

Određivanje performansi medicinskog vozila s aspekta komfora putnika

Novosel, Kristijan

Master's thesis / Diplomski rad

2025

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:647263>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-31**

Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Kristijan Novosel

Zagreb, 2025.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Zoran Lulić, dipl. ing.

Dr. sc. Ante Vučetić, dipl. ing.

Student:

Kristijan Novosel

Zagreb, 2025.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem svojim mentorima prof. dr. sc. Zoranu Luliću i dr. sc. Anti Vučetiću ponajprije na omogućavanju izrade ovog diplomskog rada, te na svim savjetima i pomoći tijekom izrade.

Zahvaljujem višem laborantu Ognjenu Tošanoviću, Borisu Bućanu, dipl. ing. i doktorandu Viktoru Dilberu, mag. ing., na pruženoj pomoći prilikom izrade ovog diplomskog rada.

Zahvaljujem tvrtki CIB Commerce d.o.o. iz Buzeta na ustupljenom medicinskom vozilu za provedbu ispitivanja.

Zahvaljujem roditeljima, Ružici i Damiru, na svemu što su učinili za mene, te sestri Ivoni Novosel, dr. med. na podršci i pomoći u razumijevanju medicinskih pojmova.

Kristijan Novosel



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE
Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:



Procesno-energetski, konstrukcijski, inženjersko modeliranje i računalne simulacije i brodstrojarski

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa: 602 - 04 / 25 - 06 / 1	
Ur.broj: 15 - 25 -	

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Kristijan Novosel**

JMBAG: 0035214476

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Određivanje performansi medicinskog vozila s aspekta komfora putnika**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Determining the Performance of a Medical Vehicle from the Aspect of Passenger Comfort**

Opis zadatka:

Jedan od ključnih kriterija pacijenata prevoženih medicinskim vozilom je osjećaj udobnosti tijekom transporta. Stoga se posebna pozornost posvećuje udobnosti medicinskog vozila s aspekta vibracija. Pacijent koji tijekom transporta leži na nosilu smještenom u prostoru za pacijenta može od medicinskog tima primiti širok raspon predbolničke skrbi, a tijekom toga je bitno da se smanji dodatno opterećenje uslijed pojave ubrzanja koje stvara neugodu ili bol kod pacijenta. Za pacijente u medicinskim vozilima iznimno je bitno kakvim je ovjesom opremljeno vozilo, stoga je potrebno provesti postupak mjerenja kinematičkih veličina kako bi se odredila kvaliteta prijevoza s aspekta komfora.

Medicinska vozila najčešće se izvode preinakom teretnih vozila kategorije M1, čiji je ovjes prilagođen prijevozu tereta. U slučaju prijevoza pacijenata i medicinskog tima, situacija je znatno drugačija. Kretanjem medicinskog vozila po neravnim prometnicama ovjes prenosi pobudu s podloge u obliku pojave vibracija/ubrzanja koje mogu dodatno ugroziti zdravlje, pa čak i život pacijenta.

S ciljem rješavanja tog problema prvi korak je identifikacija početnog stanja tj. mjerenje kinematičkih veličina kojim će se odrediti kvaliteta prijevoza pacijenta s aspekta komfora. Nakon toga slijedi analiza i ispitivanje različitih tipova ovjesa za koje se očekuju da će imati drugačije karakteristike. Zadnji korak u tom postupku je odabir najboljeg rješenja te provedba tehno-ekonomske analize različitih izvedbi.

U okviru rada potrebno je:

- Razmotriti teorijske osnove kojima se opisuje ubrzanja i njegovo djelovanje na tijelo pacijenta tijekom vožnje.
- Opisati uvjete rada medicinskog vozila i pojave ubrzanja/vibracija na nosilu pacijenta.
- Koristeći raspoloživu mjernu opremu u Laboratoriju za motore i vozila osmisлити metodu za mjerenje ubrzanja/vibracija na tijelo pacijenta uslijed pobude podloge tijekom vožnje vozila.
- Izraditi plan eksperimenata za mjerenja ubrzanja u odabranim medicinskim vozilima.
- Mjerenja provesti na nekoliko medicinskih vozila s različitim tipovima ovjesa na različitim rutama.
- Prikupiti, obraditi i analizirati izmjerene podatke s ciljem utvrđivanja karakterističnih ubrzanja.
- Za oscilacije izazvane pobudom podloge odrediti kinematičke parametre te prigušenje oscilacija u prostoru pacijenta vozila.
- Procijeniti utjecaj uzbude na tijelo pacijenta te rezultate usporediti s poznatim pokazateljima za cestovna motorna vozila odnosno normom HRN ISO 2631.

U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

Datum predaje rada:

Predviđeni datumi obrane:

28. studeni 2024.

30. siječnja 2025.

6., 7. i 10. veljače 2025.

Zadatak zadao:

Prof. dr. sc. Zoran Lulić / dr. sc. Ante Vučetić

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Tanja Jurčević Lulić

SADRŽAJ

Sadržaj.....	I
Popis slika	II
Popis tablica	V
Popis oznaka.....	VI
Popis kratica	VII
Sažetak	VIII
Summary	IX
1. Uvod	1
2. Utjecaj ubrzanja i vibracija na pacijenta u medicinskom vozilu	4
3. Opružni i prigušni elementi ovjesa.....	6
3.1. Opružni i prigušni elementi zračnog ovjesa.....	8
3.2. Hidropneumatska opruga	11
3.3. Opružni i prigušni elementi konvencionalnog ovjesa.....	13
4. Ispitivanje prema normi ISO 2631:1997	17
4.1. Mjerni uređaj akceleracije.....	19
4.2. Mjerni uređaj podataka vozila.....	22
4.3. Procjena vibracija.....	24
5. Preliminarno ispitivanje.....	26
6. Ispitivanje performansi medicinskog vozila.....	31
6.1. Ispitno vozilo.....	31
6.2. Ovjes ispitnog vozila.....	33
6.3. Smještaj mjernog uređaja.....	36
6.4. Rutsa vožnje	38
6.5. Utjecaj uspornika na vertikalna ubrzanja	59
6.6. Mjerenje vertikalnog ubrzanja na mjestu sjedenja medicinskog tima	66
6.7. Ukupni rezultati mjerenja.....	71
7. Zaključak	74
8. Literatura	75
9. Prilog	77

POPIS SLIKA

Slika 1. Medicinsko vozilo Republike Hrvatske [1]	1
Slika 2. Ovjes tvrtke VB-Airsuspension razvijen za medicinska vozila [4]	2
Slika 3. Interijer medicinskog vozila s opremom za pružanje hitne pomoći [5].....	4
Slika 4. Različite vrste spiralnih opruga i amortizera [6].....	6
Slika 5. Shematski prikaz upravljačkog sustava aktivnog ovjesa [7]	7
Slika 6. Zračna opruga [8].....	8
Slika 7. Kvalitativne karakteristike opruga: a) progresivna, b) linearna, c) degresivna	8
Slika 8. Stražnji ovjes vozila izveden kao kombinacija lisnate opruge s glavnom zračnom oprugom [9].....	9
Slika 9. Poluzračni stražnji ovjes [10].....	10
Slika 10. Presjek glavnih dijelova hidropneumatske opruge [11].....	11
Slika 11. Pojednostavljeni prikaz rada hidropneumatske opruge [12].....	12
Slika 12. Stražnji ovjes vozila hitne medicine u RH.....	13
Slika 13. Parabolična lisnata opruga s dva lista [13].....	14
Slika 14. Stražnji nezavisni ovjes s miniblok oprugom [14].....	15
Slika 15. Presjek jednocijevnog i dvocijevnog plinskog amortizera [15].....	16
Slika 16. Koordinatni sustav ležeće osobe prema normi HRN ISO 2631-1 [16].....	18
Slika 17. Koordinatni sustav sjedeće osobe prema normi HRN ISO 2631-1 [16].....	18
Slika 18. myRIO-1900 i koordinatni sustav korišten u ispitivanju [17]	20
Slika 19. Blok dijagram procesa ispitivanja.....	21
Slika 20. Upravljački panel procesa mjerenja	22
Slika 21. AVL M.O.V.E. System Control.....	22
Slika 22. Uređaj za očitavanje podataka o radu motora putem OBD priključnice	23
Slika 23. GPS antena postavljena na krov vozila.....	23
Slika 24. Izvedba stražnjeg ovjesa vozila Audi A3 [19]	26
Slika 25. Položaj akcelerometra u vozilu Audi A3 s ucrtanim koordinatnim osima	27
Slika 26. Dionica preliminarnog ispitivanja vozila Audi A3 i Range Rover Sport	27
Slika 27. Vertikalna ubrzanja izmjerena u Audiju A3	28
Slika 28. Sklop zračne opruge i amortizera vozila Range Rover Sport [20]	28

