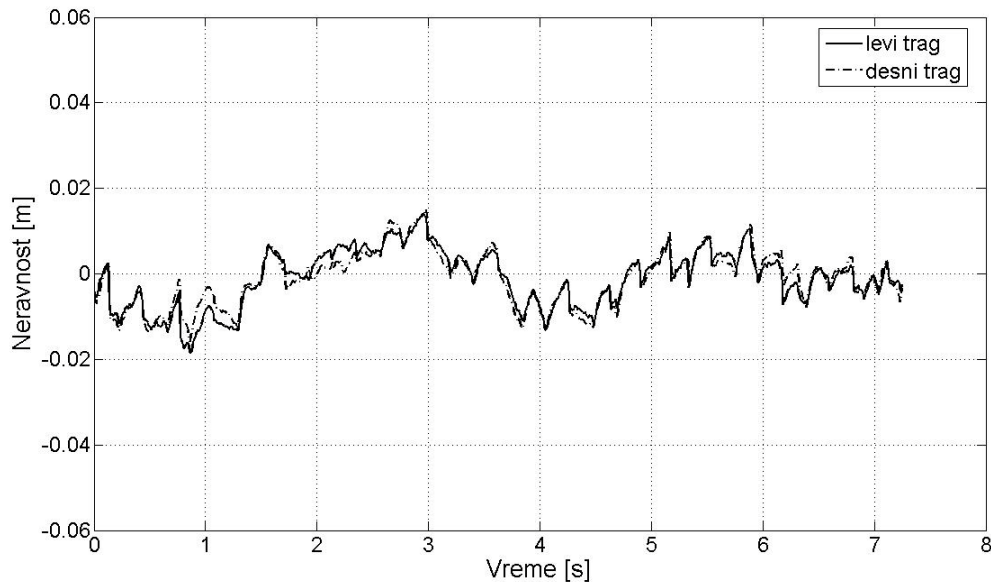
Slika 9.6. Ubrzanja na mestu a) vozača, b) putnika23 i c) putnika53 za loš asfalt-betonski kolovoz, brzina 64 km/h

Tabela 9.1. RMS vrednosti ubrzanja i ocena komfora za loš asfalt-betonski kolovoz, brzina 64 km/h

Korisnik	RMS vrednosti vrednovanih ubrzanja [m/s ²]			Ukupna RMS vrednost ubrzanja [m/s ²]	Ocena komfora (ISO 2631)
	$\ddot{x}_{rms,w}$	$\ddot{y}_{rms,w}$	$\ddot{z}_{rms,w}$	a_v	
vozač	0.035	0.146	0.301	0.336	malo neudobno
suvozač	0.037	0.144	0.498	0.519	prilično neudobno
putnik1	0.064	0.110	0.434	0.452	malo neudobno
putnik2	0.058	0.110	0.425	0.443	malo neudobno
putnik3	0.053	0.126	0.454	0.474	malo neudobno
putnik4	0.054	0.126	0.456	0.476	malo neudobno
putnik5	0.064	0.096	0.407	0.423	malo neudobno
putnik6	0.058	0.096	0.398	0.414	malo neudobno
putnik7	0.053	0.111	0.422	0.439	malo neudobno
putnik8	0.054	0.111	0.424	0.442	malo neudobno
putnik9	0.064	0.084	0.388	0.402	malo neudobno
putnik10	0.058	0.084	0.380	0.393	malo neudobno
putnik11	0.053	0.097	0.396	0.411	malo neudobno
putnik12	0.055	0.097	0.399	0.414	malo neudobno
putnik13	0.064	0.073	0.378	0.390	malo neudobno
putnik14	0.058	0.073	0.370	0.382	malo neudobno
putnik15	0.053	0.085	0.378	0.391	malo neudobno
putnik16	0.055	0.085	0.382	0.395	malo neudobno
putnik17	0.064	0.066	0.376	0.387	malo neudobno
putnik18	0.058	0.066	0.370	0.380	malo neudobno
putnik19	0.053	0.074	0.368	0.380	malo neudobno
putnik20	0.055	0.074	0.374	0.385	malo neudobno
putnik21	0.064	0.062	0.385	0.395	malo neudobno
putnik22	0.058	0.062	0.379	0.388	malo neudobno
putnik23	0.054	0.066	0.369	0.378	malo neudobno
putnik24	0.055	0.066	0.375	0.385	malo neudobno
putnik25	0.064	0.063	0.402	0.412	malo neudobno
putnik26	0.058	0.063	0.397	0.406	malo neudobno
putnik27	0.054	0.062	0.379	0.388	malo neudobno
putnik28	0.055	0.062	0.386	0.395	malo neudobno
putnik29	0.064	0.069	0.427	0.437	malo neudobno
putnik30	0.058	0.069	0.423	0.433	malo neudobno
putnik31	0.054	0.063	0.398	0.406	malo neudobno
putnik32	0.055	0.063	0.405	0.414	malo neudobno
putnik33	0.064	0.078	0.458	0.469	malo neudobno
putnik34	0.058	0.078	0.456	0.466	malo neudobno
putnik35	0.054	0.068	0.424	0.433	malo neudobno
putnik36	0.055	0.068	0.432	0.441	malo neudobno
putnik37	0.064	0.090	0.495	0.507	prilično neudobno
putnik38	0.059	0.090	0.493	0.505	prilično neudobno
putnik39	0.054	0.077	0.457	0.467	malo neudobno
putnik40	0.055	0.077	0.465	0.475	malo neudobno
putnik41	0.064	0.103	0.536	0.549	prilično neudobno
putnik42	0.059	0.103	0.535	0.548	prilično neudobno
putnik43	0.054	0.088	0.495	0.506	prilično neudobno
putnik44	0.055	0.088	0.503	0.514	prilično neudobno
putnik45	0.064	0.116	0.576	0.591	prilično neudobno
putnik46	0.059	0.116	0.575	0.590	prilično neudobno
putnik47	0.054	0.116	0.582	0.596	prilično neudobno
putnik48	0.055	0.116	0.590	0.604	prilično neudobno
putnik49	0.064	0.135	0.637	0.654	prilično neudobno
putnik50	0.059	0.135	0.637	0.654	prilično neudobno
putnik51	0.055	0.135	0.640	0.656	prilično neudobno
putnik52	0.054	0.135	0.645	0.661	prilično neudobno
putnik53	0.055	0.135	0.653	0.669	prilično neudobno

9.1.2. Loš asfalt-betonski kolovoz za brzinu autobusa od 80 km/h

Na slici 9.7 prikazana je neravnost asfalt-betonskog kolovoza u lošem stanju u funkciji od vremena. Neravnosti su registrovane na dva traga na deonici puta od 161 m pri brzini kretanja mernog vozila od 80 km/h.

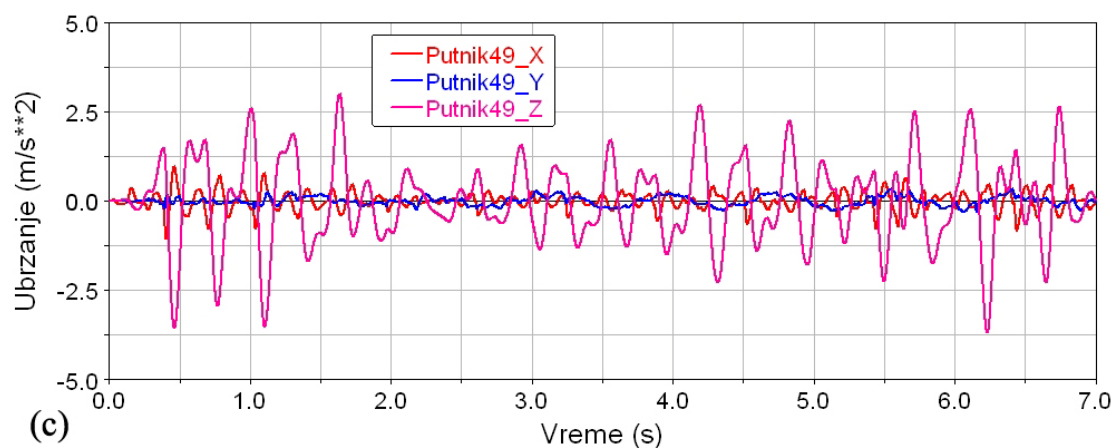
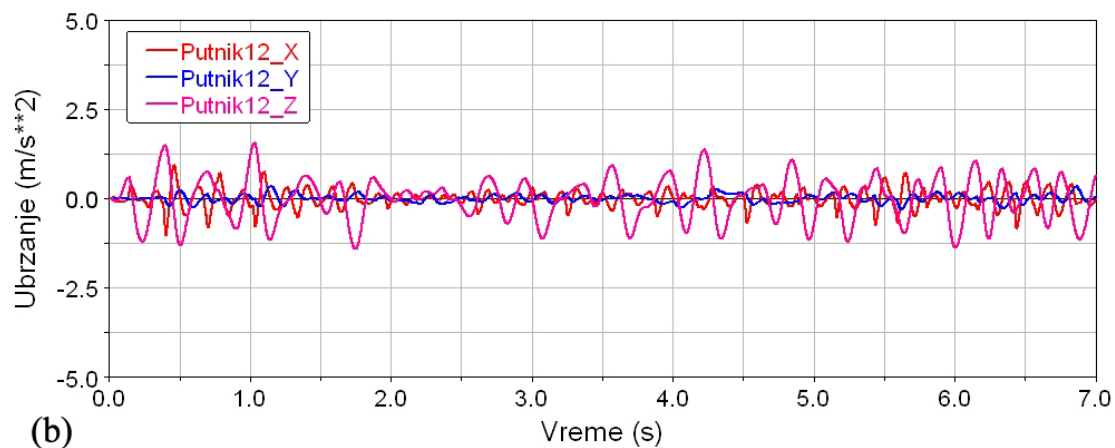
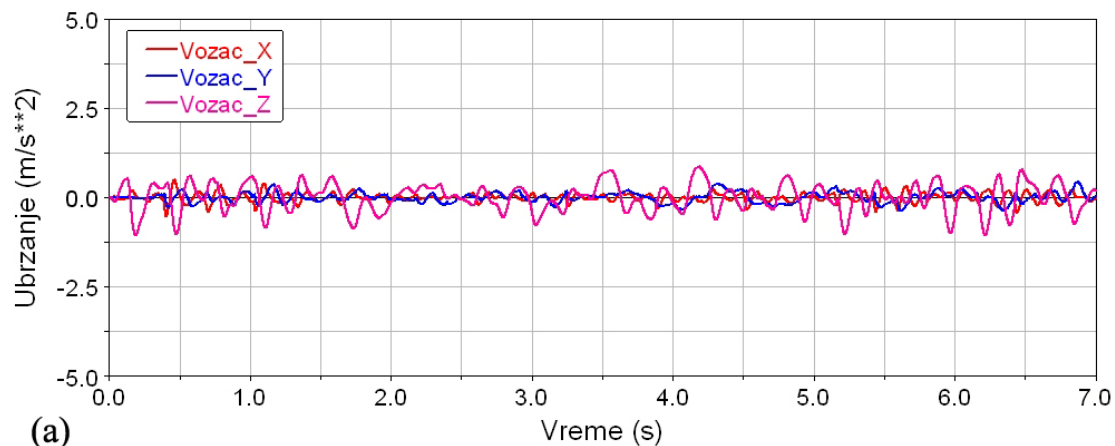


Slika 9.7. Oscilatorna pobuda autobusa loš asfalt-beton, brzina 80 km/h

U tabeli 9.2 date su *rms* vrednost vrednovanog ubrzanja za pravce x , y i z -osa, kao i ukupna *rms* vrednost vrednovanog ubrzanja na mestima svih korisnika autobusa IK 301. Zapaža se da su vertikalne *rms* komponente ubrzanja tela korisnika autobusa dominantne. Ukupna *rms* vrednost ubrzanja vozača niža je od 0.5 m/s^2 i jednaka je 0.370 m/s^2 . To je i najniža ukupna *rms* vrednost ubrzanja od svih korisnika u autobusu. Dalje, od svih putnika najnižu ukupnu *rms* vrednost ubrzanja ima putnik12 od 0.538 m/s^2 . Visoke *rms* vrednosti ubrzanja imaju putnici na sedištima u zadnjem redu na zadnjem prepustu autobusa. Pri tome, putnik49 ima najvišu ukupnu *rms* vrednost ubrzanja od 1.039 m/s^2 .

Od korisnika na prednjem prepustu autobusa, suvozač ima najveću ukupnu *rms* vrednost ubrzanja od 0.596 m/s^2 .

Na slikama 9.8(a), 9.8(b) i 9.8(c) prikazana su ubrzanja za vozača, putnika12 i putnika49 za pravce x , y i z -osa. Zapaža se da korisnici trpe najveće intezitete ubrzanja u vertikalnom pravcu.



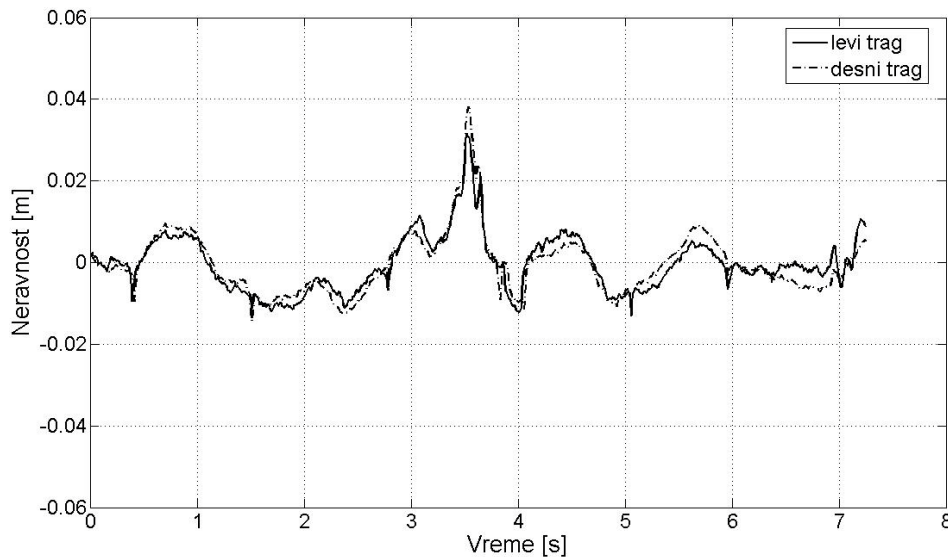
Slika 9.8. Ubrzanja na mestu a) vozača, b) putnika12 i c) putnika49 za loš asfalt-betonski kolovoz, brzina 80 km/h

Tabela 9.2. RMS vrednosti ubrzanja i ocena komfora za loš asfalt-betonski kolovoz, brzina 80 km/h

Korisnik	RMS vrednosti vrednovanih ubrzanja [m/s^2]			Ukupna RMS vrednost ubrzanja [m/s^2]	Ocena komfora (ISO 2631)
	$\ddot{x}_{rms, w}$	$\ddot{y}_{rms, w}$	$\ddot{z}_{rms, w}$	a_v	
vozač	0.044	0.114	0.349	0.370	malo neudobno
suvozač	0.056	0.112	0.583	0.596	prilično neudobno
putnik1	0.083	0.083	0.545	0.557	prilično neudobno
putnik2	0.080	0.083	0.541	0.553	prilično neudobno
putnik3	0.079	0.097	0.552	0.566	prilično neudobno
putnik4	0.080	0.097	0.549	0.564	prilično neudobno
putnik5	0.083	0.070	0.540	0.551	prilično neudobno
putnik6	0.080	0.070	0.536	0.546	prilično neudobno
putnik7	0.079	0.084	0.535	0.548	prilično neudobno
putnik8	0.080	0.084	0.533	0.545	prilično neudobno
putnik9	0.083	0.058	0.547	0.556	prilično neudobno
putnik10	0.080	0.058	0.543	0.552	prilično neudobno
putnik11	0.079	0.071	0.530	0.540	prilično neudobno
putnik12	0.080	0.071	0.527	0.538	prilično neudobno
putnik13	0.083	0.048	0.564	0.572	prilično neudobno
putnik14	0.080	0.048	0.560	0.568	prilično neudobno
putnik15	0.079	0.059	0.536	0.545	prilično neudobno
putnik16	0.080	0.059	0.533	0.543	prilično neudobno
putnik17	0.083	0.041	0.591	0.598	prilično neudobno
putnik18	0.080	0.041	0.588	0.594	prilično neudobno
putnik19	0.079	0.049	0.552	0.560	prilično neudobno
putnik20	0.080	0.049	0.550	0.558	prilično neudobno
putnik21	0.083	0.038	0.627	0.633	prilično neudobno
putnik22	0.080	0.038	0.623	0.630	prilično neudobno
putnik23	0.079	0.041	0.579	0.586	prilično neudobno
putnik24	0.080	0.041	0.577	0.584	prilično neudobno
putnik25	0.083	0.041	0.670	0.676	prilično neudobno
putnik26	0.080	0.041	0.666	0.672	prilično neudobno
putnik27	0.078	0.038	0.615	0.621	prilično neudobno
putnik28	0.080	0.038	0.613	0.619	prilično neudobno
putnik29	0.083	0.048	0.718	0.724	prilično neudobno
putnik30	0.080	0.048	0.715	0.721	prilično neudobno
putnik31	0.078	0.040	0.657	0.663	prilično neudobno
putnik32	0.080	0.040	0.656	0.662	prilično neudobno
putnik33	0.083	0.058	0.772	0.778	prilično neudobno
putnik34	0.080	0.058	0.769	0.775	prilično neudobno
putnik35	0.078	0.047	0.706	0.712	prilično neudobno
putnik36	0.079	0.047	0.705	0.711	prilično neudobno
putnik37	0.083	0.070	0.829	0.836	neudobno
putnik38	0.080	0.070	0.826	0.833	neudobno
putnik39	0.078	0.057	0.760	0.766	prilično neudobno
putnik40	0.079	0.057	0.758	0.765	prilično neudobno
putnik41	0.082	0.083	0.889	0.897	neudobno
putnik42	0.080	0.083	0.887	0.894	neudobno
putnik43	0.078	0.069	0.817	0.824	neudobno
putnik44	0.079	0.069	0.816	0.823	neudobno
putnik45	0.082	0.095	0.945	0.954	neudobno
putnik46	0.080	0.095	0.943	0.952	neudobno
putnik47	0.078	0.095	0.941	0.949	neudobno
putnik48	0.079	0.095	0.940	0.948	neudobno
putnik49	0.082	0.112	1.030	1.039	neudobno
putnik50	0.080	0.112	1.028	1.037	neudobno
putnik51	0.078	0.112	1.027	1.036	neudobno
putnik52	0.078	0.112	1.026	1.035	neudobno
putnik53	0.079	0.112	1.025	1.034	neudobno

9.1.3. Dobar asfalt-betonski kolovoz za brzinu autobusa od 80 km/h

Na slici 9.9 prikazana je neravnost asfalt-betonskog kolovoza u dobrom stanju u funkciji od vremena. Neravnosti su registrovane na deonici puta od 161 m pri brzini kretanja mernog vozila od 80 km/h.

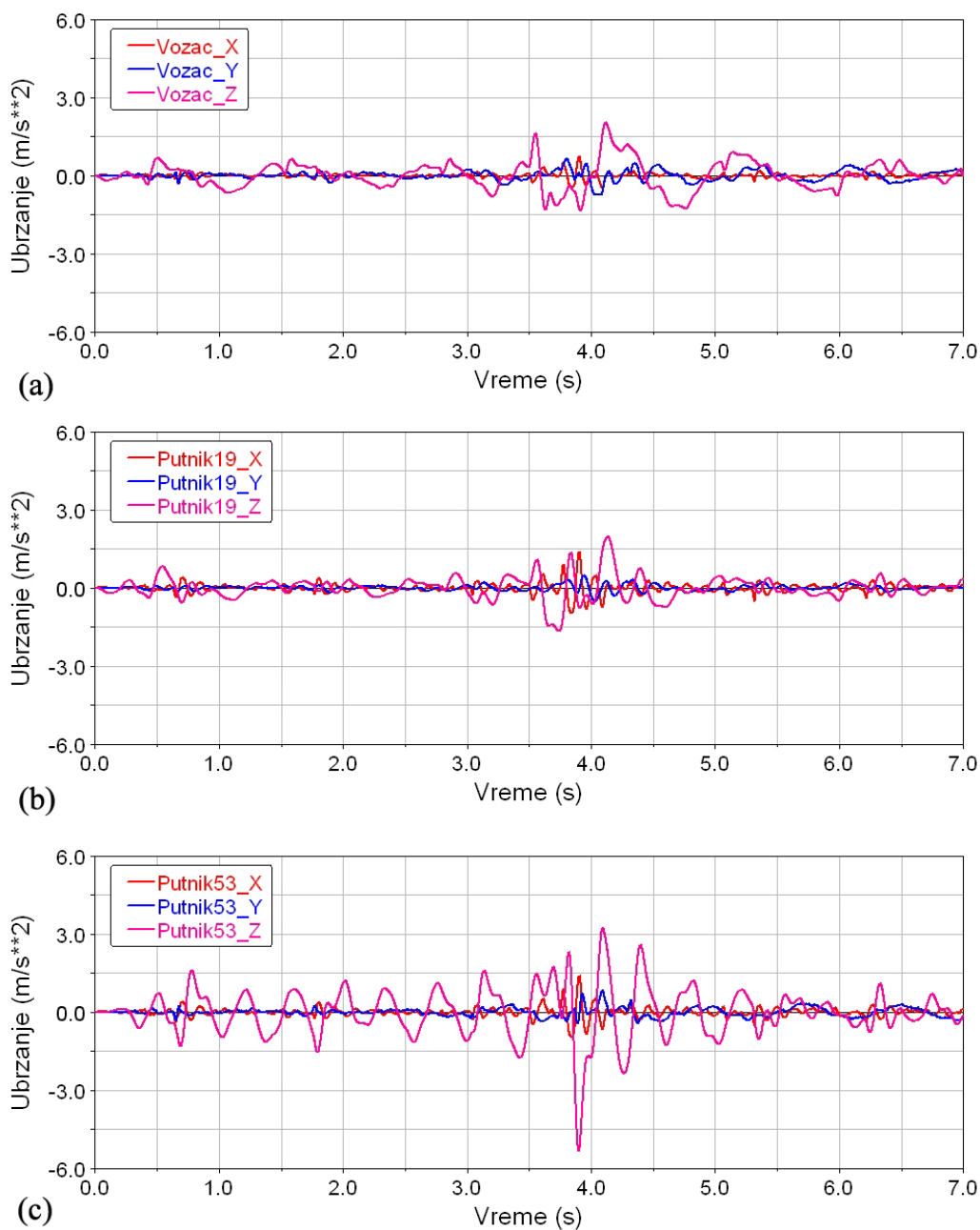


Slika 9.9. Oscilatorna pobuda autobusa dobar asfalt-beton, brzina 80 km/h

Proračunate *rms* vrednosti vrednovanih ubrzanja za pravce *x*, *y* i *z*-osa, kao i ukupna *rms* vrednost ubrzanja na mestima svih korisnika autobusa IK 301 dati su u tabeli 9.3. I za ovaj slučaj oscilatorne pobude, *rms* vrednosti vrednovanih ubrzanja korisnika u vertikalnom pravcu su dominantna. Od svih putnika autobusa, putnik19 ima najnižu *rms* vrednost ubrzanja od 0.354 m/s^2 . Ukupna *rms* vrednost ubrzanja za putnike na sedištima iznad zadnje osovine i na zadnjem prepustu autobusa je iznad 0.5 m/s^2 . Putnik53 ima najvišu ukupnu *rms* vrednost ubrzanja od 0.734 m/s^2 . *RMS* vrednost ubrzanja za vozača iznosi 0.353 m/s^2 . To je i najniža ukupna *rms* vrednost ubrzanja od svih korisnika autobusa.

Putnici na sedištima na prednjem prepustu i iznad prednje osovine imaju ukupne *rms* vrednosti ubrzanja bliske 0.5 m/s^2 . Izdvaja se ukupna *rms* vrednost ubrzanja za suvozača od 0.498 m/s^2 . Takođe, uočava se da *rms* vrednosti ubrzanja opadaju od prednjih sedišta ka sedištima u sredini autobusa (tabela 9.3).

Na slikama 9.10(a), 9.10(b) i 9.11(c) prikazana su ubrzanja za vozača, putnika19 i putnika53 za pravce x , y i z -osa. Uočava se da četiri sekunde od početka simulacije korisnici trpe vertikalna ubrzanja najvećih inteziteta za sve vreme trajanja simulacije. Razlog tome je prelazak levih i desnih točkova autobusa preko poremećaja čija je visina približno 4 cm (slika 9.9). Najveću vršnu vrednost vertikalnog ubrzanja ima putnik53 i ona iznosi približno -5 m/s^2 .



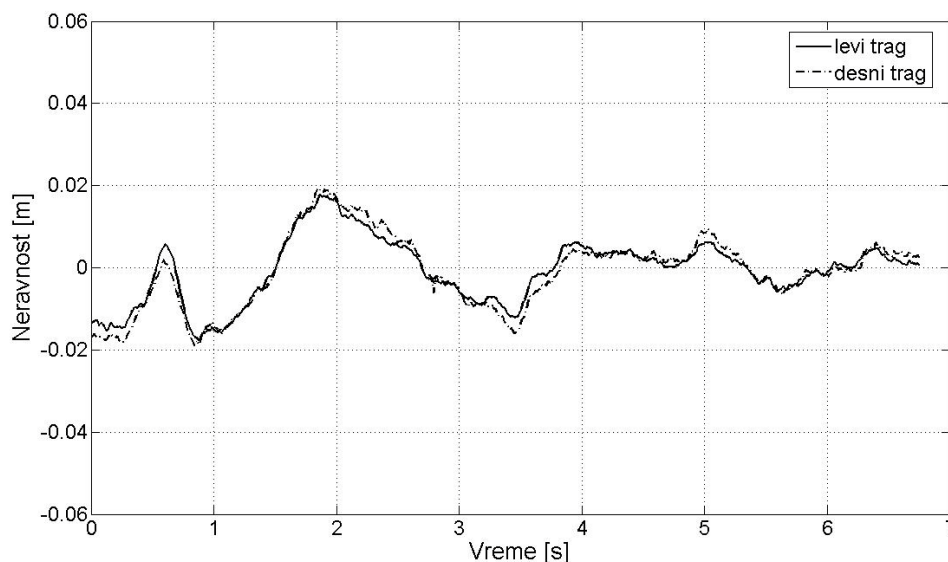
Slika 9.10. Ubrzanja na mestu a) vozača, b) putnika19 i c) putnika53 za dobar asfalt-betonski kolovoz, brzina 80 km/h

Tabela 9.3. RMS vrednosti ubrzanja i ocena komfora za dobar asfalt-betonski kolovoz, brzina 80 km/h

Korisnik	RMS vrednosti vrednovanih ubrzanja [m/s ²]			Ukupna RMS vrednost ubrzanja [m/s ²]	Ocena komfora (ISO 2631)
	$\ddot{x}_{rms,w}$	$\ddot{y}_{rms,w}$	$\ddot{z}_{rms,w}$	a_v	
vozač	0.038	0.155	0.315	0.353	malo neudobno
suvozač	0.041	0.152	0.472	0.498	malo neudobno
putnik1	0.070	0.112	0.439	0.459	malo neudobno
putnik2	0.064	0.112	0.415	0.435	malo neudobno
putnik3	0.059	0.131	0.424	0.448	malo neudobno
putnik4	0.061	0.131	0.415	0.440	malo neudobno
putnik5	0.070	0.096	0.410	0.427	malo neudobno
putnik6	0.064	0.096	0.387	0.404	malo neudobno
putnik7	0.059	0.114	0.389	0.410	malo neudobno
putnik8	0.061	0.114	0.382	0.404	malo neudobno
putnik9	0.070	0.080	0.390	0.404	malo neudobno
putnik10	0.064	0.080	0.368	0.382	malo neudobno
putnik11	0.059	0.097	0.363	0.380	malo neudobno
putnik12	0.061	0.097	0.358	0.376	malo neudobno
putnik13	0.070	0.066	0.380	0.392	malo neudobno
putnik14	0.064	0.065	0.361	0.372	malo neudobno
putnik15	0.059	0.081	0.347	0.361	malo neudobno
putnik16	0.061	0.081	0.345	0.360	malo neudobno
putnik17	0.070	0.054	0.381	0.391	malo neudobno
putnik18	0.064	0.054	0.365	0.374	malo neudobno
putnik19	0.059	0.067	0.343	0.354	malo neudobno
putnik20	0.061	0.067	0.344	0.355	malo neudobno
putnik21	0.070	0.047	0.393	0.402	malo neudobno
putnik22	0.064	0.047	0.380	0.388	malo neudobno
putnik23	0.059	0.055	0.351	0.360	malo neudobno
putnik24	0.061	0.055	0.355	0.364	malo neudobno
putnik25	0.070	0.048	0.416	0.424	malo neudobno
putnik26	0.064	0.048	0.405	0.413	malo neudobno
putnik27	0.059	0.048	0.371	0.378	malo neudobno
putnik28	0.061	0.048	0.377	0.385	malo neudobno
putnik29	0.070	0.055	0.446	0.455	malo neudobno
putnik30	0.064	0.055	0.439	0.447	malo neudobno
putnik31	0.059	0.047	0.400	0.407	malo neudobno
putnik32	0.061	0.047	0.408	0.415	malo neudobno
putnik33	0.070	0.066	0.484	0.493	malo neudobno
putnik34	0.064	0.066	0.479	0.488	malo neudobno
putnik35	0.059	0.054	0.437	0.444	malo neudobno
putnik36	0.061	0.054	0.447	0.454	malo neudobno
putnik37	0.070	0.081	0.527	0.537	prilično neudobno
putnik38	0.064	0.081	0.524	0.534	prilično neudobno
putnik39	0.059	0.065	0.480	0.488	malo neudobno
putnik40	0.061	0.065	0.491	0.499	malo neudobno
putnik41	0.070	0.097	0.574	0.586	prilično neudobno
putnik42	0.064	0.097	0.573	0.585	prilično neudobno
putnik43	0.059	0.079	0.528	0.537	prilično neudobno
putnik44	0.061	0.079	0.540	0.549	prilično neudobno
putnik45	0.070	0.112	0.619	0.633	prilično neudobno
putnik46	0.064	0.112	0.620	0.633	prilično neudobno
putnik47	0.059	0.112	0.633	0.646	prilično neudobno
putnik48	0.061	0.112	0.646	0.658	prilično neudobno
putnik49	0.070	0.135	0.688	0.705	prilično neudobno
putnik50	0.064	0.135	0.691	0.707	prilično neudobno
putnik51	0.061	0.135	0.697	0.712	prilično neudobno
putnik52	0.059	0.135	0.706	0.721	prilično neudobno
putnik53	0.061	0.135	0.719	0.734	prilično neudobno

9.1.4. Vrlo dobar cement-betonski kolovoz za brzinu autobusa od 80 km/h

Na slici 9.11 prikazana je neravnost cement-betonskog kolovoza u vrlo dobrom stanju u funkciji od vremena. Neravnosti su registrovane na deonici puta od 150 m pri brzini kretanja mernog vozila od 80 km/h.

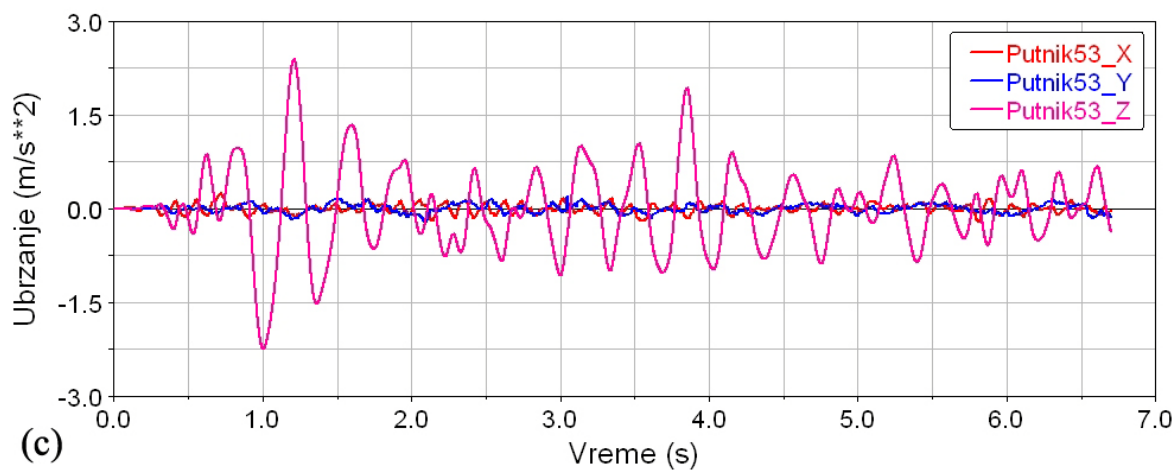
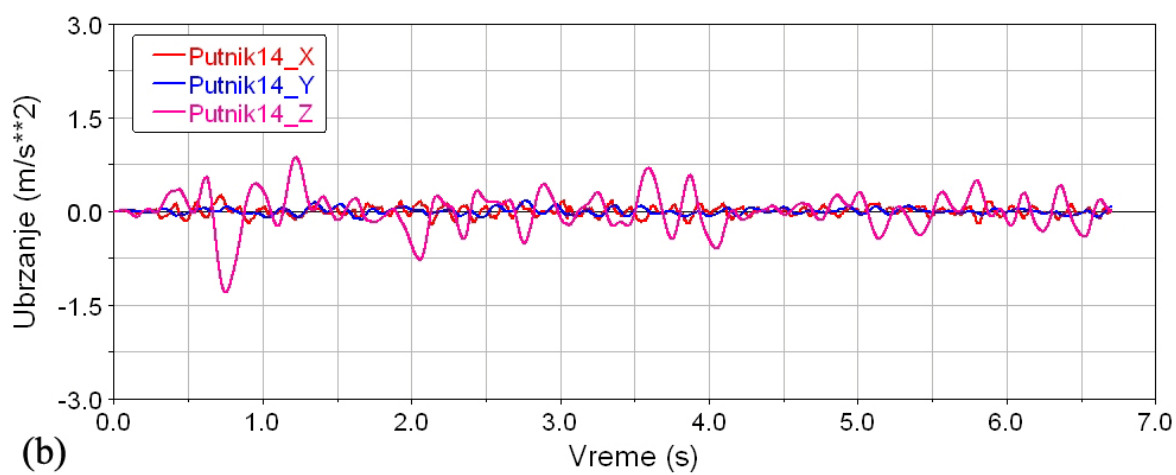
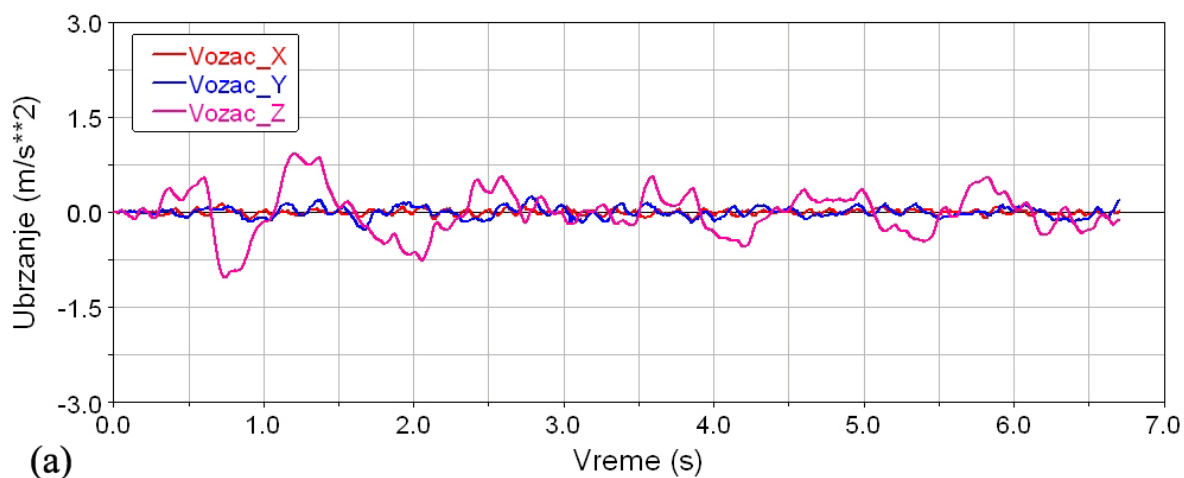


Slika 9.11. Oscilatorna pobuda autobusa vrlo dobar cement-beton, brzina 80 km/h

U tabeli 9.4 date su *rms* vrednosti vrednovanog ubrzanja za pravce *x*, *y* i *z*-osa, kao i ukupna *rms* vrednost vrednovanog ubrzanja na mestima svih korisnika autobusa IK 301. Najnižu *rms* vrednost ubrzanja, od svih putnika, ima putnik14, od 0.235 m/s^2 , a najvišu ima putnik53, od 0.496 m/s^2 . *RMS* vrednost ubrzanja za vozača iznosi 0.210 m/s^2 , što je i najniža *rms* vrednost od svih korisnika autobusa IK 301.

Proračunate ukupne *rms* vrednosti ubrzanja za putnika3, putnika4 i suvozača veće su od 0.315 m/s^2 .

Na slikama 9.12(a), 9.12(b) i 9.12(c) prikazana su ubrzanja za vozača, putnika14 i putnika53 za pravce *x*, *y* i *z*-osa dobijena simulacijom. Najvećim vrednostima vertikalnih ubrzanja izložen je putnik53.



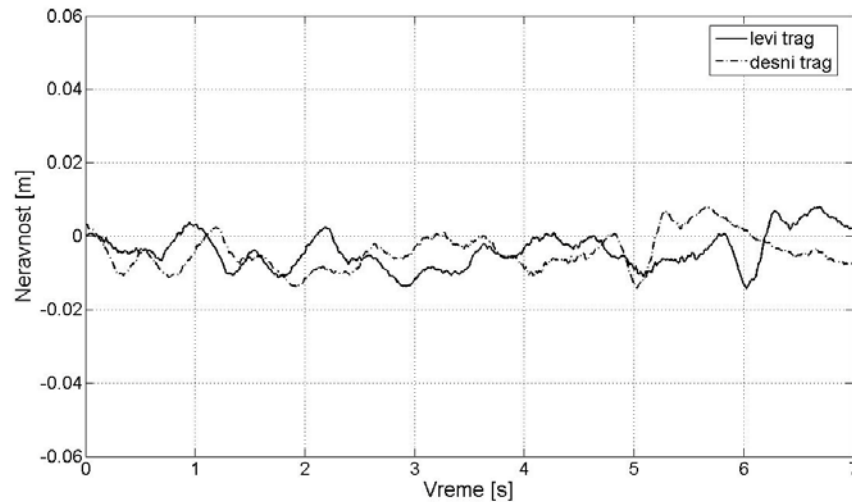
Slika 9.12. Ubrzanja na mestu a) vozača, b) putnika14 i c) putnika53 za vrlo dobar cement-betonski kolovoz, brzina 80 km/h

Tabela 9.4. RMS vrednosti ubrzanja i ocena komfora za vrlo dobar cement-betonski kolovoz, brzina 80 km/h

Korisnik	RMS vrednosti vrednovanih ubrzanja [m/s^2]			Ukupna RMS vrednost ubrzanja [m/s^2]	Ocena komfora (ISO 2631)
	$\ddot{x}_{rms,w}$	$\ddot{y}_{rms,w}$	$\ddot{z}_{rms,w}$	a_v	
vozač	0.020	0.066	0.198	0.210	komforno
suvozač	0.023	0.065	0.347	0.354	malo neudobno
putnik1	0.036	0.050	0.280	0.286	komforno
putnik2	0.034	0.050	0.277	0.283	komforno
putnik3	0.033	0.057	0.308	0.315	malo neudobno
putnik4	0.033	0.057	0.310	0.317	malo neudobno
putnik5	0.036	0.043	0.256	0.262	komforno
putnik6	0.034	0.043	0.253	0.259	komforno
putnik7	0.033	0.050	0.279	0.285	komforno
putnik8	0.033	0.050	0.281	0.288	komforno
putnik9	0.036	0.037	0.240	0.246	komforno
putnik10	0.034	0.037	0.237	0.242	komforno
putnik11	0.033	0.044	0.255	0.261	komforno
putnik12	0.033	0.044	0.258	0.264	komforno
putnik13	0.036	0.032	0.233	0.238	komforno
putnik14	0.034	0.032	0.230	0.235	komforno
putnik15	0.033	0.038	0.239	0.244	komforno
putnik16	0.033	0.038	0.242	0.247	komforno
putnik17	0.036	0.028	0.235	0.239	komforno
putnik18	0.034	0.028	0.233	0.237	komforno
putnik19	0.033	0.032	0.231	0.236	komforno
putnik20	0.033	0.032	0.235	0.240	komforno
putnik21	0.036	0.025	0.247	0.251	komforno
putnik22	0.034	0.025	0.245	0.249	komforno
putnik23	0.033	0.028	0.233	0.237	komforno
putnik24	0.033	0.028	0.237	0.241	komforno
putnik25	0.036	0.024	0.267	0.270	komforno
putnik26	0.034	0.024	0.265	0.269	komforno
putnik27	0.033	0.025	0.245	0.249	komforno
putnik28	0.033	0.025	0.249	0.253	komforno
putnik29	0.036	0.026	0.293	0.297	komforno
putnik30	0.034	0.026	0.292	0.295	komforno
putnik31	0.033	0.024	0.265	0.268	komforno
putnik32	0.033	0.024	0.269	0.272	komforno
putnik33	0.036	0.030	0.325	0.328	malo neudobno
putnik34	0.034	0.030	0.324	0.327	malo neudobno
putnik35	0.033	0.026	0.292	0.295	komforno
putnik36	0.033	0.026	0.295	0.298	komforno
putnik37	0.036	0.034	0.360	0.363	malo neudobno
putnik38	0.034	0.034	0.359	0.362	malo neudobno
putnik39	0.033	0.029	0.323	0.326	malo neudobno
putnik40	0.033	0.029	0.327	0.330	malo neudobno
putnik41	0.036	0.040	0.397	0.401	malo neudobno
putnik42	0.034	0.040	0.397	0.401	malo neudobno
putnik43	0.033	0.034	0.358	0.361	malo neudobno
putnik44	0.033	0.034	0.362	0.365	malo neudobno
putnik45	0.036	0.046	0.433	0.437	malo neudobno
putnik46	0.034	0.046	0.433	0.437	malo neudobno
putnik47	0.033	0.046	0.435	0.439	malo neudobno
putnik48	0.033	0.046	0.439	0.442	malo neudobno
putnik49	0.036	0.054	0.487	0.491	malo neudobno
putnik50	0.034	0.054	0.487	0.491	malo neudobno
putnik51	0.033	0.054	0.487	0.492	malo neudobno
putnik52	0.033	0.054	0.489	0.493	malo neudobno
putnik53	0.033	0.054	0.492	0.496	malo neudobno

9.1.5. Vrlo dobar asfalt-betonski kolovoz za brzinu autobusa od 90 km/h

Na slici 9.13 prikazana je oscilatorna pobuda autobusa - vrlo dobar asfalt-betonski kolovoz, čije su neravnosti na levom i desnom tragu vremenski smaknute za jednu sekundu (poglavlje 4.2.3).



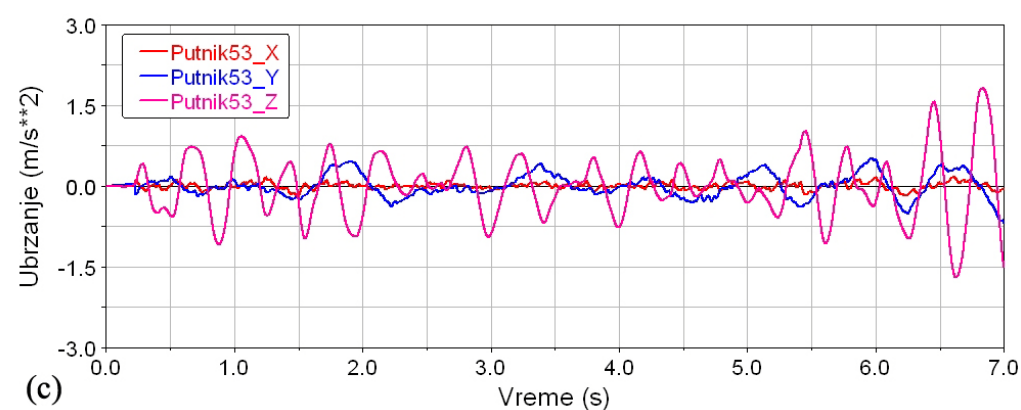
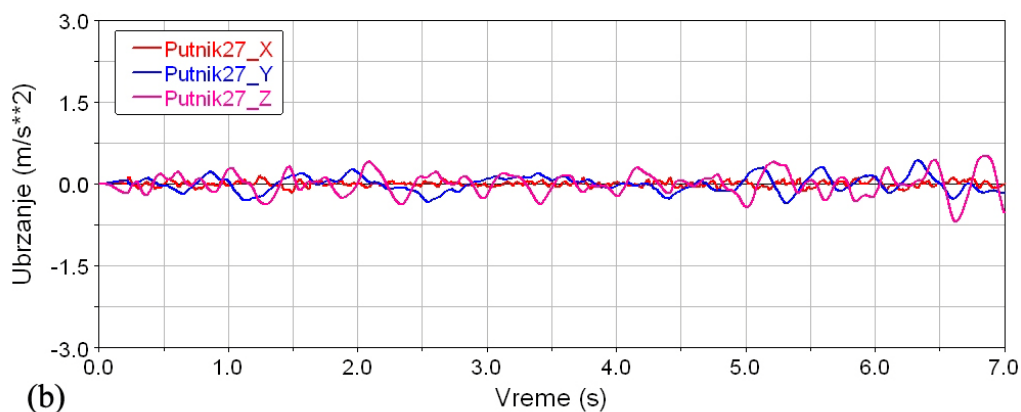
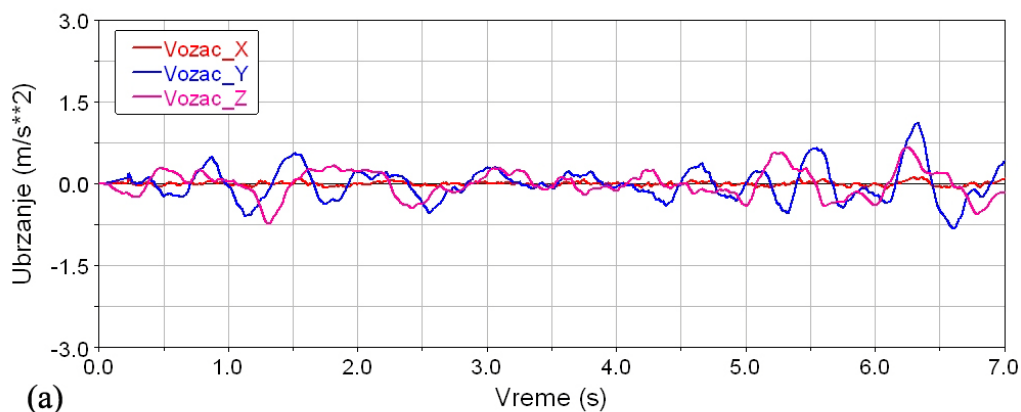
Slika 9.13. Oscilatorna pobuda autobusa vrlo dobar asfalt-beton, brzina 90 km/h, smaknuti levi i desni trag za jednu sekundu

U tabeli 9.5 date su *rms* vrednosti vrednovanih ubrzanja za pravce *x*, *y* i *z*-osa, kao i ukupna *rms* vrednost vrednovanog ubrzanja na mestima svih korisnika autobusa IK 301. Simulacijom utvrđena *rms* ubrzanja za pravac *y*-ose imaju veće vrednosti u poređenju sa *rms* vrednostima koje su dobijene za oscilatorne pobude kod kojih su neravnosti na levom i desnom tragu približno indentične. Karoserija autobusa, kod vremenski smaknute pobude, osim vertikalnog pomeranja ima i ugaona pomeranja oko podužne težišne ose (*x*-osa) što za posledicu ima pojavu ubrzanja u pravcu *y*-ose na sedištima korisnika.

Vrednosti *rms* ubrzanja za sedišta u sredini autobusa su niska, pri čemu putnik27 ima najnižu *rms* vrednost ubrzanja od 0.187 m/s^2 . Najvišu proračunatu *rms* vrednost ukupnog ubrzanja ima putnik53 od 0.433 m/s^2 . *RMS* vrednost ubrzanja za vozača iznosi 0.314 m/s^2 .

Ukupna *rms* vrednost ubrzanja na sedištima korisnika na prednjem prepustu autobusa su iznad 0.315 m/s^2 , pri čemu se izdvaja *rms* vrednost na mestu suvozača od 0.382 m/s^2 (tabela 9.5).

Na slikama 9.14(a), 9.14(b) i 9.14(c) prikazana su ubrzanja za vozača, putnika27 i putnika53 za pravce x, y i z-osa. Zapaža se da na korisnike, osim vibracija po z-osi, deluju i vibracije u pravcu y-ose.



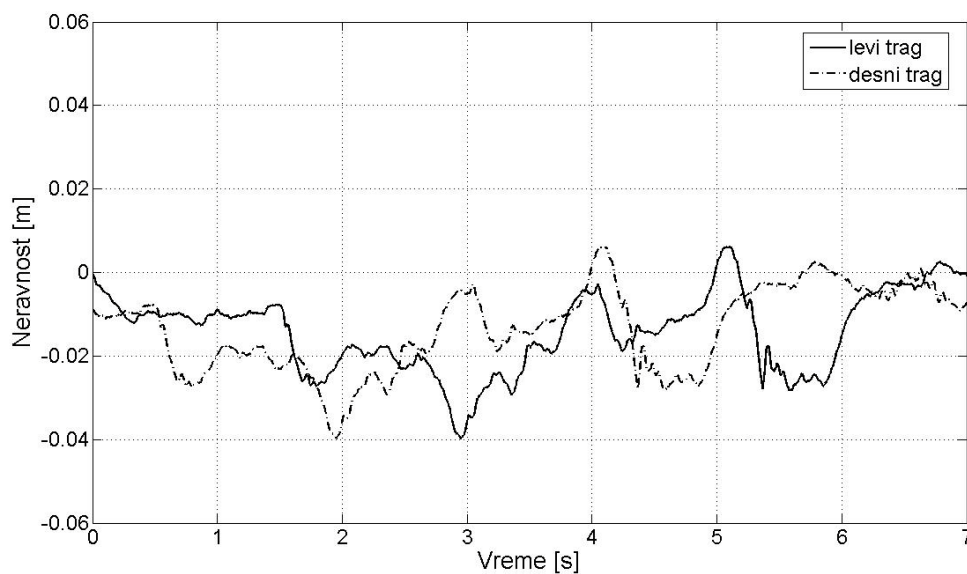
Slika 9.14. Ubrzanja na mestu a) vozača, b) putnika27 i c) putnika53 za vrlo dobar asfalt-betonski kolovoz, brzina 90 km/h

Tabela 9.5. RMS vrednosti ubrzanja i ocena komfora za vrlo dobar asfalt-betonski kolovoz, brzina 90 km/h

Korisnik	RMS vrednosti vrednovanih ubrzanja [m/s^2]			Ukupna RMS vrednost ubrzanja [m/s^2]	Ocena komfora (ISO 2631)
	$\ddot{x}_{rms,w}$	$\ddot{y}_{rms,w}$	$\ddot{z}_{rms,w}$	a_v	
vozač	0.028	0.283	0.132	0.314	komforno
suvozač	0.024	0.279	0.260	0.382	malo neudobno
putnik1	0.042	0.221	0.290	0.367	malo neudobno
putnik2	0.027	0.221	0.223	0.316	malo neudobno
putnik3	0.030	0.249	0.223	0.335	malo neudobno
putnik4	0.045	0.249	0.261	0.363	malo neudobno
putnik5	0.042	0.198	0.270	0.337	malo neudobno
putnik6	0.027	0.198	0.198	0.282	komforno
putnik7	0.030	0.224	0.193	0.297	komforno
putnik8	0.045	0.224	0.237	0.329	malo neudobno
putnik9	0.042	0.176	0.254	0.312	komforno
putnik10	0.027	0.176	0.178	0.252	komforno
putnik11	0.030	0.200	0.166	0.262	komforno
putnik12	0.045	0.200	0.218	0.299	komforno
putnik13	0.042	0.156	0.243	0.292	komforno
putnik14	0.027	0.156	0.165	0.228	komforno
putnik15	0.030	0.178	0.145	0.231	komforno
putnik16	0.045	0.178	0.203	0.274	komforno
putnik17	0.042	0.138	0.238	0.279	komforno
putnik18	0.027	0.138	0.159	0.212	komforno
putnik19	0.030	0.157	0.131	0.207	komforno
putnik20	0.045	0.157	0.196	0.255	komforno
putnik21	0.042	0.125	0.239	0.273	komforno
putnik22	0.027	0.125	0.162	0.207	komforno
putnik23	0.030	0.140	0.128	0.192	komforno
putnik24	0.045	0.140	0.195	0.244	komforno
putnik25	0.042	0.117	0.246	0.276	komforno
putnik26	0.027	0.117	0.174	0.212	komforno
putnik27	0.030	0.126	0.136	0.187	komforno
putnik28	0.045	0.126	0.202	0.242	komforno
putnik29	0.042	0.116	0.258	0.286	komforno
putnik30	0.027	0.116	0.193	0.227	komforno
putnik31	0.030	0.118	0.153	0.195	komforno
putnik32	0.045	0.117	0.215	0.249	komforno
putnik33	0.042	0.122	0.275	0.304	komforno
putnik34	0.027	0.122	0.216	0.250	komforno
putnik35	0.030	0.116	0.176	0.213	komforno
putnik36	0.045	0.116	0.234	0.265	komforno
putnik37	0.042	0.134	0.296	0.327	malo neudobno
putnik38	0.027	0.133	0.244	0.279	komforno
putnik39	0.030	0.121	0.204	0.239	komforno
putnik40	0.045	0.120	0.257	0.287	komforno
putnik41	0.042	0.150	0.320	0.355	malo neudobno
putnik42	0.027	0.149	0.273	0.313	komforno
putnik43	0.030	0.132	0.235	0.271	komforno
putnik44	0.045	0.131	0.283	0.315	malo neudobno
putnik45	0.042	0.167	0.343	0.384	malo neudobno
putnik46	0.027	0.167	0.302	0.346	malo neudobno
putnik47	0.030	0.166	0.301	0.345	malo neudobno
putnik48	0.046	0.166	0.342	0.383	malo neudobno
putnik49	0.042	0.195	0.381	0.430	malo neudobno
putnik50	0.028	0.195	0.345	0.397	malo neudobno
putnik51	0.022	0.195	0.334	0.387	malo neudobno
putnik52	0.030	0.195	0.347	0.399	malo neudobno
putnik53	0.046	0.194	0.384	0.433	malo neudobno

9.1.6. Dobar asfalt-betonski kolovoz za brzinu autobusa od 90 km/h

Na slici 9.15 prikazana je oscilatorna pobuda - dobar asfalt-betonski kolovoz. Neravnosti na levom i desnom tragu su vremenski smaknute za jednu sekundu. Ova pobuda ima veće amplitude neravnosti u poređenju sa smaknutom pobudom vrlo dobar asfalt-betonski kolovoz.

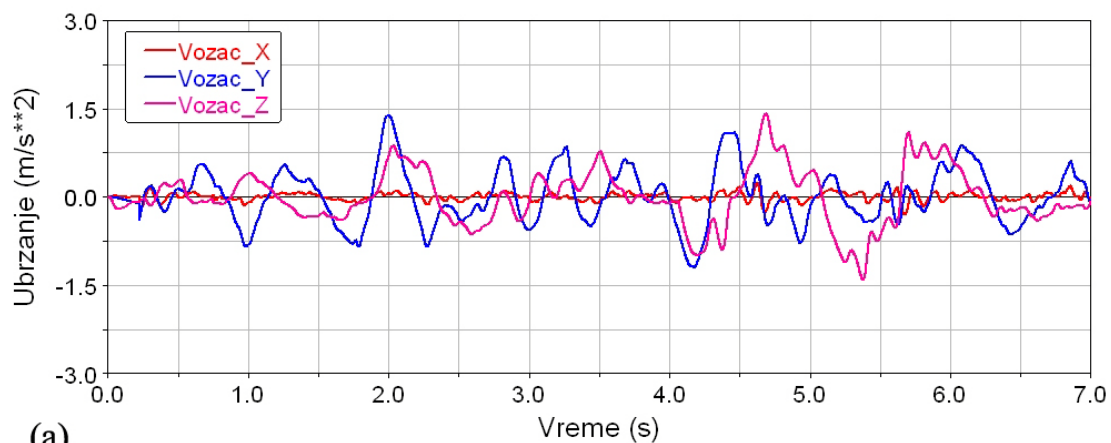


Slika 9.15. Oscilatorna pobuda autobusa dobar asfalt-beton, brzina 90 km/h, smaknuti levi i desni trag za jednu sekundu

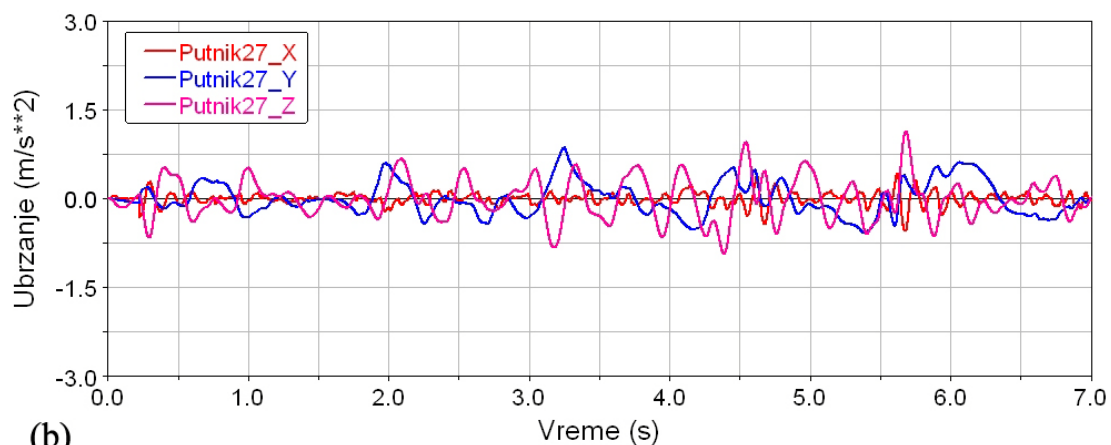
U tabeli 9.6 date su *rms* vrednosti vrednovanog ubrzanja za pravce *x*, *y* i *z*-osa, kao i ukupna *rms* vrednost vrednovanog ubrzanja na mestima svih korisnika autobusa IK 301. *RMS* ubrzanja korisnika za pravac *y*-ose većih su vrednosti u poređenju sa *rms* ubrzanjima po *y*-osi za slučaj smaknute oscilatorne pobude - vrlo dobar asfalt-betonski kolovoz. Takođe se zapaža da su za pravac *y*-ose, *rms* ubrzanja na sedištima u srednjem delu autobusa (u blizini težišta autobusa) niska.

Najnižu proračunatu *rms* vrednost ubrzanja od svih korisnika ima putnik27 -0.358 m/s^2 , a najvišu ima putnik53 -0.642 m/s^2 . Za korisnike na sedištima na prednjem prepustu autobusa ukupna *rms* vrednost ubrzanja je bliska ili veća od 0.5 m/s^2 (tabela 9.6). Za vozača, *rms* vrednost ubrzanja manja je od 0.5 m/s^2 i iznosi 0.493 m/s^2 .

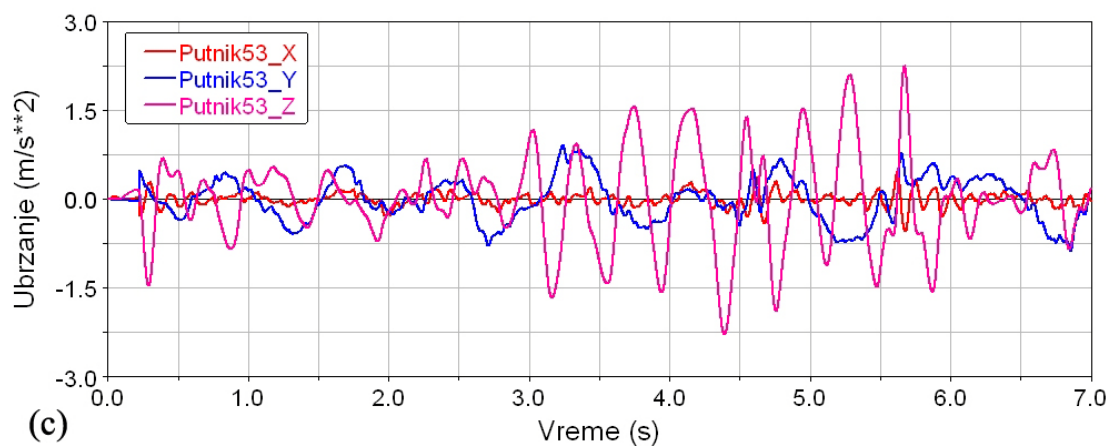
Na slikama 9.16(a), 9.16(b) i 9.16(c) prikazani su signali ubrzanja, dobijeni simulacijom, za vozača, putnika27 i putnika53 za pravce x , y i z -osa. Vozač i putnik53 trpe približno iste intezitete ubrzanja u pravcu y -ose.



(a)



(b)



(c)

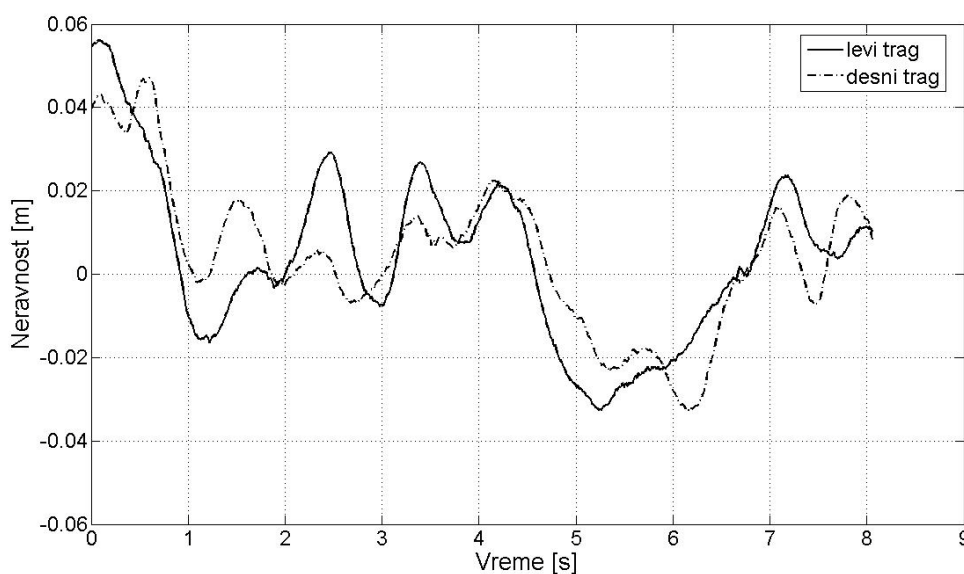
Slika 9.16. Ubrzanja na mestu a) vozača, b) putnika27 i c) putnika53 za dobar asfalt-betonski kolovoz, brzina 90 km/h

Tabela 9.6. RMS vrednosti ubrzanja i ocena komfora za dobar asfalt betonski kolovoz, brzina 90 km/h

Korisnik	RMS vrednosti vrednovanih ubrzanja [m/s ²]			Ukupna RMS vrednost ubrzanja [m/s ²]	Ocena komfora (ISO 2631)
	$\ddot{x}_{rms,w}$	$\ddot{y}_{rms,w}$	$\ddot{z}_{rms,w}$	a_v	
vozač	0.043	0.431	0.252	0.493	malo neudobno
suvozač	0.036	0.431	0.313	0.534	prilično neudobno
putnik1	0.066	0.362	0.445	0.578	prilično neudobno
putnik2	0.045	0.362	0.312	0.481	malo neudobno
putnik3	0.045	0.398	0.284	0.491	malo neudobno
putnik4	0.067	0.399	0.385	0.558	prilično neudobno
putnik5	0.066	0.332	0.430	0.548	prilično neudobno
putnik6	0.045	0.333	0.294	0.446	malo neudobno
putnik7	0.045	0.366	0.264	0.454	malo neudobno
putnik8	0.067	0.366	0.372	0.527	prilično neudobno
putnik9	0.066	0.305	0.419	0.523	prilično neudobno
putnik10	0.045	0.306	0.280	0.417	malo neudobno
putnik11	0.045	0.336	0.248	0.420	malo neudobno
putnik12	0.067	0.336	0.364	0.500	prilično neudobno
putnik13	0.066	0.282	0.411	0.503	prilično neudobno
putnik14	0.045	0.282	0.272	0.394	malo neudobno
putnik15	0.045	0.309	0.239	0.393	malo neudobno
putnik16	0.067	0.309	0.360	0.479	malo neudobno
putnik17	0.066	0.263	0.407	0.489	malo neudobno
putnik18	0.045	0.263	0.270	0.379	malo neudobno
putnik19	0.045	0.285	0.236	0.373	malo neudobno
putnik20	0.067	0.285	0.361	0.465	malo neudobno
putnik21	0.066	0.249	0.407	0.482	malo neudobno
putnik22	0.045	0.249	0.274	0.373	malo neudobno
putnik23	0.045	0.265	0.240	0.361	malo neudobno
putnik24	0.067	0.266	0.366	0.458	malo neudobno
putnik25	0.066	0.242	0.412	0.482	malo neudobno
putnik26	0.045	0.242	0.283	0.376	malo neudobno
putnik27	0.045	0.251	0.251	0.358	malo neudobno
putnik28	0.067	0.252	0.376	0.457	malo neudobno
putnik29	0.066	0.242	0.420	0.489	malo neudobno
putnik30	0.045	0.242	0.298	0.387	malo neudobno
putnik31	0.045	0.243	0.267	0.364	malo neudobno
putnik32	0.067	0.244	0.390	0.465	malo neudobno
putnik33	0.066	0.249	0.432	0.503	prilično neudobno
putnik34	0.045	0.249	0.318	0.406	malo neudobno
putnik35	0.045	0.242	0.289	0.380	malo neudobno
putnik36	0.067	0.243	0.407	0.479	malo neudobno
putnik37	0.066	0.262	0.447	0.522	prilično neudobno
putnik38	0.045	0.262	0.341	0.433	malo neudobno
putnik39	0.045	0.248	0.314	0.403	malo neudobno
putnik40	0.067	0.249	0.428	0.499	malo neudobno
putnik41	0.066	0.281	0.465	0.547	prilično neudobno
putnik42	0.045	0.281	0.368	0.465	malo neudobno
putnik43	0.045	0.261	0.342	0.433	malo neudobno
putnik44	0.067	0.261	0.451	0.526	prilično neudobno
putnik45	0.066	0.302	0.484	0.574	prilično neudobno
putnik46	0.045	0.302	0.393	0.498	malo neudobno
putnik47	0.045	0.302	0.405	0.507	prilično neudobno
putnik48	0.067	0.302	0.504	0.592	prilično neudobno
putnik49	0.066	0.337	0.515	0.619	prilično neudobno
putnik50	0.045	0.337	0.433	0.551	prilično neudobno
putnik51	0.037	0.337	0.412	0.534	prilično neudobno
putnik52	0.045	0.337	0.449	0.563	prilično neudobno
putnik53	0.067	0.337	0.543	0.642	prilično neudobno

9.1.7. Loš asfalt-betonski kolovoz za brzinu autobusa od 72 km/h

Na slici 9.17 prikazana je neravnost asfalt-betonskog kolovoza u lošem stanju u funkciji od vremena. Neravnosti su registrovane duž dva traga na deonici puta od 161 m pri brzini kretanja mernog vozila od 72 km/h. U poređenju sa ostalim oscilatornim pobudama, karakteristično je da ova pobuda ima najveće amplitude neravnosti koje se kreću od -6 cm do +6 cm. Takođe se zapaža da se neravnosti na levom i desnom tragu značajno razlikuju (praktično su smaknute).



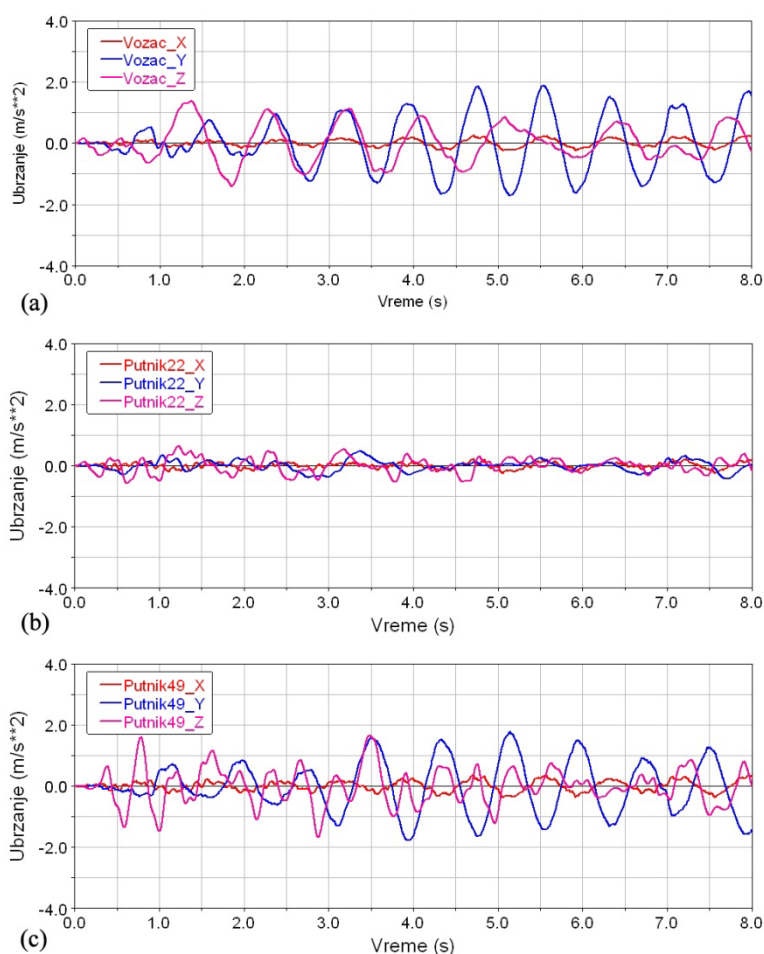
Slika 9.17. Oscilatorna pobuda autobusa loš asfalt-beton, brzina 72 km/h

U tabeli 9.7 date su *rms* vrednosti vrednovanog ubrzanja za pravce x , y i z -osa, kao i ukupna *rms* vrednost vrednovanog ubrzanja na mestima svih korisnika autobusa IK 301. Zapaža se da su *rms* vrednosti ubrzanja korisnika za pravac y -ose izazito dominantna, naročito za korisnike na sedištima na prednjem i zadnjem prepustu autobusa. *RMS* vrednosti ubrzanja za pravac y -ose opadaju od sedišta na prednjem i zadnjem prepustu autobusa ka sedištima u sredini autobusa. Dalje, uočava se da putnici na sedištima do prolaza imaju manju vrednost *rms* ubrzanja po x -osi u odnosu na putnike koji sede na sedištima do prozora autobusa. Ovakve vrednosti ubrzanja po x -osi ukazuju na to da karoserija autobusa, za ovaj slučaj pobude, ima i ugaona pomeranja oko vertikalne težišne ose (tzv. plivanje).

Putnici na sedištima u srednjem delu autobusa imaju niske ukupne *rms* vrednosti vrednovanog ubrzanja, pri čemu putnik22 ima najnižu *rms* vrednost od 0.237 m/s^2 .

Putnici na sedištima na prednjem i zadnjem prepustu autobusa imaju visoke ukupne *rms* vrednosti, veće od 0.8 m/s^2 . Najvišu ukupnu *rms* vrednost ubrzanja ima suvozač i ona iznosi 0.952 m/s^2 . Na mestu vozača *rms* vrednost ubrzanja veća je od 0.8 m/s^2 i iznosi 0.942 m/s^2 . Kako je *rms* vrednost ubrzanja na mestu vozača približno jednaka *rms* vrednosti ubrzanja na mestu suvozača, jasno je da sistem oslanjanja vozačevog sedišta nema uticaj na gušenje vibracija koje deluju u pravcu y-ose. Putnici na sedištima u srednjem delu autobusa (sedišta u blizini težišta autobusa), za ovu oscilatornu pobudu, imaju značajno bolji oscilatorni komfor od vozača autobusa. Od svih putnika autobusa, putnik49 ima najvišu ukupnu *rms* vrednost vrednovanog ubrzanja od 0.916 m/s^2 (tabela 9.7).

Na slikama 9.18(a), 9.18(b) i 9.18(c) prikazana su ubrzanja za vozača, putnika22 i putnika49 za pravce x, y i z-osa. Ubrzanja korisnika po pravcu y-ose za korisnike na prednjem i zadnjem prepustu autobusa su dominantna.



Slika 9.18. Ubrzanja na mestu a) vozača, b) putnika22 i c) putnika49 za loš asfalt-betonski kolovoz, brzina 72 km/h

Tabela 9.7. RMS vrednosti ubrzanja i ocena komfora za loš asfalt-betonski kolovoz, brzina 72 km/h

Korisnik	RMS vrednosti vrednovanih ubrzanja [m/s ²]			Ukupna RMS vrednost ubrzanja [m/s ²]	Ocena komfora (ISO 2631)
	$\ddot{x}_{rms,w}$	$\ddot{y}_{rms,w}$	$\ddot{z}_{rms,w}$	a_v	
vozač	0.110	0.888	0.293	0.942	neudobno
suvozač	0.080	0.875	0.367	0.952	neudobno
putnik1	0.156	0.621	0.264	0.692	prilično neudobno
putnik2	0.080	0.621	0.263	0.679	prilično neudobno
putnik3	0.087	0.744	0.324	0.816	neudobno
putnik4	0.163	0.744	0.344	0.835	neudobno
putnik5	0.156	0.510	0.232	0.581	prilično neudobno
putnik6	0.081	0.510	0.230	0.565	prilično neudobno
putnik7	0.087	0.631	0.288	0.699	prilično neudobno
putnik8	0.163	0.631	0.309	0.721	prilično neudobno
putnik9	0.156	0.402	0.205	0.477	malo neudobno
putnik10	0.081	0.401	0.200	0.456	malo neudobno
putnik11	0.087	0.520	0.254	0.585	prilično neudobno
putnik12	0.163	0.520	0.276	0.611	prilično neudobno
putnik13	0.156	0.299	0.183	0.384	malo neudobno
putnik14	0.081	0.299	0.176	0.356	malo neudobno
putnik15	0.087	0.412	0.223	0.476	malo neudobno
putnik16	0.163	0.411	0.246	0.506	prilično neudobno
putnik17	0.156	0.211	0.170	0.313	komforno
putnik18	0.081	0.210	0.159	0.276	komforno
putnik19	0.087	0.308	0.196	0.375	malo neudobno
putnik20	0.163	0.308	0.220	0.412	malo neudobno
putnik21	0.156	0.162	0.167	0.280	komforno
putnik22	0.081	0.162	0.153	0.237	komforno
putnik23	0.087	0.218	0.176	0.293	komforno
putnik24	0.163	0.217	0.200	0.338	malo neudobno
putnik25	0.156	0.187	0.174	0.299	komforno
putnik26	0.081	0.186	0.159	0.258	komforno
putnik27	0.087	0.163	0.165	0.247	komforno
putnik28	0.163	0.163	0.188	0.297	komforno
putnik29	0.156	0.265	0.191	0.362	malo neudobno
putnik30	0.081	0.265	0.175	0.328	malo neudobno
putnik31	0.087	0.181	0.164	0.259	komforno
putnik32	0.163	0.180	0.185	0.306	komforno
putnik33	0.156	0.364	0.216	0.451	malo neudobno
putnik34	0.081	0.364	0.199	0.423	malo neudobno
putnik35	0.087	0.256	0.174	0.321	malo neudobno
putnik36	0.163	0.256	0.192	0.359	malo neudobno
putnik37	0.156	0.471	0.245	0.553	prilično neudobno
putnik38	0.081	0.471	0.228	0.529	prilično neudobno
putnik39	0.087	0.354	0.193	0.412	malo neudobno
putnik40	0.163	0.354	0.207	0.441	malo neudobno
putnik41	0.157	0.581	0.278	0.663	prilično neudobno
putnik42	0.081	0.581	0.261	0.642	prilično neudobno
putnik43	0.087	0.460	0.219	0.517	prilično neudobno
putnik44	0.163	0.460	0.230	0.539	prilično neudobno
putnik45	0.157	0.682	0.309	0.765	prilično neudobno
putnik46	0.081	0.682	0.293	0.747	prilično neudobno
putnik47	0.087	0.682	0.283	0.743	prilično neudobno
putnik48	0.163	0.682	0.289	0.758	prilično neudobno
putnik49	0.157	0.829	0.357	0.916	neudobno
putnik50	0.082	0.829	0.342	0.900	neudobno
putnik51	0.042	0.829	0.333	0.894	neudobno
putnik52	0.087	0.829	0.330	0.897	neudobno
putnik53	0.163	0.829	0.333	0.908	neudobno

* * *

Na osnovu rezultata sprovedene analize za različite oscilatorne pobude može se zaključiti da:

- za oscilatorne pobude kod kojih su neravnosti na levom i desnom tragu skoro indentične, ubrzanja korisnika po z -osi su dominantna;
- za smaknute oscilatorne pobude, osim vertikalnih, korisnici trpe i značajna horizontalna ubrzanja po pravcu y -ose;
- za smaknute oscilatorne pobude sa velikim amplitudama neravnosti, dominantna su ubrzanja na mestima korisnika po pravcu y -ose;
- prilikom ocene oscilatornog komfora, osim vertikalnih ubrzanja za koje se često smatra da su najvećih inteziteta, vrlo važno je uzeti u razmatranje i ubrzanja koja na mestima korisnika deluju u horizontalnom pravcu, naročito ubrzanja po pravcu y -ose;

Na osnovu prikazanih rezultata simulacije zapaža se da najveće *rms* vrednosti vertikalnih ubrzanja imaju korisnici kad se vozilo kreće po lošem asfalt-betonskom kolovozu (brzina 80 km/h). Za vremenski smaknutu pobudu - dobar asfalt-beton (brzina 90 km/h), *rms* vrednosti ubrzanja za pravac z -ose i y -ose približno su jednake. Za oscilatornu pobudu loš-asfalt beton (brzina 72 km/h), *rms* vrednosti ubrzanja korisnika po y -osi imaju najveće vrednosti. Prilikom određivanja oscilatornih parametara sedišta sa kojima bi se poboljšala oscilatorna udobnost korisnika autobusa uzete su u obzir tri navedene karakteristične oscilatorne pobude.

9.2. Određivanje dozvoljenog vremena izlaganja putnika autobusa sa najmanjim oscilatornim komforom prema kriterijumu umanjenog oscilatornog komfora standarda ISO 2631 (1985)

Dozvoljena vremena izlaganja vibracijama određena su za korisnike autobusa čiji je komfor, prema kriterijumima standarda ISO 2631 (1997), ugrožen. Kako vozač najveći deo svog radnog vremena provede u vožnji, dozvoljeno vreme izlaganja vibracijama određeno je i za vozača autobusa. Vreme izlaganja određeno je za oscilatorne pobude za

koje je merno vozilo registrovalo neravnosti na oba traga, tj. za - loš asfalt-beton (brzina 64, 72 i 80 km/h), dobar asfalt-beton (brzina 80 km/h) i vrlo dobar cement-betonski kolovoz (brzina 80 km/h).

Imajući u vidu da vibracije, na osnovu rezultata sprovednih simulacija, imaju uglavnom najveće intezitete u pravcu z -ose, dozvoljena vremena izlaganja određena su za vibracije u vertikalnom pravcu. U daljem tekstu ukratko će biti opisan postupak za dobijanje *RMS* krivih za z -osu.

Srednje efektivne vrednosti vrednovanog vertikalnog ubrzanja za centralne frekvencije tercnih opsega određene su prema izrazu [9.2]

$$\ddot{z}_{rms,w}(f_i) = \sqrt{\Phi_{\ddot{z}_{rms,w}}(f_i) \cdot \Delta f_i} \quad [9.2]$$

gde je:

f_i – centralna frekvencija tercnih opsega (Hz);

$\ddot{z}_{rms,w}(f_i)$ – srednja efektivna vrednost vrednovanog vertikalnog ubrzanja za centralne frekvencije tercnih opsega (m/s^2);

$\Phi_{\ddot{z}_{rms,w}}(f_i)$ – spektralna gustina snage vrednovanog vertikalnog ubrzanja za centralne frekvencije tercnih opsega ($(m^2/s^4)/Hz$) i

Δf_i – širina tercnih opsega za centralne frekvencije f_i (Hz);

Širine tercnih intervala Δf_i za centralne frekvencije f_i se računaju prema izrazu [9.3]

$$\Delta f_i = f_{Ri} - f_{Li} \quad [9.3]$$

gde je:

f_{Li} - leva granica tercnog opsega za centralnu frekvenciju f_i (Hz) i

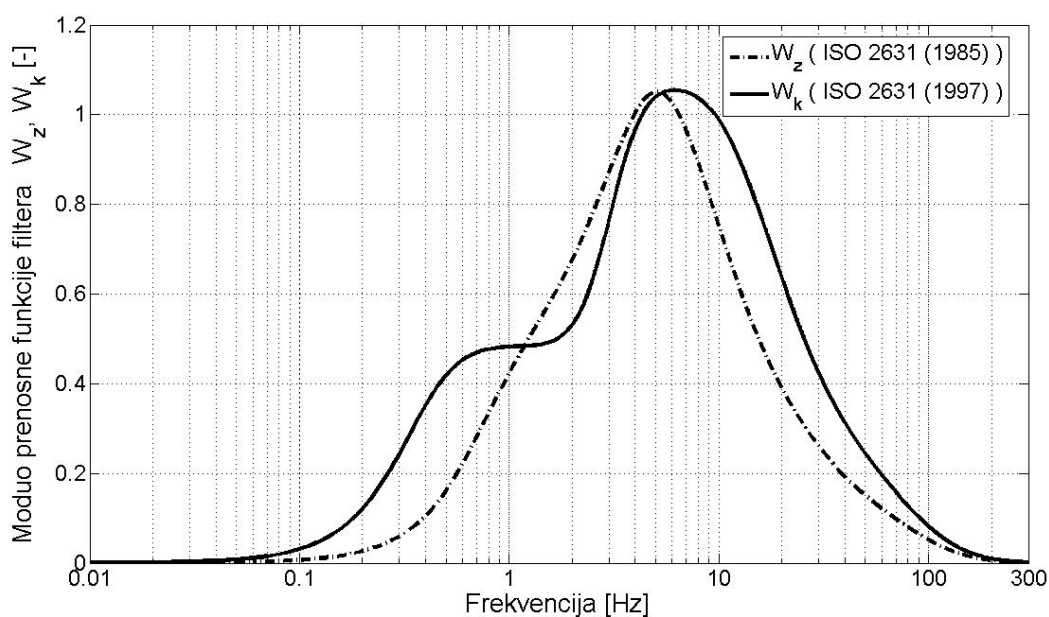
f_{Ri} - desna granica tercnog opsega za centralnu frekvenciju f_i (Hz);

Leve i desne granice tercnih opsega mogu se odrediti pomoću izraza [9.4] i [9.5]

$$f_{Li} = 0.89 \cdot f_i \quad [9.4]$$

$$f_{Ri} = \sqrt[3]{2} \cdot f_{Li} = 1.26 \cdot f_{Li} = 1.12 \cdot f_i \quad [9.5]$$

Na slici 9.19 uporedno su prikazani filteri za vrednovanje vertikalnog ubrzanja W_z i W_k prema standardu ISO 2631(1985) i ISO 2631(1997). Uočava se da novija verzija standarda ISO 2631 pripisuje veće težinske koeficijente vibracijama koje deluju u vertikalnom pravcu, za frekventne opsege ispod 1 Hz i iznad 8 Hz.



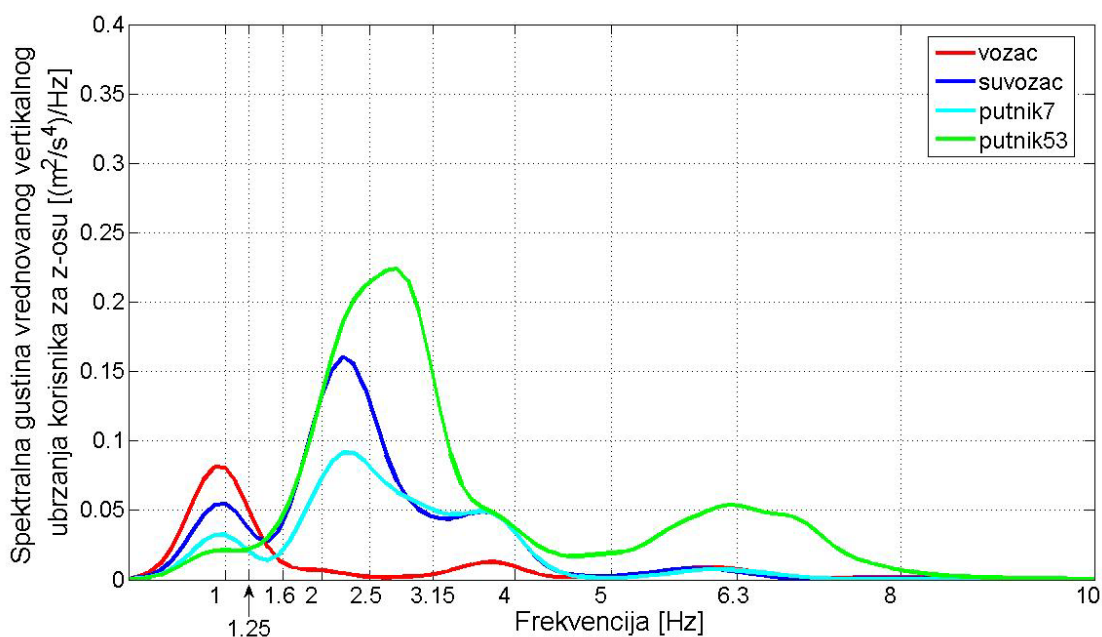
Slika 9.19. Filteri za vrednovanje vertikalnih ubrzanja, prema ISO 2631(1985) i ISO 2631(1997)

U daljem tekstu prikazani su rezultati analize dozvoljenog vremena izlaganja vibracijama vozača autobusa IK 301 i putnika autobusa IK 301 za koje je simulacijom utvrđen najmanji oscilatorni komfor. Spektralne gustine snage vrednovanih vertikalnih ubrzanja dobijene su prema *Welch*-ovoj metodi koja je u *Matlab*-ovom *Signal Processing Toolbox*-u implementirana pomoću funkcije *pwelch* (The MathWorks, Inc. 2001; Bogojević, 2003). Za vrednosti parametara *window* i *noverlap* ove funkcije izabrane su standardne podrazumevane vrednosti. Za broj tačaka *nfft* u kojima funkcija računa brzu Furijeovu transformaciju izabrane su dužine nizova vrednovanih vertikalnih ubrzanja (npr. za vreme simulacije od 8 sekundi, dužina niza jednaka je 8001). Za

vrednost parametra f_s funkcije *pwelch* uzeta je frekvencija odabiranja signala vrednovanog vertikalnog ubrzanja od 1000 Hz.

9.2.1. Dozvoljeno vreme izlaganja vibracijama za pobudu - Loš asfalt-betonski kolovoz za brzinu autobusa od 64 km/h

Na slici 9.20 prikazane su spektralne gustine snage vrednovanih ubrzanja za vozača, suvozača, putnika7 i putnika53. Uočava se da su vozač, suvozač i putnik7 izloženi vertikalnim ubrzanjima čiji su inteziteti raspodeljeni na frekventi opseg od 0 Hz do 4 Hz. Za razliku od njih, putnik 53 trpi i izvesna vertikalna ubrzanja na frekvencijama iznad 4 Hz. Ako se ima u vidu da je telo čoveka najviše osetljivo na verikalne vibracije u frekventnom opsegu od 4 Hz do 8 Hz, onda ovo dodatno ukazuje da korisnici na zadnjim sedištima imaju umanjen oscilatorni komfor.