Slika 29. Položaj mjernog uređaja u vozilu Range Rover Sport s ucrtanim koordinatnim sustavom.....	29
Slika 30. Vertikalna ubrzanja vozila Range Rover Sport.....	29
Slika 31. Prednja strana medicinskog vozila.....	31
Slika 32. Stražnja strana medicinskog vozila.....	32
Slika 33. Stražnji ovjes ispitnog vozila	33
Slika 34. Stabilizator	33
Slika 35. Oblik opterećene lisnate opruge.....	34
Slika 36. Relativan hod ovjesa za razmatrani slučaj opterećenja vozila	35
Slika 37. Prednji ovjes ispitnog vozila	35
Slika 38. Apsolutni koordinatni sustav vozila.....	36
Slika 39. Pozicioniranje mjernog uređaja na nosilima	37
Slika 40. Pozicioniranje mjernog uređaja na sjedalu	38
Slika 41. Prvi dio rute, Radnička cesta - Jakuševac	39
Slika 42. Vertikalna ubrzanja u prvom dijelu rute, Radnička cesta - Jakuševac.....	40
Slika 43. Uzdužna ubrzanja u prvom dijelu rute, Radnička cesta - Jakuševac	40
Slika 44. Poprečna ubrzanja u prvom dijelu rute, Radnička cesta – Jakuševac.....	41
Slika 45. Brzine vožnje u prvom dijelu rute, Radnička cesta - Jakuševac	41
Slika 46. Brzine vrtnje motora u prvom dijelu rute, Radnička cesta – Jakuševac	42
Slika 47. Izračunato opterećenje motora u prvom dijelu rute, Radnička cesta - Jakuševac.....	42
Slika 48. Dijagram vertikalnih ubrzanja prvoga dijela rute s i bez uspornika, Radnička cesta - Jakuševac.....	43
Slika 49. Drugi dio rute, Jakuševac - Buzin	45
Slika 50. Vertikalna ubrzanja u drugom dijelu rute, Jakuševac - Buzin	45
Slika 51. Uzdužna ubrzanja u drugom dijelu rute, Jakuševac - Buzin.....	46
Slika 52. Poprečna ubrzanja u drugom dijelu rute, Jakuševac - Buzin	46
Slika 53. Brzina vožnje u drugom dijelu rute, Jakuševac – Buzin.....	47
Slika 54. Brzina vrtnje motora u drugom dijelu, Jakuševac - Buzin.....	47
Slika 55. Izračunato opterećenje motora u drugom dijelu, Jakuševac - Buzin	48
Slika 56. Vertikalna ubrzanja s i bez uspornika u drugom dijelu rute, Jakuševac - Buzin	49
Slika 57. Treći dio rute, Buzin – Radnička cesta	50
Slika 58. Vertikalna ubrzanja u trećem dijelu rute, Buzin – Radnička cesta	51
Slika 59. Uzdužna ubrzanja u trećem dijelu rute, Buzin – Radnička cesta.....	51
Slika 60. Poprečna ubrzanja u trećem dijelu rute, Buzin – Radnička cesta	52

Slika 61. Brzina vožnje u trećem dijelu rute, Buzin – Radnička cesta	52
Slika 62. Brzina vrtnje motora u trećem dijelu rute, Buzin – Radnička cesta	53
Slika 63. Izračunato opterećenje motora u trećem dijelu rute, Buzin – Radnička cesta	53
Slika 64. Vertikalna ubrzanja s i bez utjecaja uspornika u trećem dijelu rute	54
Slika 65. Vertikalna ubrzanja na cijeloj dionici ispitivanja	55
Slika 66. Vertikalna ubrzanja na cijeloj dionici ispitivanja bez utjecaja uspornika na kolniku	55
Slika 67. Uzdužna ubrzanja na cijeloj dionici ispitivanja	56
Slika 68. Poprečna ubrzanja na cijeloj dionici ispitivanja	56
Slika 69. Histogram vertikalnih ubrzanja.....	58
Slika 70. Histogram uzdužnih ubrzanja	58
Slika 71. Histogram poprečnih ubrzanja	58
Slika 72. Izgled izvedenog uspornika na kolniku, Sarajevska cesta	59
Slika 73. Lokacija uspornika označena crnom točkom, Sarajevska cesta	60
Slika 74. Vertikalno ubrzanje pri prelasku preko uspornika, Sarajevska cesta.....	60
Slika 75. Brzina vožnje u trenutku prelaska preko uspornika, Sarajevska cesta	61
Slika 76. Uspornik na kolniku, Ukrajinska ulica	61
Slika 77. Lokacija uspornika označena crnom točkom, Ukrajinska ulica	62
Slika 78. Vertikalno ubrzanje pri prelasku preko uspornika, Ukrajinska ulica.....	62
Slika 79. Brzina vožnje u trenutku prelaska preko uspornika, Ukrajinska ulica	63
Slika 80. Izgled uskog uspornika ispred trgovačkog centra Supernova.....	64
Slika 81. Lokacija uspornika ispred trgovačkog centra Supernova na trećem dijelu rute, označena crnom točkom.....	64
Slika 82. Vertikalno ubrzanje u jednom smjeru preko uskog uspornika ispred trgovačkog centra Supernova.....	65
Slika 83. Vertikalno ubrzanje u drugom smjeru preko uskog uspornika ispred trgovačkog centra Supernova.....	65
Slika 84. Sjedalo na najnepovoljnijem položaju u medicinskom vozilu.....	66
Slika 85. Vertikalna ubrzanja na stražnjem sjedalu za članove medicinskog tima.....	67
Slika 86. Uzdužna ubrzanja na stražnjem sjedalu za članove medicinskog tima	68
Slika 87. Poprečna ubrzanja na stražnjem sjedalu za članove medicinskog tima.....	68
Slika 88. Histogram vertikalnih ubrzanja.....	70
Slika 89. Histogram uzdužnih ubrzanja	70
Slika 90. Histogram poprečnih ubrzanja	70

POPIS TABLICA

Tablica 1. Okvirne vrijednosti akceleracija i pobuđenog osjećaja [16]	19
Tablica 2. Dodatne specifikacije akcelerometra [18]	20
Tablica 3. Izmjerene RMS ubrzanja preliminarnih ispitivanja	30
Tablica 4. Iznos RMS ubrzanja prvog dijela rute, Radnička cesta-Jakuševac	44
Tablica 5. Iznos RMS ubrzanja drugog dijela rute.....	49
Tablica 6. Iznos RMS ubrzanja trećeg dijela rute	54
Tablica 7. Iznos RMS ubrzanja ukupne dionice ispitivanja.....	57
Tablica 8. Utjecaj brzine na vertikalno ubrzanje preko velikog uspornika.....	63
Tablica 9. Iznos brzine i vertikalnog ubrzanja prilikom prelaska preko uskog uspornika.....	66
Tablica 10. Iznos RMS ubrzanja za mjerenja na mjestu pacijenta i medicinskog tima.....	69
Tablica 11. Duljina i trajanje pojedinog dijela rute.....	71
Tablica 12. Karakteristične veličine ispitivanja na prvom dijelu rute.....	71
Tablica 13. Karakteristične veličine ispitivanja na drugom dijelu rute.....	72
Tablica 14. Karakteristične veličine ispitivanja na trećem dijelu rute	72
Tablica 15. Objedinjeni rezultati mjerenja svih vozila	73
Tablica 16. Glavni frekvencijski faktori [16].....	78
Tablica 17. Dodatni frekvencijski faktori [16].....	79

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
$a_w(t)$	m/s^2	ponderirano ubrzanje u funkciji vremena
a_w	m/s^2	frekvencijski ponderirano ubrzanje
a_i	m/s^2	RMS ubrzanje za i -ti interval jedne trećine oktave
T	s	Trajanje (vremenska duljina) mjerenja
W_i		faktori ponderiranja za i -ti interval jedne trećine oktave

POPIS KRATICA

HZN	Hrvatski zavod za norme
HRN	Hrvatska norma
HZHM	Hrvatski zavod za hitnu medicinu
ISO	Međunarodna organizacija za standardizaciju (engl. <i>International Organization for Standardization</i>)
NI	National Instruments
OBD	<i>On-board diagnostics</i> / Sustav dijagnoze vozila
GPS	<i>Global Positioning System</i> / Sustav globalnog pozicioniranja
SD	Standardna devijacija

SAŽETAK

Željom za poboljšanjem udobnosti pacijenta i medicinskog osoblja u medicinskom vozilu određene su performanse medicinskog vozila s aspekta komfora putnika. Mjerenjem vertikalnih, uzdužnih i poprečnih ubrzanja određene su karakteristike udobnosti medicinskog vozila. Dodatnim preliminarnim ispitivanjima na vozilima s drugačijim opružno-prigušnim elementima izmjereni su rezultati za usporedbu s medicinskim vozilom. Za provedbu ispitivanja korištena je dostupna mjerna oprema koja je bilježila ubrzanja, položaj i podatke o radu vozila za vrijeme vožnje. Analizom podataka došlo se do zaključka da vertikalna ubrzanja stvaraju najveću neudobnost vožnje, a tome najviše doprinosi kvaliteta opružno-prigušnih elemenata ovjesa. Može se zaključiti da medicinska vozila sa standardnim stražnjim ovjesom koji koristi lisnate opruge imaju relativno nisku razinu udobnosti vožnje.

Ključne riječi: medicinsko vozilo, medicinski ovjes, vibracije, vertikalno ubrzanje, ispitivanje, komfor, pacijent

SUMMARY

With the aim of improving the comfort of both patients and medical personnel in a medical vehicle, the vehicle's performance was assessed from the perspective of passenger comfort. By measuring vertical, longitudinal, and transverse accelerations, the comfort characteristics of the medical vehicle were determined. Additional preliminary tests on vehicles with different suspension and damping elements provided results for comparison with the medical vehicle. The available measuring equipment was used to record accelerations, position, and vehicle operation data during driving. Data analysis led to the conclusion that vertical accelerations cause the greatest discomfort during travel, primarily due to the quality of the suspension's spring-damping elements. It can be concluded that medical vehicles with a standard rear suspension using leaf springs have a relatively low level of ride comfort.

Keywords: medical vehicle, medical suspension, vibrations, vertical acceleration, testing, comfort, patient

1. UVOD

Medicinsko vozilo je vozilo specifične namjene koje se koristi za prijevoz ozlijeđenih, bolesnih i najčešće životno ugroženih osoba s istovremenim pružanjem hitne medicinske usluge. Zbog opsega djelatnosti samog vozila, vrlo je bitno da to vozilo ima adekvatne vozne karakteristike u pogledu komfora pacijenta, kako se zdravlje pacijenta ne bi pogoršalo zbog samog transporta ka određenoj bolničkoj ustanovi.