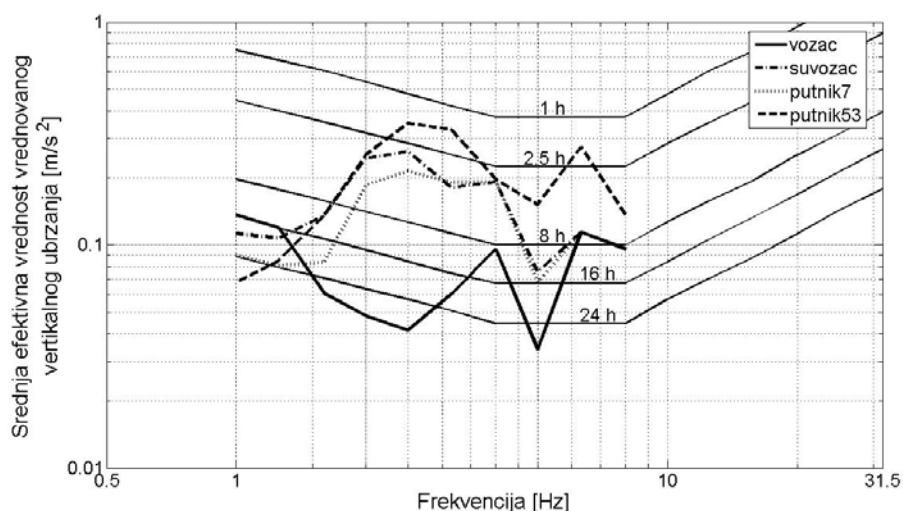
Slika 9.20. Spektralne gustine snage vrednovanog vertikalnog ubrzanja za vozača, suvozača, putnika7 i putnika53, za loš asfalt-betonski kolovoz, brzina 64 km/h

U tabeli 9.8 date su granične frekvencije za terčne opsege, centralne frekvencije za terčne opsege, vrednosti spektralnih gustina snage za centralne frekvencije i proračunate srednje efektivne vrednosti vrednovanog vertikalnog ubrzanja korisnika za centralne frekvencije.

Tabela 9.8. RMS vrednosti vrednovanog vertikalnog ubrzanja korisnika za centralne frekvencije za loš asfalt-betonski kolovoz, brzina 64 km/h

f_{Li} [Hz]	f_i [Hz]	f_{Ri} [Hz]	vozač		suvozač		putnik7		putnik53	
			$\Phi_{z_{rms,w}(f_i)}$	$z_{rms,w}(f_i)$	$\Phi_{z_{rms,w}(f_i)}$	$z_{rms,w}(f_i)$	$\Phi_{z_{rms,w}(f_i)}$	$z_{rms,w}(f_i)$	$\Phi_{z_{rms,w}(f_i)}$	$z_{rms,w}(f_i)$
0.89	1	1.12	0.080	0.136	0.055	0.112	0.035	0.090	0.020	0.068
1.1125	1.25	1.4	0.050	0.120	0.040	0.107	0.023	0.081	0.025	0.085
1.424	1.6	1.792	0.010	0.061	0.050	0.136	0.019	0.084	0.050	0.136
1.78	2	2.24	0.005	0.048	0.130	0.245	0.075	0.186	0.140	0.254
2.225	2.5	2.8	0.003	0.042	0.120	0.263	0.080	0.214	0.215	0.352
2.8035	3.15	3.528	0.005	0.060	0.045	0.181	0.050	0.190	0.150	0.330
3.56	4	4.48	0.010	0.096	0.040	0.192	0.040	0.192	0.042	0.197
4.45	5	5.6	0.001	0.034	0.005	0.076	0.004	0.068	0.020	0.152
5.607	6.3	7.056	0.009	0.114	0.009	0.114	0.009	0.114	0.052	0.274
7.12	8	8.96	0.005	0.096	0.005	0.096	0.005	0.096	0.010	0.136
8.9	10	11.2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Na slici 9.21 prikazane su linije za vrednovanje dejstva oscilacija u z-pravcu na komfor prema ISO 2631 (1985) i RMS krive. RMS krive su dobijene unošenjem srednjih efektivnih vrednosti vrednovanog vertikalnog ubrzanja za centralne frekvencije u dijagram. Pikovi RMS kriva definišu dozvoljeno vreme izlaganja tela korisnika oscilacijama.



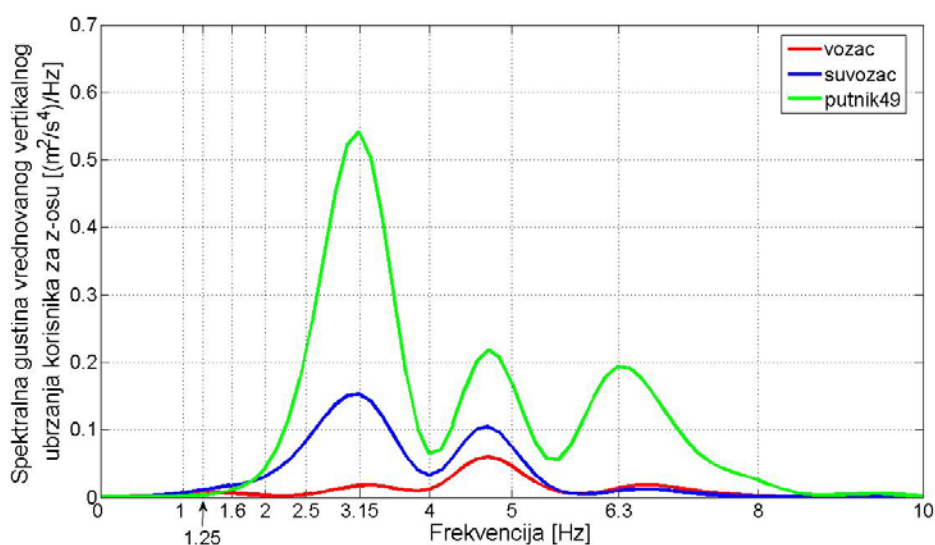
Slika 9.21. Vremena izlaganja za vozača, suvozača, putnika7 i putnika53 za pobudu loš asfalt-betonski kolovoz i brzinu od 64 km/h

Sa slike 9.21 uočava se da vozač ima najduže dozvoljeno vreme izlaganja, a putnik 53 najkraće dozvoljeno vreme izlaganja vibracijama. Takođe se zapaža da je dozvoljeno vreme izlaganja za putnika7 duže od dozvoljenog vremena izlaganja za suvozača autobusa. Na lošoj asfalt-betonskoj podlozi pri brzini kretanja autobusa IK 301 od 64 km/h dozvoljeno vreme izlaganja za vozača iznosi nešto manje 8 časova, za suvozača približno 2.5 časa, za putnika7 ovo vreme je duže od 2.5 časa, a za putnika53 kraće od 2.5 časa.

9.2.2. Dozvoljeno vreme izlaganja vibracijama za pobudu - Loš asfalt-betonski kolovoz za brzinu autobusa od 80 km/h

Na slici 9.22 prikazane su spektralne gustine snage vrednovanih ubrzanja za vozača, suvozača i putnika49.

U tabeli 9.9 date su granične frekvencije za terčne opsege, centralne frekvencije za terčne opsege, vrednosti spektralnih gustina snage za centralne frekvencije i proračunate srednje efektivne vrednosti vrednovanog vertikalnog ubrzanja korisnika za centralne frekvencije.

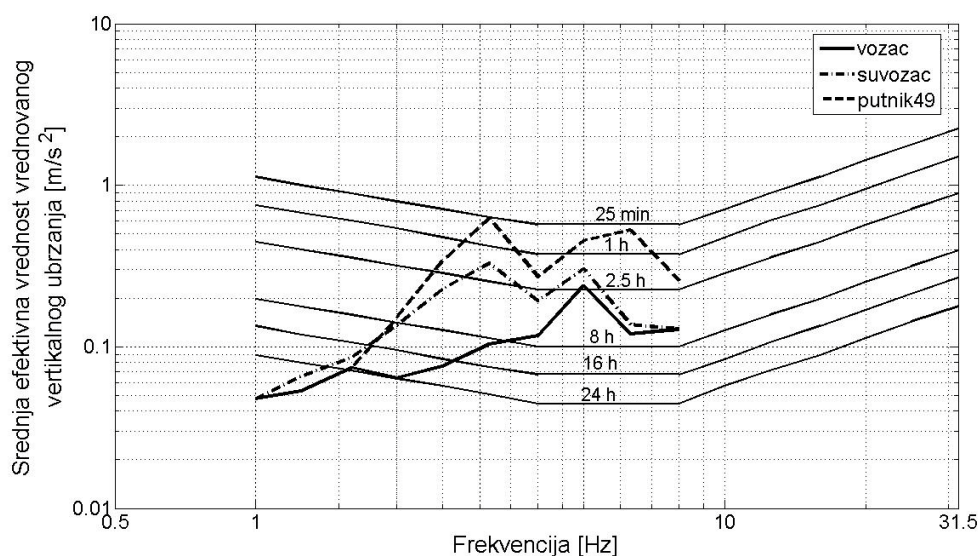


Slika 9.22. Spektralne gustine snage vrednovanog vertikalnog ubrzanja za vozača, suvozača i putnika49, za loš asfalt-betonski kolovoz, brzina 80 km/h

Tabela 9.9. RMS vrednosti vrednovanog vertikalnog ubrzanja korisnika za centralne frekvencije za loš asfalt-betonski kolovoz, brzina 80 km/h

f_{Li} [Hz]	f_i [Hz]	f_{Ri} [Hz]	vozač		suvozač		putnik49	
			$\Phi_{z_{rms,w}}^z(f_i)$	$\ddot{z}_{rms,w}(f_i)$	$\Phi_{z_{rms,w}}^z(f_i)$	$\ddot{z}_{rms,w}(f_i)$	$\Phi_{z_{rms,w}}^z(f_i)$	$\ddot{z}_{rms,w}(f_i)$
0.89	1	1.12	0.010	0.048	0.010	0.048	0.010	0.048
1.1125	1.25	1.4	0.010	0.054	0.015	0.066	0.010	0.054
1.424	1.6	1.792	0.015	0.074	0.020	0.086	0.015	0.074
1.78	2	2.24	0.009	0.064	0.040	0.136	0.050	0.152
2.225	2.5	2.8	0.010	0.076	0.090	0.227	0.200	0.339
2.8035	3.15	3.528	0.015	0.104	0.150	0.330	0.540	0.625
3.56	4	4.48	0.015	0.117	0.040	0.192	0.080	0.271
4.45	5	5.6	0.050	0.240	0.080	0.303	0.180	0.455
5.607	6.3	7.056	0.010	0.120	0.013	0.137	0.193	0.529
7.12	8	8.96	0.009	0.129	0.009	0.129	0.036	0.257
8.9	10	11.2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Na slici 9.23 prikazane su linije za vrednovanje dejstva oscilacija u z-pravcu na komfor prema ISO 2631 (1985) i RMS krive.



Slika 9.23. Vremena izlaganja za vozača, suvozača i putnika49 za pobudu loš asfalt-betonski kolovoz i brzinu od 80 km/h

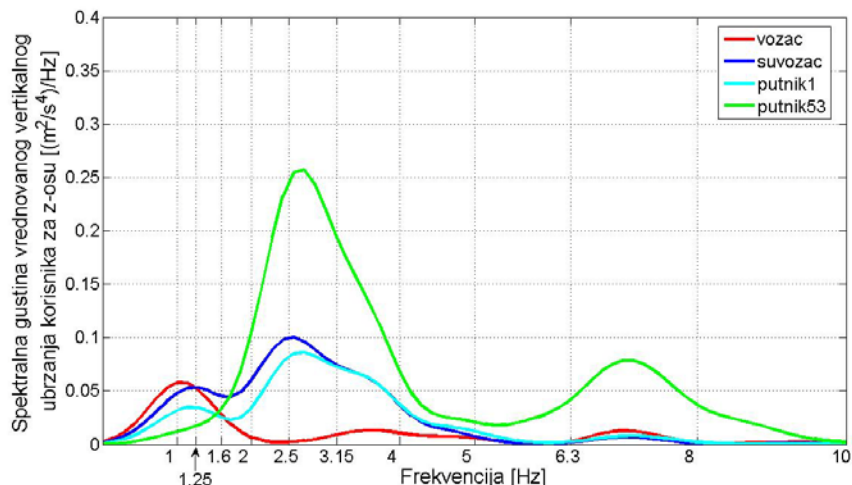
Dozvoljeno vreme izlaganja za vozača i suvozača na lošoj asfalt-betonskoj podlozi, pri brzini kretanja autobusa IK 301 od 80 km/h, u poređenju sa dozvoljenim vremenima za loš asfalt-beton i brzinu od 64 km/h je znatno kraće (slika 9.21). Za vozača ono iznosi približno 2.5 časova. Dozvoljeno vreme izlaganja za putnika49 je znatno kraće od 2.5 časova i ono iznosi 25 minuta. Za suvozača, takođe, je kraće od 2.5 časova, ali je ovo vreme duže od dozvoljenog vremena izlaganja za putnika49 (slika 9.23).

Jasno je da produženo kretanje ovom brzinom na ovakvoj podlozi nije moguće.

9.2.3. Dozvoljeno vreme izlaganja vibracijama za pobudu - Dobar asfalt-betonski kolovoz za brzinu autobusa od 80 km/h

Na slici 9.24 prikazane su spektralne gustine snage vrednovanih ubrzanja za vozača, suvozača, putnika1 i putnika53.

U tabeli 9.10 date su granične frekvencije za terčne opsege, centralne frekvencije za terčne opsege, vrednosti spektralnih gustina snage za centralne frekvencije i proračunate srednje efektivne vrednosti vrednovanog vertikalnog ubrzanja korisnika za centralne frekvencije.

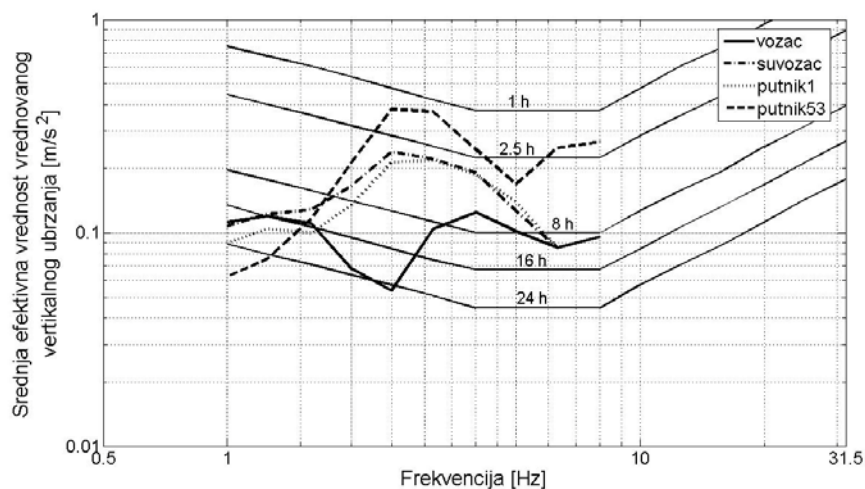


Slika 9.24. Spektralne gustine snage vrednovanog vertikalnog ubrzanja za vozača, suvozača, putnika1 i putnika53, za dobar asfalt-betonski kolovoz, brzina 80 km/h

Tabela 9.10. RMS vrednosti vrednovanog vertikalnog ubrzanja korisnika za centralne frekvencije za dobar asfalt-betonski kolovoz, brzina 80 km/h

f_{Li} [Hz]	f_i [Hz]	f_{Ri} [Hz]	vozač		suvozač		putnik1		putnik53	
			$\Phi_{z_{rms,w}}^z(f_i)$	$\ddot{z}_{rms,w}(f_i)$	$\Phi_{z_{rms,w}}^z(f_i)$	$\ddot{z}_{rms,w}(f_i)$	$\Phi_{z_{rms,w}}^z(f_i)$	$\ddot{z}_{rms,w}(f_i)$	$\Phi_{z_{rms,w}}^z(f_i)$	$\ddot{z}_{rms,w}(f_i)$
0.89	1	1.12	0.055	0.112	0.050	0.107	0.035	0.090	0.017	0.063
1.1125	1.25	1.4	0.050	0.120	0.052	0.122	0.038	0.105	0.020	0.076
1.424	1.6	1.792	0.033	0.110	0.045	0.129	0.027	0.100	0.037	0.117
1.78	2	2.24	0.010	0.068	0.060	0.166	0.040	0.136	0.100	0.214
2.225	2.5	2.8	0.005	0.054	0.100	0.240	0.080	0.214	0.250	0.379
2.8035	3.15	3.528	0.015	0.104	0.068	0.222	0.066	0.219	0.190	0.371
3.56	4	4.48	0.017	0.125	0.040	0.192	0.038	0.187	0.066	0.246
4.45	5	5.6	0.009	0.102	0.014	0.127	0.017	0.140	0.025	0.170
5.607	6.3	7.056	0.005	0.085	0.005	0.085	0.005	0.085	0.043	0.250
7.12	8	8.96	0.005	0.096	0.005	0.096	0.005	0.096	0.039	0.268
8.9	10	11.2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Na slici 9.25 prikazane su linije za vrednovanje dejstva oscilacija u z-pravcu na komfor prema ISO 2631 (1985) i RMS krive.

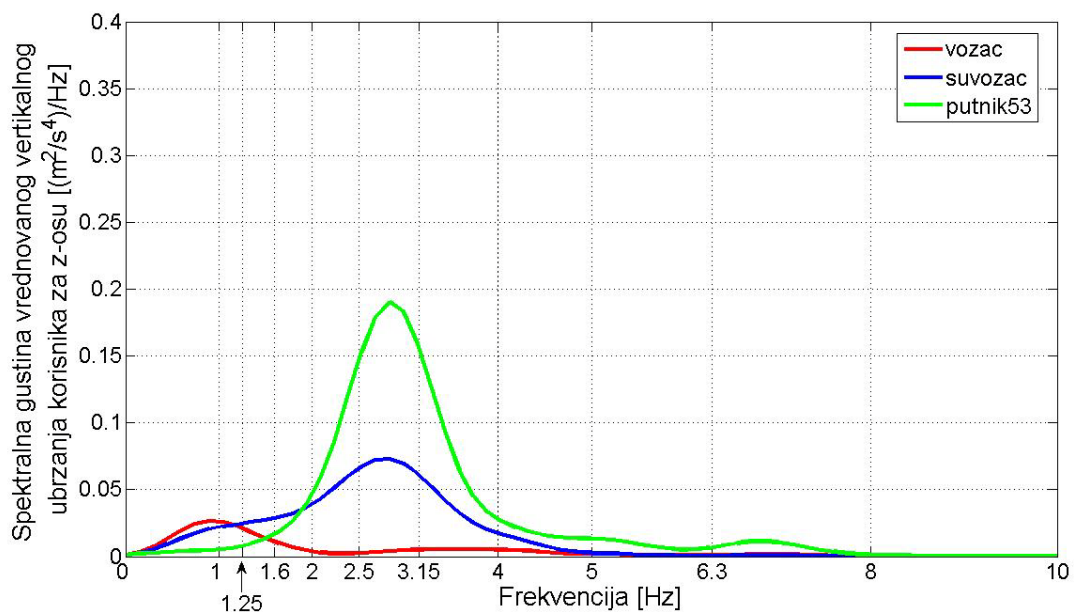


Slika 9.25. Vremena izlaganja za vozača, suvozača, putnika1 i putnika53 za pobudu dobar asfalt-betonski kolovoz i brzinu od 80 km/h

Sa slike 9.25 se zapaža da je dozvoljeno vreme izlaganja za vozača kraće od 8 časova. Putnik53 ima najkraće dozvoljeno vreme izlaganja, malo duže od 1 časa. Dozvoljena vremena izlaganja za korisnike na prednjem prepustu autobusa (suvozača i putnika1) su približno jednaka (duže od 2.5 časova, ali ne mnogo). Utvrđena dozvoljena vremena izlaganja korisnika za ovu oscilatornu pobudu, približno su jednaka dozvoljenim vremenima izlaganja korisnika za pobudu loš asfalt-beton pri brzini kretanja autobusa od 64 km/h (slika 9.21).

9.2.4. Dozvoljeno vreme izlaganja vibracijama za pobudu - Vrlo dobar cement-betonski kolovoz za brzinu autobusa od 80 km/h

Na slici 9.26 prikazane su spektralne gustine snage vrednovanih ubrzanja za vozača, suvozača i putnika53. U tabeli 9.11 date su granične frekvencije za terčne opsege, centralne frekvencije za terčne opsege, vrednosti spektralnih gustina snage za centralne frekvencije i proračunate srednje efektivne vrednosti vrednovanog vertikalnog ubrzanja korisnika za centralne frekvencije.

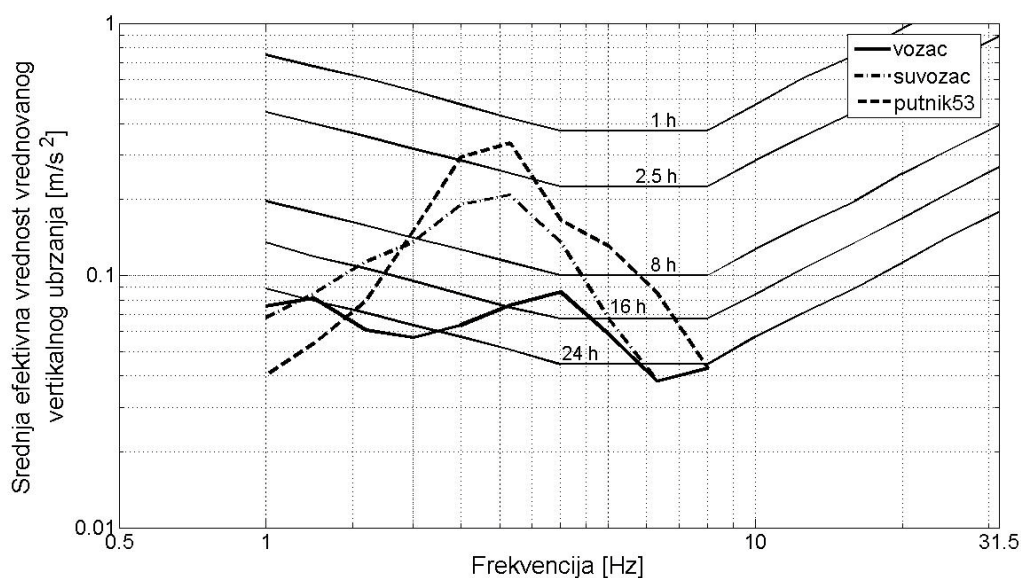


Slika 9.26. Spektralne gustine snage vrednovanog vertikalnog ubrzanja za vozača, suvozača i putnika53, za vrlo dobar cement-betonski kolovoz, brzina 80 km/h

Tabela 9.11. RMS vrednosti vrednovanog vertikalnog ubrzanja korisnika za centralne frekvencije za vrlo dobar cement-betonski kolovoz, brzina 80 km/h

f_{Li} [Hz]	f_i [Hz]	f_{Ri} [Hz]	vozač		suvozač		putnik53	
			$\Phi_{z_{rms,w}}^z(f_i)$	$\ddot{z}_{rms,w}(f_i)$	$\Phi_{z_{rms,w}}^z(f_i)$	$\ddot{z}_{rms,w}(f_i)$	$\Phi_{z_{rms,w}}^z(f_i)$	$\ddot{z}_{rms,w}(f_i)$
0.89	1	1.12	0.025	0.076	0.020	0.068	0.007	0.040
1.1125	1.25	1.4	0.023	0.081	0.025	0.085	0.010	0.054
1.424	1.6	1.792	0.010	0.061	0.035	0.113	0.017	0.079
1.78	2	2.24	0.007	0.057	0.040	0.136	0.049	0.150
2.225	2.5	2.8	0.007	0.063	0.063	0.190	0.150	0.294
2.8035	3.15	3.528	0.008	0.076	0.060	0.208	0.155	0.335
3.56	4	4.48	0.008	0.086	0.020	0.136	0.030	0.166
4.45	5	5.6	0.003	0.059	0.004	0.068	0.015	0.131
5.607	6.3	7.056	0.001	0.038	0.001	0.038	0.005	0.085
7.12	8	8.96	0.001	0.043	0.001	0.043	0.001	0.043
8.9	10	11.2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Na slici 9.27 prikazane su linije za vrednovanje dejstva oscilacija u z-pravcu na komfor prema ISO 2631 (1985) i RMS krive.



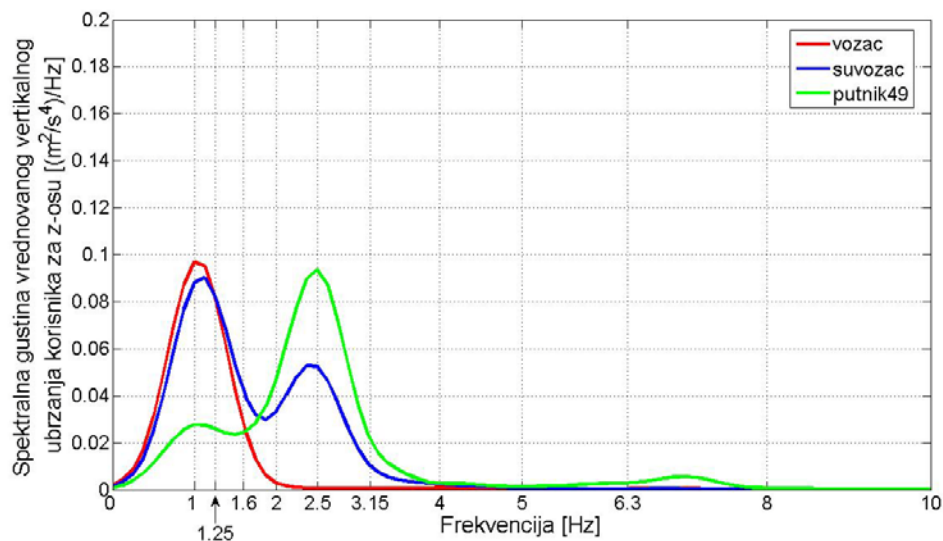
Slika 9.27. Vremena izlaganja za vozača, suvozača i putnika53 za pobudu vrlo dobar cement-betonski kolovoz i brzinu od 80 km/h

Sa slike 9.27 se zapaža da je dozvoljeno vreme izlaganja za vozača duže od 8 časova. Iako je se autobus kreće po podlozi vrlo dobar cement-beton, putnik53 ima kratko dozvoljeno vreme izlaganja vibracijama, kraće od 2.5 časova. Za suvozača vreme izlaganja je nešto duže od 2.5 časova.

9.2.5. Dozvoljeno vreme izlaganja vibracijama za pobudu - Loš asfalt-betonski kolovoz za brzinu autobusa od 72 km/h

Na slici 9.28 prikazane su spektralne gustine snage vrednovanih ubrzanja za vozača, suvozača i putnika49.

U tabeli 9.12 date su granične frekvencije za terčne opsege, centralne frekvencije za terčne opsege, vrednosti spektralnih gustina snage za centralne frekvencije i proračunate srednje efektivne vrednosti vrednovanog vertikalnog ubrzanja korisnika za centralne frekvencije.

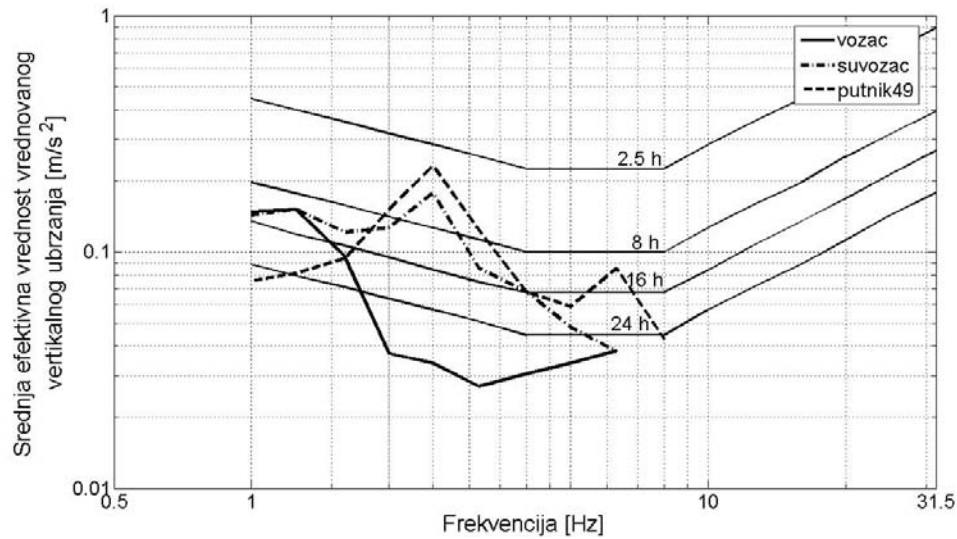


Slika 9.28. Spektralne gustine snage vrednovanog vertikalnog ubrzanja za vozača, suvozača i putnika49, za loš asfalt-betonski kolovoz, brzina 72 km/h

Tabela 9.12. RMS vrednosti vrednovanog vertikalnog ubrzanja korisnika za centralne frekvencije za loš asfalt-betonski kolovoz, brzina 72 km/h

f_{Li} [Hz]	f_i [Hz]	f_{Ri} [Hz]	vozač		suvozač		putnik49	
			$\Phi_{z_{rms,w}}^z(f_i)$	$\ddot{z}_{rms,w}(f_i)$	$\Phi_{z_{rms,w}}^z(f_i)$	$\ddot{z}_{rms,w}(f_i)$	$\Phi_{z_{rms,w}}^z(f_i)$	$\ddot{z}_{rms,w}(f_i)$
0.89	1	1.12	0.095	0.148	0.090	0.144	0.025	0.076
1.1125	1.25	1.4	0.080	0.152	0.080	0.152	0.023	0.081
1.424	1.6	1.792	0.025	0.096	0.040	0.121	0.024	0.094
1.78	2	2.24	0.003	0.037	0.035	0.127	0.050	0.152
2.225	2.5	2.8	0.002	0.034	0.055	0.178	0.093	0.231
2.8035	3.15	3.528	0.001	0.027	0.010	0.085	0.021	0.123
3.56	4	4.48	0.001	0.030	0.005	0.068	0.005	0.068
4.45	5	5.6	0.001	0.034	0.002	0.048	0.003	0.059
5.607	6.3	7.056	0.001	0.038	0.001	0.038	0.005	0.085
7.12	8	8.96	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.043
8.9	10	11.2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Na slici 9.29 prikazane su linije za vrednovanje dejstva oscilacija u z-pravcu na komfor prema ISO 2631 (1985) i RMS krive.



Slika 9.29. Vremena izlaganja za vozača, suvozača i putnika49 za pobudu loš asfalt-betonski kolovoz i brzinu od 72 km/h

Sa slike 9.29 su uočava da je dozvoljeno vreme izlaganja vozača vibracijama duže od 8 časova. Za suvozača i za putnika49 ono je kraće od 8 časova. Treba naglasiti da su dozvoljena vremena izlaganja vozača i suvozača vibracijama duža od dozvoljenih vremena izlaganja vibracijama za pobudu - dobar asfalt-betonski kolovoz. Međutim, treba imati u vidu da su, za oscilatornu pobudu loš asfalt-beton i brzinu autobusa od 72 km/h, dominantne vibracije korisnika za y-pravac (tabela 9.7). Takođe, vremena izlaganja vozača i suvozača približno su jednaka vremenima izlaganja vozača i suvozača za pobudu - vrlo dobar cement-betonski kolovoz (slika 9.27).

* * *

Na osnovu rezultata analize dozvoljenog vremena izlaganja vibracijama može se konstatovati:

- pri većim brzinama kretanja autobusa po podlogama istog kvaliteta dozvoljeno vreme izlaganja korisnika vibracijama je kraće;
- pri istoj brzini kretanja autobusa na podlogama lošijeg kvaliteta dozvoljeno vreme izlaganja korisnika vibracijama se smanjuje;

- dozvoljeno vreme izlaganja korisnika vibracijama kada se autobus kreće manjim brzinama po lošijoj podlozi približno je jednako dozvoljenom vremenu izlaganja vibracijama kada se autobus kreće većim brzinama po podlozi boljeg kvaliteta;
- dozvoljeno vreme izlaganja korisnika vertikalnim vibracijama na lošoj podlozi može da bude duže od dozvoljenog vremena izlaganja korisnika vertikalnim vibracijama na podlozi boljeg kvaliteta;
- korisnici autobusa na zadnjem prepustu uvek imaju najkraće dozvoljeno vreme izlaganja vibracijama (posebno putnici na sedištima u zadnjem redu autobusa);
- od korisnika na prednjem prepustu autobusa, najkraće dozvoljeno vreme izlaganja ima suvozač;

9.3. Definisane i određivanje zona komfora za korisnike autobusa

Zona jednakog oscilatornog komfora u autobusu može se definisati kao skup sedišta na kojima korisnici autobusa imaju približno isti oscilatorni komfor. Za određivanje zona oscilatornog komfora poslužili su kriterijumi udobnosti u sredstvima javnog prevoza koje propisuje standard ISO 2631 (1997), (slika 9.30). Oscilatorne zone su određene za sve oscilatorne pobude autobusa kako bi se dobilo više informacija o tome kojim sedištima u autobusu IK 301 treba promeniti oscilatorne parametre u cilju poboljšanja komfora korisnika koji na njima sede.

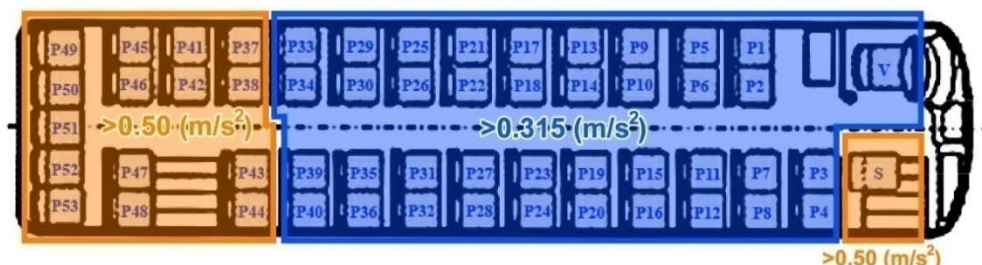


Izvor: Standard ISO 2631, 1997.

Slika 9.30. Kriterijumi komfora u sredstvima javnog prevoza, prema ISO 2631 (1997)

9.3.1. Oscilatorna pobuda - loš asfalt-beton, brzina 64 km/h

Na slici 9.31 naznačene su, prema tabeli 9.1, dve različite zone jednakog komfora za oscilatornu pobudu loš asfalt-betonski kolovoz i brzinu autobusa od 64 km/h.

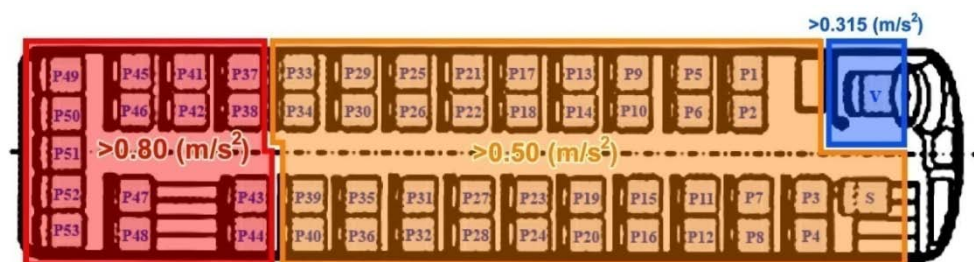


Slika 9.31. Zone jednakog oscilatornog komfora za autobus IK 301 za pobudu loš asflat-beton, brzina 64 km/h

U prvoj oscilatornoj zoni nalaze se sedišta sa oznakama V, P1-P36, P39 i P40 sa ocenom oscilatornog komfora “malo neudobno“ (ukupna *rms* vrednost ubrzanja veća od 0.315 m/s^2). Druga oscilatorna zona uključuje sedišta sa oznakama S, P37, P38 i P41-P53 sa ocenom oscilatornog komfora “prilično neudobno“ (ukupna *rms* vrednost ubrzanja veća od 0.5 m/s^2). Treba napomenuti da je prema rezultatima iz tabele 9.1, ukupna *rms* vrednost vrednovanog ubrzanja za sedišta na prednjem prepustu (sedišta P1-P4) bliska 0.5 m/s^2 .

9.3.2. Oscilatorna pobuda - loš asfalt-beton, brzina 80 km/h

Na slici 9.32 naznačene su, prema tabeli 9.2, tri zone jednakog oscilatornog komfora za pobudu loš asfalt-betonski kolovoz i brzinu autobusa od 80 km/h.



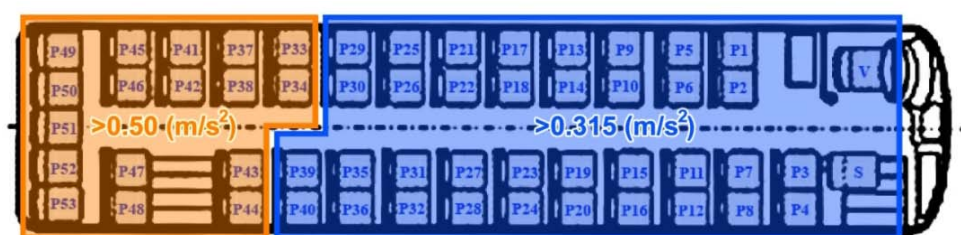
Slika 9.32. Zone jednakog oscilatornog komfora za autobus IK 301 za pobudu loš asflat-beton, brzina 80 km/h

Prva oscilatorna zona uključuje sedište vozača sa ocenom oscilatornog komfora “malo neudobno“. U drugoj zoni nalaze se sedišta S, P1-P36, P39 i P40 sa ocenom oscilatornog komfora “prilično neudobno“. Sedišta P37, P38 i P41-P53 sa ocenom

komfora “neudobno“ (ukupna *rms* vrednost vrednovanog ubrzanja veća od 0.8 m/s^2) se nalaze u trećoj oscilatornoj zoni. Prema rezultatima iz tabele 9.2, sedišta na prednjem prepustu (sedišta P3, P4 i S) imaju ukupne *rms* vrednosti vrednovanog ubrzanja bliske 0.6 m/s^2 . Uticaj sistema oslanjanja vozačevog sedišta na smanjenje vibracija, kada se autobus kreće na lošim podlogama, primetan pri većim brzinama kretanja autobusa.

9.3.3. Oscilatorna pobuda - dobar asfalt-beton, brzina 80 km/h

Na slici 9.33 naznačene su, prema tabeli 9.3, dve zone jednakog oscilatornog komfora za pobudu dobar asfalt-betonski kolovoz i brzinu autobusa od 80 km/h.

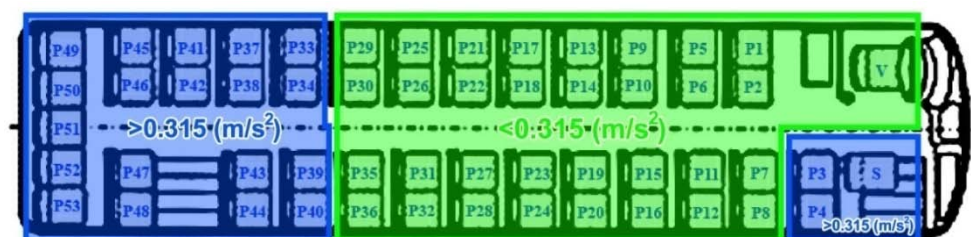


Slika 9.33. Zone jednakog oscilatornog komfora za autobus IK 301 za pobudu dobar asfalt-beton, brzina 80 km/h

U prvoj oscilatornoj zoni nalaze se sedišta V, S, P1-P32, P35, P36, P39 i P40 sa ocenom oscilatorne udobnosti “malo neudobno“. U drugoj zoni nalaze se sedišta P33, P34, P37, P38 i P41-P53 sa ocenom oscilatornog komfora “prilično neudobno“. Utvrđeno je da i za ovaj slučaj oscilatorne pobude, putnici na sedištima na prednjem prepustu (S, P3 i P4) imaju veće vrednosti ukupnog *rms* vrednovanog ubrzanja od putnika na sedištima u sredini autobusa.

9.3.4. Oscilatorna pobuda - vrlo dobar cement-beton, brzina 80 km/h

Na slici 9.34 naznačene su, prema tabeli 9.4, dve zone jednakog oscilatornog komfora za pobudu vrlo dobar cement-betonski kolovoz i brzinu autobusa od 80 km/h.

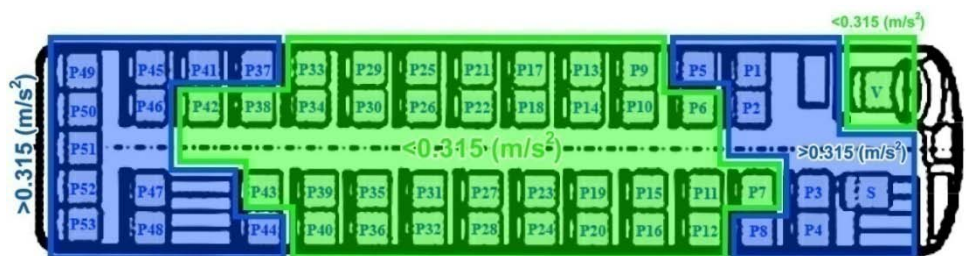


Slika 9.34. Zone jednakog oscilatornog komfora za autobus IK 301 za pobudu vrlo dobar cement-beton, brzina 80 km/h

Sedišta V, P1, P2, P5-P32, P35 i P36 sa ocenom oscilatorne udobnosti “komforno“ (ukupna *rms* vrednost ubrzanja manja od 0.315 m/s^2) se nalaze u prvoj oscilatornoj zoni. U drugoj zoni nalaze se sedišta S, P3, P4, P33, P34 i P37-P53 sa ocenom oscilatornog komfora “malo neudobno“. Putnici na sedištima na prednjem prepustu imaju veće vrednosti ukupnog *rms* ubrzanja od putnika na sedištima u sredini autobusa (tabela 9.4).

9.3.5. Oscilatorna pobuda - vrlo dobar asfalt-beton, brzina 90 km/h

Na slici 9.35 naznačene su, prema tabeli 9.5, dve zone jednakog oscilatornog komfora za vremenski smaknutu pobudu vrlo dobar asfalt-betonski kolovoz i brzinu autobusa od 90 km/h.

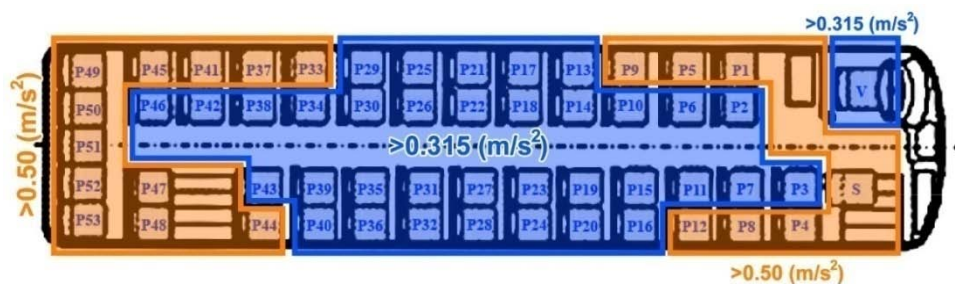


Slika 9.35. Zone jednakog oscilatornog komfora za autobus IK 301 za pobudu vrlo dobar asfalt-beton, brzina 90 km/h

U prvoj oscilatornoj zoni nalaze se sedišta V, P6, P7, P9-P36, P38-P40, P42 i P43 sa ocenom oscilatorne udobnosti “komforno“, a u drugoj zoni sedišta S, P1-P5, P8, P37, P41 i P44-P53 sa ocenom komfora “malo neudobno“.

9.3.6. Oscilatorna pobuda - dobar asfalt-beton, brzina 90 km/h

Na slici 9.36 naznačene su, prema tabeli 9.6, dve zone jednakog oscilatornog komfora za vremenski smaknutu pobudu dobar asfalt-betonski kolovoz i brzinu autobusa od 90 km/h.