Slika 1. Medicinsko vozilo Republike Hrvatske [1]

Prema normi HRN EN 1789:2024 [2], medicinsko vozilo namijenjeno je za pružanje brige i prijevoza jednog pacijenta, te njime upravljaju minimalno dva odgovarajuće obrazovana i istrenirana djelatnika. Također normom su definirane tri vrste medicinskih vozila: vozilo tip A – predviđeno za sanitetski prijevoz, vozilo tip B – predviđeno za hitnu pomoć i vozilo tip C – predviđeno za intenzivnu njegu. Sva medicinska vozila izvanbolničke hitne medicinske službe u Republici Hrvatskoj moraju zadovoljavati kriterije vozila tip B, što je medicinsko vozilo konstruirano i opremljeno za prijevoz, osnovno liječenje i nadzor pacijenata.

Medicinska vozila Republike Hrvatske, kao i ostalih država Europske unije, najčešće su vozila kategorije N1 i M1 koja se nadograđuju odgovarajućom opremom kako bi se zadovoljili svi tehnički uvjeti koji su propisani od strane *Hrvatskog zavoda za hitnu medicinu u Standardu vozila i vanjskog izgleda vozila za obavljanje djelatnosti izvanbolničke hitne medicine* (NN 12/2025) [21].

Direktivom 2997/46/EZ propisane su kategorije vozila N i M, što su vozila za prijevoz robe i putnika. Sukladno tome vozila kategorije N1 su vozila za prijevoz robe čija najveća masa ne prelazi 3500 kg, dok su vozila kategorije M1 motorna vozila namijenjena za prijevoz putnika koja osim sjedala za vozača imaju najviše osam sjedala.

Medicinska vozila u pravilu nastaju preinakom postojećeg vozila, kolokvijalno zvanog teretnog „kombi“ vozila koje je isključivo osmišljeno za prijevoz tereta, te zbog toga koristi ovjes prikladan za to. Taj ovjes se odlikuje velikom nosivošću, ali manjkom udobnosti. Upravo taj nedostatak udobnosti narušava komfor pacijenta koji se prevozi u medicinskom vozilu. Kako bi se povećao komfor pacijenata, nekoliko neovisnih tvrtki razvilo je tzv. medicinski ovjes koji svojim karakteristikama poboljšava kvalitetu vožnje. Jedan od takvih ovjesa prikazan je na slici 2.



Slika 2. Ovjes tvrtke VB-Airsuspension razvijen za medicinska vozila [4]

Osim što se ugradnjom takvog ovjesa poboljšava komfor pacijenta, također se poboljšava komfor hitnog medicinskog tima koji za vrijeme vožnje pacijentu pruža potrebnu medicinsku skrb. Sustav ovjesa kvalitetnijih karakteristika potencijalno omogućava da medicinska skrb pružena pacijentu bude kvalitetnija i preciznija, što bi zasigurno dalo bolje rezultate u nastavku liječenja i saniranja teških tjelesnih ozljeda i spašavanja ljudskih života u kritičnim životnim stanjima.

U *Standardu vozila* (NN 80/2016) [3], koji je bio na snazi od 7. 9. 2016.g. do 24. 1. 2025.g. nisu bile jasno propisane potrebne tehničke karakteristike ovjesa kojim bi se zadovoljio komfor pacijenta, već je u članku 4. točka 5. bilo navedeno da:

„ovjes mora biti prilagođen prijevozu pacijenata koji leže na nosilima i medicinskog osoblja u odjeljku za pacijente.“

Upravo takvo, nedovoljno egzaktno, opisivanje ovjesa dovelo je do vrlo široke interpretacije toga koji ovjes treba ugraditi u medicinsko vozilo, jer nisu dani nikakvi tehnički parametri kojima bi se definirala udobnost i sigurnost vozila. Stupanjem na snagu novog *Standarda vozila* (NN 12/2025) [21], dana 24. 1. 2025.g., donesene su promjene u članku 4. točka 5. koji sada glasi:

„ovjes mora biti prilagođen prijevozu pacijenata koji leže na nosilima i medicinskog osoblja u odjeljku za pacijente. Ovjes mora osiguravati održavanje stalne visine vozila u odnosu na tlo (samoniveliranje/samoporavnavanje), povećanje ili smanjenje visine vozila, podizanje ili spuštanje stražnjeg dijela vozila. Ovjes mora biti u skladu s europskim standardima za povećanu najvišu dopuštenu masu vozila.“

Time se nastoji postići korištenje kvalitetnijeg stražnjeg ovjesa u novim medicinskim vozilima jer *Standard* [21] zahtjeva ovjes čije se značajke praktički ne mogu ostvariti klasičnim ovjesom s lisnatim oprugama. Upravo zbog toga u okviru ovoga diplomskog rada provedeno je ispitivanje ovjesa medicinskog vozila koji se trenutačno koristi u Republici Hrvatskoj u pogledu ubrzanja i vibracija koja se prenose na pacijenta. Izmjerene vrijednosti ispitivanih fizikalnih veličina definirat će razinu udobnosti i komfora pacijenta u medicinskom vozilu izrađenom prema starom *Standardu* (NN 80/2016) [3], te će biti temelj za usporedbu s budućim ispitivanjima na različitim ovjesima koji će biti ugrađeni u medicinska vozila prema *Standardu vozila i vanjskog izgleda vozila za obavljanje djelatnosti izvanbolničke hitne medicine* (NN 12/2025) [21].

2. UTJECAJ UBRZANJA I VIBRACIJA NA PACIJENTA U MEDICINSKOM VOZILU

Komfor koji zdrava osoba osjeća u vožnji subjektivan je osjećaj koji varira od osobe do osobe i ovisi o duljini putovanja, jer pri kratkim relacijama i vožnja s puno vibracija bi za neke osobe bila prihvatljiva. Ako se gleda kvaliteta vožnje za pacijenta u medicinskom vozilu kojemu je zdravlje narušeno onda svaka nenadana vibracija i vertikalno gibanje koje se prenese preko ovjesa dodatno utječe na zdravstveno stanje pacijenta, te ga u pravilu pogoršava što je za pacijenta u pravilu teško prihvatljivo.



Slika 3. Interijer medicinskog vozila s opremom za pružanje hitne pomoći [5]

Prilikom hitnih intervencija medicinskog tima, poznatih i kao „crvene intervencije“, ključno je minimizirati vrijeme potrebno za dolazak do pacijenta i prijevoz pacijenta do bolnice. Ovo zahtijeva vožnju brzinama koje premašuju zakonski propisane limite, čime kvaliteta prometne infrastrukture i vozne karakteristike vozila postaju od iznimne važnosti. I najmanje nepravilnosti na cestovnim površinama mogu izazvati značajne dinamičke pobude na vozilo, što može utjecati na udobnost i stabilnost vozila. Nadalje, vozila hitne medicinske pomoći često su prisiljena kretati se po neuređenim i nerazvrstanim prometnicama kako bi dosegla pacijente

u udaljenim ili teško dostupnim područjima, što dodatno naglašava važnost dobrih voznih karakteristika u takvim uvjetima.

Tijekom ovakve vožnje, javlja se široki spektar ubrzanja i vibracija koji mogu uzrokovati značajnu bol i nelagodu pacijentu. Način pozicioniranja pacijenta na nosilima pritom postaje ključan, a ovisi o vrsti ozljede i zdravstvenom stanju. Primjerice, prilikom naglih kočenja dolazi do potiskivanja krvi iz donjih ekstremiteta prema glavi, što rezultira povećanjem krvnog tlaka u moždanim krvnim žilama. Istovremeno, utjecaj inercijskih sila na mozak dodatno povisuje intrakranijalni tlak, što kod ozljeda mozga ili unutarnjih krvarenja može ozbiljno pogoršati pacijentovo stanje. Kako bi se umanjio ovaj negativni učinak, takvi pacijenti se najčešće postavljaju u poluležeći položaj na nosilima.

Međutim, kod teških ozljeda kralježnice prioritet je potpuna imobilizacija pacijenta, što zahtijeva ležeći položaj uz pričvršćivanje na imobilizacijsku dasku ili postavljanje u vakuum vreću. U takvom položaju pacijenti su dodatno izloženi povišenju intrakranijalnog tlaka i krvnog tlaka u glavi, što može izazvati simptome poput mučnine ili povećati rizik od unutarnjih krvarenja.

Uslijed vertikalnih ubrzanja, odnosno vibracija, koje se očituju kao inercijske sile koje djeluju na tijelo pacijenta dolazi do poskakivanja tijela pacijenta, što on osjeća kao udarce o nosila tijekom vožnje koji imaju izrazito negativan utjecaj na njegovo stanje, osobito kod stanja kao što su prijelomi kostiju, napadi bubrežnog kamena ili razne abdominalne tegobe. Čak i naizgled manje vibracije mogu uzrokovati oštećenje krvnih žila, potencijalno izazvati nova krvarenja ili reaktivirati postojeća, što značajno otežava rad medicinskog tima u vozilu. Ove dinamičke pojave ne samo da narušavaju udobnost pacijenta već izravno ugrožavaju pružanje hitne medicinske pomoći, otežavajući stabilizaciju pacijentovog stanja tijekom prijevoza.

3. OPRUŽNI I PRIGUŠNI ELEMENTI OVJESA

Primarni zadatak opruga i prigušivača (amortizera) je osigurati sigurnu i udobnu vožnju koja se postiže prigušenjem vertikalnih sila uslijed pobuda s podloge prenesenih na karoseriju vozila, te prigušenjem vibracija opruga. Različite vrste opruga i amortizera prikazani su na slici 4. Za postizanje sigurne vožnje bitno je osigurati da u svakom trenutku vožnje postoji kontakt kotača s podlogom, dok je za udobnost vožnje bitno umanjiti oscilacije¹ i vibracije² koje se prenose na putnike i opremu u vozilu. Međutim, ako uz te zahtjeve dodamo i potrebu za povećanom nosivošću vozila tada dolazimo do određenih problema u ispunjavanju svih kriterija istovremeno. Ovisno o vrsti vozila, putničkog ili teretnog, često je potrebno postići kompromis između udobnosti i nosivosti, jer za ispunjavanje oba kriterija potrebne su dijametralno suprotne karakteristike ovjesa. Udobnost se postiže „mekim“ karakteristikama ovjesa, dok se nosivost postiže „tvrdim“.