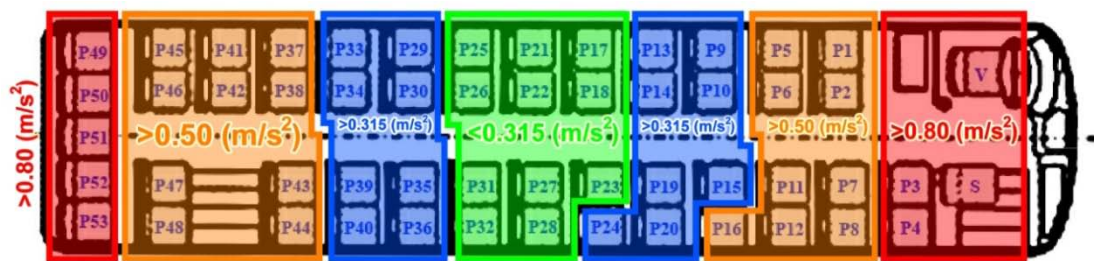


Slika 9.36. Zone jednakog oscilatornog komfora za autobus IK 301 za pobudu dobar asfalt-beton, brzina 90 km/h

U prvu zonu jednakog oscilatornog komfora nalaze se sedišta V, P2, P3, P6, P7, P10, P11, P10-P32, P34-P36, P38-P40, P42, P43 i P46, sa ocenom komfora “malo neudobno“. Sedišta S, P1, P4, P5, P8, P9, P12, P33, P37, P41, P44, P45 i P47-P53 sa ocenom komfora “prilično neudobno“ se nalaze u drugoj oscilatornoj zoni. Jasno se uočavaju sedišta do prozora u blizini prednje i zadnje osovine autobusa sa umanjanim oscilatornim komforom.

9.3.7. Oscilatorna pobuda - loš asfalt-beton, brzina 72 km/h

Na slici 9.37 naznačene su, prema tabeli 9.7, četiri zone jednakog oscilatornog komfora za pobudu loš asfalt-beton i brzinu autobusa od 72 km/h.



Slika 9.37. Zone jednakog oscilatornog komfora za autobus IK 301 za pobudu loš asfalt-beton, brzina 72 km/h

U prvoj oscilatornoj zoni nalaze se sedišta P17, P18, P21-P23, P25-P28, P31 i P32 sa ocenom oscilatorne udobnosti “komforno“. U drugoj zoni sedišta P9, P10, P13-P15, P19, P20, P24, P29, P30, P33-P36, P39 i P40 sa ocenom “malo neudobno“. Sedišta P1, P2, P5-P8, P11, P12, P16, P37, P38 i P41-P48 sa ocenom komfora “prilično neudobno“ se nalaze u trećoj oscilatornoj zoni. U četvrtoj zoni se nalaze sedišta V, S, P3, P4 i P49-P53 sa ocenom komfora “neudobno“. Sedišta na prednjem prepustu autobusa i iznad prednje osovine autobusa, kao sedišta na zadnjem prepustu autobusa imaju najlošiju oscilatornu udobnost (sedišta kod kojih je ukupno *rms* ubrzanja veće od 0.5 m/s^2 i od 0.8 m/s^2). Putnici na sedištima u zadnjem redu na zadnjem prepustu autobusa trpe najveće ukupne *rms* vrednosti ubrzanja (tabela 9.7).

Na osnovu sprovedne analize može se zaključiti da u autobusu IK 301 postoji više oscilatornih zona sa različitim ocenama oscilatorne udobnosti. Broj oscilatornih zona i njihov položaj u autobusu (tj. sedišta koja se nalaze u oscilatornim zonama), razlikuju se za različite oscilatorne pobude autobusa.

Za oscilatorne pobude za koje su vertikalna ubrzanja na mestima korisnika dominantna, u autobusu se izdvajaju dve različite oscilatorne zone. U prvoj oscilatornoj zoni se nalaze sedišta na prednjem prepustu i sedišta između prednje i zadnje osovine autobusa. Utvrđeno je da ova oscilatorna zona, u zavisnosti od uslova eksploatacije autobusa (kvaliteta podloge i brzine kretanja), ima oscilatornu udobnost ocenjenu sa “komforno“ (vrlo dobar cement-beton, brzina 80 km/h), “malo neudobno“ (loš asfalt-beton, brzina 64 km/h; dobar asfalt-beton, brzina 80 km/h) i “prilično neudobno“ (loš asfalt-beton, brzina 80 km/h). U ovoj oscilatornoj zoni sedišta na prednjem prepustu imaju veće ukupne *rms* vrednosti ubrzanja u odnosu na ostala sedišta iz ove oscilatorne zone. Tu se izdvaja sedište suvozača koje za dve pobude (vrlo dobar cement-beton, brzina 80 km/h; loš asfalt-beton, brzina 64 km/h) spada u drugu oscilatornu zonu (zona sa nižim oscilatornim komforom).

Druga oscilatorna zona uključuje sedišta na zadnjem prepustu autobusa IK 301. Sedišta u ovoj oscilatornoj zoni imaju za jedan nivo niži komfor u odnosu na sedišta u prvoj zoni autobusa. Komfor ove zone ocenjen je sa “malo neudobno“ (vrlo dobar cement-beton, brzina 80 km/h), “prilično neudobno“ (loš asfalt-beton, brzina 64 km/h; dobar asfalt-beton, brzina 80 km/h) i “neudobno“ (loš asfalt-beton, brzina 80 km/h).

Uticaj elastičnog sistema oslanjanja vozačevog sedišta na komfor primetan je na lošim podlogama sa povećanjem brzine kretanja autobusa (loš asfalt-beton, brzina 80 km/h).

* * *

Imajući u vidu uslove eksploatacije autobusa (kvalitet podloge i brzinu kretanja) i utvrđene oscilatorne zone može se zaključiti:

- da se sa pogoršanjem kvaliteta podloge, pri istim brzinama kretanja autobusa, smanjuje oscilatorna udobnost u svim oscilatornim zonama autobusa;
- na podlogama istog kvaliteta, povećanje brzine kretanja autobusa utiče na smanjenje oscilatorne udobnosti u svim oscilatornim zonama autobusa;
- oscilatorna udobnost u svim oscilatornim zonama autobusa se ne menja kada se autobus kreće manjim brzinama po lošijoj podlozi i većim brzinama po podlozi boljeg kvaliteta;

- i kada se nalaze u istoj oscilatornoj zoni, putnici na sedištima na prednjem prepustu autobusa imaju veće vrednosti ukupnih vrednovanih *rms* ubrzanja od putnika na sedištima u srednjem delu autobusa;
- od svih korisnika na prednjem prepustu, najveće vrednosti *rms* ubrzanja ima suvozač autobusa;

Kada su neravnosti na levim i desnim točkovima vremenski smaknute, na mestima korisnika osim vertikalnih vibracija deluju i horizontalne vibracije po pravcu *y*-ose. Ubrzanja po *y*-pravcu većih su inteziteta ukoliko je podloga lošijeg kvaliteta. Pokazano je da se za takve pobude u autobusu izdvajaju dve različite oscilatorne zone. Prva oscilatorna zona uključuje sedišta između prednje i zadnje osovine autobusa. Oscilatorna udobnost ove oscilatorne zone ocenjena je sa “komforno“ (vrlo dobar asfalt-beton, brzina 90 km/h) i sa “malo neudobno“ (dobar asfalt-beton, brzina 90 km/h).

Druga oscilatorna zona uključuje sedišta na prednjem i zadnjem prepustu autobusa, i sedišta iznad prednje i zadnje osovine autobusa. Sedišta u ovoj oscilatornoj zoni imaju za jedan nivo niži komfor u odnosu na sedišta u prvoj zoni autobusa. Komfor ove zone ocenjen je sa “malo neudobno“ (vrlo dobar asfalt-beton, brzina 90 km/h) i sa “prilično neudobno“ (dobar asfalt-beton, brzina 90 km/h). Iako se sedište vozača nalazi na prednjem prepustu autobusa, sistem elastičnog oslanjanja mu obezbeđuje bolji oscilatorni komfor u odnosu na sva sedišta iz ove zone.

* * *

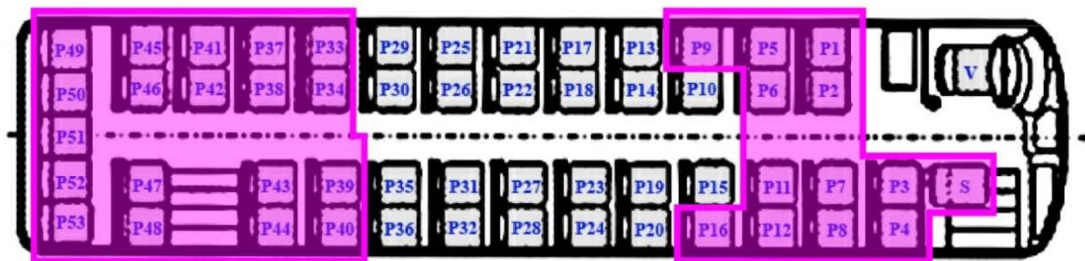
Imajući u vidu uslove eksploatacije autobusa (kvalitet podloge i brzinu kretanja) i utvrđene oscilatorne zone (slike 9.35 i 9.36), za pobudu koja je vremenski smaknuta, može se zaključiti:

- da se sa pogoršanjem kvaliteta podloge, pri istim brzinama kretanja autobusa umanjuje oscilatorna udobnost u oscilatornim zonama autobusa;
- putnici na sedištima do prozora autobusa u prednjem i zadnjem delu autobusa imaju za jedan stepen niži oscilatorni komfor od putnika na sedištima do prolaza između redova autobusa;

Za pobudu loš asfalt-beton (brzina 72 km/h) pokazalo se da korisnici trpe najveće vrednosti ubrzanja u pravcu y-ose. Za ovu pobudu, u autobusu IK 301 izdvajaju se četiri različite oscilatorne zone. Komfort korisnika se, idući od sedišta na prednjem prepustu autobusa i od sedišta na zadnjem prepustu autobusa, pa do sedišta u sredini autobusa, poboljšava. Najbolji komfor imaju putnici na sedištima u srednjem delu autobusa, a najlošiji komfor putnici na sedištima na oba prepusta autobusa i na sedištima iznad prednje i zadnje osovine autobusa.

Na osnovu sprovedene analize oscilatorne udobnosti korisnika autobusa IK 301 i određenih oscilatornih zona može se zaključiti da putnici na sedištima na prednjem prepustu autobusa i iznad prednje osovine (S, P1-P9, P11,P12, P16) , kao i putnici na sedištima na zadnjem prepustu autobusa i iznad zadnje osovine (P33, P34, P37-P53) imaju najlošiju oscilatornu udobnost (slika 9.38).

U cilju poboljšanja oscilatornog komfora korisnika i eventualnog ujednačavanja oscilatorne udobnosti svih korisnika ovim sedištima u autobusu treba menjati oscilatorne parametre.



Slika 9.38. Sedišta korisnika autobusa IK 301 sa umanjenim oscilatornim komforom

10. Mogućnost ujednačavanja nivoa komfora za sve korisnike vozila

U cilju iznalaženja oscilatornih parametara putničkih sedišta sa kojima bi se poboljšao komfor oscilatorno ugroženih putnika, obavljena je analiza uticaja krutosti i prigušenja sedišta na oscilatornu veličinu - ukupna *rms* vrednost ubrzanja. Uzeto je u obzir pet različitih vrednosti koeficijenta krutosti i pet različitih vrednosti koeficijenta prigušenja sedišta iz opsega $\pm 50\%$ od njihovih originalnih vrednosti ($c_{sp}=20000$ (N/m), $b_{sp}=220$ (Ns/m)) (tabela 10.1). Za analizu je iskorišćen ADAMS/View-ov napredni alat “DOE - Design Of Experiments”.

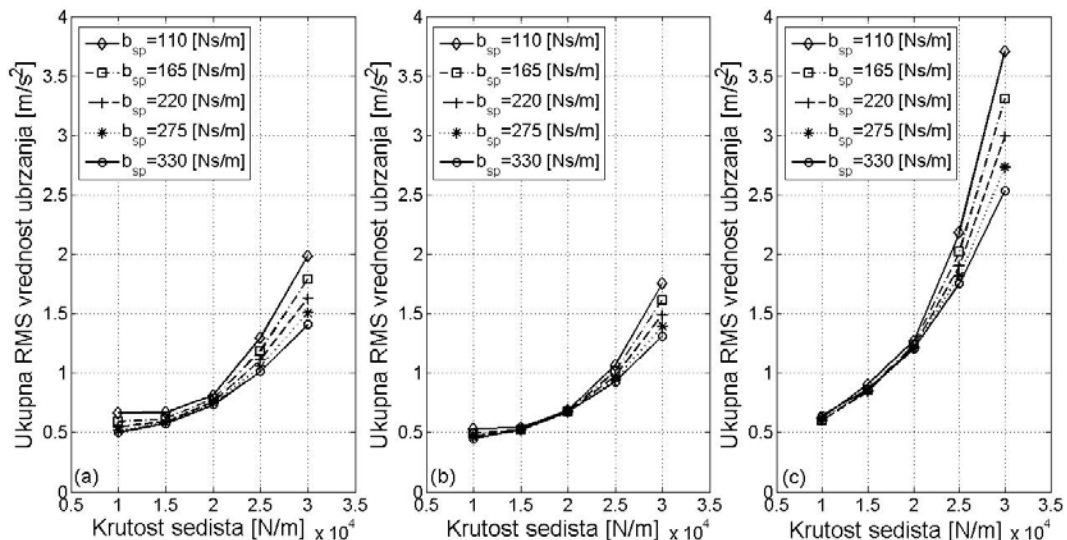
Tabela 10.1. Vrednosti koeficijenta krutosti i koeficijenta prigušenja sedišta u analizi uticaja na *rms* vrednosti ubrzanja korisnika

Koeficijent krutosti i koeficijent prigušenja putničkog sedišta	Opseg vrednosti	Vrednosti oscilatornih parametara u analizi uticaja na <i>rms</i> ubrzanje
Koeficijent krutosti c_{sp} [N/m]	$10000 \leq c_{sp} \leq 35000$	$c_{sp} = 10000, 15000, 20000, 25000, 35000$
Koeficijent prigušenja b_{sp} [Ns/m]	$120 \leq b_{sp} \leq 330$	$b_{sp} = 110, 165, 220, 275, 330$

U analizi su uzeta u obzir sedišta putnika sa najlošijim oscilatornim komforom u prednjem i zadnjem delu autobusa (slika 9.38). Analiza uticaja parametara sedišta na *rms* vrednost ubrzanja sprovedena je za tri karakteristične oscilatorne pobude. U daljem tekstu prikazani su rezultati analiza u vidu dijagrama, a izveštaji analize za svakog razmatranog korisnika dati su u prilogu 3.

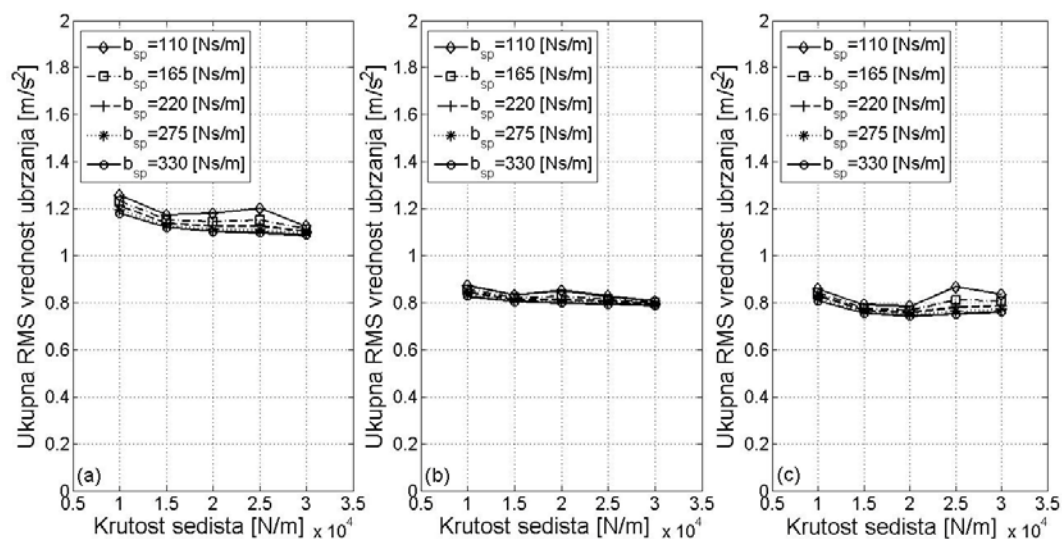
10.1. Poboljšanje oscilatornih parametara sedišta putnika sa ugroženim oscilatornim komforom

Na slici 10.1 prikazna je promena ukupne *rms* vrednosti ubrzanja za suvozača, putnika⁵ i putnika⁴⁹ za pobudu loš asfalt-beton, brzina 80 km/h. Uočava se da *rms* vrednosti ubrzanja rastu sa povećanjem krutosti sedišta za sve razmatrane vrednosti prigušenja. Za sedišta malih krutosti uticaj prigušenja na *rms* ubrzanje korisnika je zanemarljivo. Uticaj prigušenja na *rms* ubrzanje korisnika primetno je za sedišta većih krutosti. Niže vrednosti *rms* ubrzanja postižu sa većim vrednostima prigušenja. Za krutosti 10000 N/m ukupne vrednosti *rms* ubrzanja, za korisnike na sedištima u prednjem i zadnjem delu autobusa, približno su jednake 0.5 m/s^2 .



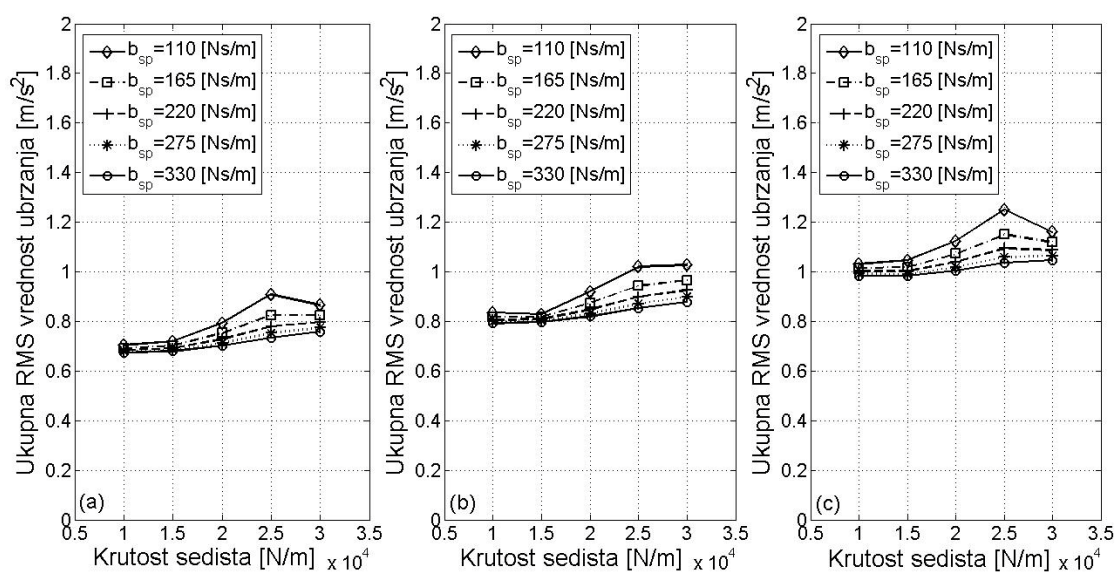
Slika 10.1. Zavisnost rms ubrzanja od krutosti i prigušenja sedišta za a) suvozača, b) putnika5 i c) putnika49, za pobudu loš-asfalt beton i brzinu od 80 km/h

Na slici 10.2 prikazana je promena ukupne rms vrednosti ubrzanja za korisnike čija su sedišta u prednjem delu autobusa (suvozač, putnik1 i putnik12), za pobudu loš asfalt-beton, brzina 72 km/h. Uočava se da krutost sedišta vrlo malo utiče na ukupne rms vrednosti ubrzanja za sve analizirane korisnike. Takođe, uticaj prigušenja na rms ubrzanje je neznatan. Vrednosti rms ubrzanja za putnika1 i putnika12 su približno iste i iznose 0.8 m/s^2 . Na mestu suvozača rms vrednost ubrzanja je veća, i približno je jednaka 1.2 m/s^2 . Promena krutosti i prigušenja sedišta putnika na prednjem delu autobusa neznatno utiče na gušenje vibracija čija su ubrzanja po y-pravcu dominantna.



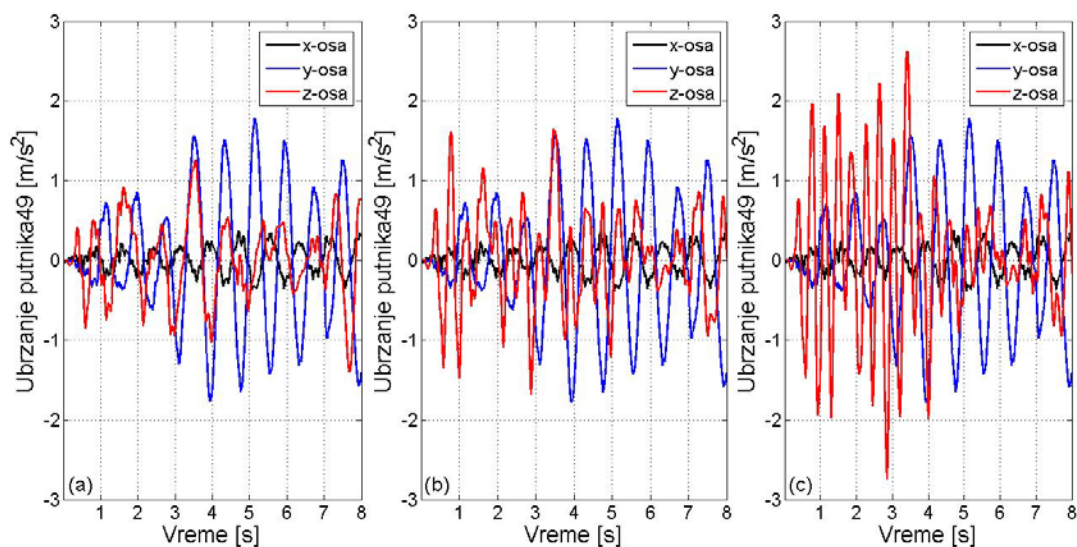
Slika 10.2. Zavisnost rms ubrzanja od krutosti i prigušenja sedišta za a) suvozača, b) putnika1 i c) putnika12, za pobudu loš-asfalt beton i brzinu od 72 km/h

Na slici 10.3 prikazana je promena ukupne *rms* vrednosti ubrzanja za korisnike čija su sedišta u zadnjem delu autobusa (putnik42, putnik48 i putnik49), za pobudu loš asfalt-beton, brzina 72 km/h. Uticaj krutosti na *rms* ubrzanja primetno je za niže vrednosti koeficijenta prigušenja. Sa porastom krutosti sedišta raste i ukupno *rms* ubrzanje. Niže vrednosti *rms* ubrzanja se postižu sa mekšim sedištima. Do promene ukupne *rms* vrednosti ubrzanja dolazi usled uticaja oscilatornih parametara sedišta na ubrzanja koja deluju u vertikalnom pravcu na mestima korisnika.



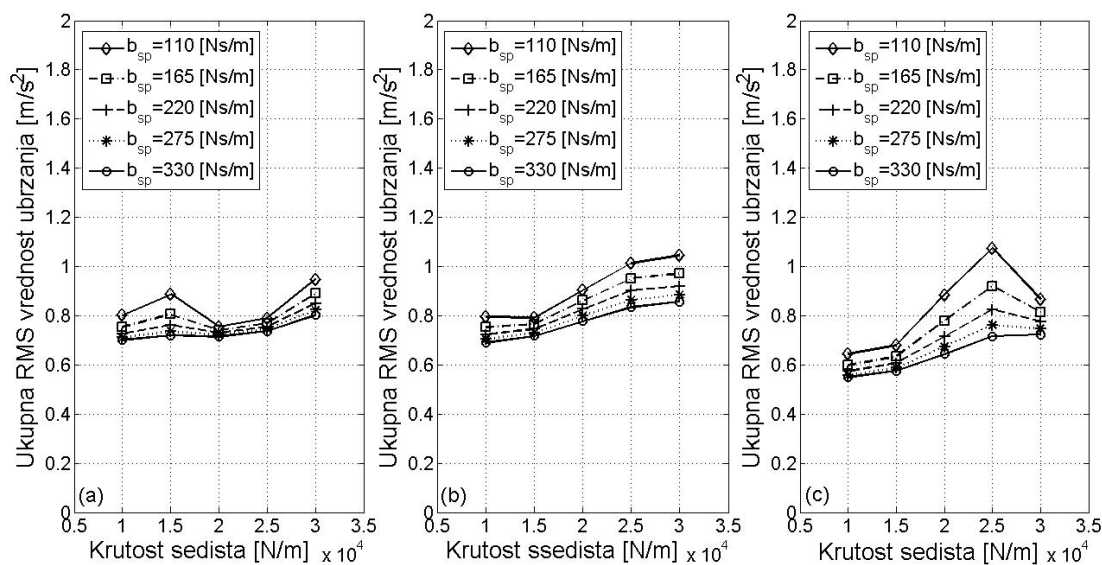
Slika 10.3. Zavisnost *rms* ubrzanja od krutosti i prigušenja sedišta za a) putnika42, b) putnika48 i c) putnika49, za pobudu loš-asfalt beton i brzinu od 72 km/h

Na slici 10.4 prikazana su ubrzanja za pravce *x*, *y* i *z*-osa putnika49 za tri grupe oscilatornih parametara sedišta ($c_{sp}=10000$ (N/m), $b_{sp}=330$ (Ns/m)), ($c_{sp}=20000$ (N/m), $b_{sp}=220$ (Ns/m)) i ($c_{sp}=25000$ (N/m), $b_{sp}=110$ (Ns/m)). Uočava se da promena oscilatornih parametara sedišta ne utiče na ubrzanja po pravcima *x* i *y*-osa. Ubrzanja u pravcu *z*-ose većih su inteziteta za kruća sedišta i manjih inteziteta za mekša sedišta.



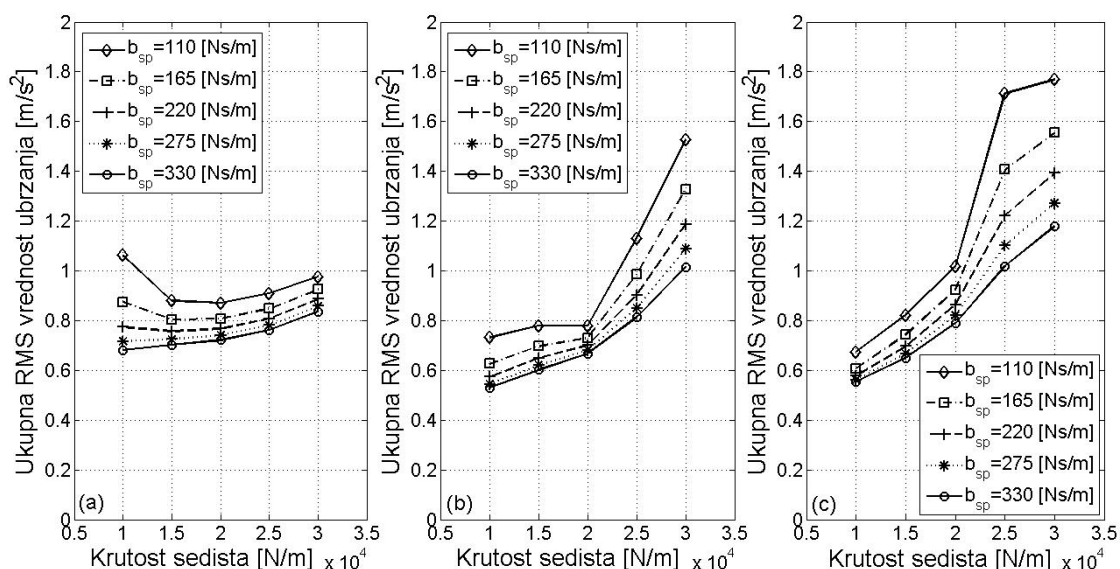
Slika 10.4. Ubrzanje na mestu putnika49 za oscilatorne parametre sedišta
 a) $c_{sp}=10000$ (N/m) i $b_{sp}=330$ (Ns/m), b) $c_{sp}=20000$ (N/m) i $b_{sp}=220$ (Ns/m),
 i c) $c_{sp}=25000$ (N/m) i $b_{sp}=110$ (Ns/m)

Na slici 10.5 prikazana je promena ukupne *rms* vrednosti ubrzanja za korisnike na prednjem delu autobusa (suvozač, putnik1 i putnik8), za pobudu dobar asfalt-beton, brzina 90 km/h. Uticaj krutosti sedišta na promenu *rms* ubrzanja manje je izražen za mesto suvozača u odnosu na putnika1 i putnika8. Najniže vrednosti *rms* ubrzanja, za sve razmatrane korisnike, postižu se sa najmekšim sedištima. Za sedišta krutosti 10000 N/m, *rms* vrednosti ubrzanja na mestu suvozača i putnika1 približno su jednake 0.8 m/s^2 , a na mestu putnika8 približno 0.6 m/s^2 .



Slika 10.5. Zavisnost *rms* ubrzanja od krutosti i prigušenja sedišta za a) suvozača, b) putnika1 i c) putnika8, za pobudu dobar-asfalt beton i brzinu od 90 km/h

Na slici 10.6 prikazana je promena ukupne *rms* vrednosti ubrzanja za korisnike na zadnjem delu autobusa (putnik37, putnik50 i putnik53), za pobudu dobar-asfalt-beton, brzina 90 km/h. Sa povećanjem krutosti sedišta, raste ukupno *rms* ubrzanje za sve razmatrane vrednosti koeficijenta prigušenja. Najniže *rms* vrednosti ubrzanja obezbeđuju najmekša sedišta i sedišta sa najvećim prigušenjem. Za sedišta krutosti 10000 N/m i prigušenja od 330 Ns/m, *rms* vrednost ubrzanja za sve analizirane korisnike približno je jednaka 0.6 m/s².



Slika 10.6. Zavisnost *rms* ubrzanja od krutosti i prigušenja sedišta za a) putnika37, b) putnika50 i c) putnika53, za pobudu dobar-asfalt beton i brzinu od 90 km/h

* * *

Analiza uticaja oscilatornih parametara na *rms* ubrzanja korisnika, za tri različite oscilatorne pobude, pokazala je da:

- najnižu vrednost ukupnog *rms* ubrzanja obezbeđuju sedišta putnika malih krutosti i sa visokim prigušenjem;
- krutost i prigušenje sedišta nemaju uticaj na ubrzanja u horizontalnom pravcu (pravac *x* i *y*-ose) koja korisnici trpe na sedištima;
- krutost i prigušenje imaju vrlo mali uticaj na ukupnu vrednost *rms* ubrzanja za oscilatornu pobudu kod koje su izražene vibracije u pravcu *y*-ose na mestima korisnika;

Prilikom utvrđivanja mogućnosti poboljšanja komfora korisnika autobusa u obzir se uzimaju oscilatorni parametri sedišta koji prema sprovedenoj analizi obezbeđuju najniže vrednosti ukupnog *rms* ubrzanja (krutost $c_{sp}=10000$ (N/m), prigušenje $b_{sp}=330$ (Ns/m)).

10.2. Analiza poboljšanja oscilatornog komfora putnika usled promene oscilatornih parametara sedišta u pojedinim zonama

U ovom odeljku predstavljeni su rezultati simulacije nakon promene oscilatornih parametara sedišta putnika koja se nalaze u oscilatornim zonama sa umanjenim oscilatornim komforom (slika 9.38). Analiza je sprovedena za sve ranije razmatrane oscilatorne pobude autobusa.

10.2.1. Oscilatorna pobuda - loš asfalt-beton, brzina 64 km/h

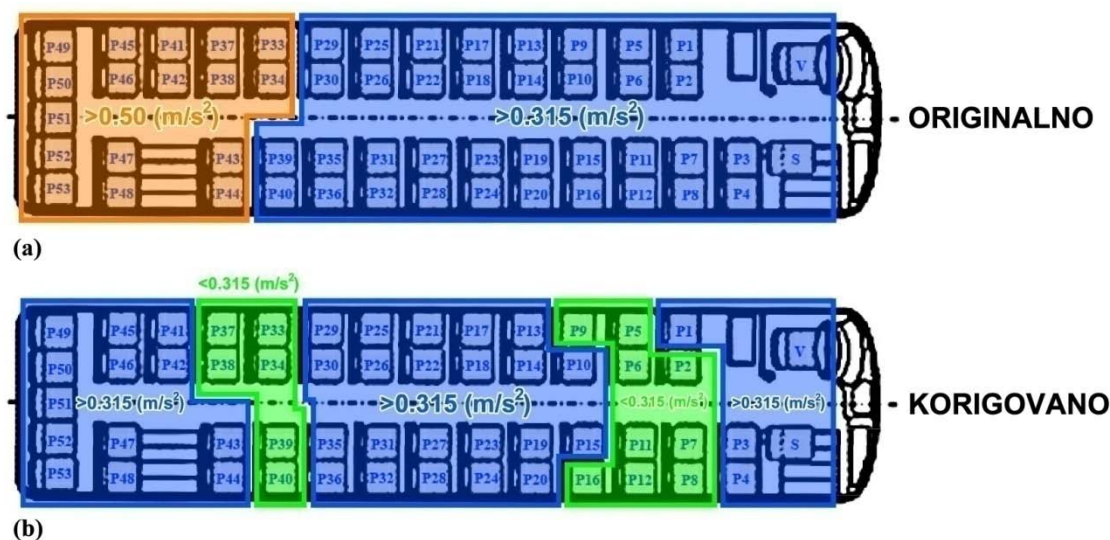
U tabeli 10.2 uporedno su date *rms* vrednosti vrednovanih ubrzanja za pravce x , y i z -osa, i ukupna *rms* vrednost vrednovanog ubrzanja za originalne oscilatorne parametre sedišta ($c_{sp}=20000$ (N/m), $b_{sp}=220$ (Ns/m)) i za oscilatorne parametre sedišta utvrđene analizom ($c_{sp}=10000$ (N/m), $b_{sp}=330$ (Ns/m)) za pobudu loš-asfalt beton, brzina 64 km/h.

Uočava se da svi korisnici na sedištima sa oscilatornim parametrima ($c_{sp}=10000$ (N/m), $b_{sp}=330$ (Ns/m)) imaju osetno manju ukupnu *rms* vrednost vrednovanog ubrzanja, a njihova oscilatorna udobnost se poboljšala. Promenom oscilatornih parametara sedišta, *rms* ubrzanja u horizontalnim pravcima (pravac x i y -osa) su se vrlo malo smanjila. Međutim, *rms* vrednosti ubrzanja za vertikalni pravac su se značajno smanjila.

Tabela 10.2. RMS vrednosti ubrzanja i ocena komfora za sedišta čije su oscilatorne karakteristike promenjene, za loš asfalt-betonski kolovoz, brzina 64 km/h

Oscilatorni parametri sedišta	Korisnik	RMS vrednosti vrednovanih ubrzanja [m/s ²]			Ukupna RMS vrednost ubrzanja [m/s ²]	Ocena komfora (ISO 2631)
		$\ddot{x}_{rms, w}$	$\ddot{y}_{rms, w}$	$\ddot{z}_{rms, w}$		
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	suvozač	0.037	0.144	0.498	0.519	prilično neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	suvozač	0.035	0.139	0.343	0.372	malo neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik1	0.064	0.110	0.434	0.452	malo neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik1	0.061	0.106	0.266	0.293	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik2	0.058	0.110	0.425	0.443	malo neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik2	0.056	0.106	0.266	0.292	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik3	0.053	0.126	0.454	0.474	malo neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik3	0.052	0.122	0.303	0.331	malo neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik4	0.054	0.126	0.456	0.476	malo neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik4	0.054	0.122	0.306	0.334	malo neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik5	0.064	0.096	0.407	0.423	malo neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik5	0.061	0.093	0.239	0.264	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik6	0.058	0.096	0.398	0.414	malo neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik6	0.056	0.093	0.239	0.262	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik7	0.053	0.111	0.422	0.439	malo neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik7	0.052	0.108	0.271	0.296	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik8	0.054	0.111	0.424	0.442	malo neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik8	0.054	0.108	0.274	0.299	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik9	0.064	0.084	0.388	0.402	malo neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik9	0.061	0.081	0.218	0.241	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik11	0.053	0.097	0.396	0.411	malo neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik11	0.052	0.094	0.243	0.266	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik12	0.055	0.097	0.399	0.414	malo neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik12	0.054	0.094	0.246	0.268	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik16	0.055	0.085	0.382	0.395	malo neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik16	0.054	0.082	0.222	0.243	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik33	0.064	0.078	0.458	0.469	malo neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik33	0.062	0.079	0.263	0.282	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik34	0.058	0.078	0.456	0.466	malo neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik34	0.056	0.079	0.259	0.277	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik37	0.064	0.090	0.495	0.507	prilično neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik37	0.062	0.091	0.294	0.314	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik38	0.059	0.090	0.493	0.505	prilično neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik38	0.056	0.091	0.290	0.309	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik39	0.054	0.077	0.457	0.467	malo neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik39	0.052	0.078	0.252	0.269	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik40	0.055	0.077	0.465	0.475	malo neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik40	0.054	0.078	0.251	0.268	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik41	0.064	0.103	0.536	0.549	prilično neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik41	0.062	0.105	0.327	0.349	malo neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik42	0.059	0.103	0.535	0.548	prilično neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik42	0.056	0.105	0.323	0.344	malo neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik43	0.054	0.088	0.495	0.506	prilično neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik43	0.052	0.090	0.281	0.300	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik44	0.055	0.088	0.503	0.514	prilično neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik44	0.054	0.090	0.280	0.299	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik45	0.064	0.116	0.576	0.591	prilično neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik45	0.062	0.118	0.359	0.382	malo neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik46	0.059	0.116	0.575	0.590	prilično neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik46	0.056	0.118	0.355	0.378	malo neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik47	0.054	0.116	0.582	0.596	prilično neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik47	0.053	0.118	0.349	0.372	malo neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik48	0.055	0.116	0.590	0.604	prilično neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik48	0.054	0.118	0.347	0.371	malo neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik49	0.064	0.135	0.637	0.654	prilično neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik49	0.062	0.137	0.407	0.434	malo neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik50	0.059	0.135	0.637	0.654	prilično neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik50	0.056	0.137	0.403	0.429	malo neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik51	0.055	0.135	0.640	0.656	prilično neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik51	0.053	0.137	0.400	0.426	malo neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik52	0.054	0.135	0.645	0.661	prilično neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik52	0.053	0.137	0.397	0.424	malo neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik53	0.055	0.135	0.653	0.669	prilično neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik53	0.055	0.137	0.395	0.422	malo neudobno

Na slici 10.7 uporedno su predstavljene oscilatorne zone u autobusu IK 301 pre i nakon promene oscilatornih parametara sedišta sa umanjnim oscilatornim komforom, za oscilatornu pobudu loš-asfalt beton (brzina 64 km/h).



Slika 10.7. Zone jednakog oscilatornog komfora autobusa IK 301 a) pre i b) nakon promene oscilatornih parametara sedišta sa umanjnim komforom za loš asfalt-betonski kolovoz, brzina 64 km/h

Promenom oscilatornih parametara u autobusu su dobijene dve različite oscilatorne zone sa ocenama oscilatorne udobnosti “komforno“ i “malo neudobno“. Ove ocene oscilatorne udobnosti prihvatljive su za komfor putnika međugradskog autobusa koji se kreće po lošoj podlozi. Oscilatorni komfor suvozača je poboljššan. Iako se ukupna *rms* vrednost ubrzanja za putnika3 i putnika4, nakon promene oscilatornih parametara sedišta smanjila, njihova udobnost prema kriterijumima standarda ISO 2631 nije se promenila. U zadnjem delu autobusa poboljššan je oscilatorni komfor i za korisnike na zadnjim sedištima. Uočava se da najveće poboljšanje komfora imaju korisnici na sedištima P37, P38, P43 i P44. Promenom oscilatornih parametara njihovo *rms* ubrzanje značajno se smanjilo, i ono je niže od 0.315 m/s^2 .

10.2.2. Oscilatorna pobuda - loš asfalt-beton, brzina 80 km/h

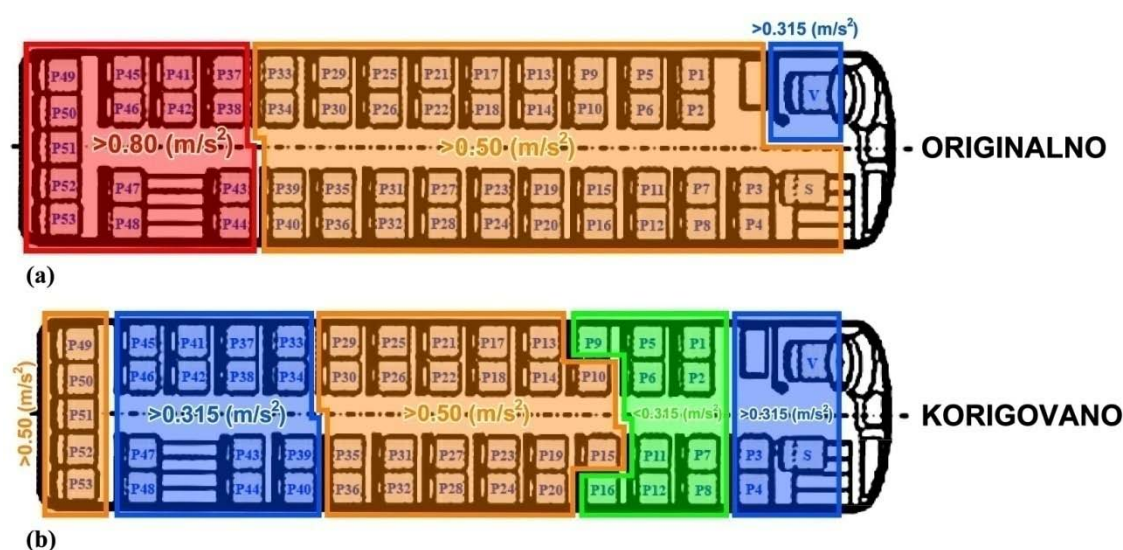
U tabeli 10.3 date su *rms* vrednosti vrednovanih ubrzanja za pravce *x*, *y* i *z*-osa, i ukupna *rms* vrednost vrednovanog ubrzanja za dve grupe oscilatornih parametara sedišta ($c_{sp}=20000 \text{ (N/m)}$, $b_{sp}=220 \text{ (Ns/m)}$) i ($c_{sp}=10000 \text{ (N/m)}$, $b_{sp}=330 \text{ (Ns/m)}$), za pobudu loš-asfalt beton (brzina 80 km/h).

Tabela 10.3. RMS vrednosti ubrzanja i ocena komfora za sedišta čije su oscilatorne karakteristike promenjene, za loš asfalt-betonski kolovoz, brzina 80 km/h

Oscilatorni parametri sedišta	Korisnik	RMS vrednosti vrednovanih ubrzanja [m/s^2]			Ukupna RMS vrednost ubrzanja [m/s^2]	Ocena komfora (ISO 2631)
		$\ddot{x}_{rms,w}$	$\ddot{y}_{rms,w}$	$\ddot{z}_{rms,w}$		
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	suvozač	0.056	0.112	0.583	0.596	prilično neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	suvozač	0.053	0.113	0.312	0.336	malo neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik1	0.083	0.083	0.545	0.557	prilično neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik1	0.080	0.082	0.287	0.309	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik2	0.080	0.083	0.541	0.553	prilično neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik2	0.078	0.082	0.284	0.306	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik3	0.079	0.097	0.552	0.566	prilično neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik3	0.076	0.097	0.292	0.317	malo neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik4	0.080	0.097	0.549	0.564	prilično neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik4	0.077	0.097	0.291	0.316	malo neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik5	0.083	0.070	0.540	0.551	prilično neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik5	0.080	0.069	0.282	0.301	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik6	0.080	0.070	0.536	0.546	prilično neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik6	0.078	0.069	0.279	0.297	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik7	0.079	0.084	0.535	0.548	prilično neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik7	0.076	0.083	0.281	0.303	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik8	0.080	0.084	0.533	0.545	prilično neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik8	0.077	0.083	0.279	0.301	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik9	0.083	0.058	0.547	0.556	prilično neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik9	0.080	0.057	0.282	0.299	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik11	0.079	0.071	0.530	0.540	prilično neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik11	0.076	0.070	0.275	0.294	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik12	0.080	0.071	0.527	0.538	prilično neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik12	0.077	0.070	0.273	0.293	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik16	0.080	0.059	0.533	0.543	prilično neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik16	0.077	0.058	0.274	0.290	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik33	0.083	0.058	0.772	0.778	prilično neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik33	0.080	0.056	0.389	0.401	malo neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik34	0.080	0.058	0.769	0.775	prilično neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik34	0.078	0.056	0.387	0.399	malo neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik37	0.083	0.070	0.829	0.836	neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik37	0.080	0.068	0.418	0.431	malo neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik38	0.080	0.070	0.826	0.833	neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik38	0.078	0.068	0.417	0.429	malo neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik39	0.078	0.057	0.760	0.766	prilično neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik39	0.076	0.055	0.383	0.394	malo neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik40	0.079	0.057	0.758	0.765	prilično neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik40	0.077	0.055	0.382	0.394	malo neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik41	0.082	0.083	0.889	0.897	neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik41	0.080	0.081	0.449	0.464	malo neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik42	0.080	0.083	0.887	0.894	neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik42	0.078	0.081	0.448	0.462	malo neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik43	0.078	0.069	0.817	0.824	neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik43	0.076	0.067	0.412	0.424	malo neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik44	0.079	0.069	0.816	0.823	neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik44	0.077	0.067	0.412	0.424	malo neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik45	0.082	0.095	0.945	0.954	neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik45	0.080	0.093	0.479	0.494	malo neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik46	0.080	0.095	0.943	0.952	neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik46	0.078	0.093	0.478	0.493	malo neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik47	0.078	0.095	0.941	0.949	neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik47	0.076	0.093	0.476	0.491	malo neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik48	0.079	0.095	0.940	0.948	neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik48	0.077	0.093	0.476	0.491	malo neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik49	0.082	0.112	1.030	1.039	neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik49	0.080	0.111	0.523	0.540	prilično neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik50	0.080	0.112	1.028	1.037	neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik50	0.078	0.111	0.522	0.539	prilično neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik51	0.078	0.112	1.027	1.036	neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik51	0.076	0.111	0.521	0.538	prilično neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik52	0.078	0.112	1.026	1.035	neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik52	0.076	0.111	0.521	0.538	prilično neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik53	0.079	0.112	1.025	1.034	neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik53	0.077	0.111	0.521	0.538	prilično neudobno

Uočava se da se sa promenom oscilatornih parametara smanjila ukupna *rms* vrednost vrednovanog ubrzanja za sve korisnike. Za korisnike na zadnjem prepustu autobusa ukupne *rms* vrednosti su se smanjile za čak približno 50%. Na primer, za putnika 49 ukupno *rms* ubrzanja za orginalne oscilatorne parametre sedišta je 1.039 m/s^2 . Za sedište krutosti 10000 N/m i sa prigušenjem od 330 Ns/m , ukupno *rms* vrednost ubrzanja je značajno manja i iznosi 0.540 m/s^2 .

Na slici 10.8 uporedno su prikazan oscilatorne zone autobusa IK 301 pre i nakon promene oscilatornih parametara sedišta sa ugroženim oscilatornim komforom, za oscilatornu pobudu loš-asfalt beton (brzina 80 km/h).



Slika 10.8. Zone jednakog oscilatornog komfora autobusa IK 301 a) pre i b) nakon promene oscilatornih parametara sedišta sa umanjnim komforom za loš asfalt-betonski kolovoz, brzina 80 km/h

Nakon promene oscilatornih parametara sedišta u autobusu, prema tabeli 10.4, postoje tri različite oscilatorne zone sa ocenama udobnosti - “komforno“, “malo neudobno“ i “neudobno“. Najviši komfor imaju putnici na sedištima u blizini prednje osovine autobusa (ukupne *rms* vrednosti ubrzanja za te korisnike je ispod 0.315 m/s^2). Oscilatorni komfor putnika na sedištima u sredini autobusa je nepromenjen, ali treba imati u vidu da su na tim sedištima ukupne *rms* vrednosti ubrzanja malo iznad 0.5 m/s^2 (tabela 9.3). Na sedištima na zadnjem prepustu autobusa komfor putnika je poboljššan za dve ocene, od “neudobno“ do “malo neudobno“. Za putnike na sedištima u zadnjem redu autobusa komfor je poboljššan za jednu oscenu, od “neudobno“ do “prilično

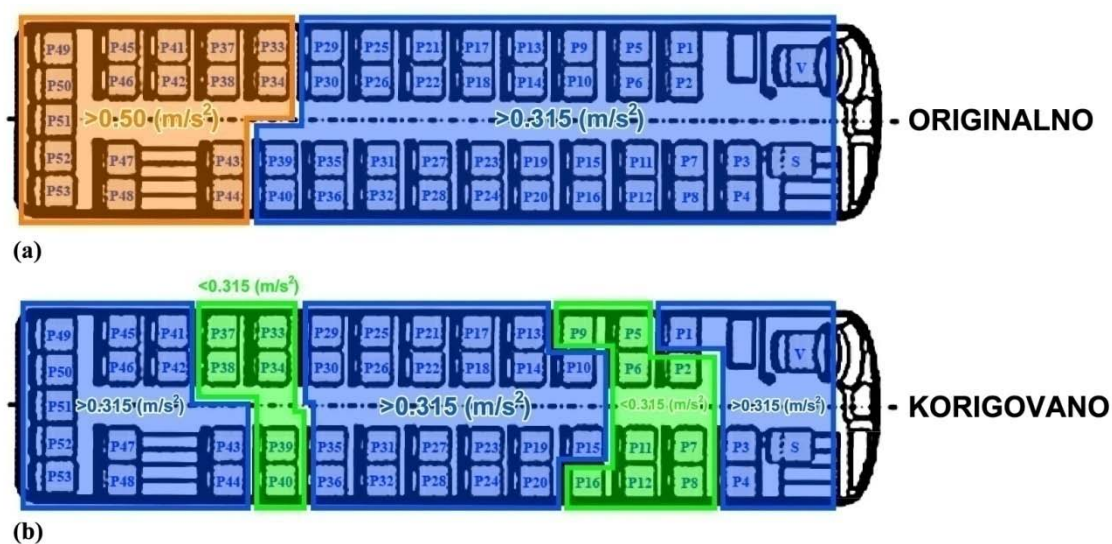
neudobno“. Promenom oscilatornih parametara sedišta nije se postiglo izjednačenje oscilatorne udobnosti svih korisnika, ali je komfor značajno poboljšán, što je važno ako se uzme u obzir oscilatorna pobuda - loš asfalt-beton i brzina autobusa od 80 km/h.

10.2.3. Oscilatorna pobuda - dobar asfalt-beton, brzina 80 km/h

U tabeli 10.4 date su *rms* vrednosti vrednovanih ubrzanja za pravce *x*, *y* i *z*-osa, i ukupna *rms* vrednost vrednovanog ubrzanja za dve grupe oscilatornih parametara sedišta ($c_{sp}=20000$ (N/m), $b_{sp}=220$ (Ns/m)) i ($c_{sp}=10000$ (N/m), $b_{sp}=330$ (Ns/m)), za pobudu dobar asfalt-beton, brzina 80 km/h.

Ukupna *rms* vrednost vrednovanog ubrzanja, za korisnike čiji su oscilatorni parametri sedišta promenjeni, se smanjila. Oscilatorna udobnost korisnika na prednjem prepustu na mestima S, P1, P3 i P4 se nije promenila, ali je njihova ukupna *rms* vrednost ubrzanja sada dosta niža od 0.5 m/s^2 .

Na slici 10.9(a) prikazane su zone jednakog oscilatornog komfora za autobusa IK 301 pre promene oscilatornih parametara sedišta. Na slici 10.9(b) prikazane su oscilatorne zone nakon promene oscilatornih parametara sedišta, za oscilatornu pobudu dobar-asfalt beton (brzina 80 km/h).



Slika 10.9. Zone jednakog oscilatornog komfora autobusa IK 301 a) pre i b) nakon promene oscilatornih parametara sedišta sa umanjenim komforom za dobar asfalt-betonski kolovoz, brzina 80 km/h

Tabela 10.4. RMS vrednosti ubrzanja i ocena komfora za sedišta čije su oscilatorne karakteristike promenjene, za dobar asfalt-betonski kolovoz, brzina 80 km/h

Oscilatorni parametri sedišta	Korisnik	RMS vrednosti vrednovanih ubrzanja [m/s ²]			Ukupna RMS vrednost ubrzanja [m/s ²]	Ocena komfora (ISO 2631)
		$\ddot{x}_{rms,w}$	$\ddot{y}_{rms,w}$	$\ddot{z}_{rms,w}$		
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	suvozač	0.041	0.152	0.472	0.498	malo neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	suvozač	0.039	0.153	0.344	0.379	malo neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik1	0.070	0.112	0.439	0.459	malo neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik1	0.066	0.112	0.292	0.319	malo neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik2	0.064	0.112	0.415	0.435	malo neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik2	0.060	0.112	0.287	0.314	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik3	0.059	0.131	0.424	0.448	malo neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik3	0.056	0.131	0.310	0.341	malo neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik4	0.061	0.131	0.415	0.440	malo neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik4	0.058	0.131	0.308	0.340	malo neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik5	0.070	0.096	0.410	0.427	malo neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik5	0.066	0.095	0.268	0.292	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik6	0.064	0.096	0.387	0.404	malo neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik6	0.060	0.095	0.264	0.287	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik7	0.059	0.114	0.389	0.410	malo neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik7	0.056	0.114	0.283	0.310	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik8	0.061	0.114	0.382	0.404	malo neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik8	0.058	0.114	0.282	0.309	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik9	0.070	0.080	0.390	0.404	malo neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik9	0.066	0.079	0.249	0.270	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik11	0.059	0.097	0.363	0.380	malo neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik11	0.056	0.097	0.260	0.283	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik12	0.061	0.097	0.358	0.376	malo neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik12	0.058	0.097	0.259	0.282	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik16	0.061	0.081	0.345	0.360	malo neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik16	0.058	0.081	0.240	0.260	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik33	0.070	0.066	0.484	0.493	malo neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik33	0.066	0.065	0.266	0.281	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik34	0.064	0.066	0.479	0.488	malo neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik34	0.060	0.065	0.264	0.279	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik37	0.070	0.081	0.527	0.537	prilično neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik37	0.066	0.080	0.288	0.306	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik38	0.064	0.081	0.524	0.534	prilično neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik38	0.060	0.080	0.287	0.304	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik39	0.059	0.065	0.480	0.488	malo neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik39	0.056	0.064	0.263	0.276	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik40	0.061	0.065	0.491	0.499	malo neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik40	0.058	0.064	0.265	0.279	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik41	0.070	0.097	0.574	0.586	prilično neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik41	0.066	0.096	0.315	0.336	malo neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik42	0.064	0.097	0.573	0.585	prilično neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik42	0.060	0.096	0.314	0.334	malo neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik43	0.059	0.079	0.528	0.537	prilično neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik43	0.056	0.079	0.286	0.302	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik44	0.061	0.079	0.540	0.549	prilično neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik44	0.058	0.079	0.289	0.305	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik45	0.070	0.112	0.619	0.633	prilično neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik45	0.066	0.111	0.341	0.365	malo neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik46	0.064	0.112	0.620	0.633	prilično neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik46	0.060	0.111	0.341	0.363	malo neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik47	0.059	0.112	0.633	0.646	prilično neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik47	0.056	0.111	0.343	0.365	malo neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik48	0.061	0.112	0.646	0.658	prilično neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik48	0.058	0.111	0.346	0.368	malo neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik49	0.070	0.135	0.688	0.705	prilično neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik49	0.066	0.134	0.381	0.409	malo neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik50	0.064	0.135	0.691	0.707	prilično neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik50	0.060	0.134	0.382	0.409	malo neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik51	0.061	0.135	0.697	0.712	prilično neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik51	0.057	0.134	0.383	0.410	malo neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik52	0.059	0.135	0.706	0.721	prilično neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik52	0.056	0.134	0.385	0.411	malo neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik53	0.061	0.135	0.719	0.734	prilično neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik53	0.058	0.134	0.388	0.414	malo neudobno

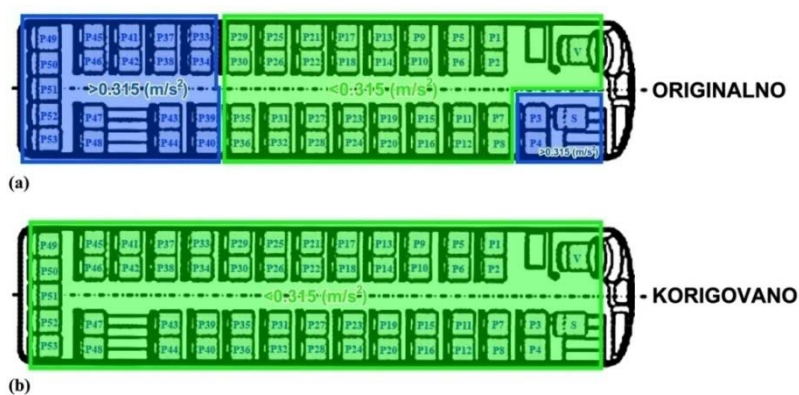
Nakon promene oscilatornih parametara sedišta u autobusu IK 301, uočavaju se dve oscilatorne zone sa ocenama oscilatorne udobnosti “komforno“ i “malo neudobno“ (slika 10.9). Oscilatorni komfor putnika na sedištima na zadnjem prepustu se poboljšao, od “prilično neudobno“ do “malo neudobno“. Ukupna *rms* vrednost ubrzanja za putnike na sedištima iznad prednje i zadnje osovine autobusa manja je od 0.315 m/s^2 . Komfor putnika na sedištima P33, P34, P37 i P38 značajno je poboljšan (od ocene “prilično neudobno“ do ocene “komforno“). Oscilatorna udobnost, za pobudu dobar asfalt-beton i brzinu autobusa od 80 km/h , svih korisnika međugradskog autobusa je sa promenama oscilatornih parametara sedišta skoro ujednačena.

10.2.4. Oscilatorna pobuda - vrlo dobar cement-beton, brzina 80 km/h

U tabeli 10.5 date su *rms* vrednosti vrednovanih ubrzanja za pravce *x*, *y* i *z*-osa, i ukupna *rms* vrednost vrednovanog ubrzanja za originalne oscilatorne parametre sedišta ($c_{sp}=20000 \text{ (N/m)}$, $b_{sp}=220 \text{ (Ns/m)}$) i za predložene oscilatorne parametre sedišta ($c_{sp}=10000 \text{ (N/m)}$, $b_{sp}=330 \text{ (Ns/m)}$), za pobudu vrlo dobar cement-beton (brzina 80 km/h).

Ukupna *rms* vrednost vrednovanog ubrzanja, za korisnike čiji su oscilatorni parametri sedišta promenjeni, se smanjila i ispod je 0.315 m/s^2 . Prema kriterijumu standarda ISO 2631 vibracije, nakon promene oscilatornih parametara sedišta, nemaju uticaj na komfor korisnika.

Na slici 10.10 upredno su prikazane oscilatorne zone autobusa IK 301 pre i nakon promene oscilatornih parametara sedišta, za oscilatornu pobudu vrlo dobar cement-beton (brzina 80 km/h).



Slika 10.10. Zone jednakog oscilatornog komfora autobusa IK 301 a) pre i b) nakon promene oscilatornih parametara sedišta sa umanjnim komforom za vrlo dobar cement-betonski kolovoz, brzina 80 km/h

Tabela 10.5. RMS vrednosti ubrzanja i ocena komfora za sedišta čije su oscilatorne karakteristike promenjene, za vrlo dobar cement betonski kolovoz, brzina 80 km/h

Oscilatorni parametri sedišta	Korisnik	RMS vrednosti vrednovanih ubrzanja [m/s^2]			Ukupna RMS vrednost ubrzanja [m/s^2]	Ocena komfora (ISO 2631)
		$\ddot{x}_{rms, w}$	$\ddot{y}_{rms, w}$	$\ddot{z}_{rms, w}$		
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	suvozač	0.023	0.065	0.347	0.354	malo neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	suvozač	0.022	0.066	0.230	0.241	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik1	0.036	0.050	0.280	0.286	komforno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik1	0.035	0.050	0.185	0.195	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik2	0.034	0.050	0.277	0.283	komforno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik2	0.033	0.050	0.185	0.194	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik3	0.033	0.057	0.308	0.315	malo neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik3	0.032	0.058	0.206	0.217	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik4	0.033	0.057	0.310	0.317	malo neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik4	0.032	0.058	0.207	0.217	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik5	0.036	0.043	0.256	0.262	komforno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik5	0.035	0.044	0.168	0.177	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik6	0.034	0.043	0.253	0.259	komforno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik6	0.033	0.044	0.167	0.176	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik7	0.033	0.050	0.279	0.285	komforno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik7	0.032	0.051	0.187	0.196	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik8	0.033	0.050	0.281	0.288	komforno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik8	0.032	0.051	0.187	0.197	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik9	0.036	0.037	0.240	0.246	komforno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik9	0.035	0.037	0.153	0.161	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik11	0.033	0.044	0.255	0.261	komforno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik11	0.032	0.044	0.169	0.178	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik12	0.033	0.044	0.258	0.264	komforno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik12	0.032	0.044	0.170	0.178	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik16	0.033	0.038	0.242	0.247	komforno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik16	0.032	0.038	0.154	0.162	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik33	0.036	0.030	0.325	0.328	malo neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik33	0.035	0.027	0.150	0.156	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik34	0.034	0.030	0.324	0.327	malo neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik34	0.033	0.027	0.149	0.155	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik37	0.036	0.034	0.360	0.363	malo neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik37	0.035	0.032	0.164	0.171	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik38	0.034	0.034	0.359	0.362	malo neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik38	0.033	0.032	0.163	0.170	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik39	0.033	0.029	0.323	0.326	malo neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik39	0.032	0.026	0.148	0.153	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik40	0.033	0.029	0.327	0.330	malo neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik40	0.032	0.026	0.148	0.154	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik41	0.036	0.040	0.397	0.401	malo neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik41	0.035	0.037	0.181	0.188	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik42	0.034	0.040	0.397	0.401	malo neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik42	0.033	0.037	0.181	0.187	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik43	0.033	0.034	0.358	0.361	malo neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik43	0.032	0.031	0.162	0.168	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik44	0.033	0.034	0.362	0.365	malo neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik44	0.032	0.031	0.163	0.169	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik45	0.036	0.046	0.433	0.437	malo neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik45	0.035	0.043	0.198	0.206	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik46	0.034	0.046	0.433	0.437	malo neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik46	0.033	0.043	0.197	0.205	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik47	0.033	0.046	0.435	0.439	malo neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik47	0.032	0.043	0.198	0.205	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik48	0.033	0.046	0.439	0.442	malo neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik48	0.032	0.043	0.198	0.205	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik49	0.036	0.054	0.487	0.491	malo neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik49	0.035	0.051	0.224	0.233	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik50	0.034	0.054	0.487	0.491	malo neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik50	0.033	0.051	0.224	0.232	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik51	0.033	0.054	0.487	0.492	malo neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik51	0.032	0.051	0.224	0.232	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik52	0.033	0.054	0.489	0.493	malo neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik52	0.032	0.051	0.224	0.232	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik53	0.033	0.054	0.492	0.496	malo neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik53	0.032	0.051	0.224	0.233	komforno

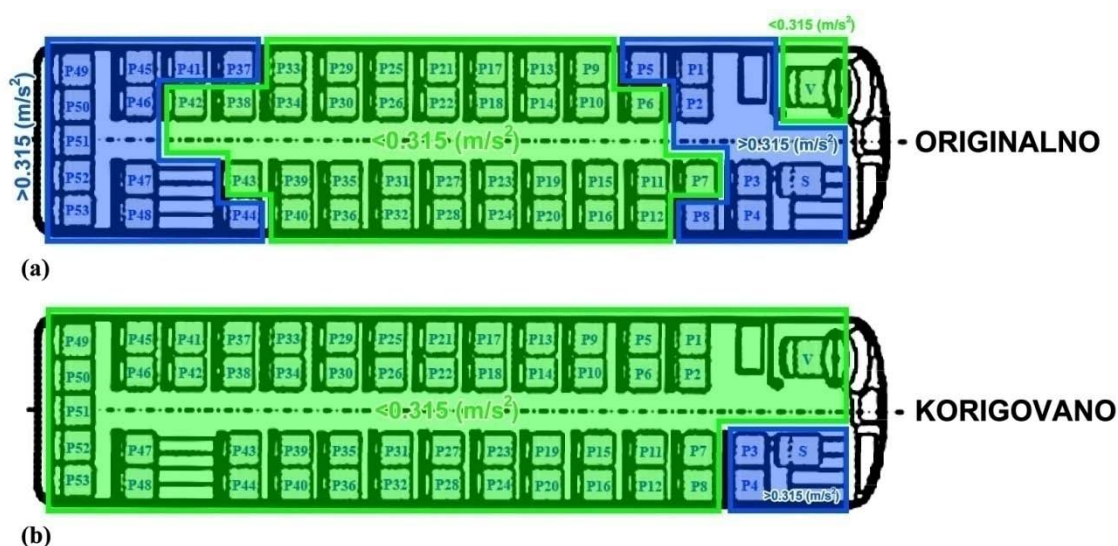
Za oscilatornu pobudu vrlo dobar cement-beton, sa promenom oscilatornih parametara sedišta, u autobusu postoji samo jedna oscilatorna zona sa ocenom oscilatorne udobnosti “komforno“ (slika 10.10). Oscilatorni komfor svih korisnika u autobusu je ujednačen.

10.2.5. Oscilatorna pobuda - vrlo dobar asfalt-beton, brzina 90 km/h

U tabeli 10.6 date su *rms* vrednosti vrednovanih ubrzanja za pravce *x*, *y* i *z*-osa, i ukupna *rms* vrednost vrednovanog ubrzanja za orginalne oscilatorne parametre sedišta ($c_{sp}=20000$ (N/m), $b_{sp}=220$ (Ns/m)) i za predložene oscilatorne parametre sedišta ($c_{sp}=10000$ (N/m), $b_{sp}=330$ (Ns/m)), za pobudu vrlo dobar asfalt-beton, brzina 90 km/h.

Ukupna *rms* vrednost vrednovanog ubrzanja, za korisnike čiji su oscilatorni parametri sedišta promenjeni, se smanjila. Za korisnike na sedištima S, P3 i P4 na prednjem prepustu autobusa oscilatorna udobnost se nije promenila, ali se ukupna *rms* vrednost ubrzanja približila vrednosti od 0.315 m/s^2 (naročito za putnika na mestu P3).

Na slici 10.11 uporedno su prikazane zone jednakog oscilatornog komfora autobusa IK 301 za orginalne i predložene oscilatorne parametre sedišta, za oscilatornu pobudu vrlo dobar asfalt-beton (brzina 90 km/h). Nakon promene oscilatornih parametara sedišta, u autobusu IK 301 postoje dve različite oscilatorne zone sa ocenama “komforno“ i “malo neudobno“.



Slika 10.11. Zone jednakog oscilatornog komfora autobusa IK 301 a) pre i b) nakon promene oscilatornih parametara sedišta sa umanjnim komforom za vrlo dobar asfalt-betonski kolovoz, brzina 90 km/h

Tabela 10.6. RMS vrednosti ubrzanja i ocena komfora za sedišta čije su oscilatorne karakteristike promenjene, za vrlo dobar asfalt-betonski kolovoz, brzina 90 km/h

Oscilatorni parametri sedišta	Korisnik	RMS vrednosti vrednovanih ubrzanja [m/s ²]			Ukupna RMS vrednost ubrzanja [m/s ²]	Ocena komfora (ISO 2631)
		$\ddot{x}_{rms,w}$	$\ddot{y}_{rms,w}$	$\ddot{z}_{rms,w}$		
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_p=220$ (Ns/m)	suvozač	0.024	0.279	0.260	0.382	malo neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_p=330$ (Ns/m)	suvozač	0.024	0.295	0.200	0.357	malo neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_p=220$ (Ns/m)	putnik1	0.042	0.221	0.290	0.367	malo neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_p=330$ (Ns/m)	putnik1	0.044	0.234	0.172	0.294	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_p=220$ (Ns/m)	putnik2	0.027	0.221	0.223	0.316	malo neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_p=330$ (Ns/m)	putnik2	0.029	0.234	0.155	0.282	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_p=220$ (Ns/m)	putnik3	0.030	0.249	0.223	0.335	malo neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_p=330$ (Ns/m)	putnik3	0.030	0.261	0.175	0.316	malo neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_p=220$ (Ns/m)	putnik4	0.045	0.249	0.261	0.363	malo neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_p=330$ (Ns/m)	putnik4	0.045	0.261	0.188	0.325	malo neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_p=220$ (Ns/m)	putnik5	0.042	0.198	0.270	0.337	malo neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_p=330$ (Ns/m)	putnik5	0.044	0.211	0.155	0.265	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_p=220$ (Ns/m)	putnik6	0.027	0.198	0.198	0.282	komforno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_p=330$ (Ns/m)	putnik6	0.029	0.210	0.136	0.252	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_p=220$ (Ns/m)	putnik7	0.030	0.224	0.193	0.297	komforno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_p=330$ (Ns/m)	putnik7	0.030	0.236	0.154	0.284	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_p=220$ (Ns/m)	putnik8	0.045	0.224	0.237	0.329	malo neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_p=330$ (Ns/m)	putnik8	0.045	0.236	0.168	0.294	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_p=220$ (Ns/m)	putnik9	0.042	0.176	0.254	0.312	komforno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_p=330$ (Ns/m)	putnik9	0.044	0.188	0.141	0.239	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_p=220$ (Ns/m)	putnik11	0.030	0.200	0.166	0.262	komforno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_p=330$ (Ns/m)	putnik11	0.030	0.213	0.134	0.253	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_p=220$ (Ns/m)	putnik12	0.045	0.200	0.218	0.299	komforno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_p=330$ (Ns/m)	putnik12	0.045	0.213	0.150	0.264	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_p=220$ (Ns/m)	putnik16	0.045	0.178	0.203	0.274	komforno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_p=330$ (Ns/m)	putnik16	0.045	0.190	0.133	0.237	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_p=220$ (Ns/m)	putnik33	0.042	0.122	0.275	0.304	komforno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_p=330$ (Ns/m)	putnik33	0.044	0.126	0.135	0.190	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_p=220$ (Ns/m)	putnik34	0.027	0.122	0.216	0.250	komforno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_p=330$ (Ns/m)	putnik34	0.029	0.126	0.109	0.169	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_p=220$ (Ns/m)	putnik37	0.042	0.134	0.296	0.327	malo neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_p=330$ (Ns/m)	putnik37	0.044	0.135	0.148	0.205	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_p=220$ (Ns/m)	putnik38	0.027	0.133	0.244	0.279	komforno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_p=330$ (Ns/m)	putnik38	0.029	0.135	0.124	0.185	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_p=220$ (Ns/m)	putnik39	0.030	0.121	0.204	0.239	komforno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_p=330$ (Ns/m)	putnik39	0.030	0.125	0.096	0.161	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_p=220$ (Ns/m)	putnik40	0.045	0.120	0.257	0.287	komforno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_p=330$ (Ns/m)	putnik40	0.045	0.125	0.114	0.175	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_p=220$ (Ns/m)	putnik41	0.042	0.150	0.320	0.355	malo neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_p=330$ (Ns/m)	putnik41	0.044	0.149	0.163	0.225	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_p=220$ (Ns/m)	putnik42	0.027	0.149	0.273	0.313	komforno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_p=330$ (Ns/m)	putnik42	0.029	0.149	0.141	0.207	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_p=220$ (Ns/m)	putnik43	0.030	0.132	0.235	0.271	komforno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_p=330$ (Ns/m)	putnik43	0.030	0.134	0.112	0.177	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_p=220$ (Ns/m)	putnik44	0.045	0.131	0.283	0.315	malo neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_p=330$ (Ns/m)	putnik44	0.045	0.133	0.127	0.190	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_p=220$ (Ns/m)	putnik45	0.042	0.167	0.343	0.384	malo neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_p=330$ (Ns/m)	putnik45	0.044	0.164	0.178	0.246	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_p=220$ (Ns/m)	putnik46	0.027	0.167	0.302	0.346	malo neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_p=330$ (Ns/m)	putnik46	0.029	0.164	0.158	0.230	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_p=220$ (Ns/m)	putnik47	0.030	0.166	0.301	0.345	malo neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_p=330$ (Ns/m)	putnik47	0.030	0.164	0.149	0.224	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_p=220$ (Ns/m)	putnik48	0.046	0.166	0.342	0.383	malo neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_p=330$ (Ns/m)	putnik48	0.045	0.164	0.160	0.234	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_p=220$ (Ns/m)	putnik49	0.042	0.195	0.381	0.430	malo neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_p=330$ (Ns/m)	putnik49	0.044	0.191	0.202	0.281	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_p=220$ (Ns/m)	putnik50	0.028	0.195	0.345	0.397	malo neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_p=330$ (Ns/m)	putnik50	0.029	0.190	0.185	0.267	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_p=220$ (Ns/m)	putnik51	0.022	0.195	0.334	0.387	malo neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_p=330$ (Ns/m)	putnik51	0.024	0.190	0.176	0.261	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_p=220$ (Ns/m)	putnik52	0.030	0.195	0.347	0.399	malo neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_p=330$ (Ns/m)	putnik52	0.030	0.190	0.176	0.261	komforno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_p=220$ (Ns/m)	putnik53	0.046	0.194	0.384	0.433	malo neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_p=330$ (Ns/m)	putnik53	0.045	0.190	0.185	0.270	komforno

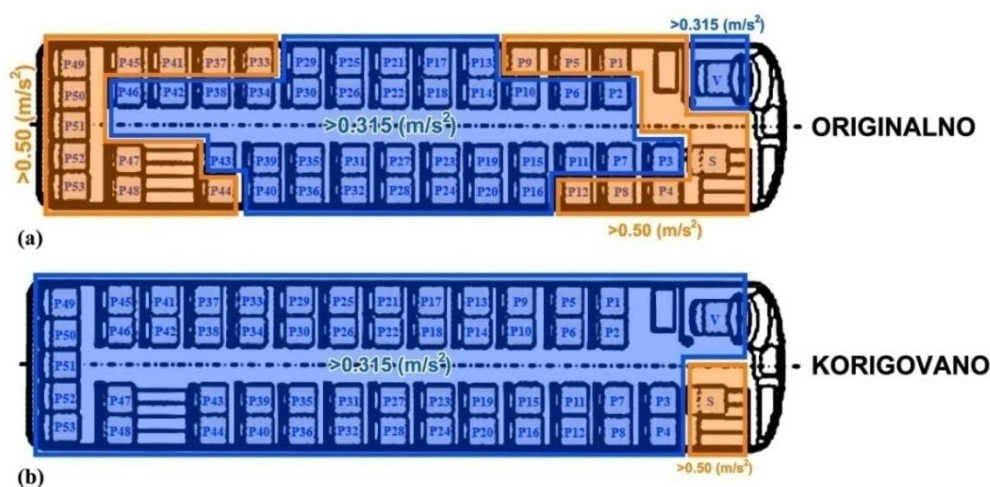
Komfor se za sve putnike na zadnjem prepustu autobusa poboljšao, a *rms* vrednosti ubrzanja su ispod 0.315 m/s^2 (tabela 10.6). Takođe se poboljšao komfor i za putnike na sedištima iznad prednje osovine autobusa. Oscilatorna udobnost svih korisnika se praktično, za predložene oscilatorne parametre sedišta, ujednačila (slika 10.11).

10.2.6. Oscilatorna pobuda - dobar asfalt-beton, brzina 90 km/h

U tabeli 10.7 date su *rms* vrednosti vrednovanih ubrzanja za pravce *x*, *y* i *z*-osa, i ukupna *rms* vrednost vrednovanog ubrzanja za dve grupe oscilatornih parametara sedišta ($c_{sp}=20000 \text{ (N/m)}$, $b_{sp}=220 \text{ (Ns/m)}$) i ($c_{sp}=10000 \text{ (N/m)}$, $b_{sp}=330 \text{ (Ns/m)}$), za pobudu dobar asfalt-beton (brzina 90 km/h).

Ukupna *rms* vrednost vrednovanog ubrzanja, za korisnike čiji su oscilatorni parametri sedišta promenjeni, se smanjila. Promena oscilatornih parametara uticala je na vrlo malo povećanje *rms* vrednosti za ubrzanja u pravcu *y*-ose na mestima korisnika. Na mestu suvozača autobusa, *rms* vrednost je, i nakon promene parametara, još uvek iznad 0.5 m/s^2 i iznosi 0.528 m/s^2 . Na svim mestima u zadnjem redu na zadnjem prepustu autobusa *rms* vrednost se prilično smanjila. Na primer, za putnika na mestu P53, pre promene oscilatornih parametara njegovog sedišta, ukupna *rms* vrednost ubrzanja bila je približno 0.65 m/s^2 . Nakon promene parametara, bliska je 0.45 m/s^2 .

Na slici 10.12 uporedno su prikazane oscilatorne zone autobusa IK 301 pre i nakon promene oscilatornih parametara sedišta, za oscilatornu pobudu dobar asfalt-beton (brzina 90 km/h).



Slika 10.12. Zone jednakog oscilatornog komfora autobusa IK 301 a) pre i b) nakon promene oscilatornih parametara sedišta sa umanjenim komforom za dobar asfalt-betonski kolovoz, brzina 90 km/h

Tabela 10.7. RMS vrednosti ubrzanja i ocena komfora za sedišta čije su oscilatorne karakteristike promenjene, za dobar asfalt-betonski kolovoz, brzina 90 km/h

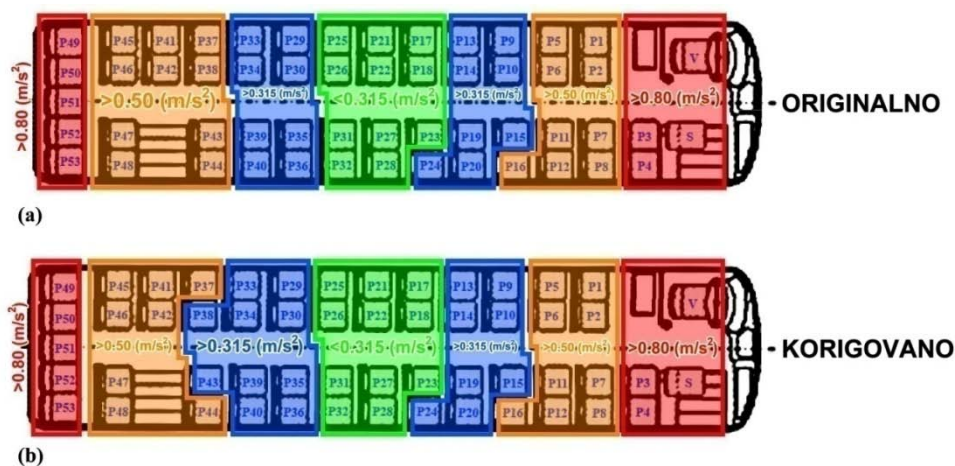
Oscilatorni parametri sedišta	Korisnik	RMS vrednosti vrednovanih ubrzanja [m/s ²]			Ukupna RMS vrednost ubrzanja [m/s ²]	Ocena komfora (ISO 2631)
		$\ddot{x}_{rms,w}$	$\ddot{y}_{rms,w}$	$\ddot{z}_{rms,w}$		
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	suvozač	0.036	0.431	0.313	0.534	prilično neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	suvozač	0.035	0.471	0.236	0.528	prilično neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik1	0.066	0.362	0.445	0.578	prilično neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik1	0.066	0.393	0.275	0.484	malo neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik2	0.045	0.362	0.312	0.481	malo neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik2	0.044	0.393	0.222	0.454	malo neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik3	0.045	0.398	0.284	0.491	malo neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik3	0.044	0.429	0.212	0.480	malo neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik4	0.067	0.399	0.385	0.558	prilično neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik4	0.065	0.429	0.239	0.495	malo neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik5	0.066	0.332	0.430	0.548	prilično neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik5	0.066	0.363	0.262	0.452	malo neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik6	0.045	0.333	0.294	0.446	malo neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik6	0.044	0.363	0.206	0.420	malo neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik7	0.045	0.366	0.264	0.454	malo neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik7	0.044	0.397	0.193	0.444	malo neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik8	0.067	0.366	0.372	0.527	prilično neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik8	0.065	0.397	0.223	0.460	malo neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik9	0.066	0.305	0.419	0.523	prilično neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik9	0.066	0.336	0.250	0.424	malo neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik11	0.045	0.336	0.248	0.420	malo neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik11	0.044	0.367	0.176	0.409	malo neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik12	0.067	0.336	0.364	0.500	prilično neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik12	0.065	0.367	0.209	0.428	malo neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik16	0.067	0.309	0.360	0.479	malo neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik16	0.065	0.340	0.198	0.399	malo neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik33	0.066	0.249	0.432	0.503	prilično neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik33	0.066	0.264	0.238	0.361	malo neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik34	0.045	0.249	0.318	0.406	malo neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik34	0.044	0.264	0.183	0.324	malo neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik37	0.066	0.262	0.447	0.522	prilično neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik37	0.066	0.273	0.246	0.373	malo neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik38	0.045	0.262	0.341	0.433	malo neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik38	0.044	0.273	0.194	0.338	malo neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik39	0.045	0.248	0.314	0.403	malo neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik39	0.044	0.264	0.163	0.315	malo neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik40	0.067	0.249	0.428	0.499	malo neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik40	0.065	0.264	0.206	0.341	malo neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik41	0.066	0.281	0.465	0.547	malo neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik41	0.066	0.288	0.257	0.391	malo neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik42	0.045	0.281	0.368	0.465	malo neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik42	0.044	0.288	0.209	0.358	malo neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik43	0.045	0.261	0.342	0.433	malo neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik43	0.044	0.272	0.177	0.328	malo neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik44	0.067	0.261	0.451	0.526	prilično neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik44	0.065	0.272	0.218	0.355	malo neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik45	0.066	0.302	0.484	0.574	prilično neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik45	0.066	0.305	0.268	0.411	malo neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik46	0.045	0.302	0.393	0.498	malo neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik46	0.044	0.305	0.224	0.381	malo neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik47	0.045	0.302	0.405	0.507	prilično neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik47	0.044	0.305	0.214	0.375	malo neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik48	0.067	0.302	0.504	0.592	prilično neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik48	0.066	0.305	0.251	0.400	malo neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik49	0.066	0.337	0.515	0.619	prilično neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik49	0.066	0.336	0.287	0.447	malo neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik50	0.045	0.337	0.433	0.551	prilično neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik50	0.044	0.336	0.248	0.420	malo neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik51	0.037	0.337	0.412	0.534	prilično neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik51	0.036	0.336	0.232	0.410	malo neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik52	0.045	0.337	0.449	0.563	prilično neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik52	0.044	0.336	0.241	0.416	malo neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik53	0.067	0.337	0.543	0.642	prilično neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik53	0.066	0.336	0.275	0.439	malo neudobno

Nakon promene oscilatornih parametara sedišta u autobusu, uočavaju se dve različite oscilatorne zone sa ocenama oscilatorne udobnosti “malo neudobno“ i “prilično neudobno“. U oscilatornoj zoni sa ocenom “prilično neudobno“ nalazi se samo sedište suvozača. Ukupna *rms* vrednost ubrzanja svih putnika na sedištima u prednjem i zadnjem delu autobusa manja je od 0.5 m/s^2 , a njihava udobnost se poboljšala za jednu ocenu (od “prilično neudobno“ do “malo neudobno“). Za oscilatornu pobudu dobar asfalt-beton (brzina 90 km/h) nakon promene oscilatornih parametara sedišta praktično se postiglo ujednačenje oscilatorne udobnosti korisnika autobusa.

10.2.7. Oscilatorna pobuda - loš asfalt-beton, brzina 72 km/h

U tabeli 10.8 date su *rms* vrednosti vrednovanih ubrzanja za pravce *x*, *y* i *z*-osa, i ukupna *rms* vrednost vrednovanog ubrzanja za dve grupe oscilatornih parametara sedišta ($c_{sp}=20000 \text{ (N/m)}$, $b_{sp}=220 \text{ (Ns/m)}$) i ($c_{sp}=10000 \text{ (N/m)}$, $b_{sp}=330 \text{ (Ns/m)}$), za pobudu loš asfalt-beton, brzina 72 km/h.

Promena oscilatornih parametara sedišta uticala je na vrlo malo smanjenje *rms* vrednosti za ubrzanja u horizontalnom i vertikalnom pravcu na mestima korisnika. Shodno tome, i ukupna *rms* vrednost vrednovanog ubrzanja neznatno se smanjila. Ipak, za dva putnika na mestima P38 i P43, malo smanjenje *rms* vrednosti ubrzanja za pravac *z*-ose, bilo je dovoljno da se njihov oscilatorni komfor poboljša. Na slici 10.13 uporedno su prikazane zone jednakog oscilatornog komfora autobusa IK 301, za oscilatornu pobudu loš asfalt-beton (brzina 72 km/h), pre i nakon promene oscilatornih parametara sedišta sa umanjenim oscilatornim komforom.