Slika 4. Različite vrste spiralnih opruga i amortizera [6]

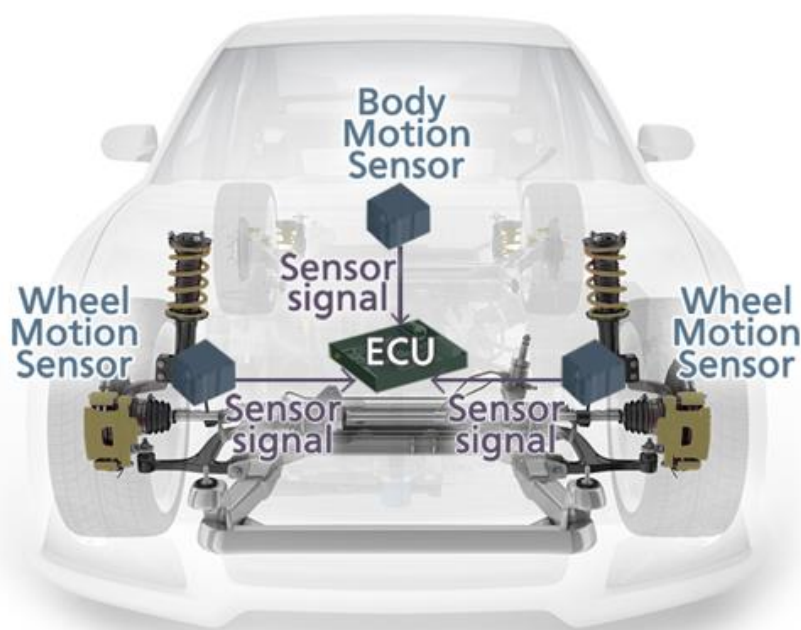
Kao što je već spomenuto, medicinska vozila nastaju preradom vozila kategorije N1 ili M1, pri čemu određeni proizvođači vozila primjenjuju različite sustave ovjesa. Najčešće se razlike odnose na konstrukciju stražnjeg ovjesa, s obzirom na to da njegova funkcija uvelike ovisi o namjeni stražnjeg dijela vozila – bilo kao tovarnog prostora (N1) ili prostora za putnike (M1). Stražnji ovjes kod vozila kategorije N1 prvenstveno je konstruiran s naglaskom na jednostavnost i veliku nosivost, što ga čini pogodnim za prijevoz tereta. S druge strane, ovjes

¹ Oscilacije – Ponavljajuća kretanja tijela ili sustava oko ravnotežnog položaja. Mogu biti mehaničke, elektromagnetske ili kvantne prirode.

² Vibracije – Mehaničke oscilacije tijela oko ravnotežnog položaja, koje mogu biti slobodne, prigušene ili prisilne. Pojavljuju se u čvrstim tijelima, tekućinama i plinovima. Vibracije su podskup oscilacija.

vozila kategorije M1 konstruiran je s fokusom na povećanu udobnost, kako bi se osigurala što ugodnija vožnja za putnike. Ove razlike u konstrukciji i namjeni ovjesa igraju ključnu ulogu pri prilagodbi vozila za specifične zahtjeve medicinskih intervencija.

Tijekom godina razvoja vozila, nastali su različiti opružni i prigušni elementi ovjesa, čije karakteristike značajno doprinose povećanju udobnosti ili nosivosti sustava ovjesa. Pojedini elementi omogućuju prilagodbu svojih opružnih ili prigušnih svojstava prema trenutnim potrebama, što ih svrstava u kategoriju aktivnih elemenata. S druge strane, postoje elementi s unaprijed definiranim, nepromjenjivim karakteristikama, koji spadaju u grupu pasivnih opružnih i prigušnih elemenata ovjesa. Ako se koriste aktivni i pasivni elementi zajedno dobiva se tzv. poluaktivni ovjes.



Slika 5. Shematski prikaz upravljačkog sustava aktivnog ovjesa [7]

Primjena aktivnih elemenata ovjesa omogućuje smanjenje amplitude vibracija i poboljšanje stabilnosti vozila ovisno o situaciji u kojoj se vozilo nalazi. Takvi sustavi pružaju optimalnu ravnotežu između udobnosti i sigurnosti, prilagođavajući svojstva ovjesa promjenjivim uvjetima na cesti i zahtjevima vozila. Kako bi se ti sustavi prilagodili stanju na cesti potreban je sustav izvršnih članova (aktuatora) čijim radom upravlja računalo koje mijenja karakteristike opružnih elemenata. Shematski prikaz takvog sustava prikazan je na slici 5.

3.1. Opružni i prigušni elementi zračnog ovjesa

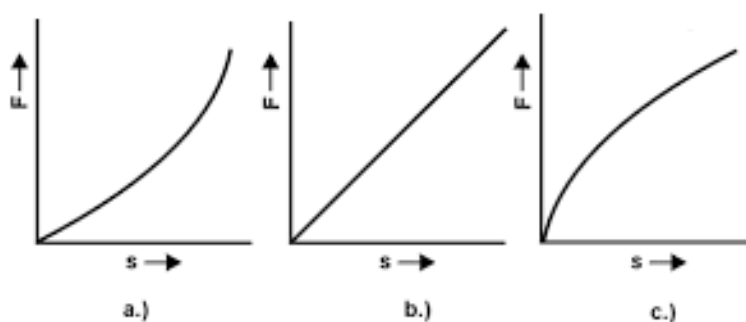
Zračni ovjes je najkorišteniji aktivni i poluaktivni ovjes na putničkim i teretnim vozilima. Za rad zračne opruge potrebno je imati dodatni uređaj za tlačenje zraka (kompresor) pa se stoga koriste kod vozila koja već koriste kompresor za rad ostalih sustava, te kod putničkih vozila više klase ili vozila specijalne namjene.



Slika 6. Zračna opruga [8]

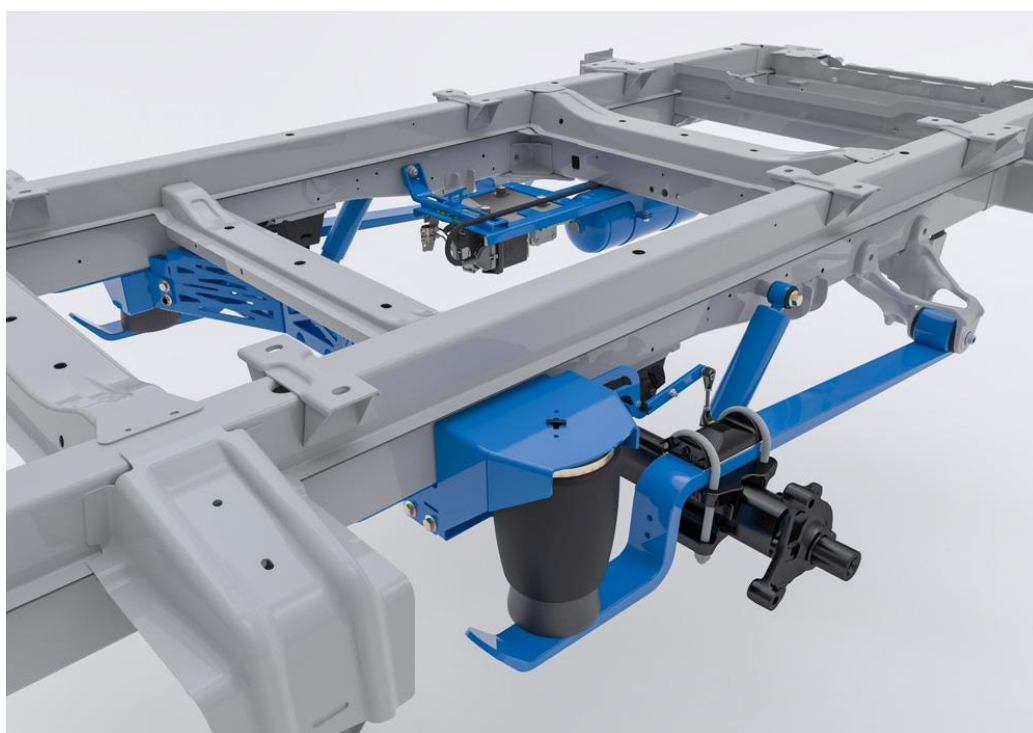
Zračna opruga, prikazana na slici 6., koristi elastična svojstva stlačenog zraka za ostvarivanje opružne funkcije. Njena opružna karakteristika je progresivna, što znači da se s povećanjem progiba opruge povećava i njena krutost. Na slici 7., prikazani su kvalitativni dijagrami karakteristika opruga. Jedna od značajnih prednosti ovog sustava je mogućnost promjene karakteristika opruge prilagodbom tlaka zraka unutar same opruge. Time se omogućuje prilagodba krutosti opruge u stvarnom vremenu, kao i podešavanje udaljenosti podvozja od podloge, čime se ostvaruju optimalne performanse vozila u različitim uvjetima.

Budući da zrak ima vrlo nisko vlastito prigušenje, zračna opruga zahtijeva ugradnju amortizera kako bi se učinkovito prigušile vibracije i osigurala stabilnost te udobnost vozila.



Slika 7. Kvalitativne karakteristike opruga: a) progresivna, b) linearna, c) degresivna

Ako se promatra izvedba stražnjeg zračnog ovjesa, on može biti izveden na dva načina: kao sustav u kojem zračna opruga preuzima cjelokupno opterećenje ili kao dodatna opruga koja služi za povećanje nosivosti. Kod vozila s krutom stražnjom osovinom, što čini većinu vozila kategorije N1, zračna opruga, kada se koristi kao glavni opružni element, obično je postavljena između pomoćne lisnate opruge i karoserije na jednom kraju. Drugi kraj pomoćne lisnate opruge spojen je na karoseriju preko selen-bloka. Takva izvedba stražnjeg ovjesa vidljiva je na slici 8.