Slika 10.13. Zone jednakog oscilatornog komfora autobusa IK 301 a) pre i b) nakon promene oscilatornih parametara sedišta sa umanjenim komforom za loš asfalt-betonski kolovoz, brzina 72 km/h

Tabela 10.8. RMS vrednosti ubrzanja i ocena komfora za sedišta čije su oscilatorne karakteristike promenjene, za loš asfalt-betonski kolovoz, brzina 72 km/h

Oscilatorni parametri sedišta	Korisnik	RMS vrednosti vrednovanih ubrzanja [m/s^2]			Ukupna RMS vrednost ubrzanja [m/s^2]	Ocena komfora (ISO 2631)
		$\ddot{x}_{rms,w}$	$\ddot{y}_{rms,w}$	$\ddot{z}_{rms,w}$		
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	suvozač	0.080	0.875	0.367	0.952	neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	suvozač	0.078	0.877	0.358	0.950	neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik1	0.156	0.621	0.264	0.692	prilično neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik1	0.157	0.623	0.251	0.689	prilično neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik2	0.080	0.621	0.263	0.679	prilično neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik2	0.080	0.622	0.258	0.678	prilično neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik3	0.087	0.744	0.324	0.816	neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik3	0.084	0.746	0.318	0.815	neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik4	0.163	0.744	0.344	0.835	neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik4	0.161	0.746	0.335	0.833	neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik5	0.156	0.510	0.232	0.581	prilično neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik5	0.157	0.511	0.219	0.578	prilično neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik6	0.081	0.510	0.230	0.565	prilično neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik6	0.080	0.511	0.225	0.564	prilično neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik7	0.087	0.631	0.288	0.699	prilično neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik7	0.084	0.633	0.284	0.699	prilično neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik8	0.163	0.631	0.309	0.721	prilično neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik8	0.161	0.633	0.302	0.720	prilično neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik9	0.156	0.402	0.205	0.477	malo neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik9	0.157	0.402	0.190	0.472	malo neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik11	0.087	0.520	0.254	0.585	prilično neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik11	0.084	0.522	0.251	0.585	prilično neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik12	0.163	0.520	0.276	0.611	prilično neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik12	0.161	0.521	0.270	0.609	prilično neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik16	0.163	0.411	0.246	0.506	prilično neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik16	0.161	0.412	0.239	0.503	prilično neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik33	0.156	0.364	0.216	0.451	malo neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik33	0.157	0.357	0.142	0.415	malo neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik34	0.081	0.364	0.199	0.423	malo neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik34	0.081	0.357	0.129	0.388	malo neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik37	0.156	0.471	0.245	0.553	prilično neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik37	0.157	0.465	0.165	0.517	prilično neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik38	0.081	0.471	0.228	0.529	prilično neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik38	0.081	0.465	0.151	0.495	malo neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik39	0.087	0.354	0.193	0.412	malo neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik39	0.084	0.347	0.127	0.379	malo neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik40	0.163	0.354	0.207	0.441	malo neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik40	0.161	0.347	0.140	0.407	malo neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik41	0.157	0.581	0.278	0.663	prilično neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik41	0.157	0.575	0.192	0.626	prilično neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik42	0.081	0.581	0.261	0.642	prilično neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik42	0.081	0.575	0.177	0.607	prilično neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik43	0.087	0.460	0.219	0.517	prilično neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik43	0.084	0.454	0.142	0.483	malo neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik44	0.163	0.460	0.230	0.539	prilično neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik44	0.161	0.454	0.151	0.505	prilično neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik45	0.157	0.682	0.309	0.765	prilično neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik45	0.157	0.676	0.218	0.728	prilično neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik46	0.081	0.682	0.293	0.747	prilično neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik46	0.081	0.676	0.204	0.711	prilično neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik47	0.087	0.682	0.283	0.743	prilično neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik47	0.084	0.676	0.192	0.708	prilično neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik48	0.163	0.682	0.289	0.758	prilično neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik48	0.161	0.676	0.193	0.722	prilično neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik49	0.157	0.829	0.357	0.916	neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik49	0.157	0.823	0.260	0.877	neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik50	0.082	0.829	0.342	0.900	neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik50	0.081	0.823	0.245	0.863	neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik51	0.042	0.829	0.333	0.894	neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik51	0.038	0.823	0.236	0.857	neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik52	0.087	0.829	0.330	0.897	neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik52	0.085	0.824	0.231	0.859	neudobno
$c_{sp}=20000$ (N/m); $b_{sp}=220$ (Ns/m)	putnik53	0.163	0.829	0.333	0.908	neudobno
$c_{sp}=10000$ (N/m); $b_{sp}=330$ (Ns/m)	putnik53	0.161	0.824	0.230	0.870	neudobno

Uočava se da su sve oscilatorne zone nepromenjene, osim oscilatorne zone sa ocenom "malo neudobno" u zadnjem delu autobusa. Za predložene oscilatorne parametre sedišta u ovoj zoni se sada nalaze još dva sedišta P38 i P43 (slika 10.13). Za pobudu kod koje su ubrzanja na mestima korisnika u pravcu y-ose dominantna, promenom oscilatornih parametara putničkih sedišta praktično se ne može promeniti oscilatorna udobnost korisnika autobusa, a time ni ujednačiti oscilatorni komfor korisnika autobusa.

* * *

Na osnovu sprovedene analize može se zaključiti da:

- promenom oscilatornih parametara sedišta putnika sa ugroženim oscilatornim komforom, za različite uslove eksploatacije autobusa IK 301 (podloge različitog tipa i stanja, i brzine kretanja), nije moguće potpuno ujednačiti oscilatornu udobnost na mestima svih korisnika;
- ujednačavanje oscilatorne udobnosti korisnika može da se postigne za bolje uslove eksploatacije autobusa (npr. na boljim podlogama pri većim brzinama kretanja autobusa, na lošim podlogama pri manjim brzinama kretanja autobusa);
- oscilatorni komfor korisnika autobusa se poboljšava, ali se ne može potpuno ujednačiti, kada se autobus kreće po lošoj podlozi većim brzinama;
- za podloge kod kojih su ubrzanja korisnika po pravcu y-ose dominantna, promena oscilatornih parametara sedišta praktično nema uticaja na promenu ocene oscilatorne udobnosti oscilatornih zona;
- promena oscilatornih parametara sedišta značajno utiče na poboljšanje komfora na sedištima iznad zadnje osovine autobusa;

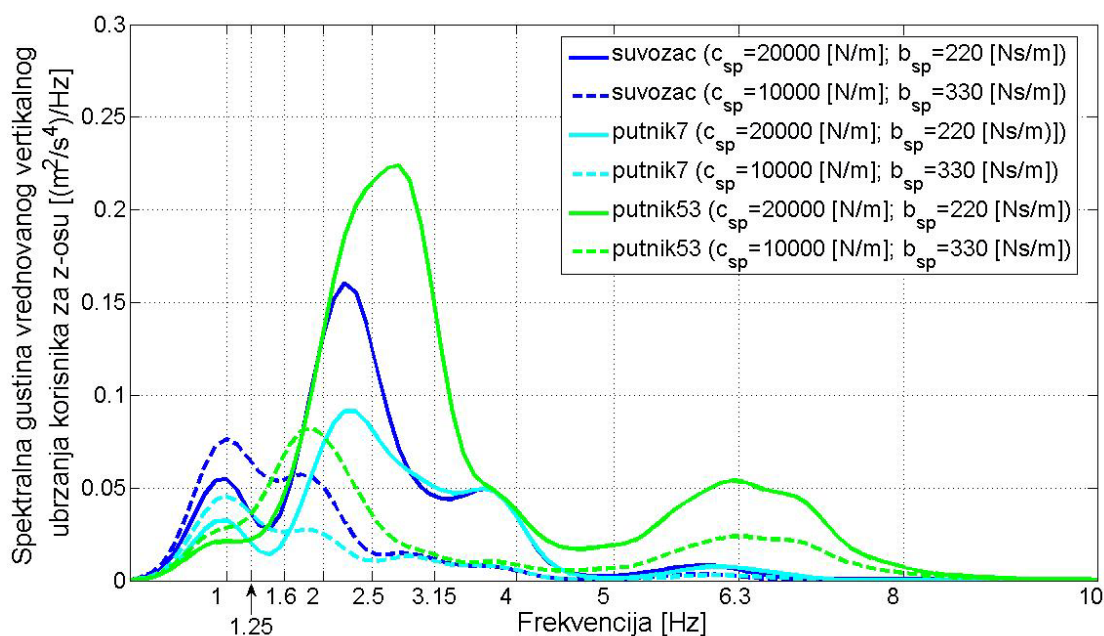
10.3. Analiza vremena izlaganja korisnika nakon promene oscilatornih parametara sedišta u pojedinim zonama

U ovom delu određeno je dozvoljeno vreme izlaganja vibracijama korisnika za tri reprezentativne oscilatorne pobude (loš asfalt-beton, brzina 64 km/h; loš asfalt-beton,

brzina 80 km/h; dobar asfalt-beton, brzina 80 km/h) nakon promene oscilatornih parametara sedišta putnika u autobusu IK 301.

10.3.1. Oscilatorna pobuda - loš asfalt-beton, brzina 64 km/h

Na slici 10.14 uporedno su prikazane spektralne gustine snage vrednovanih vertikalnih ubrzanja za suvozača, putnika7 i putnika53, za oscilatorne parametre putničkih sedišta ($c_{sp}=20000$ (N/m), $b_{sp}=220$ (Ns/m) i ($c_{sp}=10000$ (N/m), $b_{sp}=330$ (Ns/m)). Zapaža se da manjim krutostima opruga odgovaraju manje vrednosti spektralnih gustina snage vrednovanih vertikalnih ubrzanja korisnika. Sa smanjivanjem krutosti opruga, vrednosti rezonantnih frekvencija sedišta se smanjuju. Rezonantne frekvencije sedišta korisnika sa manjom krutošću se nalaze u frekventnom opsegu od 1 Hz do 2.0 Hz.



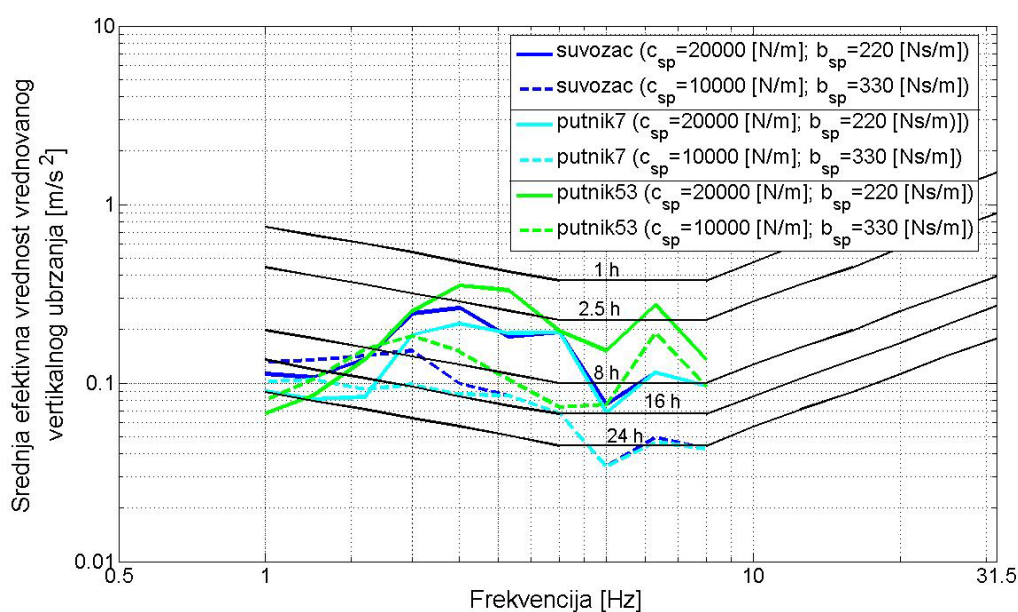
Slika 10.14. Spektralne gustine snage vrednovanog vertikalnog ubrzanja za suvozača, putnika7 i putnika53, za loš asfalt-betonski kolovoz, brzina 64 km/h

U tabeli 10.9 date su granične frekvencije za terčne opsege, centralne frekvencije za terčne opsege, vrednosti spektralnih gustina snage za centralne frekvencije i proračunate srednje efektivne vrednosti vrednovanog vertikalnog ubrzanja korisnika za centralne frekvencije za oscilatorne parametre sedišta $c_{sp}=10000$ (N/m) i $b_{sp}=330$ (Ns/m).

Tabela 10.9. RMS vrednosti vrednovanog vertikalnog ubrzanja korisnika za centralne frekvencije za loš asfalt-betonski kolovoz, brzina 64 km/h

f_{Li} [Hz]	f_i [Hz]	f_{Ri} [Hz]	suvozač		putnik7		putnik53	
			$\Phi_{\ddot{z}_{rms,w}(f_i)}$	$\ddot{z}_{rms,w}(f_i)$	$\Phi_{\ddot{z}_{rms,w}(f_i)}$	$\ddot{z}_{rms,w}(f_i)$	$\Phi_{\ddot{z}_{rms,w}(f_i)}$	$\ddot{z}_{rms,w}(f_i)$
0.89	1	1.12	0.075	0.131	0.045	0.102	0.028	0.080
1.1125	1.25	1.4	0.063	0.135	0.038	0.105	0.038	0.105
1.424	1.6	1.792	0.055	0.142	0.023	0.092	0.065	0.155
1.78	2	2.24	0.050	0.152	0.021	0.098	0.073	0.183
2.225	2.5	2.8	0.017	0.099	0.013	0.086	0.039	0.150
2.8035	3.15	3.528	0.010	0.085	0.010	0.085	0.015	0.104
3.56	4	4.48	0.005	0.068	0.005	0.068	0.006	0.073
4.45	5	5.6	0.001	0.034	0.001	0.034	0.005	0.076
5.607	6.3	7.056	0.002	0.050	0.002	0.047	0.025	0.190
7.12	8	8.96	0.001	0.043	0.001	0.043	0.005	0.096
8.9	10	11.2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Na slici 10.15 uporedno su prikazane linije za vrednovanje dejstva oscilacija u z-pravcu na komfor prema ISO 2631 (1985) i RMS krive, za dve grupe oscilatornih parametara sedišta ($c_{sp}=20000$ (N/m), $b_{sp}=220$ (Ns/m)) i ($c_{sp}=10000$ (N/m), $b_{sp}=330$ (Ns/m)).



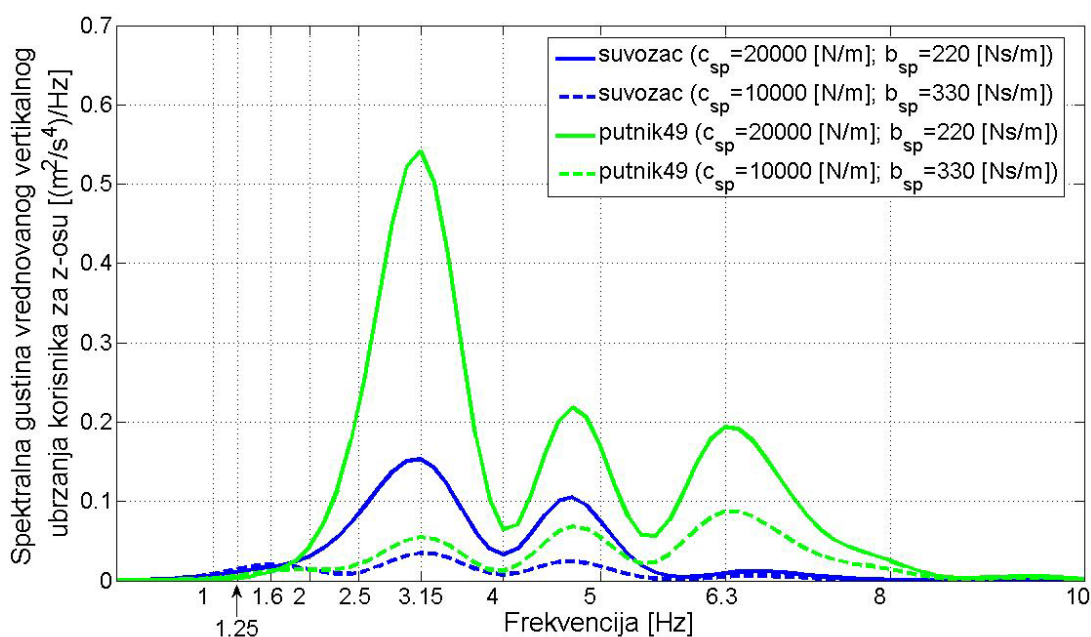
Slika 10.15. Vremena izlaganja za suvozača, putnika7 i putnika53 za pobudu loš asfalt-betonski kolovoz i brzinu od 64 km/h

Uočava se da sa promenom oscilatornih parametara sedišta dozvoljeno vreme izlaganja vibracijama značajno se produžava za sve analizirane korisnike. Za oscilatorne parametre sedišta ($c_{sp}=10000$ (N/m), $b_{sp}=330$ (Ns/m)) dozvoljeno vreme izlaganja vibracijama za suvozača približno je 8 časova, za putnika7 vreme izlaganja duže je od 8

časova, a za putnika53 duže od 2.5 časova. Ova vremena su znatno duža u poređenju sa ranije utvrđenim vremenima za suvozača (približno 2.5 časova), za putnika7 (malo duže od 2.5 časova) i za putnika53 (kraće od 2.5 časova).

10.3.2. Oscilatorna pobuda - loš asfalt-beton, brzina 80 km/h

Na slici 10.16 uporedno su prikazane spektralne gustine snage vrednovanih vertikalnih ubrzanja za suvozača i putnika49, za originalne oscilatorne parametre putničkih sedišta ($c_{sp}=20000$ (N/m), $b_{sp}=220$ (Ns/m)) i za preporučne oscilatorne parametre sedišta ($c_{sp}=10000$ (N/m), $b_{sp}=330$ (Ns/m)).



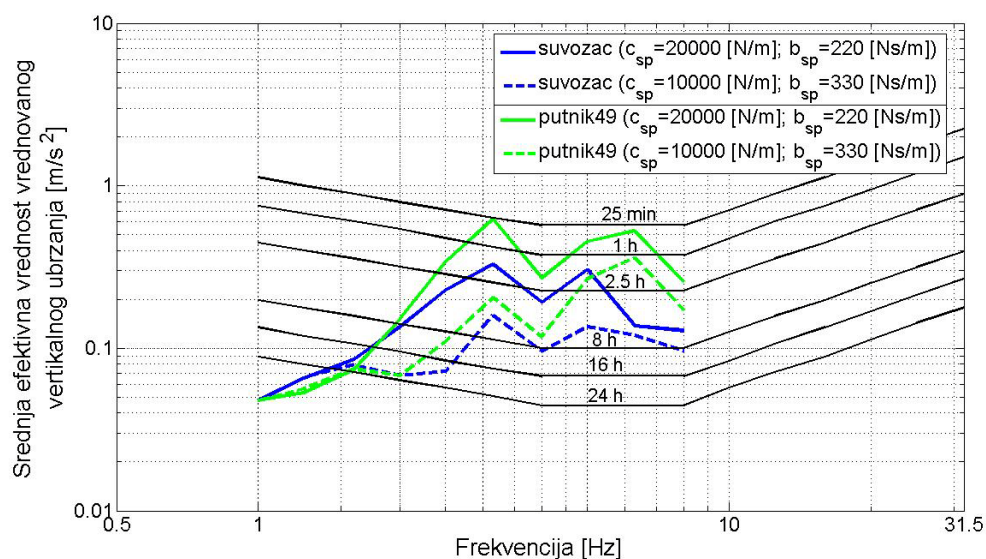
Slika 10.16. Spektralne gustine snage vrednovanog vertikalnog ubrzanja za suvozača i putnika49, za loš asfalt-betonski kolovoz, brzina 80 km/h

U tabeli 10.10 date su granične frekvencije za terčne opsege, centralne frekvencije za terčne opsege, vrednosti spektralnih gustina snage za centralne frekvencije i proračunate srednje efektivne vrednosti vrednovanog vertikalnog ubrzanja korisnika za centralne frekvencije za oscilatorne parametre sedišta $c_{sp}=10000$ (N/m) i $b_{sp}=330$ (Ns/m).

Tabela 10.10. RMS vrednosti vrednovanog vertikalnog ubrzanja korisnika za centralne frekvencije za loš asfalt-betonski kolovoz, brzina 80 km/h

f_{Li} [Hz]	f_i [Hz]	f_{Ri} [Hz]	suvozač		putnik49	
			$\Phi\ddot{z}_{rms,w}(f_i)$	$\ddot{z}_{rms,w}(f_i)$	$\Phi\ddot{z}_{rms,w}(f_i)$	$\ddot{z}_{rms,w}(f_i)$
0.89	1	1.12	0.010	0.048	0.010	0.048
1.1125	1.25	1.4	0.015	0.066	0.011	0.056
1.424	1.6	1.792	0.017	0.079	0.015	0.074
1.78	2	2.24	0.010	0.068	0.010	0.068
2.225	2.5	2.8	0.009	0.072	0.021	0.110
2.8035	3.15	3.528	0.035	0.159	0.058	0.205
3.56	4	4.48	0.010	0.096	0.015	0.117
4.45	5	5.6	0.016	0.136	0.062	0.267
5.607	6.3	7.056	0.010	0.120	0.090	0.361
7.12	8	8.96	0.005	0.096	0.016	0.172
8.9	10	11.2	0.000	0.000	0.000	0.000

Na slici 10.17 uporedno su prikazane linije za vrednovanje dejstva oscilacija u z-pravcu na komfor prema ISO 2631 (1985) i RMS krive, za dve grupe oscilatornih parametara sedišta ($c_{sp}=20000$ (N/m), $b_{sp}=220$ (Ns/m)) i ($c_{sp}=10000$ (N/m), $b_{sp}=330$ (Ns/m)).



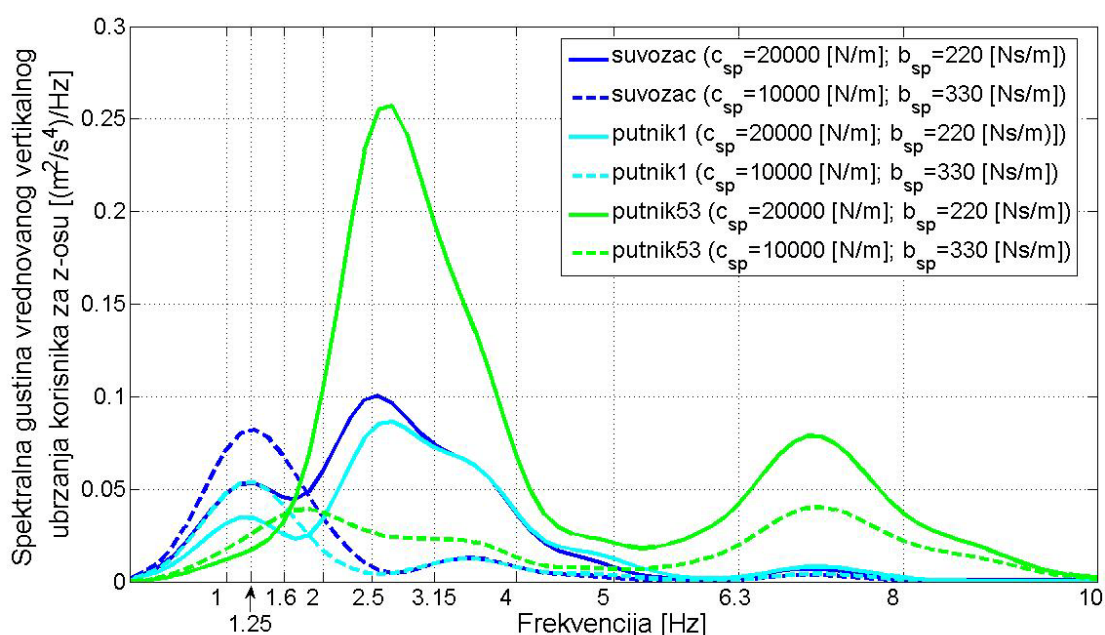
Slika 10.17. Vremena izlaganja za suvozača i putnika49 za pobudu loš asfalt-betonski kolovoz i brzinu od 80 km/h

Sa promenom oscilatornih parametara sedišta dozvoljeno vreme izlaganja vertikalnim vibracijama za suvozača se značajno produžilo. Sedište sa oscilatornim parametrima ($c_{sp}=10000$ (N/m), $b_{sp}=330$ (Ns/m)) omogućava suvozaču dozvoljeno vreme izlaganja od približno 8 časova. Za putnika49 na zadnjem prepustu, dozvoljeno vreme izlaganja

iznosi 1 čas, i ono je duže od dozvoljenog vremenom izlaganja za originalne oscilatorne parametre sedišta ($c_{sp}=20000$ (N/m), $b_{sp}=220$ (Ns/m)), za približno 30 minuta.

10.3.3. Oscilatorna pobuda - dobar asfalt-beton, brzina 80 km/h

Na slici 10.18 uporedno su prikazane spektralne gustine snage vrednovanih vertikalnih ubrzanja za suvozača, putnika1 i putnika53, za originalne oscilatorne parametre putničkih sedišta ($c_{sp}=20000$ (N/m), $b_{sp}=220$ (Ns/m)) i za oscilatorne parametre sedišta ($c_{sp}=10000$ (N/m), $b_{sp}=330$ (Ns/m)).



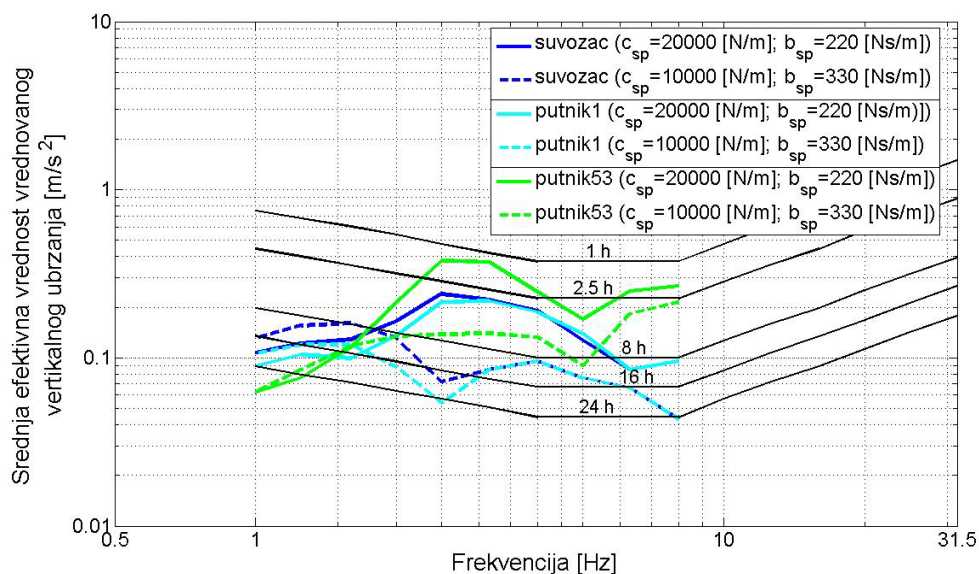
Slika 10.18. Spektralne gustine snage vrednovanog vertikalnog ubrzanja za suvozača, putnika1 i putnika53, za dobar asfalt-betonski kolovoz, brzina 80 km/h

U tabeli 10.11 date su granične frekvencije za terčne opsege, centralne frekvencije za terčne opsege, vrednosti spektralnih gustina snage za centralne frekvencije i proračunate srednje efektivne vrednosti vrednovanog vertikalnog ubrzanja korisnika za centralne frekvencije za oscilatorne parametre sedišta ($c_{sp}=10000$ (N/m), $b_{sp}=330$ (Ns/m)).

Tabela 10.11. RMS vrednosti vrednovanog vertikalnog ubrzanja korisnika za centralne frekvencije za dobar asfalt-betonski kolovoz, brzina 80 km/h

f_{Li} [Hz]	f_i [Hz]	f_{Ri} [Hz]	suvozač		putnik1		putnik53	
			$\Phi_{\ddot{z}_{rms,w}(f_i)}$	$\ddot{z}_{rms,w}(f_i)$	$\Phi_{\ddot{z}_{rms,w}(f_i)}$	$\ddot{z}_{rms,w}(f_i)$	$\Phi_{\ddot{z}_{rms,w}(f_i)}$	$\ddot{z}_{rms,w}(f_i)$
0.89	1	1.12	0.075	0.131	0.049	0.106	0.017	0.063
1.1125	1.25	1.4	0.084	0.155	0.050	0.120	0.025	0.085
1.424	1.6	1.792	0.070	0.160	0.039	0.120	0.038	0.118
1.78	2	2.24	0.037	0.130	0.017	0.088	0.039	0.134
2.225	2.5	2.8	0.009	0.072	0.005	0.054	0.033	0.138
2.8035	3.15	3.528	0.010	0.085	0.010	0.085	0.027	0.140
3.56	4	4.48	0.010	0.096	0.010	0.096	0.019	0.132
4.45	5	5.6	0.005	0.076	0.005	0.076	0.007	0.090
5.607	6.3	7.056	0.003	0.066	0.003	0.066	0.023	0.183
7.12	8	8.96	0.001	0.043	0.001	0.043	0.025	0.214
8.9	10	11.2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Na slici 10.19 uporedno su prikazane linije za vrednovanje dejstva oscilacija u z-pravcu na komfor prema ISO 2631 (1985) i RMS krive, za dve grupe oscilatornih parametara sedišta ($c_{sp}=20000$ (N/m), $b_{sp}=220$ (Ns/m)) i ($c_{sp}=10000$ (N/m), $b_{sp}=330$ (Ns/m)).



Slika 10.19. Vremena izlaganja za suvozača, putnika1 i putnika53 za pobudu dobar asfalt-betonski kolovoz i brzinu od 80 km/h

Za oscilatorne parametre sedišta ($c_{sp}=10000$ (N/m), $b_{sp}=330$ (Ns/m)) dozvoljena vremena izlaganja vibracijama za suvozača i putnika1 značajno su se produžila, i jednaka su 8 časova, a bila su malo duža od 2.5 časova. To je naročito važno ako se ima u vidu da pored vozača, i suvozač veći deo svog radnog vremena provede u autobusu. Za putnika53 dozvoljeno vreme izlaganja produžilo se na 2.5 časova, a bilo je približno 1 čas.

* * *

Na osnovu rezultata sprovedene analize može se zaključiti:

- dozvoljena vremena izlaganja vibracijama svih oscilatorno ugroženih korisnika su se, sa promenom oscilatornih parametara sedišta, znatno produžila;
- dozvoljeno vreme izlaganja vibracijama značajno se produžilo za suvozača autobusa, što je od posebne važnosti, jer osim vozača i suvozač provede veći deo svog radnog vremena u autobusa;
- dozvoljeno vreme izlaganja vibracijama najmanje se produžilo za putnike na sedištima u zadnjem redu na zadnjem prepustu autobusa;

11. Završna razmatranja i zaključak

U ovom radu razmatrana je mogućnost ujednačavanja oscilatornog komfora korisnika vozila za prevoz putnika polazeći od pretpostavke da se različita vibraciona opterećenja na platformi mogu kompenzovati različitim oscilatornim karakteristikama sedišta.

U uvodnom delu rada jasno su istaknuti i pregledno predstavljeni motivi istraživanja sa analizom značaja teme. Definisani su predmet i cilj istraživanja. Obrazložen je značaj istraživanja vibratorne udobnosti korisnika u autobusu uzimajući u obzir kvalitet sedišta i položaj sedišta na platformi autobusa.

Podela vibracija i njihove osnovne karakteristike predstavljeni su u drugom poglavlju rada. Navedeni su fiziološki poremećaji koji nastaju kod čoveka koji je izložen dejstvu vibracija. Posebna pažnja posvećena je opažanju komfora vibracija, kao i uticaju vibracija na bezbednost saobraćaja.

U trećem poglavlju navedeni su standardi koji se koriste prilikom ocene uticaja vibracija na telo čoveka. Međunarodni standard ISO 2631 (1985, 1997) je najpoznatiji i najčešće korišćeni standard, pa je u ovom delu najviše pažnje posvećeno postupku vrednovanja i veličinama za ocenu uticaja vibracija na komfor koje ovaj standard propisuje. Takođe su navedene preventivne mere koje se mogu primenjivati sa ciljem umanjavanja dejstva vibracija na korisnike vozila (putnike i vozače) u drumskom transportu.

Dominantna pobuda oscilatornog kretanja vozila potiče od neravnosti kolovoza. U četvrtom poglavlju opisana je podužna neravnost kolovoza i navedeni su faktori koji imaju uticaj na neravnost kolovoza. Kako nije uvek moguće obaviti snimanje neravnosti kolovoza, koje bi se iskoristile u analizama oscilatornog ponašanja vozila, posebna pažnja u ovom delu posvećena je modeliranju podužne neravnosti kolovoza pomoću spektralne gustine neravnosti kolovoza. Predložen je i opisan postupak za modeliranje neravnosti kolovoza u kojem je iskorišćen model za simuliranje slučajnih procesa, koji je predložio Shinozuka. Dat je jedan primer simuliranih podužnih neravnosti vrlo dobrog asfalt-betonskog kolovoza na dva traga za koji je napisan program u programskom paketu *Matlab* uzimajući u obzir predloženi postupak. Simulirana podužna neravnost kolovoza može da se iskoristi kao oscilatorna pobuda oscilatornih

modela vozila. U ovom poglavlju dati su i primeri sedam različitih realnih neravnosti kolovoza, koji su se iskoristili kao pobudni signali prilikom validacije oscilatornog modela vozila i određivanja oscilatornog komfora korisnika autobusa. Pet profila su preuzeti iz baze podataka softvera *RoadRuf*, a dva profila su dobijena sa Građevinskog fakulteta u Beogradu.

U petom poglavlju predstavljena su dva originalna oscilatorna modela vozila - ravanski oscilatorni model sa šest stepeni slobode i prostorni oscilatorni model sa deset stepeni slobode. Modeli su izgrađeni u modulu *Simulink* i programskom paketu *Matlab*. Pomoću ovih modela ispitan je komfor vozača jednog prigradskog autobusa i komfor korisnika na karakterističnim mestima u jednom međugradskom autobusu domaćeg proizvođača. Na osnovu dobijenih rezultata utvrđeno je da komfor korisnika zavisi od položaja i kvaliteta sedišta u autobusu što je iniciralo ideju da se definišu predmet i cilj istraživanja ove doktorske disertacije. U ovom poglavlju je uveden i definisan novi termin *zone jednakog oscilatornog komfora*.

U šestom poglavlju dat je pregled programskih paketa koji se koriste u simulacijama dinamičkog ponašanja vozila. Više pažnje posvećeno je "*multibody*" programskom paketu *MSC.ADAMS* i njegovoj upotrebi u automobilske industriji. Originalni prostorni oscilatorni model međugradskog autobusa IK 301 za potrebe ovog rada izgrađen je u modulu *ADAMS/View*, pa je u ovom poglavlju u kratkim crtama opisan postupak modeliranja mehaničkih sistema pomoću ovog modula.

U sedmom poglavlju izvršena je uporedna analiza elemenata važnih za oscilatorno ponašanje kopnenih saobraćajnih sredstava za prevoz putnika (autobusa i šinskih vozila). Na osnovu uporedne analize definisan je opšti oscilatorni model namenjen pre svega za analizu oscilatornog komfora svih korisnika kao preduslov za definisanje zona jednakog oscilatornog komfora vozila. Osim oscilatorne udobnosti, opšti model može da se koristi i za analize aktivne bezbednosti vozila. Opšti model izgrađen je u softveru *ADAMS/View*. Na osnovu ovog modela i uz njegove manje modifikacije izgrađen je i originalni prostorni oscilatorni model međugradskog autobusa IK 301 sa 65 stepeni slobode, koji je poslužio kao konkretna podloga za određivanje zona jednakog oscilatornog komfora.

U osmom poglavlju obavljena je validacija oscilatornog modela IK 301. Validacija je sprovedena uporednom analizom četiri važne oscilatorne veličine koje su dobijene simulacijom pomoću oscilatornog modela autobusa IK 301 i merenjem u realnim uslovima eksploatacije međugradskog autobusa IK 302. Utvrđeno je da model omogućava relativno dobru procenu vrednosti oscilatornih veličina čime je pokazano da on može da se koristi pri oceni komfora korisnika i definisanju oscilatornih zona u autobusu.

U poglavlju devet obavljeno je detaljno istraživanje oscilatorne udobnosti svih korisnika autobusa IK 301. U oscilatorni model uvedeno je sedam različitih realnih neravnosti kolovoza koje su registrovane pri različitim brzinama mernog vozila (tri loše asfalt-betonske podloge snimljene pri brzinama od 64 km/h, 72 km/h i 80 km/h; dobar asfalt-beton i vrlo dobra cement-betonska podloga snimljene pri brzinama od 80 km/h, i dve vremenski smaknute pobude - dobar asfalt-beton i vrlo dobar asfalt-beton snimljene pri brzinama od 90 km/h). Uvođenje navedenih realnih neravnosti kolovoza omogućilo je da se u obzir uzmu različiti uslovi eksploatacije, što je naročito važno prilikom određivanja oscilatornih zona i pravilnog izbora sedišta kojima treba da se poboljša oscilatorna udobnost u autobusu. Za svaku realnu oscilatornu pobudu određen je komfor za svakog korisnika autobusa pojedinačno prema kriterijumima udobnosti u sredstvima javnog prevoza koje propisuje međunarodni standard ISO 2631 (1997). Utvrđeno je da, u zavisnosti od oscilatorne pobude, korisnici autobusa na sedištima mogu da trpe vibracije čija su ubrzanja dominantna po pravcu z -ose, vibracije sa ubrzanjima približno jednakih intenziteta po pravcima z i y -ose i vibracije kod kojih su ubrzanja izrazito dominantna po pravcu y -ose. Time se pokazalo da je prilikom ocene oscilatornog komfora, osim vertikalnih ubrzanja za koje se često smatra da su najvećeg intenziteta, vrlo važno uzeti u razmatranje i ubrzanja koja na mestima korisnika deluju u horizontalnom pravcu, naročito ubrzanja po pravcu y -ose.

Zatim su za korisnike autobusa (vozača i putnike sa umanjenim komforom) određena dozvoljena vremena izlaganja vibracijama za pravac z -ose za pet karakterističnih oscilatornih pobuda (tri loša-asfalt betonska kolovoza, dobar asfalt-betonski kolovoz i vrlo dobar cement-betonski kolovoz). Analiza je pokazala da korisnici autobusa na zadnjim sedištima na zadnjem prepustu autobusa imaju najkraće dozvoljeno vreme

izlaganja vibracijama. Od korisnika na prednjem prepustu autobusa najkraće dozvoljeno vreme izlaganja ima suvozač autobusa, mada je ono duže od dozvoljenog vremena izlaganja vibracijama korisnika na zadnjem prepustu autobusa. Treba istaći da su rezultati analize dozvoljenog vremena izlaganja pokazali da vreme izlaganja vibracijama u pravcu z -ose na lošoj podlozi može da bude duže od dozvoljenog vremena izlaganja vibracijama na dobroj podlozi.

Na osnovu procenjenog komfora uzimajući u obzir kriterijume standarda ISO 2631, određene su zone jednakog oscilatornog komfora autobusa IK 301 za svih sedam oscilatornih pobuda autobusa. Utvrđeno je da položaj oscilatornih zona i sedišta koja se u njima nalaze zavisi od uslova eksploatacije autobusa (tipa i vrste oscilatorne pobude i brzine kretanja autobusa). Za oscilatorne pobude autobusa kod kojih su ubrzanja na mestima korisnika u pravcu z -ose dominantna, u autobusu se nalaze dve različite zone jednakog oscilatornog komfora. U prvoj zoni se nalaze sedišta na prednjem prepustu autobusa i sedišta u srednjem delu autobusa. U drugoj zoni nalaze se sedišta iznad zadnje osovine i na zadnjem prepustu autobusa. Prva oscilatorna zona ima za jedan stepen bolji oscilatorni komfor od druge zone.

Za vremenski smaknute oscilatorne pobude pokazano je da osim vertikalnih ubrzanja, korisnici trpe i značajna horizontalna ubrzanja po pravcu y -ose. Za takve pobude, u autobusu postoje dve različite zone jednakog oscilatornog komfora. U prvoj oscilatornoj zoni nalaze se sedišta na prednjem prepustu i iznad prednje osovine i sedišta na zadnjem prepustu i iznad zadnje osovine autobusa. U drugoj zoni nalaze se sedišta u srednjem delu autobusa. Utvrđeno je da prva oscilatorna zona ima za jedan nivo bolji oscilatorni komfor od druge oscilatorne zone. Za pobudu kod koje su ubrzanja na mestima korisnika po y -osi izrazito dominantna, pokazano je da u autobusu postoje četiri različite oscilatorne zone. Oscilatorna udobnost oscilatornih zona se ravnomerno poboljšava od prednjeg i zadnjeg kraja autobusa prema srednjem delu autobusa.

Na osnovu rezultata pomenutih analiza određena su sedišta sa nezadovoljavajućim oscilatornim komforom. Uticaj oscilatornih parametara na oscilatornu udobnost tih sedišta razmatran je u poglavlju deset. Zaključeno je da bi sedišta opremljena sa jastucima manje krutosti ($c_{sp}=10000$ (N/m)) i sa jačim prigušenjem ($b_{sp}=330$ (Ns/m)) osetno poboljšala oscilatorni komfor korisnika. Analiza komfora, uzimajući u obzir

pomenute oscilatorne parametre sedišta, pokazala je da nije moguće potpuno ujednačiti oscilatornu udobnost svih korisnika za sve oscilatorne pobude, ali je oscilatornu udobnost moguće značajno poboljšati. Ovo se naročito odnosi na putnike na sedištima iznad zadnje osovine autobusa, za koje bi se oscilatorna udobnost, promenom konstruktivnih karakteristika sedišta, prema kriterijumima standarda ISO 2631 (1997) poboljšala za dva nivoa. Takođe, sedišta sa izmenjenim oscilatornim parametrima ($c_{sp}=10000$ (N/m), $b_{sp}=330$ (Ns/m)) bi omogućila značajno produženje vremena izlaganja vibracijama korisnika na sedištima kako na prednjem tako i na zadnjem prepustu autobusa.

U dosadašnjim istraživanjima stranih i domaćih autora, u dužem vremenskom periodu, razmatran je problem vibracija koje deluju na korisnike različitih tehničkih sredstava i vozila i njihov štetan uticaj na organizam.

U ovom radu prikazana su istraživanja i analize autora koji se odnose na posledice koje trpe korisnici autobusa koji se kreće po realnoj podlozi sa veštačkim neravninama i prirodnim neravnostima kolovoza.

Prethodna istraživanja ukazala su na ozbiljne razlike u dejstvu vibracija na korisnike koji se nalaze na različitim delovima platforme vozila. Razlike u oscilatornom komforu korisnika, takođe, su pokazane i kod šinskih putničkih vozila. Ove razlike se dovoljno detaljnom analizom mogu mapirati.

Originalni simulacioni model razvijen u ovu svrhu u modulu *ADAMS/View* programskog paketa *MSC.ADAMS*, sa 65 stepeni slobode, omogućio da se, uz korišćenje pobudnih signala snimljenih na realnim podlogama izvrši analiza oscilatornih veličina na sedištima svih korisnika autobusa.

Ove oscilatorne veličine potom su upoređene sa kriterijumima koji postavlja međunarodni standard ISO 2631. Takvo poređenje omogućilo je da se oceni oscilatorni komfor na svakom pojedinačnom sedištu. Pokazalo se da se na platformi vozila mogu definisati zone približno jednakog komfora. Najkomfortnija zona, u principu, nalazi se u srednjem delu vozila (između osovina), a zona najnižeg komfora se nalazi na zadnjem prepustu, što je praktično ustanovljeno za sve vrste podloga i pri svim razmatranim brzinama kretanja.

Imajući u vidu karakteristike oscilatornih veličina i njihove razlike na površini platforme razmatrana je i analizirana mogućnost poboljšanja oscilatornog komfora promenom karakteristika krutosti i prigušenja sedišta koja se nalaze u zonama nižeg oscilatornog komfora. Sprovedenje detaljnih simulacionih istraživanja u relativno širokom rasponu parametara krutosti i prigušenja sedišta, pokazalo je da postoje realni parametri koji omogućuju značajno poboljšanje oscilatornog komfora u ugroženim zonama.

Mapiranjem zona različitog oscilatornog komfora na platformi vozila i određivanjem novih vrednosti parametara krutosti i prigušenja sedišta, kojima se oscilatorni komfor u ugroženim zonama poboljšava za jedan do dva nivoa i postiže ujednačenje oscilatornog komfora na celoj platformi vozila, ispunjen je cilj izrade ove teze.

Na osnovu zaključaka sprovedenih analiza, uzevši u obzir predmet i cilj istraživanja, značaj i doprinos ovog rada mogu se naći u definisanju opšteg oscilatornog modela saobraćajnih sredstava za prevoz putnika. Šire posmatrano, opšti model je tako zamišljen i izgrađen da može da se koristi za analize različitih problema vertikalne dinamike (koja uključuje i aktivnu bezbednost) vozila. Uže posmatrano, pomoću opšteg oscilatornog modela mogu da se, analizom oscilatornog komfora korisnika, odrede zone jednakog oscilatornog komfora.

U naučni doprinos ove disertacije spada i izgradnja originalnog prostornog oscilatornog modela međugradskog autobusa u koji su, za razliku od modela vozila u radovima drugih autora (Polach i Hajžman, 2007; Polach i Hajžman, 2008; Mladenović, 2008; Mladenović, 1997), uključena sva sedišta korisnika (vozača i svih putnika) autobusa. Definisani oscilatorni model međugradskog autobusa uvođenjem relativno jednostavnih modifikacija može da se primeni za istraživanje problema vertikalne dinamike svih vrsta autobusa (gradski, prigradski, turistički i specijalni autobusi (npr. double-decker)).

Naučni doprinos disertacije svakako predstavlja uvođenje i definisanje novog termina "*zona jednakog oscilatornog komfora autobusa*" u oblasti vertikalne dinamike vozila. Takođe, naučni doprinos teze je iznalaženje zavisnosti oscilatorne udobnosti korisnika u oscilatornim zonama autobusa za slučajeve kada se autobus kreće istim brzinama po

podlogama različitog kvaliteta, različitim brzinama po podlogama istog kvaliteta i različitim brzinama po podlogama različitog kvaliteta.

Osim naučnog doprinosa, ova disertacija ima i praktičnu vrednost. Rezultati sprovedenih analiza ukazali su na pojedinačna sedišta u vozilu na kojima je oscilatorna udobnost korisnika smanjena. Analize su pokazale da promenom oscilatornih parametara sedišta može da se utiče na oscilatorni komfor i da njihovim pravilnim izborom može da se poboljša udobnost korisnika koji na njima sede. Stoga rezultati doktorske disertacije mogu značajno da pomognu konstruktorima i proizvođačima autobusa, jer ukazuju na one konstruktivne karakteristike sedišta sa kojima se može osetno poboljšati i ujednačiti oscilatorna udobnost svih korisnika.

Literatura

Ahlin, K.; Granlund, J.; Lundström, R. 2000. *Whole-Body Vibration When Riding on Rough Roads – A shocking Study*. Swedish National Road Administration. 81 p.

Ahn, S.J. 2010. Discomfort of vertical whole-body shock-type vibration in the frequency range of 0.5 to 16 Hz, *International Journal of Automotive Technology* 11(6): 909-916.

Alperovitch-Najenson, D. 2010. Low Back Pain among Professional Bus drivers: ergonomic and Occupational-Psychosocial risk Factors, *Israel Medical Association Journal* 12(1): 26-31.

Bellman, M.A. 2005. *Perception of Whole-Body Vibrations: From basic experiments to effects of seat and steering-wheel vibrations on the passenger's comfort inside vehicles*, University of Oldenburg, Germany. 180 p.

Bogojević, B. 2003. *Primena neparametarskih metoda programskog paketa MATLAB Signal Processing Toolbox u analizi audio signala*, 11. telekomunikacioni forum TELFOR. Available from internet: <<http://www.telfor.rs/telfor2003/radovi/11-5.pdf>>.

Blood, R.P.; Ploger, J.D.; Yost, M.G.; Ching, R.P.; Johnson, P.W. 2010. Whole body vibration exposures in metropolitan bus drivers: A comparasion of three seats, *Journal of Sound and Vibration* 329(4): 109-120.

Blundell, M.V. 1997. *The influence of suspension and tyre modelling on vehicle handling simulation*, Coventry University in collaboration with Rover Group and SP Tyres UK Ltd, PhD Thesis. 367 p.

Blundell, M.V.; Harty, D. 2004. *Multibody Systems Approach to Vehicle Dynamics*, Elsevier Butterworth-Heinemann. 541 p.

Blundell, M.V. 1998. The influence of rubber bush compliance on vehicle suspension movement, *Materials and Design* 19(1): 29-37.

Boileau, P. 1995. *A study of secondary suspensions and human driver response to whole-body vehicular vibration and shock*, Concordia University, Faculty of Engineering and Computer Science, Mechanical and Industrial Engineering. 454 p.

Bovenzi, M.; Hulshof, C.T.J. 1998. An updated review of epidemiologic studies on the relationship between exposure to whole-body vibration and low back pain, *Journal of Sound and Vibration* 215(4): 596-611.

Bovenzi, M.; Hulshof, C.T.J. 1999. An updated review of epidemiologic studies on the relationship between exposure to whole-body vibration and low back pain (1986-1997), *International Archives of Occupational and Environmental Health* 72(6): 351-365.

- Brčić, S. 2012. *Mehanika vožnje-kretanje šinskih vozila (predavanja)*, Građevinski fakultet u Beogradu.
- Buonsanti, M.; Leonardi, G. 2012. Dynamic Modelling of Freight Wagon with Modified Bogies, *European Journal of Scientific Research* 86(2): 274-282.
- Campbell, K.L.; Erwin, R.D.; Gillespie, T.D.; Segel, L.; Schneider, L.W. 1982. *Truck Cab Vibrations and Highway Safety*, Highway Safety Research Institute, University of Michigan. FHWA report RD-82/093. 38 p.
- Chang, G.; Dick, J.; Rasmussen, R.O. 2007. *ProVal User's Guide, Version 2.73*, The Transtec Group, Inc. 113 p.
- Costa Neto, A.; Ferraro, L. C.; Veissid, V. L.; Freitas, C. A. M.; Argentino, M. A.; Ripoli, R. R.; Persegum, O. T. 1998. *A Study of Vibrational Behavior of a Medium Sized Truck Considering Frame Flexibility with the Use of ADAMS*, North American ADAMS User Conference, Ann Arbor, Michigan. 21 p. Available from internet: <http://www.mscsoftware.com/support/library/conf/adams/na/1998/pap_brasil.pdf>.
- Crolla, D. A.; Horton, D. 1993. *Vehicle system simulation using a toolkit based strategy*, Available from internet: <<http://www.psyc.leeds.ac.uk/10/people/davidh/pubs/93autotech.pdf>>.
- Da Cunha, R.H.; Costa Neto, A.; Prado, M.; Persequim, T.O.; Spinelli, D.M. 2001. *Handling Analysis of a Three-Axle Intercity Bus*, 16th European ADAMS User Conference 2001, Berchtesgaden, Germany. 6 p. Available from internet: <http://web.mscsoftware.com/support/library/conf/adams/euro/2001/proceedings/papers_pdf/paper_64.pdf>.
- Dedović, V. 2004. *Dinamika vozila*, Saobraćajni fakultet u Beogradu, Beograd. 244 str.
- Dedović, V.; Mladenović, D. 1999. *Dinamika vozila - praktikum*, Saobraćajni fakultet u Beogradu, Beograd. 103 str.
- Dedović, V. 1998. *Nezavisno oslanjanje automobila*, Saobraćajni fakultet u Beogradu, Beograd. 310 str.
- Demić, M. 2006. *Dinamičke pobude automobila*, Institut za nuklearne nauke "Vinča", Centar za motore i vozila, Beograd. 240 str.
- Demić, M.; Lukić, J.; Milić, Z. 2002. Some Aspects of The Investigation of Random Vibration Influence on Ride Comfort, *Journal of Sound and Vibration* 253(1): 109-129.
- Diligenski, Đ.; Demić, M.; Šakota, Ž. 2005. *Bus Passenger Vibrational Comfort, MVM Monograph*, Faculty of Mechanical Engineering, Kragujevac. 14 str.
- Diligenski, Dj.; Demić, M. 2000. *Influence of Speed and Road Surface Type on Bus Passenger Vibrational Comfort*, 2nd International Conference on Whole Body Vibration Injuries, Extended abstracts, Siena, Italy. 2 p.

- Dong, R. 1997. *Approaches to incorporate large data series into Adams models*, North American ADAMS Users Conference, Ypsilanti, Michigan. 7 p. Available from internet: <<http://www.mscsoftware.com/support/library/conf/adams/na/1997/uc970025.pdf>>.
- Eaton, S. 2003. *Bus Drivers and Human Vibration*, WORKERS' COMPENSATION BOARD OF BC, Vancouver, Canada, p 10. Available from internet: <http://www2.worksafebc.com/PDFs/ergonomics/bus_driver_human_vibration.pdf>.
- Els, P.S. 2005. The applicability of ride comfort standards to off-road vehicles, *Journal of Terramechanics* 42(1): 47-64.
- Eriksson, P.; Friberg, O. 2000. Ride comfort optimization of a city bus, *Structural and Multidisciplinary Optimizatoin* 20(1): 67-75.
- European Agency for Safety and Health at Work, 2008. *Workplace Exposure to Vibration in Europe: An Expert Review*, Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities. 124 p. Available from internet: <http://osha.europa.eu/en/publications/reports/8108322_vibration_exposure>.
- EU Good Practice Guide WBV. 2008. *Guide to good practice on Whole-Body Vibration*, 65 p.
- EU Good Practice Guide HAV. 2006. *Guide to good practice on Hand-Arm Vibration*, 61 p.
- Forsén, A. 1999. *Heavy Vehicle Ride and Endurance. Modelling and model validation*. Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden. PhD thesis, 92 p.
- Genta, G. 1997. *Motor vehicle dynamics: modeling and simulation*, World Scientific Publishing Co. Pe. Ltd. 529 p.
- Gillespie, T.D. 1992. *Fundamentals of Vehicle Dynamics*, Society of Automotive Engineers, Inc. 495 p.
- Gillespie, T.D.; Sayers, M.W. 1985. *Measuring Road Roughness and Its Effects on User Cost and Comfort: A Symposium*, American Society for Testing and Materials (ASTM). 198 p.
- Glumac, S.; Žeželj, S.; Gladović, P.; Nijemčević, S. 2002. *Projektovanje proizvodnja i eksploatacija autobusa*. Beograd: IKARBUS AD. 443 p.
- Granlund, J. 2008. *Health Issues Raised by Poorly Maintained Road Networks*, Swedish Road Administration Consulting Services. 146 p.
- Građevinski fakultet Univeziteta u Beogradu, 2012. Podaci o neravnostima kolovoza.
- Griffin, M.J. 2007. Discomfort from feeling vehicle vibration, *Vehicle System Dynamics* 45(7-8): 679-698.

- Griffin, M.J. 1998. Comparison of standardized methods for predicting the hazards of whole-body vibration and repeated shocks, *Journal of Sound and Vibration* 215(4): 883-914.
- Griffin, M.J. 1996. *Handbook of Human Vibration*, Academic Press, UK. 988 p.
- Griffin, M.J. 1978. The evaluation of vehicle vibration and seats, *Applied Ergonomics* 9(1): 15-21.
- Hassan, R.; McManus, K. 2001. *Heavy Vehicle Ride and Driver Comfort*. SAE World Congress, Session on Human Factors in Automotive Design. Detroit, Michigan, USA.
- Hedberg, G.; Jacobsson, K.A.; Langendoen, S.; Nyström, L. 1991. Mortality in circulatory diseases, especially ischemic heart disease, among Swedish professional drivers: a retrospective cohort study, *Journal of Human Ergology* 20(1): 1-5.
- Hix, K.; Ziemba, S.; Schoof, L. 2000. *Truck Seat Modeling – A Methods Development Approach*, 2000 International ADAMS Users Conference, Orlando, Florida. 9 p.
- Hopcroft, R.; Skinner, M. 2005. *C-130J Human Vibration*, Defence Science and Technology Organisation, Australia. 30 p.
- Hulshof, C.; Van Der Laan, G.; Braam, I.; Verbeek, J. 2002. The fate of Mrs. Robinson: Criteria for recognition of whole-body vibration injury as an occupational disease, *Journal of Sound and Vibration* 253(1): 185-194.
- Ihs, A.; Velin, H.; Wikström, M. 2002. *Vägytans inverkan på trafiksäkerheten. (The influence of road surface condition on traffic safety)*. Väg-och TransportforskningsInstitutet, VTI medd 909. 76 p.
- Ismail, A.R.; Nuawi, M.Z.; How, C.W.; Kamaruddin, N.F.; Nor, M.J.M.; Makhtar, N.K. 2010. Whole Body Vibration Exposure to Train Passenger, *American Journal of Applied Sciences* 7(3): 352-359.
- Iwincki, S. 2006. *Handbook of Railway Vehicle Dynamics*, Taylor&Francis Group, LLC. 527 p.
- Janićijević, N.; Janković, D.; Todorović, J. 1998. *Konstrukcija motornih vozila*, Mašinski fakultet u Beogradu, Beograd. 512 str.
- Janković D.; Todorović, J. 1990. *Teorija kretanja motornih vozila*, Mašinski fakultet u Beogradu, Beograd. 436 str.
- Jazar, R. N. 2008. *Vehicle Dynamics: Theory and Application*. Springer Science+Business Media, LLC. 1022 p.
- Jeong-Hyun, S.; Seong-Jun, P.; Jeong-Han, L.; So-Hae, C.; Wan-Suk, Y. 2010. *Full Vehicle Simulation for Durability Test of Damper in a Cruise Bus*, The 1st Joint International Conference on Multibody System Dynamics, Lappeenranta, Finland. 8 p.

- Juan, J.; DePauw, T.; Lin, Y. 1996. *Vehicle Dynamics and NVH Trade-off Studies Using ADAMS*. North American ADAMS Users Conference, Ypsilanti, Michigan. 22 p. Available from internet: <<http://www.mscsoftware.com/support/library/conf/adams/na/1996/UC960008.PDF>>.
- Karamihas, S.; Gillespie, T.; Kohn, S.; Perera, R. 1999. *Guidelines for Longitudinal Pavement Profile Measurement*, The University of Michigan, Michigan. 188 p.
- Kardas-Cinal, E. 2010. Ride comfort for various passenger positions in a railway vehicle - simulation study, *Archives of Transport* 22(2): 189-199.
- Kawamura, A.; Kaku, T. 1985. An evaluation of road roughness and the effects on riding comfort and vehicle dynamics, *Proceedings of JSCE*, N.359/ IV-3, 137-147 p.
- Kompier, M.A.J. 1996. *Bus drivers: Occupational stress and stress prevention*, Leiden: Department of Work and Organizational Psychology, University of Nijmegen. 39 p. Available from internet: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsast/i/fulltext/bustress/bustress.pdf>>.
- Kropáč, O.; Múčka, P. 2009. Effects of longitudinal road waviness on vehicle vibration response, *Vehicle System Dynamics* 47(2): 135-153.
- Kvasnička, P.; Palčák, F. 1996. *Studying the Vehicle Response to Various Inputs by Virtual Prototyping*, 11th European ADAMS Users Conference, Frankfurt, Germany. 14 p. Available from internet: <<http://www.mscsoftware.com/support/library/conf/adams/euro/1996/EURO9610.PDF>>.
- Leelavathy, K.R.; Raju, R.; Gokul Raj, S. 2011. Whole Body Vibration and Back Disorders among Vehicle Operators, *European Journal of Scientific Research* 61(3): 328-340.
- Li, L.; Li, Q. 2007. *Vibration Analysis Based on Full Multi-Body Model for the Commercial Vehicle Suspension System*, Proceedings of the 6th WSEAS International Conference on Signal Processing, Robotics and Automation, Corfu Island, Greece. 5 p. Available from internet: <<http://www.wseas.us/e-library/conferences/2007corfu/papers/540-289.pdf>>.
- Lu, Y.; Yang, S.; Li, S.; Chen, L. 2010. Numerical and experimental investigation on stochastic dynamic load of a heavy duty vehicle, *Applied Mathematical Modelling* 34(10): 2698-2710.
- Magnusson, ML.; Pope, MH.; Wilder, DG.; Areskoug, B. 1996. Are occupational drivers at an increased risk for developing musculoskeletal disorders?, *Spine* 21(6): 710-717.
- Marjanen, Y.; Nevala, K. 2003. *Whole body vibration analysis program for real measurements and virtual model*, Department of Mechanical Engineering, University of Oulu, Finland. 8 p.

- McCarthy, R. 1998. *A Review of Available Vehicle Simulation Software*, Exponent Failure Analysis Associates. 38 p. Available from internet: <<http://arc.engin.umich.edu/events/archive/conf/conf98/mccarthy.pdf>>.
- McConville, J. B.; McGrath, J.F. 1998. *Introduction to ADAMS Theory*, Ann Arbor, Michigan. 29 p. Available from internet: <[http://www.me.utexas.edu/~longoria/VSDC/adams/tutorials/Intro Adams Theory 1997.pdf](http://www.me.utexas.edu/~longoria/VSDC/adams/tutorials/Intro_Adams_Theory_1997.pdf)>.
- Mechanical Dynamics, Incorporated 2002. *Getting Started Using ADAMS/View*, Mechanical Dynamics, Ann Arbor, Michigan. 87 p. Available from internet: <http://www.me.utexas.edu/~longoria/VSDC/adams/tutorials/view_gs.pdf>.
- Mechanical Dynamics, Incorporated 2002. *Exchanging data in ADAMS*, Mechanical Dynamics, Ann Arbor, Michigan. 116 p.
- Mechanical Dynamics, Incorporated 2002. *Using ADAMS/PostProcessor*, Mechanical Dynamics, Ann Arbor, Michigan. 250 p.
- Mechanical Dynamics, Incorporated 2001. *Advanced ADASM/View Training Guide*, Mechanical Dynamics, Ann Arbor, Michigan. 370 p.
- Mechanical Dynamics, Incorporated 2001. *Basic ADAMS Full Simulation Training Guide*, Mechanical Dynamics, Ann Arbor, Michigan. 332 p. Available from internet: <[http://www.mty.itesm.mx/dia/deptos/im/m00832/Miscellaneous/ADAMS student guide.pdf](http://www.mty.itesm.mx/dia/deptos/im/m00832/Miscellaneous/ADAMS_student_guide.pdf)>.
- Mechanical Dynamics, Incorporated 2000. *Building Models in ADAMS/View*, Mechanical Dynamics, Ann Arbor, Michigan. 512 p. Available from internet: <<http://mme.uwaterloo.ca/~me321/BuildingModles.pdf>>.
- Miege, A. 2004. *Tyre Model for Truck Ride Simulations*, University of Cambridge, Departement of Engineering. 62 p.
- Milošević, S. 1981. *Saobraćajna psihologija*, Naučna knjiga, Beograd. 262 str.
- Mitschke, M. 2004. *Dynamic der Kraftfahrzeuge*. Berlin: Springer Verlag. 799 p.
- Mladenović, D. 2008. *Dinamičko ponašanje autobusa u realnim uslovima vožnje*, Doktorska disertacija, Saobraćajni fakultet u Beogradu, Beograd. 299 str.
- Mladenović, D. 1997. *Istraživanje uticaja konstrukcionih parametara na oscilatorno ponašanje autobusa*. Magistarska teza, Saobraćajni fakultet u Beogradu, Beograd. 246 str.
- Mrazek, T.; Marzy, R. 2000. *Investigation of the Comfort Behavior of a Commercial Vehicles in ADAMS*, 15th ADAMS European Users' Conference, Rome, Italy. 8 p. Available from internet: <[http://www.mscsoftware.com/support/library/conf/adams/euro/2000/Steyr Comfort Behavior.pdf](http://www.mscsoftware.com/support/library/conf/adams/euro/2000/Steyr_Comfort_Behavior.pdf)>.

- Nakashima, A.; Cheung, B. 2006. *The effects of vibration frequencies on physical, perceptual and cognitive performance*, Defence R&D Canada, Toronto. 30 p.
- Negrut, D.; Dyer, A. 2004. *ADAMS/Solver Primer*, Ann Arbor, Michigan. 67 p.
- Nelson, C.; Brereton, P. 2005. The European Vibration Directive, *Industrial Health* 43(3): 472-479.
- Nijemčević, S.; Dragojlović, D.; Zečević, S.; Milosavljević, B.; Čuk, J.; Marković, S. 2001. *Tehničko prodajana knjiga*, Ikarbus AD, fabrika autobusa i specijalnih vozila, Beograd. 237 str.
- Okunribido, O. O.; Shimbles, S.J.; Magnusson, M.; Pope, M. 2007. City bus driving and low back pain: A study of the exposures to posture demands, manual materials handling and whole-body vibration, *Applied Ergonomics* 38(1): 29-38.
- Pacejka, H. B. 2005. *Tyre and Vehicle Dynamics*. Oxford: Butterworth–Heinemann. 672 p.
- Palmer, K.; Griffin, M.; Bendall, H. 2000. Prevalence and pattern of occupational exposure to whole body vibration in Great Britain: findings from a national survey, *Occupational and Environmental Medicine* 57(4): 229-236.
- Pečeliūnas, R.; Prentkovskis, O.; Garbinčius, G.; Nagurnas, S.; Pukalskas, S. 2005. Experimental research into motor vehicle oscillations in the case of changeable deceleration, *Transport* 20(5): 171-175.
- Pečeliūnas, R.; Lukoševičienė, O.; Prentkovskis, O. 2003. A mathematical model of the vibrating system equivalent to the vehicle in the mode of emergency braking, *Transport* 13(3): 136-142.
- Picu, A. 2009. *Whole body vibration analysis for bus drivers*, SISOM 2009 and Session of the Commission of Acoustics, Bucharest. 4 p. Available from internet: <[http://www.imsar.ro/SISOM Papers 2009/A20.pdf](http://www.imsar.ro/SISOM_Papers_2009/A20.pdf)>.
- Polach, P.; Hajžman, M. 2008. Multibody simulations of trolleybus vertical dynamics and influences of spring-damper structural elements, *Applied and Computational Mechanics* 2(1): 101-112.
- Polach, P.; Hajžman, M. 2007. *Multibody simulations of trolleybus vertical dynamics and influences of tire radial characteristics*, 12th IFToMM World Congress, Besançon, France. 6 p.
- Prem, H.; Ayton, G. 2005. *Improved techniques for assessing ride quality on concrete pavements*, 8th International Conference on Concrete Pavements, Colorado Springs CO, United States. 22 p.

- Prem, H.; De Pont, J.; Edgar, J. 2002. *Comparasion of three programs for simulating heavy vehicle dynamics*, 7th International Symposium on Heavy Vehicle Weights and Dimensions, Delft, The Netherlands. 20 p.
- Rajamani, R. 2006. *Vehicle Dynamics and Control*. New York: Springer. 476 p.
- RoadRuf Software, 1997. *Software for Analyzing Road Profiles*, The University of Michigan Transportation Research Institute.
- Rusov, S. 2012. *Dizel vučna i vučena vozila (predavanja)*, Saobraćajni fakultet u Beogradu.
- Sandover, J. 1998. High acceleration events: an introduction and review of expert opinion, *Journal of Sound and Vibration* 215(4): 927-945.
- Sayers, M.W.; Karamihas, M.S. 1996. Interpretation of road roughness profile data, Final Report, UMTRI. 166 p.
- Sayers, M.W. 1988. *Terrain Inputs to Predict Structural Integrity of Ground Vehicles*, The University of Michigan Transportation Research Institute, Ann Arbor, Michigan. 120 p.
- Schiehlen, W.; Hu, B. 2003. Spectral simulation and shock absorber identification, *International Journal of Non-Linear Mechanics* 38(2): 161-171.
- Schiehlen, W. 1997. Multibody System Dynamics: Roots and Perspectives, *Multibody System Dynamics* 1(2): 149-188.
- Seidel, H.; Hinz, B.; Hofmann, J.; Menzel, G. 2008. Intraspinal forces and health risk caused by whole-body vibration - Predictions for European drivers and different field conditions, *International Journal of Industrial Ergonomics* 38(9-10): 856-867.
- Sekulić, D.; Dedović, V.; Rusov, S.; Šalinić, S.; Obradović, A. 2013. Analysis of vibration effects on the comfort of intercity bus users by oscillatory model with ten degrees of freedom, *Applied Mathematical Modelling* DOI: 10.1016/j.apm.2013.03.060, ISSN 0307-904X.
- Sekulić, D.; Dedović, V. 2011. Intercity bus users vibration comfort analysis through an oscillatory model with seven DOF using Adams/View software, *Journal of Applied Engineering Science* 3(9): 401-410.
- Sekulić, D.; Dedović, V. 2011. The effect of stiffness and damping of the suspension system elements on the optimization of the vibrational behavior of a bus, *IJTTE - International Journal for Transport and Traffic Engineering* 1(4): 231-244.
- Sekulić, D.; Dedović, V. 2011. *Analiza oscilatornog komfora vozača autobusa simulacijom pomoću modela sa šest stepeni slobode*, XXIII Međunarodni naučno-stručni skup: Nauka i motorna vozila, Specijalna konferencija za Zapadni Balkan, Beograd. 13 str.

- Sekulić, D.; Dedović, V. 2011. *Istraživanje oscilatornog komfora autobusa na prostornom modelu sa deset stepeni slobode simulacijom u ADAMS/View softveru*, treći međunarodni naučno-stručni simpozijum "Novi Horizonti saobraćaja i komunikacija 2011", Dobož, Bosna i Hercegovina, 10 str.
- Shahin, M.Y. 2005. *Pavement Management for Airports, Roads, and Parking Lots*, Springer Science+Business Media, LLC, USA. 572 p.
- Shinozuka, M. 1972. Digital simulation of random processes and its applications, *Journal of Sound and Vibration* 25(1): 111-128.
- Shust, C.W. 2007. *Shock and Vibration in Rail and other Transport Modes*, Objective engineers, INC. 83 p.
- Simić, D.; Savčić, A.; Ninković, D. 1979. Uporedno ispitivanje oscilatornih parametara sedišta vozača, *Motorna Vozila Motori* (24-25): 7-68.
- Simić, D. 1975. *Dinamika motornih vozila - oscilacije i vešanje automobila*, Mašinski fakultet u Kragujevcu, Kragujevac. 286 str.
- Standard ISO 2631. 1997. *Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole body vibration*, 2nd edition. 31 p.
- Standard ISO 2631. 1985. *Guide for the Evaluation of Human Exposure to Whole Body Vibration*, 2nd edition. 29 p.
- Standard ISO 8608. 1995. *Mechanical vibration - Road surface profiles - Reporting of measured data*, 1st edition. 34 p.
- Steigerwald, M. 1996. *Strategies for Using the ADAMS Integrators*, North American ADAMS User Conference, Ypsilanti, Michigan. 24 p. Available from internet: <<http://www.mscsoftware.com/support/library/conf/adams/na/1996/UC960015.PDF>>.
- Sun, L. 2003. Simulation of pavement roughness and IRI based on power spectral density, *Mathematics and Computers in Simulation* 61(2): 77-88.
- The MathWorks, Inc. 2001. *Signal Processing Toolox User's Guide*. 800 p.
- The University of Michigan Transportation Research Institute, 1997. *RoadRuf User Reference Manual*, The University of Michigan, Michigan. 112 p.
- Tianfei, M.; Ankang, Z.; Dengfeng, W.; Shumingi, C.; Junchao, D. 2010. *Ride Comfort Analysis of Commercial Vehicle Using Flexible Multi-body and Finite Element Methods*, International Conference on Mechanical and Electrical Technology. 4 p.
- Tiemessen, I.J.; Hulshof, C.T.J.; Frings-Dresen, M.H.W. 2007. An overview of strategies to reduce whole-body vibration exposure on drivers: A systematic review, *International Journal of Industrial Ergonomics* 37(3): 245-256.
- Uys, P.E.; Els, P.S.; Thoresson, M. 2007. Suspension settings for optimal ride comfort

of off-road vehicles travelling on roads with different roughness and speeds, *Journal of Terramechanics* 44(2): 163-175.

Veličković, D. 1990. *Buka i vibracije II*, Univerzitet u Nišu, Niš.

Verros, G.; Natsiavas, S.; Papadimitriou, C. 2005. Design Optimization of Quarter-car Models with Passive and Semi-active Suspensions under Random Road Excitation, *Journal of Vibration and Control* 11(5): 581–606.

Wang, F.; Liu, X. 2010. *Research on the simulation of vehicle ride comfort with random road inputs based on ADAMS/View*, International Conference on Computer Design and Applications. 4 p.

Whitelegg, J. 1995. *Health of professional drivers*, A Report for Transport & General Workers, Lancaster: Union, Eco-Logica Ltd. 10 p. Available from internet: <<http://www.eco-logica.co.uk/pdf/HealthProDrivers.pdf>>.

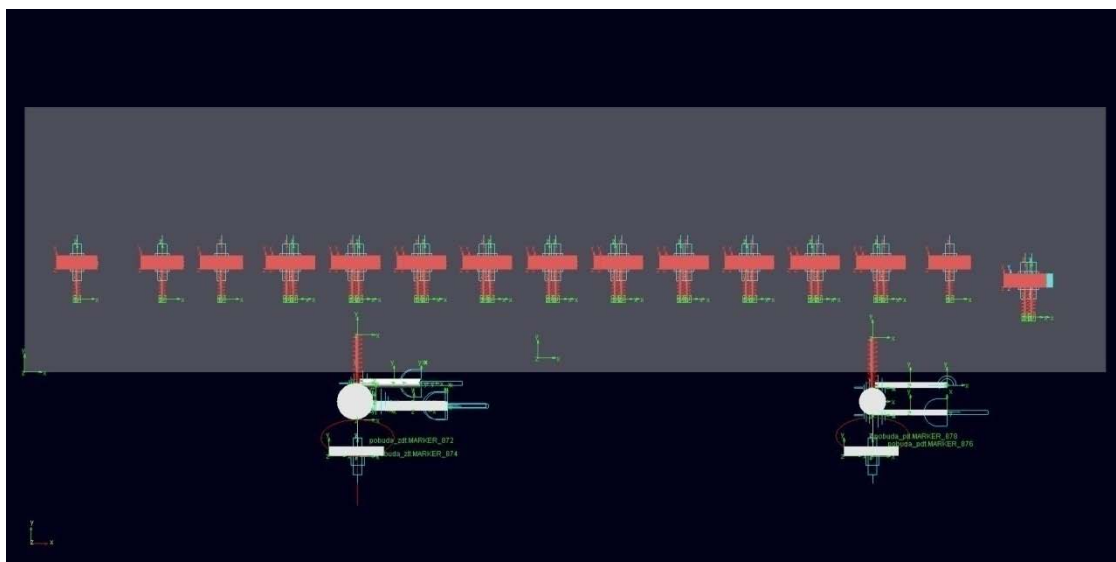
Wong, J.U. 2001. *Theory of Ground Vehicles*, John Wiley & Sons, Inc. 558 p.

www.busevi.com

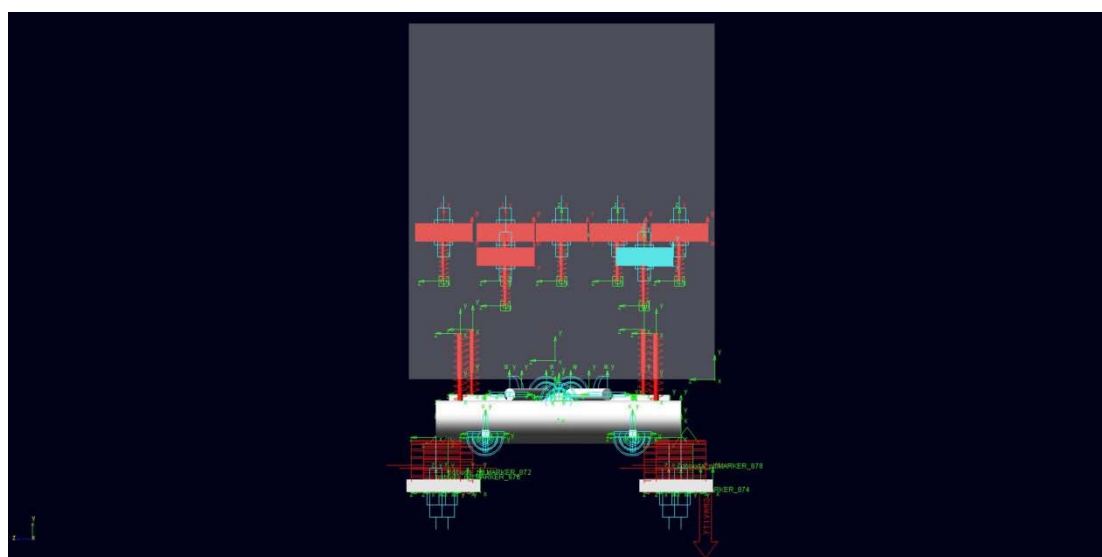
Yang, Y.W.; Cao, Wenwu.; Chung, T.; Morris, J. 2005. *Applied Numerical Methods using Matlab*, a John Wiley & Sons, INC., Publication. 512 p.

Prilozi

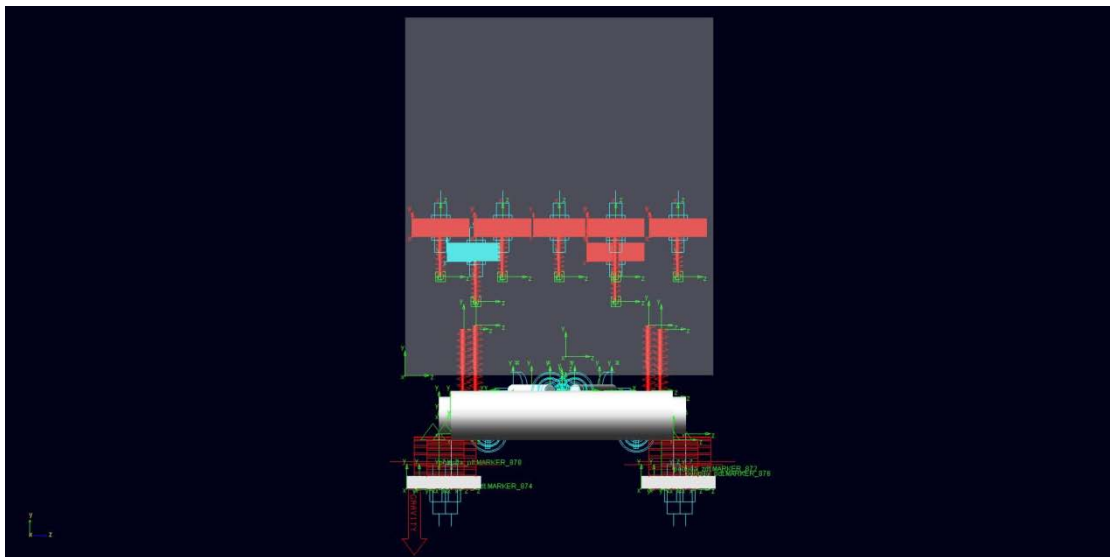
Prilog 1: Oscilatorni model auotbusa IK 301



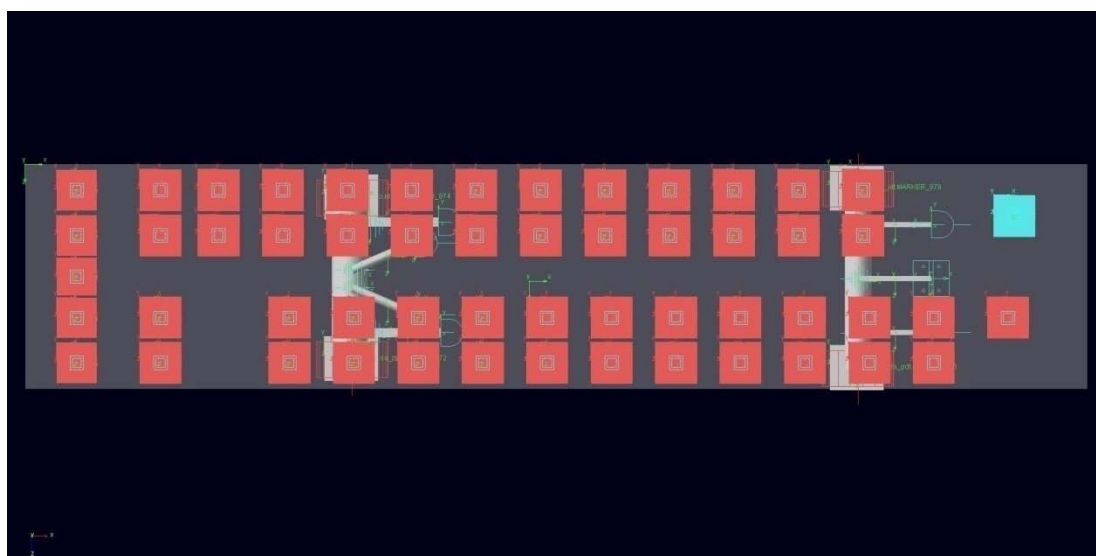
Slika P1.1. Pogled na model sa desne strane



Slika P1.2. Pogled na model sa prednje strane



Slika P1.3. Pogled na model sa zadnje strane



Slika P1.4. Pogled na model odozgo

Prilog 2: Registrovane neravnosti asfalt betonskog kolovoza u lošem stanju, brzina 64 km/h, za verifikaciju oscilatornog modela autobusa IK 301


```

ERDFILEV2.00 -0.337500E-01-0.329167E-01 -0.541667E-02-0.675000E-02
2, 1058, 1058, 1, 5, 0.500000 , - -0.379167E-01-0.313333E-01 -0.641667E-02-0.633333E-02
I, -0.329167E-01-0.272500E-01 -0.650000E-02-0.616667E-02
TITLE K.J.Law Profliometer, Section 5 -0.315000E-01-0.240833E-01 -0.658333E-02-0.658333E-02
SHORTNAMLElev. RElev. -0.315000E-01-0.208333E-01 -0.691667E-02-0.625000E-02
LONGNAMELeft Elevation Right -0.313333E-01-0.181667E-01 -0.683333E-02-0.600000E-02
Elevation -0.303333E-01-0.169167E-01 -0.891667E-02-0.675000E-02
UNITSNAMft ft -0.305833E-01-0.146667E-01 -0.129167E-01-0.708333E-02
GENNAME Profile Elevation Profile -0.283333E-01-0.117500E-01 -0.104167E-01-0.691667E-02
Elevation -0.241667E-01-0.883333E-02 -0.525000E-02-0.775000E-02
XLABEL Distance -0.207500E-01-0.466667E-02 -0.508333E-02-0.933333E-02
XUNITS ft -0.174167E-01-0.583333E-03 -0.583333E-02-0.108333E-01
FORMAT (2G13.6) -0.145000E-01 0.158333E-02 -0.650000E-02-0.116667E-01
HISTORY Converted to ERD format 19:18 on -0.110000E-01 0.358333E-02 -0.691667E-02-0.122500E-01
May 28, 1994 -0.883333E-02 0.700000E-02 -0.825000E-02-0.137500E-01
RIGIBODYLeft Right -0.741667E-02 0.104167E-01 -0.105000E-01-0.154167E-01
SPEEDMPH 40.0000 , -0.508333E-02 0.125833E-01 -0.134167E-01-0.159167E-01
WEATHER SUNNY -0.300000E-02 0.131667E-01 -0.136667E-01-0.166667E-01
TEMPAIR 85 F -0.183333E-02 0.131667E-01 -0.120000E-01-0.185833E-01
NACC 2 -0.141667E-02 0.133333E-01 -0.130833E-01-0.199167E-01
NSENSORS2 -0.833333E-03 0.138333E-01 -0.141667E-01-0.199167E-01
TIME 11:40:47 0.416667E-03 0.143333E-01 -0.140833E-01-0.209167E-01
DATE 06/27/93 0.125000E-02 0.146667E-01 -0.149167E-01-0.231667E-01
VEHICLIDSN007 0.125000E-02 0.152500E-01 -0.168333E-01-0.253333E-01
VEHTYPE CHAMPION RV. 0.333333E-03 0.143333E-01 -0.182500E-01-0.263333E-01
DRIVER VOGEL -0.416667E-03 0.137500E-01 -0.185000E-01-0.272500E-01
OPERATORMARSHALL -0.141667E-02 0.141667E-01 -0.181667E-01-0.290000E-01
SENSITYPEO -0.341667E-02 0.135833E-01 -0.195000E-01-0.295000E-01
OWNER FHWA LTPP -0.483333E-02 0.123333E-01 -0.219167E-01-0.300000E-01
SITE 05 -0.433333E-02 0.115000E-01 -0.225833E-01-0.302500E-01
END -0.433333E-02 0.105000E-01 -0.220833E-01-0.300833E-01
0.117500E-01 0.188333E-01 -0.228333E-01-0.305833E-01
0.109167E-01 0.172500E-01 -0.248333E-01-0.320833E-01
0.102500E-01 0.161667E-01 -0.263333E-01-0.354167E-01
0.916667E-02 0.140000E-01 -0.277500E-01-0.385000E-01
0.750000E-02 0.114167E-01 -0.296667E-01-0.390000E-01
0.616667E-02 0.107500E-01 -0.541667E-02 0.433333E-02 -0.310833E-01-0.395833E-01
0.550000E-02 0.103333E-01 -0.416667E-02 0.358333E-02 -0.315833E-01-0.420000E-01
0.500000E-02 0.908333E-02 -0.275000E-02 0.258333E-02 -0.320000E-01-0.433333E-01
0.291667E-02 0.791667E-02 -0.266667E-02 0.191667E-02 -0.325833E-01-0.438333E-01
0.116667E-02 0.658333E-02 -0.333333E-02 0.116667E-02 -0.322500E-01-0.453333E-01
0.108333E-02 0.550000E-02 -0.383333E-02 0.250000E-03 -0.310000E-01-0.478333E-01
0.125000E-02 0.408333E-02 -0.333333E-02 0.250000E-02 -0.295833E-01-0.500833E-01
0.250000E-03 0.258333E-02 -0.341667E-02 0.358333E-02 -0.284167E-01-0.507500E-01
0.225000E-02 0.108333E-02 -0.433333E-02 0.425000E-02 -0.269167E-01-0.499167E-01
0.341667E-02 0.200000E-02 -0.533333E-02 0.625000E-02 -0.306667E-01-0.514167E-01
0.416667E-02 0.258333E-02 -0.575000E-02 0.783333E-02 -0.347500E-01-0.562500E-01
0.441667E-02 0.116667E-02 -0.675000E-02 0.850000E-02 -0.348333E-01-0.528333E-01
0.483333E-02 0.158333E-02 -0.825000E-02 0.106667E-01 -0.316667E-01-0.451667E-01
0.466667E-02 0.225000E-02 -0.850000E-02 0.126667E-01 -0.261667E-01-0.466667E-01
0.391667E-02 0.225000E-02 -0.833333E-02 0.126667E-01 -0.229167E-01-0.455833E-01
0.408333E-02 0.266667E-02 -0.102500E-01 0.132500E-01 -0.212500E-01-0.382500E-01
0.333333E-02 0.366667E-02 -0.130000E-01 0.148333E-01 -0.204167E-01-0.351667E-01
0.833333E-03 0.400000E-02 -0.134167E-01 0.158333E-01 -0.191667E-01-0.336667E-01
0.666667E-03 0.391667E-02 -0.132500E-01 0.158333E-01 -0.170833E-01-0.309167E-01
0.100000E-02 0.433333E-02 -0.146667E-01 0.150833E-01 -0.148333E-01-0.283333E-01
0.250000E-03 0.400000E-02 -0.155833E-01 0.138333E-01 -0.132500E-01-0.263333E-01
0.500000E-03 0.316667E-02 -0.144167E-01 0.136667E-01 -0.109167E-01-0.250833E-01
0.166667E-03 0.300000E-02 -0.128333E-01 0.140833E-01 -0.800000E-02-0.240833E-01
0.666667E-03 0.391667E-02 -0.128333E-01 0.130833E-01 .....
0.225000E-02 0.416667E-02 -0.119167E-01 0.125833E-01 .....
0.458333E-02 0.391667E-02 -0.916667E-02 0.119167E-01 .....
0.525000E-02 0.458333E-02 -0.691667E-02 0.117500E-01 0.113333E-01 0.199167E-01
0.558333E-02 0.550000E-02 -0.541667E-02 0.118333E-01 0.132500E-01 0.205833E-01
0.725000E-02 0.716667E-02 -0.483333E-02 0.933333E-02 0.165000E-01 0.212500E-01
0.891667E-02 0.825000E-02 -0.458333E-02 0.758333E-02 0.186667E-01 0.231667E-01
0.925000E-02 0.941667E-02 -0.325000E-02 0.775000E-02 0.201667E-01 0.270000E-01
0.101667E-01 0.102500E-01 -0.333333E-02 0.650000E-02 0.210833E-01 0.286667E-01
0.120833E-01 0.105000E-01 -0.308333E-02 0.483333E-02 0.225000E-01 0.300000E-01
0.136667E-01 0.120000E-01 -0.191667E-02 0.508333E-02 0.240000E-01 0.315000E-01
0.151667E-01 0.137500E-01 -0.166667E-02 0.500000E-02 0.244167E-01 0.322500E-01
0.170000E-01 0.155833E-01 -0.158333E-02 0.525000E-02 0.245000E-01 0.326667E-01
0.203333E-01 0.170833E-01 -0.216667E-02 0.533333E-02 0.246667E-01 0.313333E-01
0.229167E-01 0.181667E-01 -0.175000E-02 0.408333E-02 0.246667E-01 0.300000E-01
0.231667E-01 0.189167E-01 -0.125000E-02 0.400000E-02 0.241667E-01 0.299167E-01
0.228333E-01 0.195833E-01 -0.283333E-02 0.533333E-02 .....
0.240833E-01 0.264167E-01 -0.433333E-02 0.641667E-02 .....