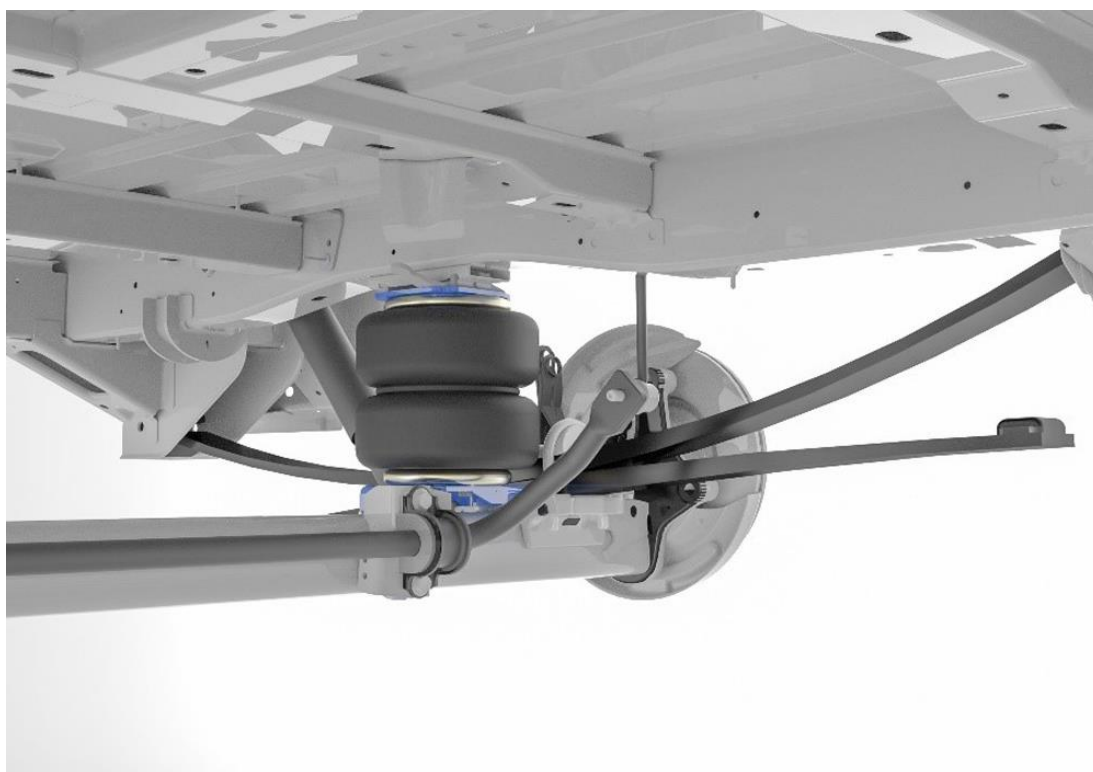
Slika 8. Stražnji ovjes vozila izveden kao kombinacija lisnate opruge s glavnom zračnom oprugom [9]

Kruta osovina povezana je s lisnatom oprugom kako bi se omogućio prijenos vertikalnih gibanja, pri čemu lisnata opruga djeluje kao vodilica ovjesa. Uz sve navedene komponente, sustav uključuje i amortizer koji povezuje krutu osovinu i karoseriju, osiguravajući učinkovito prigušenje vibracija i stabilnost ovjesa u vožnji.

Ovakav sustav omogućuje široke mogućnosti podešavanja i regulacije, budući da su zračne opruge na svakoj strani vozila međusobno neovisne. To omogućuje individualnu prilagodbu karakteristika svake opruge prema trenutnim zahtjevima. Na primjer, u vožnji kroz zavoje, povećanjem tlaka u opruzi na vanjskoj strani zavoja smanjuje se naginjanje vozila, čime se poboljšavaju upravljivost i sigurnost.

Istodobno povećavanje ili smanjivanje tlaka u obje opruge omogućuje regulaciju visine stražnjeg ovjesa pri istom opterećenju. U kontekstu medicinskog vozila, ova funkcionalnost olakšava ulazak pacijenta u vozilo prilagođavanjem visine podvozja. Osim toga, podešavanjem tlaka zraka u oprugama moguće je održavati konstantnu visinu podvozja bez obzira na promjene u opterećenju, te smanjiti utjecaj nejednake opterećenosti pojedine strane ovjesa zbog nesimetričnog rasporeda tereta tj. smještaja teške opreme i pacijenta.

Kada se zračna opruga koristi kao pomoćna opruga što je prikazano na slici 9., postavlja se na mjesto odbojnog graničnika između krute osovine i karoserije. U situacijama kada je vozilo većinu vremena izloženo većem opterećenju koje značajno deformira lisnatu oprugu, zračna opruga preuzima dio opterećenja na sebe. Time se smanjuje naprezanje lisnate opruge i omogućuje joj povratak u povoljniji radni položaj.

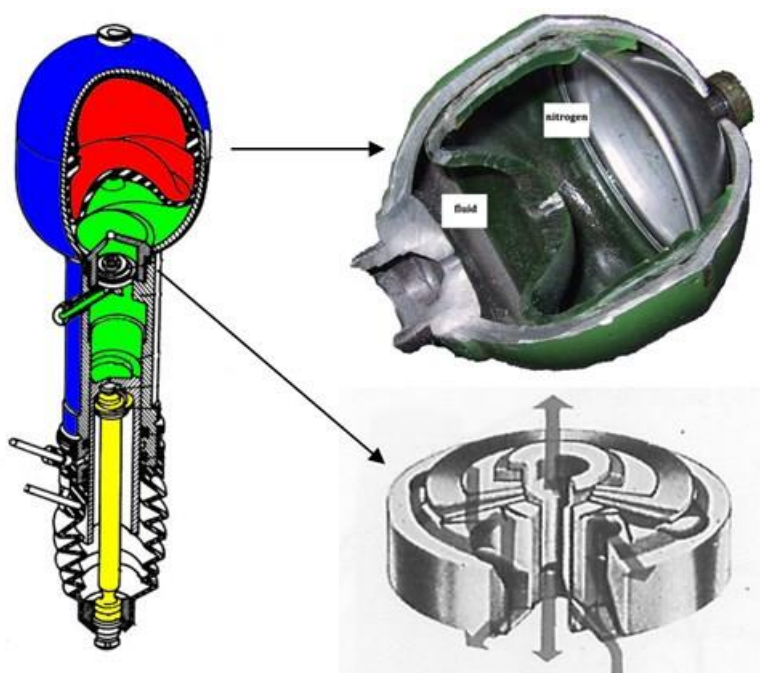


Slika 9. Poluzračni stražnji ovjes [10]

Međutim, u ovakvoj konfiguraciji zračna opruga ne doprinosi značajno udobnosti vožnje, budući da karakteristike ovjesa i dalje dominantno ovise o lisnatoj opruzi. Njena primarna funkcija u ovom slučaju je rasterećenje lisnate opruge i povećanje nosivosti sustava.

3.2. Hidropneumatska opruga

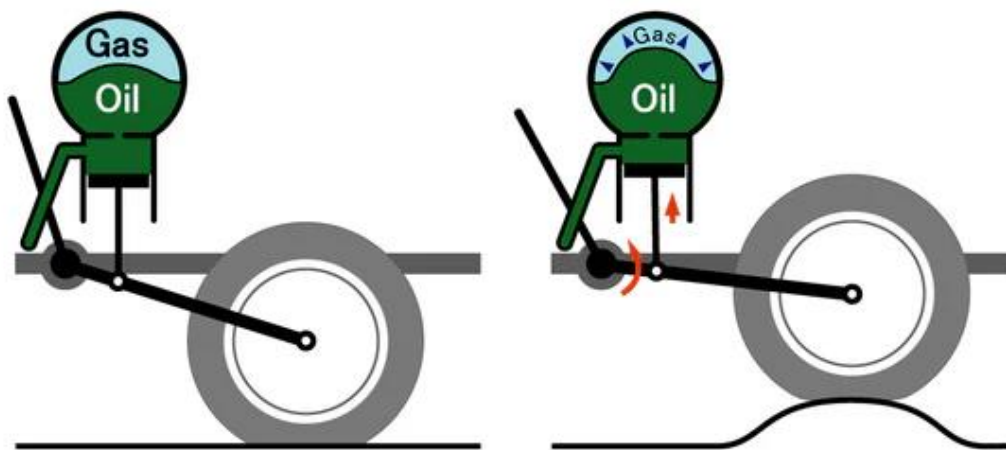
Drugi tip aktivnog ovjesa je hidropneumatski sustav, razvijen od strane Citroëna kao rješenje za postizanje visoke razine udobnosti vožnje. Ključna komponenta ovog sustava je hidropneumatska opruga, koja objedinjuje karakteristike plinske opruge, s dušikom kao opružnim medijem, i hidrauličkog radnog cilindra. Ovakva konstrukcija omogućuje da hidropneumatska opruga istovremeno djeluje kao opružni element i amortizer. Slika 10., prikazuje presjek elemenata hidropneumatske opruge.



Slika 10. Presjek glavnih dijelova hidropneumatske opruge [11]

Hidropneumatska opruga sastoji se od radnog cilindra i opružne kugle, koja može biti direktno spojena s cilindrom ili postavljena na udaljenijem mjestu, povezana hidrauličkim vodom. Opružna kugla je posuda pod tlakom s dvije komore odvojenim elastičnom membranom. U zatvorenoj komori nalazi se stalna količina dušika, dok otvorena komora služi za prijem hidrauličkog ulja koje je povezano s radnim cilindrom. Hidrauličko ulje ispunjava oprugu i kuglu preko regulacijskog ventila, koji omogućuje podešavanje tlaka prema potrebama, čak i do 80 bara.