```

**Prilog 3: Rezultati analize “*DOE - Deisign Of Experiments*“
softvera *ADAMS-View* za korisnike autobusa IK 301**

Loš asfalt-betonski kolovoz, brzina 80 km/h

Design of Experiments Summary

Model Name : IK_301

Model Title: IK301

Date Run : 2013-02-12 17:47:24

Objectives

O1) Minimum of COMP_MEA_RMS_suvozac

Units : meter/sec**2

Maximum Value: 1.98388 (trial 5)

Minimum Value: 0.501005 (trial 21)

Design Variables

V1) DV_suvozac_damping

Units : newton-sec/meter

V2) DV_suvozac_stiffness

Units : newton/meter

Trial	O1	V1	V2
1	0.66546	110.00	10000.
2	0.67074	110.00	15000.
3	0.81520	110.00	20000.
4	1.2954	110.00	25000.
5	1.9839	110.00	30000.
6	0.59286	165.00	10000.
7	0.61805	165.00	15000.
8	0.78367	165.00	20000.
9	1.1870	165.00	25000.
10	1.7868	165.00	30000.
11	0.54704	220.00	10000.
12	0.59248	220.00	15000.
13	0.76079	220.00	20000.
14	1.1110	220.00	25000.
15	1.6302	220.00	30000.
16	0.51821	275.00	10000.
17	0.57974	275.00	15000.
18	0.74465	275.00	20000.
19	1.0555	275.00	25000.
20	1.5055	275.00	30000.
21	0.50101	330.00	10000.
22	0.57421	330.00	15000.
23	0.73361	330.00	20000.
24	1.0133	330.00	25000.
25	1.4063	330.00	30000.

Loš asfalt-betonski kolovoz, brzina 80 km/h

Design of Experiments Summary

Model Name : IK_301

Model Title: IK301

Date Run : 2013-02-13 14:56:11

Objectives

O1) Minimum of COMP_MEA_RMS_putnik5

Units : meter/sec**2

Maximum Value: 1.75714 (trial 5)

Minimum Value: 0.449719 (trial 21)

Design Variables

V1) DV_putnik5_damping

Units : newton-sec/meter

V2) DV_putnik5_stiffness

Units : newton/meter

Trial	O1	V1	V2
1	0.53221	110.00	10000.
2	0.54093	110.00	15000.
3	0.68849	110.00	20000.
4	1.0685	110.00	25000.
5	1.7571	110.00	30000.
6	0.48920	165.00	10000.
7	0.52546	165.00	15000.
8	0.68015	165.00	20000.
9	1.0149	165.00	25000.
10	1.6101	165.00	30000.
11	0.46541	220.00	10000.
12	0.52075	220.00	15000.
13	0.67517	220.00	20000.
14	0.97664	220.00	25000.
15	1.4879	220.00	30000.
16	0.45355	275.00	10000.
17	0.52161	275.00	15000.
18	0.67301	275.00	20000.
19	0.94791	275.00	25000.
20	1.3890	275.00	30000.
21	0.44972	330.00	10000.
22	0.52599	330.00	15000.
23	0.67322	330.00	20000.
24	0.92577	330.00	25000.
25	1.3101	330.00	30000.

Loš asfalt-betonski kolovoz, brzina 80 km/h

Design of Experiments Summary

Model Name : IK_301

Model Title: IK301

Date Run : 2013-02-12 16:48:20

Objectives

O1) Minimum of COMP_MEA_RMS_putnik49

Units : meter/sec**2

Maximum Value: 3.70707 (trial 5)

Minimum Value: 0.602297 (trial 6)

Design Variables

V1) DV_putnik49_damping

Units : newton-sec/meter

V2) DV_putnik49_stiffness

Units : newton/meter

Trial	O1	V1	V2
1	0.62228	110.00	10000.
2	0.90345	110.00	15000.
3	1.2682	110.00	20000.
4	2.1801	110.00	25000.
5	3.7071	110.00	30000.
6	0.60230	165.00	10000.
7	0.85745	165.00	15000.
8	1.2389	165.00	20000.
9	2.0187	165.00	25000.
10	3.3076	165.00	30000.
11	0.60398	220.00	10000.
12	0.84521	220.00	15000.
13	1.2194	220.00	20000.
14	1.9036	220.00	25000.
15	2.9879	220.00	30000.
16	0.61927	275.00	10000.
17	0.84968	275.00	15000.
18	1.2085	275.00	20000.
19	1.8178	275.00	25000.
20	2.7340	275.00	30000.
21	0.64395	330.00	10000.
22	0.86419	330.00	15000.
23	1.2047	330.00	20000.
24	1.7522	330.00	25000.
25	2.5337	330.00	30000.

Loš asfalt-betonski kolovoz, brzina 72 km/h

Design of Experiments Summary

Model Name : IK_301

Model Title: IK301

Date Run : 2013-02-14 10:40:36

Objectives

O1) Minimum of COMP_MEA_RMS_suvozac

Units : meter/sec**2

Maximum Value: 1.25798 (trial 1)

Minimum Value: 1.08759 (trial 25)

Design Variables

V1) DV_suvozac_damping

Units : newton-sec/meter

V2) DV_suvozac_stiffness

Units : newton/meter

Trial	O1	V1	V2
1	1.2580	110.00	10000.
2	1.1725	110.00	15000.
3	1.1793	110.00	20000.
4	1.2012	110.00	25000.
5	1.1259	110.00	30000.
6	1.2328	165.00	10000.
7	1.1518	165.00	15000.
8	1.1456	165.00	20000.
9	1.1523	165.00	25000.
10	1.1127	165.00	30000.
11	1.2122	220.00	10000.
12	1.1383	220.00	15000.
13	1.1251	220.00	20000.
14	1.1253	220.00	25000.
15	1.1025	220.00	30000.
16	1.1948	275.00	10000.
17	1.1283	275.00	15000.
18	1.1117	275.00	20000.
19	1.1086	275.00	25000.
20	1.0943	275.00	30000.
21	1.1798	330.00	10000.
22	1.1204	330.00	15000.
23	1.1023	330.00	20000.
24	1.0973	330.00	25000.
25	1.0876	330.00	30000.

Loš asfalt-betonski kolovoz, brzina 72 km/h

Design of Experiments Summary

Model Name : IK_301

Model Title: IK301

Date Run : 2013-02-12 23:13:08

Objectives

O1) Minimum of COMP_MEA_RMS_putnik1

Units : meter/sec**2

Maximum Value: 0.872727 (trial 1)

Minimum Value: 0.787366 (trial 25)

Design Variables

V1) DV_putnik1_damping

Units : newton-sec/meter

V2) DV_putnik1_stiffness

Units : newton/meter

Trial	O1	V1	V2
1	0.87273	110.00	10000.
2	0.83171	110.00	15000.
3	0.85070	110.00	20000.
4	0.82691	110.00	25000.
5	0.80797	110.00	30000.
6	0.85712	165.00	10000.
7	0.82088	165.00	15000.
8	0.82695	165.00	20000.
9	0.81438	165.00	25000.
10	0.79962	165.00	30000.
11	0.84506	220.00	10000.
12	0.81367	220.00	15000.
13	0.81337	220.00	20000.
14	0.80545	220.00	25000.
15	0.79441	220.00	30000.
16	0.83511	275.00	10000.
17	0.80814	275.00	15000.
18	0.80457	275.00	20000.
19	0.79881	275.00	25000.
20	0.79054	275.00	30000.
21	0.82659	330.00	10000.
22	0.80356	330.00	15000.
23	0.79834	330.00	20000.
24	0.79367	330.00	25000.
25	0.78737	330.00	30000.

Loš asfalt-betonski kolovoz, brzina 72 km/h

Design of Experiments Summary

Model Name : IK_301

Model Title: IK301

Date Run : 2013-02-15 16:22:09

Objectives

O1) Minimum of COMP_MEA_RMS_putnik12

Units : meter/sec**2

Maximum Value: 0.867039 (trial 4)

Minimum Value: 0.74282 (trial 23)

Design Variables

V1) DV_putnik12_damping

Units : newton-sec/meter

V2) DV_putnik12_stiffness

Units : newton/meter

Trial	O1	V1	V2
1	0.85830	110.00	10000.
2	0.79207	110.00	15000.
3	0.78480	110.00	20000.
4	0.86704	110.00	25000.
5	0.83636	110.00	30000.
6	0.84310	165.00	10000.
7	0.77618	165.00	15000.
8	0.76779	165.00	20000.
9	0.81146	165.00	25000.
10	0.80675	165.00	30000.
11	0.82987	220.00	10000.
12	0.76673	220.00	15000.
13	0.75654	220.00	20000.
14	0.78178	220.00	25000.
15	0.78638	220.00	30000.
16	0.81813	275.00	10000.
17	0.76018	275.00	15000.
18	0.74864	275.00	20000.
19	0.76384	275.00	25000.
20	0.77148	275.00	30000.
21	0.80753	330.00	10000.
22	0.75516	330.00	15000.
23	0.74282	330.00	20000.
24	0.75204	330.00	25000.
25	0.76018	330.00	30000.

Loš asfalt-betonski kolovoz, brzina 72 km/h

Design of Experiments Summary

Model Name : IK_301

Model Title: IK301

Date Run : 2013-02-15 17:45:56

Objectives

O1) Minimum of COMP_MEA_RMS_putnik42

Units : meter/sec**2

Maximum Value: 0.90848 (trial 4)

Minimum Value: 0.673167 (trial 21)

Design Variables

V1) DV_putnik42_damping

Units : newton-sec/meter

V2) DV_putnik42_stiffness

Units : newton/meter

Trial	O1	V1	V2
1	0.70342	110.00	10000.
2	0.72036	110.00	15000.
3	0.79304	110.00	20000.
4	0.90848	110.00	25000.
5	0.86602	110.00	30000.
6	0.69223	165.00	10000.
7	0.70240	165.00	15000.
8	0.75308	165.00	20000.
9	0.82508	165.00	25000.
10	0.82506	165.00	30000.
11	0.68408	220.00	10000.
12	0.69168	220.00	15000.
13	0.72861	220.00	20000.
14	0.77995	220.00	25000.
15	0.79614	220.00	30000.
16	0.67792	275.00	10000.
17	0.68447	275.00	15000.
18	0.71271	275.00	20000.
19	0.75231	275.00	25000.
20	0.77455	275.00	30000.
21	0.67317	330.00	10000.
22	0.67932	330.00	15000.
23	0.70190	330.00	20000.
24	0.73402	330.00	25000.
25	0.75791	330.00	30000.

Loš asfalt-betonski kolovoz, brzina 72 km/h

Design of Experiments Summary

Model Name : IK_301

Model Title: IK301

Date Run : 2013-02-15 16:55:24

Objectives

O1) Minimum of COMP_MEA_RMS_putnik48

Units : meter/sec**2

Maximum Value: 1.0266 (trial 5)

Minimum Value: 0.791855 (trial 21)

Design Variables

V1) DV_putnik48_damping

Units : newton-sec/meter

V2) DV_putnik48_stiffness

Units : newton/meter

Trial	O1	V1	V2
1	0.83509	110.00	10000.
2	0.82875	110.00	15000.
3	0.91982	110.00	20000.
4	1.0206	110.00	25000.
5	1.0266	110.00	30000.
6	0.81794	165.00	10000.
7	0.81750	165.00	15000.
8	0.87434	165.00	20000.
9	0.94375	165.00	25000.
10	0.96485	165.00	30000.
11	0.80637	220.00	10000.
12	0.80913	220.00	15000.
13	0.84766	220.00	20000.
14	0.89952	220.00	25000.
15	0.92552	220.00	30000.
16	0.79804	275.00	10000.
17	0.80263	275.00	15000.
18	0.83079	275.00	20000.
19	0.87149	275.00	25000.
20	0.89832	275.00	30000.
21	0.79186	330.00	10000.
22	0.79754	330.00	15000.
23	0.81949	330.00	20000.
24	0.85256	330.00	25000.
25	0.87848	330.00	30000.

Loš asfalt-betonski kolovoz, brzina 72 km/h

Design of Experiments Summary

Model Name : IK_301

Model Title: IK301

Date Run : 2013-02-12 22:14:34

Objectives

O1) Minimum of COMP_MEA_RMS_putnik49

Units : meter/sec**2

Maximum Value: 1.25077 (trial 4)

Minimum Value: 0.983029 (trial 22)

Design Variables

V1) DV_putnik49_damping

Units : newton-sec/meter

V2) DV_putnik49_stiffness

Units : newton/meter

Trial	O1	V1	V2
1	1.0310	110.00	10000.
2	1.0470	110.00	15000.
3	1.1236	110.00	20000.
4	1.2508	110.00	25000.
5	1.1608	110.00	30000.
6	1.0145	165.00	10000.
7	1.0190	165.00	15000.
8	1.0721	165.00	20000.
9	1.1500	165.00	25000.
10	1.1180	165.00	30000.
11	1.0020	220.00	10000.
12	1.0024	220.00	15000.
13	1.0401	220.00	20000.
14	1.0937	220.00	25000.
15	1.0875	220.00	30000.
16	0.99209	275.00	10000.
17	0.99113	275.00	15000.
18	1.0190	275.00	20000.
19	1.0587	275.00	25000.
20	1.0644	275.00	30000.
21	0.98413	330.00	10000.
22	0.98303	330.00	15000.
23	1.0044	330.00	20000.
24	1.0354	330.00	25000.
25	1.0466	330.00	30000.

Dobar asfalt-betonski kolovoz, brzina 90 km/h

Design of Experiments Summary

Model Name : IK_301

Model Title: IK301

Date Run : 2013-02-15 10:39:06

Objectives

O1) Minimum of COMP_MEA_RMS_suvozac

Units : meter/sec**2

Maximum Value: 0.948304 (trial 5)

Minimum Value: 0.699826 (trial 21)

Design Variables

V1) DV_suvozac_damping

Units : newton-sec/meter

V2) DV_suvozac_stiffness

Units : newton/meter

Trial	O1	V1	V2
1	0.80156	110.00	10000.
2	0.88733	110.00	15000.
3	0.75496	110.00	20000.
4	0.79064	110.00	25000.
5	0.94830	110.00	30000.
6	0.75328	165.00	10000.
7	0.80621	165.00	15000.
8	0.74032	165.00	20000.
9	0.76948	165.00	25000.
10	0.88956	165.00	30000.
11	0.72722	220.00	10000.
12	0.76237	220.00	15000.
13	0.72959	220.00	20000.
14	0.75554	220.00	25000.
15	0.85058	220.00	30000.
16	0.71094	275.00	10000.
17	0.73614	275.00	15000.
18	0.72135	275.00	20000.
19	0.74540	275.00	25000.
20	0.82295	275.00	30000.
21	0.69983	330.00	10000.
22	0.71929	330.00	15000.
23	0.71482	330.00	20000.
24	0.73758	330.00	25000.
25	0.80247	330.00	30000.

Dobar asfalt-betonski kolovoz, brzina 90 km/h

Design of Experiments Summary

Model Name : IK_301

Model Title: IK301

Date Run : 2013-02-13 18:08:08

Objectives

O1) Minimum of COMP_MEA_RMS_putnik1

Units : meter/sec**2

Maximum Value: 1.04553 (trial 5)

Minimum Value: 0.689726 (trial 21)

Design Variables

V1) DV_putnik1_damping

Units : NO UNITS

V2) DV_putnik1_stiffness

Units : NO UNITS

Trial	O1	V1	V2
1	0.79571	110.00	10000.
2	0.79101	110.00	15000.
3	0.90471	110.00	20000.
4	1.0140	110.00	25000.
5	1.0455	110.00	30000.
6	0.75260	165.00	10000.
7	0.76573	165.00	15000.
8	0.86162	165.00	20000.
9	0.95079	165.00	25000.
10	0.97053	165.00	30000.
11	0.72404	220.00	10000.
12	0.74598	220.00	15000.
13	0.82683	220.00	20000.
14	0.90235	220.00	25000.
15	0.92081	220.00	30000.
16	0.70413	275.00	10000.
17	0.73007	275.00	15000.
18	0.79906	275.00	20000.
19	0.86461	275.00	25000.
20	0.88445	275.00	30000.
21	0.68973	330.00	10000.
22	0.71708	330.00	15000.
23	0.77682	330.00	20000.
24	0.83469	330.00	25000.
25	0.85617	330.00	30000.

Dobar asfalt-betonski kolovoz, brzina 90 km/h

Design of Experiments Summary

Model Name : IK_301

Model Title: IK301

Date Run : 2013-02-15 20:27:20

Objectives

O1) Minimum of COMP_MEA_RMS_putnik8

Units : meter/sec**2

Maximum Value: 1.0753 (trial 4)

Minimum Value: 0.548647 (trial 21)

Design Variables

V1) DV_putnik8_damping

Units : newton-sec/meter

V2) DV_putnik8_stiffness

Units : newton/meter

Trial	O1	V1	V2
1	0.64408	110.00	10000.
2	0.67894	110.00	15000.
3	0.88441	110.00	20000.
4	1.0753	110.00	25000.
5	0.86758	110.00	30000.
6	0.59886	165.00	10000.
7	0.63355	165.00	15000.
8	0.77880	165.00	20000.
9	0.92067	165.00	25000.
10	0.81408	165.00	30000.
11	0.57410	220.00	10000.
12	0.60649	220.00	15000.
13	0.71511	220.00	20000.
14	0.82460	220.00	25000.
15	0.77601	220.00	30000.
16	0.55885	275.00	10000.
17	0.58858	275.00	15000.
18	0.67326	275.00	20000.
19	0.76101	275.00	25000.
20	0.74645	275.00	30000.
21	0.54865	330.00	10000.
22	0.57595	330.00	15000.
23	0.64429	330.00	20000.
24	0.71693	330.00	25000.
25	0.72256	330.00	30000.

Dobar asfalt-betonski kolovoz, brzina 90 km/h

Design of Experiments Summary

Model Name : IK_301

Model Title: IK301

Date Run : 2013-02-15 13:28:44

Objectives

O1) Minimum of COMP_MEA_RMS_putnik37

Units : meter/sec**2

Maximum Value: 1.06211 (trial 1)

Minimum Value: 0.680571 (trial 21)

Design Variables

V1) DV_putnik37_damping

Units : newton-sec/meter

V2) DV_putnik37_stiffness

Units : newton/meter

Trial	O1	V1	V2
1	1.0621	110.00	10000.
2	0.87942	110.00	15000.
3	0.87062	110.00	20000.
4	0.90989	110.00	25000.
5	0.97548	110.00	30000.
6	0.87424	165.00	10000.
7	0.80460	165.00	15000.
8	0.80793	165.00	20000.
9	0.84794	165.00	25000.
10	0.92478	165.00	30000.
11	0.77431	220.00	10000.
12	0.75668	220.00	15000.
13	0.76747	220.00	20000.
14	0.80772	220.00	25000.
15	0.88720	220.00	30000.
16	0.71628	275.00	10000.
17	0.72463	275.00	15000.
18	0.74003	275.00	20000.
19	0.78049	275.00	25000.
20	0.85844	275.00	30000.
21	0.68057	330.00	10000.
22	0.70227	330.00	15000.
23	0.72091	330.00	20000.
24	0.76144	330.00	25000.
25	0.83618	330.00	30000.

Dobar asfalt-betonski kolovoz, brzina 90 km/h

Design of Experiments Summary

Model Name : IK_301

Model Title: IK301

Date Run : 2013-02-15 17:39:23

Objectives

O1) Minimum of COMP_MEA_RMS_putnik50

Units : meter/sec**2

Maximum Value: 1.52768 (trial 5)

Minimum Value: 0.529522 (trial 21)

Design Variables

V1) DV_putnik50_damping

Units : newton-sec/meter

V2) DV_putnik50_stiffness

Units : newton/meter

Trial	O1	V1	V2
1	0.73208	110.00	10000.
2	0.77921	110.00	15000.
3	0.77856	110.00	20000.
4	1.1316	110.00	25000.
5	1.5277	110.00	30000.
6	0.62597	165.00	10000.
7	0.69769	165.00	15000.
8	0.73079	165.00	20000.
9	0.98540	165.00	25000.
10	1.3269	165.00	30000.
11	0.57312	220.00	10000.
12	0.64948	220.00	15000.
13	0.70098	220.00	20000.
14	0.90275	220.00	25000.
15	1.1871	220.00	30000.
16	0.54479	275.00	10000.
17	0.61991	275.00	15000.
18	0.68084	275.00	20000.
19	0.84969	275.00	25000.
20	1.0876	275.00	30000.
21	0.52952	330.00	10000.
22	0.60157	330.00	15000.
23	0.66698	330.00	20000.
24	0.81302	330.00	25000.
25	1.0152	330.00	30000.

Dobar asfalt-betonski kolovoz, brzina 90 km/h

Design of Experiments Summary

Model Name : IK_301

Model Title: IK301

Date Run : 2013-02-13 23:09:03

Objectives

O1) Minimum of COMP_MEA_RMS_putnik53

Units : meter/sec**2

Maximum Value: 1.76876 (trial 5)

Minimum Value: 0.554555 (trial 21)

Design Variables

V1) DV_putnik53_damping

Units : newton-sec/meter

V2) DV_putnik53_stiffness

Units : newton/meter

Trial	O1	V1	V2
1	0.67453	110.00	10000.
2	0.82104	110.00	15000.
3	1.0172	110.00	20000.
4	1.7121	110.00	25000.
5	1.7688	110.00	30000.
6	0.60795	165.00	10000.
7	0.74292	165.00	15000.
8	0.92438	165.00	20000.
9	1.4064	165.00	25000.
10	1.5541	165.00	30000.
11	0.57724	220.00	10000.
12	0.69624	220.00	15000.
13	0.86349	220.00	20000.
14	1.2218	220.00	25000.
15	1.3924	220.00	30000.
16	0.56187	275.00	10000.
17	0.66749	275.00	15000.
18	0.82040	275.00	20000.
19	1.1011	275.00	25000.
20	1.2709	275.00	30000.
21	0.55455	330.00	10000.
22	0.64955	330.00	15000.
23	0.78886	330.00	20000.
24	1.0176	330.00	25000.
25	1.1787	330.00	30000.

Prilog 4: Filteri W_k , W_d i W_z standarda ISO 2631 (1997) i ISO 2631 (1985) za vrednovanje vertikalnih i horizontalnih ubrzanja u programskom paketu *MATLAB*

```

function filtriran = iso2631_Wd(signal_ubrzanje_xy,fs)

% funkcija za vrednovanje signala horizontalnog ubrzanja na mestima korisnika;
% sedeci položaj, horizontalni pravac ( x,y-osa );

% koeficijenti za filtere preuzeti iz standrada ISO 2631-1 (1997);
f1=0.4; f2=100; f3=2.0; f4=2.0;
q4=0.63;

w1=2*pi*f1;
w2=2*pi*f2;
w3=2*pi*f3;
w4=2*pi*f4;

% -----Band pass filter-----
% high pass filter;
numfh = [1 0 0];
denfh = [1 sqrt(2)*w1 w1^2];

% low pass filter;
numfl = [1];
denfl = [1/(w2^2) sqrt(2)/w2 1];

% band pass filter;
numf = conv(numfh,numfl);
denf = conv(denfh,denfl);

[numdf dendf] = bilinear(numf,denf,fs);
filtriran1 = filter(numdf,dendf,signal);

% -----Weighting filters-----
% acceleration-velocity transition;
numav = [1/w3 1];
denav = [1/(w4^2) 1/(q4*w4) 1];

% upward step filter;
numus = [1];
denus = [1];

% weighting transfer function;
numw = conv(numav,numus);
denw = conv(denav,denus);

[numdw dendw] = bilinear(numw,denw,fs);
filtriran = filter(numdw,dendw,filtriran1);

```

```

function filtriran = iso2631_Wk(signal_ubrzanje_z,fs)

% funkcija za vrednovanje signala vertikalnog ubrzanja na mestima korisnika;
% sedeci položaj, vertikalni pravac ( z-osa );

% koeficijenti za filtere preuzeti iz standrada ISO 2631-1 (1997);
f1=0.4; f2=100; f3=12.5; f4=12.5; f5=2.37; f6=3.35;
q4=0.63; q5=0.91; q6=0.91;

w1=2*pi*f1;
w2=2*pi*f2;
w3=2*pi*f3;
w5=2*pi*f5;
w6=2*pi*f6;
w4=2*pi*f4;

% -----Band pass filter ;-----
% high pass filter;
numfh = [1 0 0];
denfh = [1 sqrt(2)*w1 w1^2];

% low pass filter;
numfl = [1];
denfl = [1/(w2^2) sqrt(2)/w2 1];

% band pass filter;
numf = conv(numfh,numfl);
denf = conv(denfh,denfl);

[numdf dendf] = bilinear(numf,denf,fs);
filtriran1 = filter(numdf,dendf,signal);

% -----Weighting filters-----
% acceleration-velocity transition;
numav = [1/w3 1];
denav = [1/(w4^2) 1/(q4*w4) 1];

% upward step filter;
numus = ((w5/w6)^2)*[1/(w5^2) 1/(q5*w5) 1];
denus = [1/w6^2 1/(q6*w6) 1];

% weighting transfer function;
numw = conv(numav,numus);
denw = conv(denav,denus);

[numdw dendw] = bilinear(numw,denw,fs);
filtriran = filter(numdw,dendw,filtriran1);

```

```

function filtriran = iso2631_Wz(signal_ubrzanje_z,fs)

% funkcija za vrednovanje signala vertikalnog ubrzanja na mestima korisnika;
% sedeci položaj, vertikalni pravac ( z-osa );

% koeficijenti za filtere preuzeti iz standrada ISO 2631-1 (1985);
f1=0.8; f2=100; f3=1.5; f4=5.3;
q2=0.68;

w1=2*pi*f1;
w2=2*pi*f2;
w3=2*pi*f3;
w4=2*pi*f4;

% -----Band pass filter ;-----
% high pass filter;
numf_h = [1 0 0];
denf_h = [1 sqrt(2)*w1 w1^2];

% low pass filter;
numf_l = [1];
denf_l = [1/(w2^2) sqrt(2)/w2 1];

% band pass filter ;
numf_bp = conv(numf_h,numf_l);
denf_bp = conv(denf_h,denf_l);

[numdf dendf] = bilinear(numf_bp,denf_bp,fs);
filtriran1 = filter(numdf,dendf,signal);

% -----Network weighting filters-----
numw = [1/w3 1];
denw = 2.38*[1/w4^2 1/(q2*w4) 1];

[numdw dendw] = bilinear(numw,denw,fs);
filtriran = filter(numdw,dendw,filtriran1);

```

Prilog 5: Programski kod u programskom paketu *MATLAB* za generisanje podužnih neravnosti vrlo dobrog asfaltbetonskog kolovoza

```

% generisane_poduzne_neravnosti.m ;-----

clear all

set(0,'DefaultAxesFontSize',18)

L = 5.65; % medjuosovinsko rastojanje autobusa [m];

Fi_0 = 6*10^(-6); % klasa kolovoza [m^2/(rad/m)];
w = 2.18; % talasne duzine kolovoza;
ni_0 = 1; % repna kruzna frekvencija neravnosti [rad/m];

ni_1 = 0.2; % frekvencija za prenosu funkciju filtera za dobijanje autokorelacione spektralne gustine
% (PSD) neravnosti kolovoza [rad/m];

% frekventni opseg neravnosti;
omega_1 = 0.5; % donja granica [Hz];
omega_n = 50; % gornja granica [Hz];

N = 1000; % broj harmonika;
delta_omega = (omega_n-omega_1)/N; % korak;
k = omega_1 : delta_omega : omega_n; % frekventni opseg;
n = length(k);

v = 100; % brzina vozila [km/h];
v_0 = v/3.6; % brzina vozila [m/s];

for mm = 1:n-1;

    omega(mm) = omega_1 + (mm-1/2)*delta_omega; % frekvencije za proracun PSD neravnosti [Hz];

    Fi(mm) = v_0*Fi_0*(omega(mm)/ni_0).^(-w); % PSD neravnosti kolovoza na desnom tragu [m^2/Hz];

    Ampl_d(mm) = sqrt(2*Fi(mm)*delta_omega); % amplituda neravnosti kolovoza na desnom tragu [m];

    Fi_cs(mm) = Fi(mm)*(ni_1^2/(ni_1^2+2*(omega(mm)/v_0)^2)); % autokorelaciona PSD
    % neravnosti [m^2/Hz];

    Ampl_1l(mm) = sqrt(2*Fi_cs(mm)*delta_omega); % prvi deo neravnosti za levi trag;
    Ampl_2l(mm) = sqrt(2*(Fi(mm)-Fi_cs(mm))*delta_omega); % drugi deo neravnosti za levi trag;

end

figure(1)
loglog(omega,Fi,'-k','linewidth',2);
grid on
xlabel('Frekvencija [Hz]','FontSize',20)
ylabel('Spektralna gustina neravnosti [m^2/Hz]','FontSize',20)
title(['Spektralna gustina neravnosti kolovoza za brzinu autobusa',' \itV}=',num2str(v),'...
[km/h]'],'VerticalAlignment','Baseline')

angle1 = 2*pi*rand(length(omega),1); % fazni ugao pobude - slucajna promenljiva;
angle2 = 2*pi*rand(length(omega),1);
tkzt = L/v_0; % vreme kasnjenja zadnjih tockova [s];
t = 0:0.001:7; % vreme simulacije [s];
nn = 1;

```

```

for tt = t

    zd_p = 0;
    zl_p = 0;
    zd_p_i = 0; % pocetna vrednost za izvod funkcije pobude za desni trag;
    zl_p_i = 0; % pocetna vrednost za izvod funkcije pobude za levi trag;

    for i = 1:1:N

        zd_p = Ampl_d(i)*cos(omega(i)*tt+angle1(i))+zd_p; % pobuda za desni trag;

        zl_p=Ampl_1l(i)*cos(omega(i)*tt+angle1(i))+Ampl_2l(i)*...
            cos(omega(i)*tt+angle2(i))+zl_p; % pobuda za levi trag;

        zd_p_i = -Ampl_d(i)*omega(i)*sin(omega(i)*tt+angle1(i))+zd_p_i; % izvod funkcije pobude
            % za desni trag;

        zl_p_i=-Ampl_1l(i)*omega(i)*sin(omega(i)*tt+angle1(i))-...
            Ampl_2l(i)*omega(i)*sin(omega(i)*tt+angle2(i))+zl_p_i; % izvod funkcije pobude za levi trag;

    end

    z_dp(nn) = zd_p; % vektor pobude desnog prednjeg tocka;
    z_lp(nn) = zl_p; % vektor pobude levog prednjeg tocka;

    z_dp_i(nn) = zd_p_i; % izvod funkcije pobude desnog prednjeg tocka;
    z_lp_i(nn) = zl_p_i; % izvod funkcije pobude levog prednjeg tocka;

    nn = nn+1;

end

figure(2)
plot(t,z_dp,'-k')
hold on
plot(t,z_lp,'--k','linewidth',2)
hold on
legend('desni trag','levi trag','Location','NorthEast')
grid on
xlabel('Vreme [s]','FontSize',20)
ylabel('Neravnost kolovoza [m]','FontSize',20)
title(['Neravnost kolovoza za brzinu autobusa',' \itV }=',num2str(v),'...
[km/h]'],'VerticalAlignment','Baseline')

save desni_trag z_dp
save levi_trag z_lp

```


Prilog 6: Deo komandnog *cmd.fajla* za oscilatorni model autobusa IK 301

```

!
!----- Default Units for Model -----!
!
defaults units &
  length = meter &
  angle = deg &
  force = newton &
  mass = kg &
  time = sec
!
defaults units &
  coordinate_system_type = cartesian &
  orientation_type = body313
!
!----- Default Attributes for Model -----!
!
defaults attributes &
  inheritance = bottom_up &
  icon_visibility = on &
  grid_visibility = off &
  size_of_icons = 0.2 &
  spacing_for_grid = 0.4
!
!----- Adams/View Model -----!
!
model create &
  model_name = IK_301 &
  title = "IK301"
!
model attributes &
  model_name = IK_301 &
  size_of_icons = 0.2
!
view erase
!
!----- Data storage -----!
!
data_element create spline &
  spline_name = .IK_301.kjlaws4_plt &
  adams_id = 5 &
  x = 0.0, 7.62E-003, 1.524E-002, 2.286E-002, 3.048E-002, 3.81E-002, &
    4.572E-002, 5.334E-002, 6.096E-002, 6.858E-002, 7.62E-002, 8.382E-002, &
    9.144E-002, 9.906E-002, 0.10668, 0.1143, 0.12192, 0.12954, 0.13716, &
    0.14478, 0.1524, 0.16002, 0.16764, 0.17526, 0.18288, 0.1905, 0.19812, &
    0.20574, 0.21336, 0.22098, 0.2286, 0.23622, 0.24384, 0.25146, 0.25908, &
    0.2667, 0.27432, 0.28194, 0.28956, 0.29718, 0.3048, 0.31242, 0.32004, &
    ...
    ...
  linear_extrapolate = no
!
data_element create spline &
  spline_name = .IK_301.kjlaws4_zlt &
  adams_id = 7 &
  x = 0.0, 7.62E-003, 1.524E-002, 2.286E-002, 3.048E-002, 3.81E-002, &
    4.572E-002, 5.334E-002, 6.096E-002, 6.858E-002, 7.62E-002, 8.382E-002, &
    9.144E-002, 9.906E-002, 0.10668, 0.1143, 0.12192, 0.12954, 0.13716, &
    0.14478, 0.1524, 0.16002, 0.16764, 0.17526, 0.18288, 0.1905, 0.19812, &

```

```
0.20574, 0.21336, 0.22098, 0.2286, 0.23622, 0.24384, 0.25146, 0.25908, &
...
...
linear_extrapolate = no
!
data_element create spline &
  spline_name = .IK_301.kjlaws4_pdt &
  adams_id = 6 &
  x = 0.0, 7.62E-003, 1.524E-002, 2.286E-002, 3.048E-002, 3.81E-002, &
    4.572E-002, 5.334E-002, 6.096E-002, 6.858E-002, 7.62E-002, 8.382E-002, &
    9.144E-002, 9.906E-002, 0.10668, 0.1143, 0.12192, 0.12954, 0.13716, &
    0.14478, 0.1524, 0.16002, 0.16764, 0.17526, 0.18288, 0.1905, 0.19812, &
  ....
  ...
linear_extrapolate = no
!
data_element create spline &
  spline_name = .IK_301.kjlaws4_zdt &
  adams_id = 8 &
  x = 0.0, 7.62E-003, 1.524E-002, 2.286E-002, 3.048E-002, 3.81E-002, &
    4.572E-002, 5.334E-002, 6.096E-002, 6.858E-002, 7.62E-002, 8.382E-002, &
    9.144E-002, 9.906E-002, 0.10668, 0.1143, 0.12192, 0.12954, 0.13716, &
    0.14478, 0.1524, 0.16002, 0.16764, 0.17526, 0.18288, 0.1905, 0.19812, &
  ....
  ...
linear_extrapolate = no
!
!----- Materials -----!
!
material create &
  material_name = .IK_301.steel &
  adams_id = 1 &
  youngs_modulus = 2.07E+011 &
  poissons_ratio = 0.29 &
  density = 7801.0
!
!----- Rigid Parts -----!
!
! Create parts and their dependent markers and graphics
!
!----- PART_1 -----!
!
!***** Ground Part *****
!
part modify rigid_body name_and_position &
  part_name = ground &
  new_part_name = PART_1
!
defaults model &
  part_name = PART_1
!
defaults coordinate_system &
  default_coordinate_system = .IK_301.PART_1
!
!***** Markers for current part *****
!
marker create &
```

```
marker_name = .IK_301.PART_1.MARKER_875 &
adams_id = 875 &
location = 0.0, 0.0, 0.35 &
orientation = 180.0d, 90.0d, 180.0d
!
marker create &
marker_name = .IK_301.PART_1.MARKER_873 &
adams_id = 873 &
location = 0.0, 0.0, 2.15 &
orientation = 180.0d, 90.0d, 180.0d
!
marker create &
marker_name = .IK_301.PART_1.MARKER_879 &
adams_id = 879 &
location = 5.65, 0.0, 0.25 &
orientation = 180.0d, 90.0d, 180.0d
!
marker create &
marker_name = .IK_301.PART_1.MARKER_877 &
adams_id = 877 &
location = 5.65, 0.0, 2.25 &
orientation = 180.0d, 90.0d, 180.0d
!
part attributes &
part_name = .IK_301.PART_1 &
name_visibility = off &
size_of_icons = 0.2
!
!----- karoserija -----!
!
defaults coordinate_system &
default_coordinate_system = .IK_301.PART_1
!
part create rigid_body name_and_position &
part_name = .IK_301.karoserija &
adams_id = 2 &
location = 0.0, 0.4, -2.6066184E-002 &
orientation = 0.0d, 0.0d, 0.0d
!
defaults coordinate_system &
default_coordinate_system = .IK_301.karoserija
!
!***** Markers for current part *****
!
marker create &
marker_name = .IK_301.karoserija.MARKER_507 &
adams_id = 507 &
location = 0.0, 0.93, 1.976066184 &
orientation = 0.0d, 0.0d, 0.0d
!
marker attributes &
marker_name = .IK_301.karoserija.MARKER_507 &
name_visibility = off
!
marker create &
marker_name = .IK_301.karoserija.MARKER_17 &
adams_id = 17 &
```

```

comments = " 'MAR17' cm. marker za Part2" &
location = 1.98, 0.677, 1.302066184 &
orientation = 0.0d, 0.0d, 0.0d
!
orientation = 0.0d, 0.0d, 0.0d
!
part create rigid_body mass_properties &
part_name = .IK_301.karoserija &
mass = 7193.0 &
center_of_mass_marker = .IK_301.karoserija.MARKER_17 &
ixx = 1.3E+004 &
iyy = 1.5E+005 &
izz = 1.4E+005 &
ixy = 0.0 &
izx = 0.0 &
iyz = 0.0
!
...
...
!
!***** Graphics for current part *****
!
geometry create shape block &
block_name = .IK_301.karoserija.BOX_1 &
adams_id = 1 &
comments = &
" 'GRAPH1' za telo karoserije ( x,y,z - koordinate za gornji desni ugao karoserije na prednjoj
strani )" &
corner_marker = .IK_301.karoserija.MARKER_1 &
diag_corner_coords = 11.862, 2.9, 2.5
!
part attributes &
part_name = .IK_301.karoserija &
name_visibility = off &
transparency = 71 &
size_of_icons = 0.2
!
!----- zadnja_osovina -----!
!
defaults coordinate_system &
default_coordinate_system = .IK_301.PART_1
!
part create rigid_body name_and_position &
part_name = .IK_301.zadnja_osovina &
adams_id = 3 &
comments = "IM=16" &
location = 0.0, 0.6, 1.25 &
orientation = 0.0d, 0.0d, 0.0d &
exact_coordinates = X, Y
!
defaults coordinate_system &
default_coordinate_system = .IK_301.zadnja_osovina
!
!***** Markers for current part *****
!
marker create &
marker_name = .IK_301.zadnja_osovina.MARKER_508 &

```

```
adams_id = 508 &
location = 0.0, 0.2, 0.7 &
orientation = 0.0d, 0.0d, 0.0d
!
...
...
!
part create rigid_body mass_properties &
part_name = .IK_301.zadnja_osovina &
mass = 1356.0 &
center_of_mass_marker = .IK_301.zadnja_osovina.MARKER_16 &
ixx = 4668.243448 &
iyy = 5.212871851E+004 &
izz = 5.212871851E+004 &
ixy = 0.0 &
izx = 0.0 &
iyz = 0.0
!
....
....
....
```

Biografija autora

Dragan S. Sekulić je rođen 08. januara 1976. godine u Loznici, gde je završio osnovnu školu i gimnaziju sa odličnim i vrlodobrim uspehom. Saobraćajni fakultet Univerziteta u Beogradu upisao je školske 1995/1996, Odsek za drumski i gradski saobraćaj i transport. Diplomski rad pod naslovom "Kampanje u bezbednosti saobraćaja" odbranio je krajem maja 2002. godine. Posle završenih studija proveo je godinu dana u SAD radi usavršavanja Engleskog jezika, a posle povratka u zemlju odslužio je vojni rok.

Decembra 2003. upisao je poslediplomske studije na Saobraćajnom fakultetu u Beogradu, grupa "Preventiva i bezbednost u drumskom saobraćaju i transportu". Od juna 2005 godine zaposlen je na Saobraćajnom fakultetu u Beogradu na radnom mestu asistenta-pripravnika na predmetima "Dinamika vozila" i "Vozna dinamika", Katedre za drumska vozila i dinamiku vozila.

Prema Statutu Saobraćajnog fakulteta i Pravilniku doktorskih akademskih studija, školske 2008/2009. godine, upisuje se na doktorske akademske studije na Saobraćajnom fakultetu u Beogradu. Izabran je u zvanje asistenta 2009. godine.

Na osnovnim studijama angažovan je za realizaciju vežbi na predmetima "Vozna dinamika" (DGST-bezbednost drumskog saobraćaja i DGST-saobraćaj). Na master studijama angažovan je za realizaciju vežbi na predmetu "Dinamika vozila - odabrana poglavlja".

Autor je i koautor više radova objavljenih u naučno stručnim časopisima, na domaćim i međunarodnim naučnim skupovima. Član je autorskog tima više studija i projekata.

Izjava o autorstvu

Potpisani-a Dragan S. Sekulić

broj indeksa D-II-21/08

Izjavljujem

da je doktorska disertacija pod naslovom

“ISTRAŽIVANJE OSCILATORNOG KOMFORA PUTNIKA U AUTOBUSU SA ASPEKTA POLOŽAJA I KVALITETA SEDIŠTA“

- 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/la autorska prava i koristio intelektualnu svojinu drugih lica.

U Beogradu, 14.04.2013.

Potpis doktoranda

Dragan Sekulić

Izjava o istovetnosti štampane i elektronske verzije doktorskog rada

Ime i prezime autora Dragan S. Sekulić

Broj indeksa D-II-21/08

Studijski program Saobraćaj

Naslov rada “ISTRAŽIVANJE OSCILATORNOG KOMFORA PUTNIKA U
AUTOBUSU SA ASPEKTA POLOŽAJA I KVALITETA
SEDIŠTA“

Mentor Prof. dr Srđan L. Rusov

Potpisani Dragan S. Sekulić

Izjavljujem da je štampana verzija mog doktorskog rada istovetna elektronskoj verziji koju sam predao/la 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 doktoranda

U Beogradu, 14.04.2013.

Dragan Sekulić

Izjava o korišćenju

Ovlašćujem Univerzitetsku biblioteku „Svetozar Marković“ da u Digitalni repozitorijum Univerziteta u Beogradu unese moju doktorsku disertaciju pod naslovom:

“ISTRAŽIVANJE OSCILATORNOG KOMFORA PUTNIKA U AUTOBUSU SA ASPEKTA POLOŽAJA I KVALITETA SEDIŠTA“

koja je moje autorsko delo.

Disertaciju sa svim prilogima predao/la 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

U Beogradu, 14.04.2013.

Potpis doktoranda



1. Autorstvo - Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, i prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence, čak i u komercijalne svrhe. Ovo je najslobodnija od svih licenci.
2. Autorstvo – nekomercijalno. Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, i prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence. Ova licenca ne dozvoljava komercijalnu upotrebu dela.
3. Autorstvo - nekomercijalno – bez prerade. Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, bez promena, preoblikovanja ili upotrebe dela u svom delu, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence. Ova licenca ne dozvoljava komercijalnu upotrebu dela. U odnosu na sve ostale licence, ovom licencom se ograničava najveći obim prava korišćenja dela.
4. Autorstvo - nekomercijalno – deliti pod istim uslovima. Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, i prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence i ako se prerada distribuira pod istom ili sličnom licencom. Ova licenca ne dozvoljava komercijalnu upotrebu dela i prerada.
5. Autorstvo – bez prerade. Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, bez promena, preoblikovanja ili upotrebe dela u svom delu, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence. Ova licenca dozvoljava komercijalnu upotrebu dela.
6. Autorstvo - deliti pod istim uslovima. Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, i prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence i ako se prerada distribuira pod istom ili sličnom licencom. Ova licenca dozvoljava komercijalnu upotrebu dela i prerada. Slična je softverskim licencama, odnosno licencama otvorenog koda.