Kada u vožnji kotač naleti na prepreku i počinje se vertikalno gibati, to gibanje se preko klipa radnog cilindra prenosi na hidrauličko ulje. Ulje u radnom prostoru cilindra počinje se istiskivati u prostor opružne kugle gdje prolazi kroz ventile koji prigušuju oscilacije u oba smjera, kada ulazi i izlazi iz nje. Ti ventili se mogu vidjeti na slici 10. U početnom stanju plin i ulje su pod istim tlakom, ali prilikom pomicanja klipa prema gore zbog nestlačivosti ulja počinje se tlačiti dušik i raste mu tlak što za sobom nosi povećanje krutosti hidropneumatske opruge. Kada kotač dostigne maksimalnu visinu, tada tlak dušika potiskuje ulje nazad u radnu komoru cilindra kroz ventil koji prigušuje protok i samim time oscilacije. Princip rada također je prikazan na slici 11.



Slika 11. Pojednostavljeni prikaz rada hidropneumatske opruge [12]

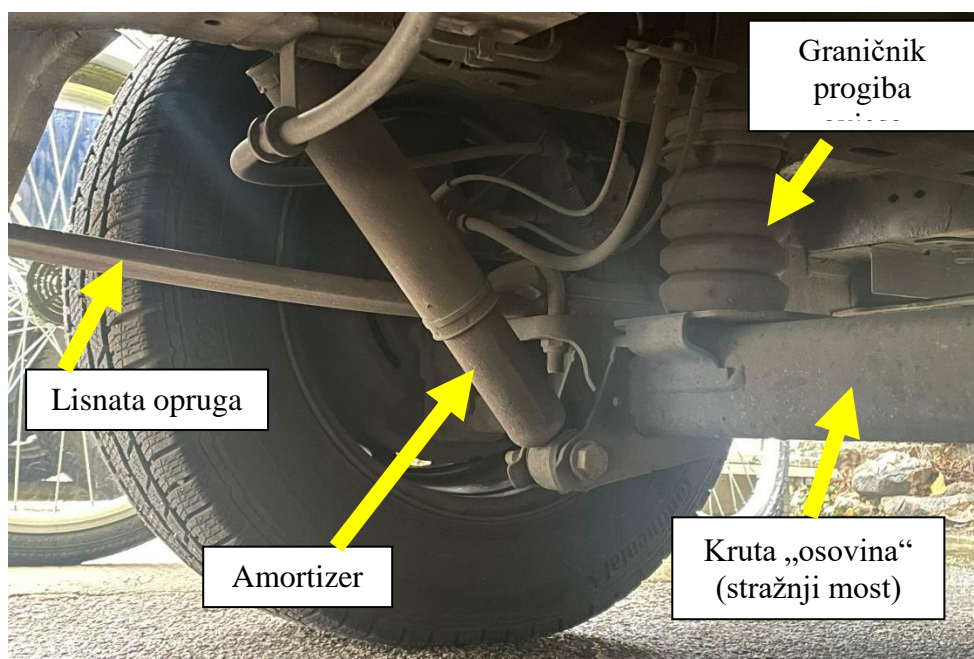
Dodavanjem dodatnih opružnih kugli omogućuje se brza promjena karakteristika opružnih elemenata iz tvrdog ovjes u meki jer se dodaje dodatna količina dušika u sustav koji se također tlači uljem. Ta dodatna kugla se može odvojiti od ostatka sustava za potrebe tvrdog ovjesa ili prilikom prolaska kroz zavoj kako bi sustav smanjio naginjanje vozila zasebnom regulacijom pojedine strane. Povećavanjem tlak u svim cilindrima povećava se visina vozila. Ukupni hod takvog ovjesa je u pravilu veći nego li kod zračnog ovjesa.

Sve navedene karakteristike ovog sustava mogu biti izuzetno značajne za sigurnost i udobnost pacijenta koji se prevozi u medicinskom vozilu. Međutim, sustav ima određene nedostatke koji mogu utjecati na operativnu spremnost vozila. Naime, hidropneumatski ovjes zahtijeva složenije i učestalije održavanje, što kod medicinskih vozila može dovesti do dužih razdoblja izvan funkcije, što je izrazito nepovoljno s obzirom na njihovu ključnu ulogu u hitnim intervencijama.

Osim toga, zbog kompleksnosti sustava, prisutan je veći broj potencijalnih točaka kvara. Svaki otkaz komponente može rezultirati onemogućavanjem korištenja vozila, što dodatno naglašava potrebu za visokom razinom pouzdanosti i redovitim održavanjem ovog sustava.

3.3. Opušni i prigušni elementi konvencionalnog ovjesa

Stražnji ovjesi konvencionalnih vozila kategorije N1 najčešće su izvedeni kao krute osovine ili kao neovisni ovjes. Gotovo sva medicinska vozila koriste krutu stražnju osovinu bez pogona, zbog njene jednostavnosti i izdržljivosti. Ova osovina povezana je s karoserijom putem lisnatih opruga i amortizera, koji zajedno osiguravaju osnovnu funkciju opružnih elemenata i prigušenja vibracija. Uz to, sustav uključuje i granične odbojnice koji ograničavaju maksimalni vertikalni hod kotača, sprječavajući mehanička oštećenja uslijed prekomjernih oscilacija.



Slika 12. Stražnji ovjes vozila hitne medicine u RH

Međutim, kruta stražnja osovina ima određene nedostatke koji mogu negativno utjecati na stabilnost vozila. Kada se jedan kotač podigne uslijed neravnina na cesti, cijela osovina se naginje, što mijenja kutove oba kotača u odnosu na podlogu. To rezultira promjenama kontaktne površine kotača s cestom, smanjenjem prijanjanja i povećanjem nestabilnosti vozila.

Lisnate opruge kod lakih teretnih vozila uglavnom su izvedene s jednim ili dva lista. Listovi mogu biti izrađeni s konstantnim presjekom, što ih čini jednostavnima i ekonomičnima za proizvodnju, ili s paraboličnim presjekom, gdje se debljina lista smanjuje od sredine prema krajevima. Upotrebom paraboličnih opruga umjesto onih s konstantnim presjekom postižu se značajno bolje karakteristike, osobito u pogledu udobnosti vožnje, zahvaljujući njihovoj većoj savitljivosti i smanjenoj masi, takva opruga prikazana je na slici 13.

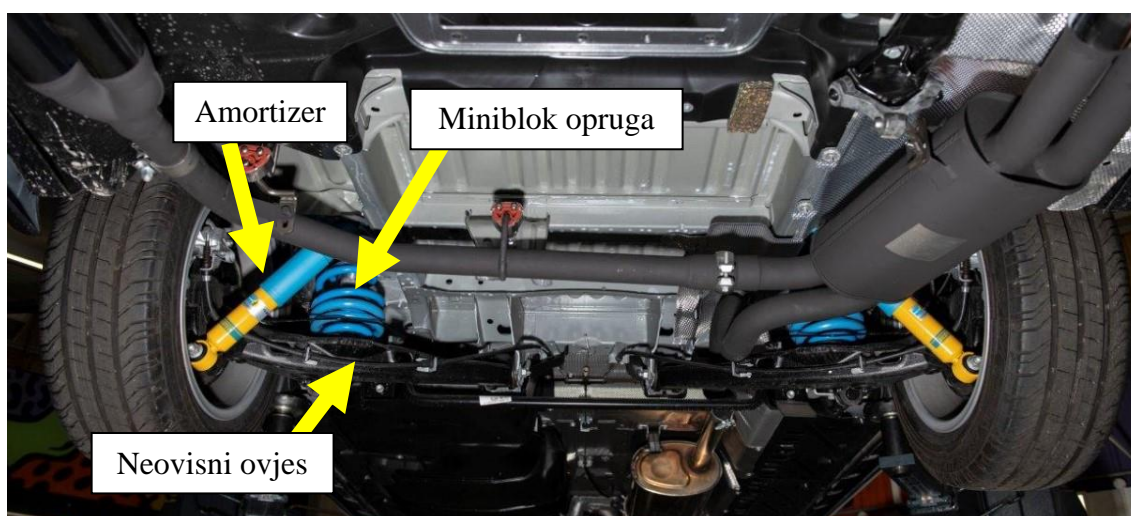


Slika 13. Parabolična lisnata opruga s dva lista [13]

Parabolične opruge također imaju dulji životni vijek jer je naprezanje ravnomjerno raspoređeno duž svih segmenata opruge, što je omogućeno specifičnim oblikom presjeka. S druge strane, opruge s konstantnim presjekom pružaju veću nosivost, no ta karakteristika kod medicinskih vozila nije ključna, budući da se masa vozila ne mijenja u velikom rasponu kao kod običnih teretnih kombija.

Stoga se otvara mogućnost izrade specifičnih opruga prilagođenih svakom tipu medicinskog vozila. Takve opruge proizvodi firma *JSA Suspension* [22] koja nudi lisnate opruge namijenjene za medicinska vozila. Te prilagođene opruge konstruirane su da svojom karakteristikom što bolje zadovolje zahtjeve medicinskog vozila, pružajući povoljniju kombinaciju udobnosti, stabilnosti i trajnosti usporedivo sa standardnim lisnatim oprugama.

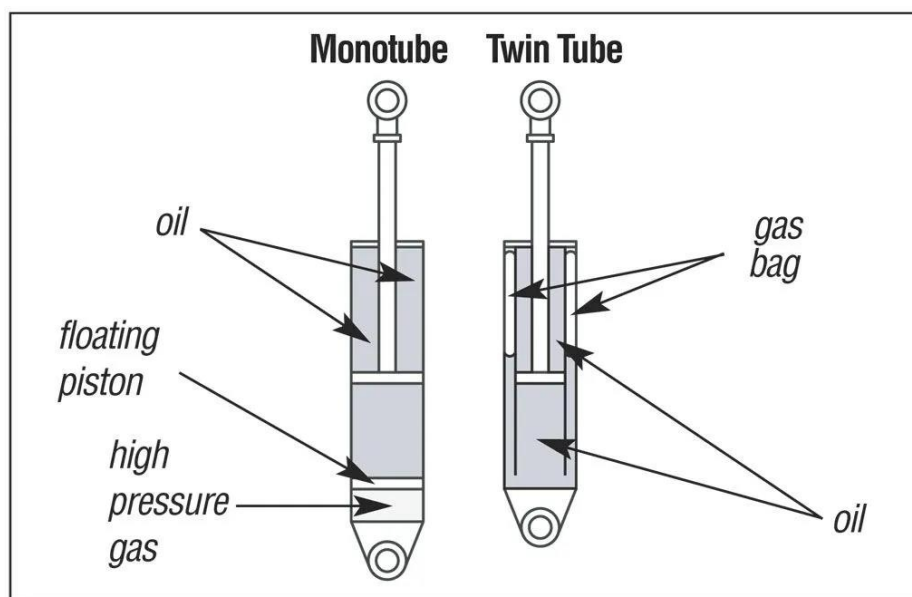
Neka medicinska vozila u Republici Hrvatskoj koriste stražnji neovisni ovjes, točnije taj ovjes koristi Volkswagen Transporter medicinsko vozilo. Neovisni ovjes koristi miniblok oprugu kao opružni element koja svojom konstrukcijom omogućuje vrlo dobre karakteristike. Susjedni zavoji opruge se ne mogu dotaknuti prilikom skraćivanja zbog čega opruga može biti kratka s dugim radnim hodom. Nosivost miniblok opruge je velika usporedno sa standardnom zavojnom oprugom. Ako se izradi s različitim promjerom žice i različitim usponom zavoja postiže se progresivna karakteristika. Takva izvedba ovjesa prikazana je na slici 14.



Slika 14. Stražnji nezavisni ovjes s miniblok oprugom [14]

Uobičajeno je da se uz lisnatu i zavojnu oprugu ugrađuje amortizer, s ciljem prigušenja vibracija i osiguravanja stabilnosti vozila. Amortizeri funkcioniraju pretvaranjem energije oscilacija u toplinu, čime se smanjuje amplituda vibracija i poboljšava kontrola vozila.

Najčešće se koriste dvocijevni uljni amortizeri ili jednocijevni plinski amortizeri. Dvocijevni uljni amortizeri su ekonomičniji i dovoljno učinkoviti za većinu primjena, dok jednocijevni plinski amortizeri, zbog bolje disipacije topline i preciznijeg prigušenja, pružaju superiorne performanse u zahtjevnijim uvjetima vožnje, poput onih s intenzivnijim opterećenjima ili pri većim brzinama.



Slika 15. Presjek jednocijevnog i dvocijevnog plinskog amortizera [15]

Granični odbojnik, postavljen na karoseriju, služi prvenstveno za ograničavanje hoda ovjesa, ali i za zaštitu amortizera, čime se produljuje njegov vijek trajanja. Izrađen je od elastičnih materijala poput gume, te značajno doprinosi sigurnosti i trajnosti sustava ovjesa. Njegova funkcija je postupno usporavanje hoda ovjesa pri maksimalnom sabijanju, čime se izbjegavaju nagli udarci i preopterećenja na komponentama ovjesa.

Međutim, ako zbog neispravnosti opruga ili prekomjernog opterećenja granični odbojnik ostane u stalnom kontaktu s ovjesom, dolazi do ozbiljnog narušavanja kvalitete vožnje. U takvom stanju opružne i prigušne karakteristike ovjesa postaju izrazito nepovoljne, što može rezultirati smanjenom udobnošću, slabijom upravljivošću i povećanim opterećenjem na vozilo.

4. ISPITIVANJE PREMA NORMI ISO 2631:1997

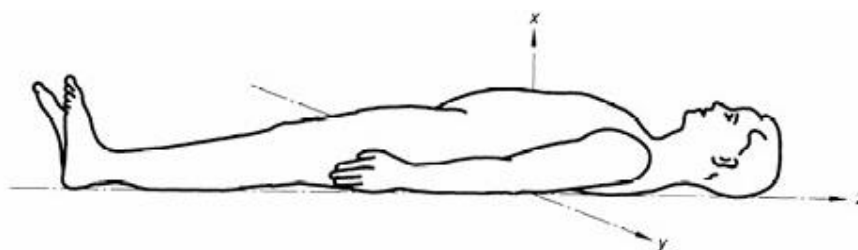
Za ispravno provođenje ispitivanja vibracija koje pacijent osjeća tijekom prijevoza u medicinskom vozilu, potrebno je pridržavati se smjernica iz norme HRN ISO 2631: *Mehaničke vibracije i udari – Ocjenjivanje izloženosti ljudi vibracijama cijelog tijela*. Ova norma sastoji se od pet dijelova, a za ciljano ispitivanje najvažniji je dio HRN ISO 2631-1: *Mehaničke vibracije i udari – Ocjenjivanje izloženosti ljudi vibracijama cijelog tijela – 1. dio: Opći zahtjevi*. Navedeni dio norme bavi se vibracijama koje djeluju na cijelo tijelo i pruža metode za kvantificiranje tih vibracija s obzirom na utjecaj na ljudsko zdravlje i komfor.

Važno je napomenuti da norma razmatra učinke vibracija na osobe dobrog zdravlja, što nije u potpunosti primjenjivo na naše ispitivanje koje se fokusira na utjecaj vibracija na pacijente narušenog zdravstvenog stanja. Unatoč tome, norma je korisna jer ne postavlja granice dopuštenog izlaganja vibracijama, već opisuje metode mjerenja i evaluacije vibracija, uključujući one koje dosežu vršne vrijednosti.

Norma ISO 2631 kako je navedeno, definira metode za mjerenje i procjenu periodičkih, slučajnih i prijelaznih vibracija cijeloga tijela. Raspon frekvencija koji se razmatra proteže se od 0,5 Hz do 8 Hz za procjenu utjecaja na zdravlje, komfor i percepciju, te od 0,1 Hz do 0,5 Hz za procjenu učinaka vibracija koje izazivaju mučninu uzrokovanu gibanjem.

Ovaj dio norme također definira preporučene metode postavljanja mjerne opreme za procjenu izloženosti ljudi vibracijama. Tijekom gibanja, vibracije i ubrzanja prenose se na tijelo putem određenih potpornih površina, ovisno o položaju osobe u vozilu – sjedećem, ležećem ili stojećem. Pacijent smješten u ležećem položaju na nosilima najintenzivnije osjeća utjecaju gibanja u svim smjerovima.

S obzirom na to, mjerenja će se provoditi prema preporukama koje se odnose na osobe u ležećem položaju. Na slici 16., prikazan je koordinatni sustav koji definira orijentaciju i smjerove vibracija za osobu u ležećem položaju. Kao dodatna usporedba, u pogledu određivanja performansi ovjesa medicinskog vozila, provedeno je mjerenje vibracija na najnepovoljnijem mjestu sjedenja za medicinski tim. Za taj položaj, prikazan je na slici 17. koordinatni sustav koji definira orijentaciju i smjerove vibracija za osobu u sjedećem položaju.

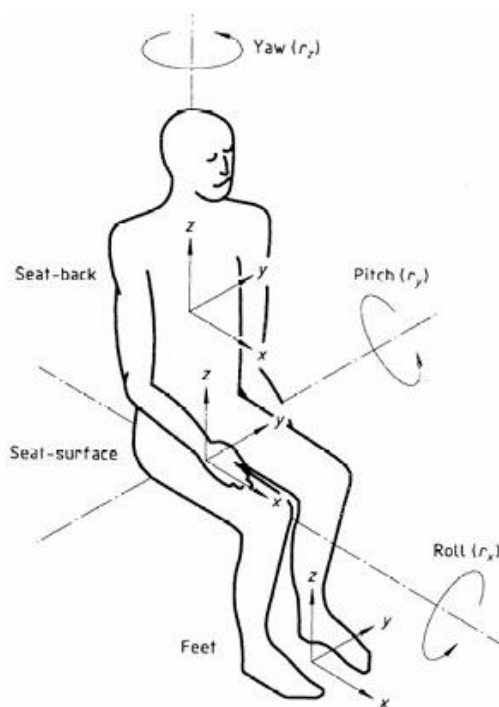


Slika 16. Koordinatni sustav ležeće osobe prema normi HRN ISO 2631-1 [16]

Mjerni instrument potrebno je postaviti tako da može precizno zabilježiti sve vibracije i ubrzanja koja se prenose s izvora vibracija na tijelo osobe. U slučaju ležećeg položaja, glavne potporne površine tijela su područja ispod zdjelice, leđa i glave. Ako se mjerenje provodi samo ispod jedne potporne površine, ključno je jasno navesti na kojoj je površini mjerenje izvršeno.

Norma propisuje da trajanje mjerenja mora biti dovoljno dugo kako bi se osigurala zadovoljavajuća statistička točnost i kako bi se moglo utvrditi da su izmjerene vibracije reprezentativne za stvarne uvjete izloženosti koji se procjenjuju.

U aneksu norme koji je vezan za utjecaj vibracija na zdravlje naznačeno je da postoji ograničeno iskustvo u primjenjivanju ovog dijela norme HRN ISO 2631-1 ako se razmatraju svi smjerovi za sjedeći, naslonjeni ili ležeći položaj.



Slika 17. Koordinatni sustav sjedeće osobe prema normi HRN ISO 2631-1 [16]

S obzirom na to da prihvatljive razine vibracija u kontekstu komfora ovise o velikom broju faktora, u ovom dijelu norme HRN ISO 2631-1 nije određena stroga granica iznad koje vibracije više ne bi bile prihvatljive. Umjesto toga, norma pruža okvir za usporedbu kroz referentne vrijednosti ubrzanja, kao i uobičajene reakcije ljudi na njih. Te referentne vrijednosti vibracija, prikazane u priloženoj tablici 1., rezultat su mjerenja provedenih u javnom prijevozu te omogućuju približnu procjenu utjecaja vibracija na ugodu tijekom putovanja.

Tablica 1. Okvirne vrijednosti akceleracija i pobuđenog osjećaja [16]

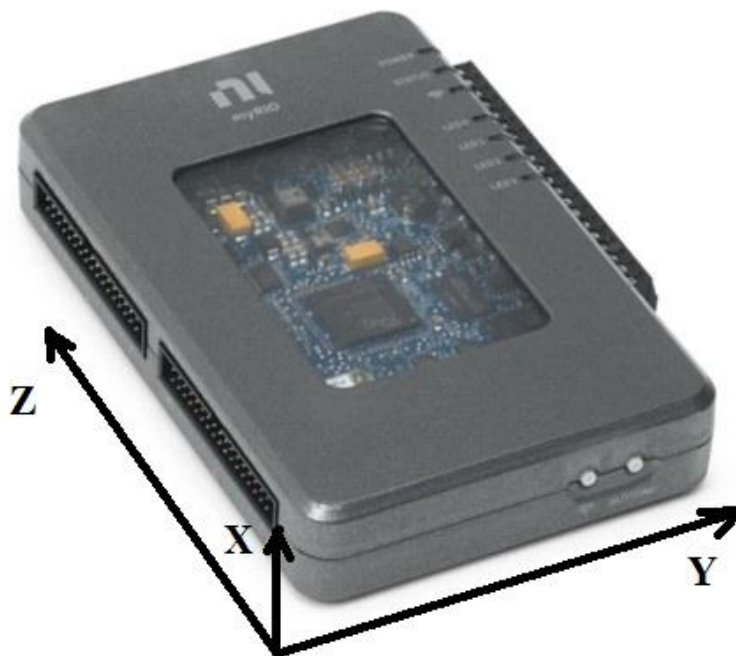
RMS vrijednosti ubrzanja, m/s ²	Osjećaj udobnosti
Manje od 0,315	Nije neudobno (engl. <i>not uncomfortable</i>)
0,315 – 0,63	Malo neudobno (engl. <i>a little uncomfortable</i>)
0,5 - 1	Prilično neudobno (engl. <i>fairly uncomfortable</i>)
0,8 – 1,6	Neudobno (engl. <i>uncomfortable</i>)
1,25 – 2,5	Veoma neudobno (engl. <i>very uncomfortable</i>)
Više od 2	Krajnje neudobno (engl. <i>extremely uncomfortable</i>)

4.1. Mjerni uređaj akceleracije

Za provedbu ovog ispitivanja koristi se uređaj *myRIO-1900* tvrtke *National Instruments*, prikazan na slici 18. Na slici su dodane osi koordinatnog sustava korištenog u ispitivanju. Radi se o reprogramabilnom ulazno-izlaznom uređaju koji omogućuje dvosmjernu komunikaciju s računalom – može isporučivati podatke, primiti naredbe, te samostalno obrađivati podatke.

Jedna od ključnih prednosti ovog uređaja je njegova kompatibilnost s velikim brojem različitih mjernih i analitičkih sučelja za praćenje fizikalnih veličina. Uz to, *myRIO-1900* ima integrirani troosni akcelerometar, što ga čini idealnim za mjerenja potrebna u ovom ispitivanju. Akcelerometar kontinuirano mjeri ubrzanja duž svih triju osi zatim te podatke pohranjuje u registar koji je jednostavno dostupan za čitanje i daljnju obradu.

Njegova kompaktna i praktična konstrukcija omogućuje lako i sigurno postavljanje na različite točke mjerenja. U tablici 2., navedene su glavne tehničke specifikacije akcelerometra.



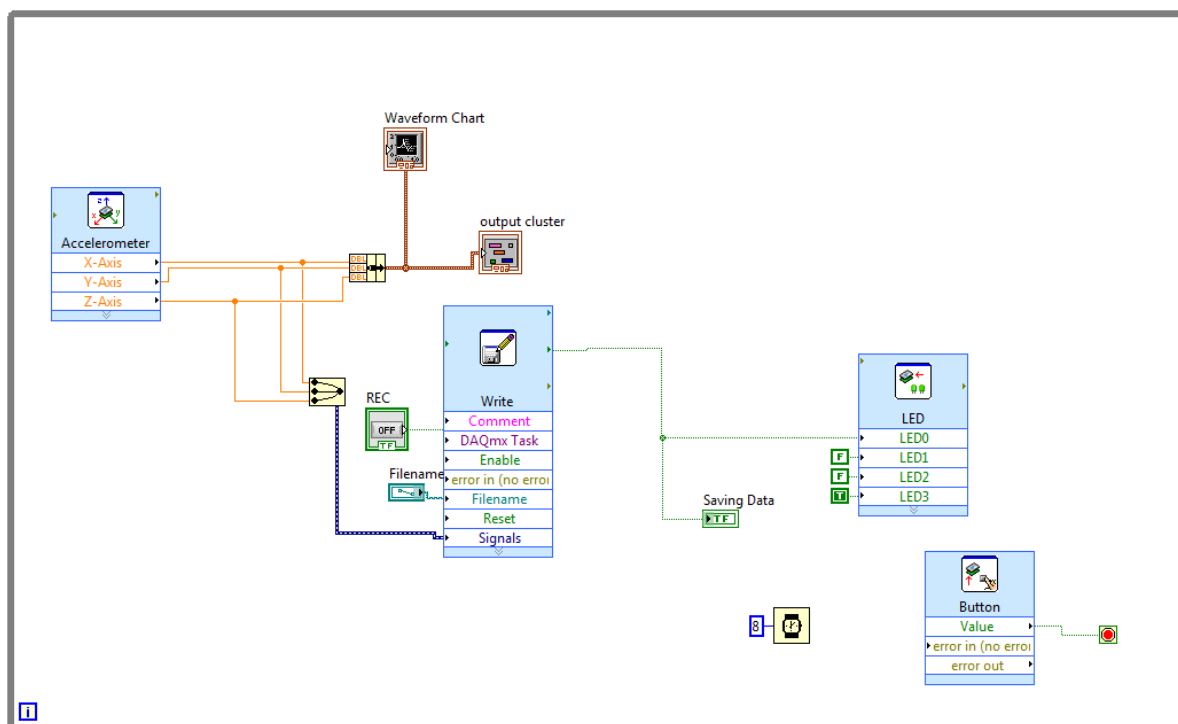
Slika 18. Myrio-1900 i koordinatni sustav korišten u ispitivanju [17]

Tablica 2. Dodatne specifikacije akcelerometra [18]

Broj osi	3
Raspon mjerenja	$\pm 8g$
Rezolucija	12 bitova
Broj uzoraka u sekundi	800
Šum	$3,9 \text{ mg}_{\text{rms}}$ na $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$

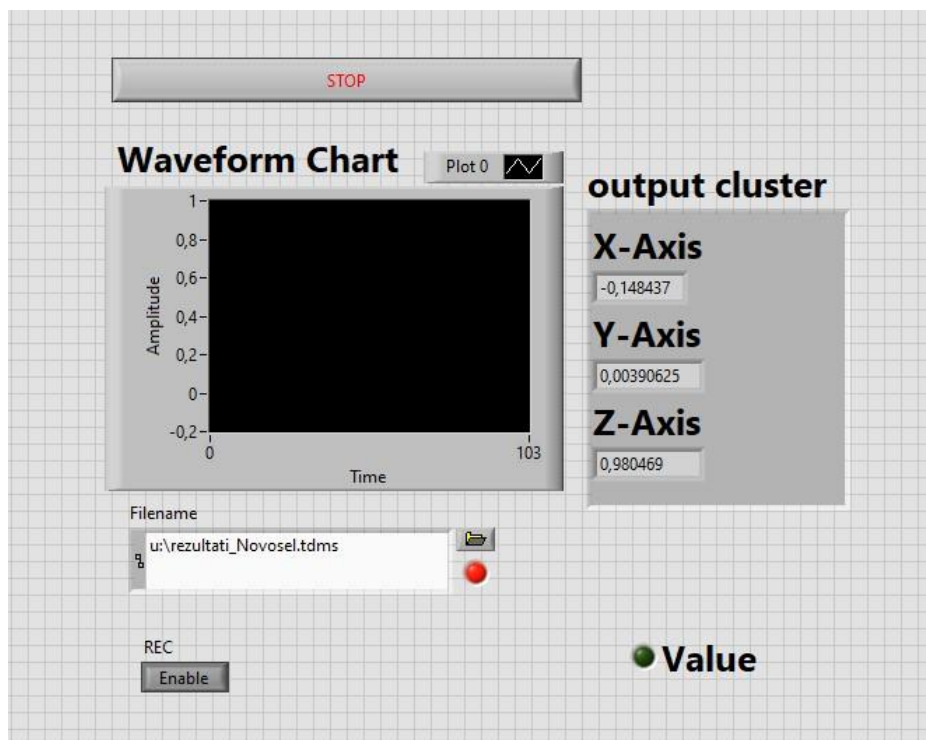
4.1.1. Program za provođenje mjerenja ubrzanja

Za programiranje mjernog uređaja koristi se softverski paket *LabVIEW*, tvrtke *National Instruments*. To je grafička platforma za konstruiranje i razvoj sustava koja se najviše koristi za prikupljanje podataka, upravljanje instrumentima i industrijsku automatizaciju. Softverski paket pruža alate za izradu i pogonjenje kompleksnih ispitnih i mjernih sustava. Slika 19., prikazuje blok dijagram za provedbu mjerenja ubrzanja putem troosnog akcelerometra.



Slika 19. Blok dijagram procesa ispitivanja

Prednost korištenja softverskog paketa *LabVIEW* je programiranje procesa ispitivanje međusobnim povezivanjem blok naredbi. U ovom slučaju, vrijednosti očitavanja svake osi akcelerometra spojene su na blok naredbu koja te vrijednosti pohranjuje na eksternu memoriju kako bi ih se naknadno obradilo. Također, očitane vrijednosti akcelerometra povezuju se blok naredbom koja ih prikazuje u realnom vremenu kako bi u svakom trenutku postojala mogućnost provjere rada programa. Upravljački panel procesa mjerenja prikazan je na slici 20.



Slika 20. Upravljački panel procesa mjerenja

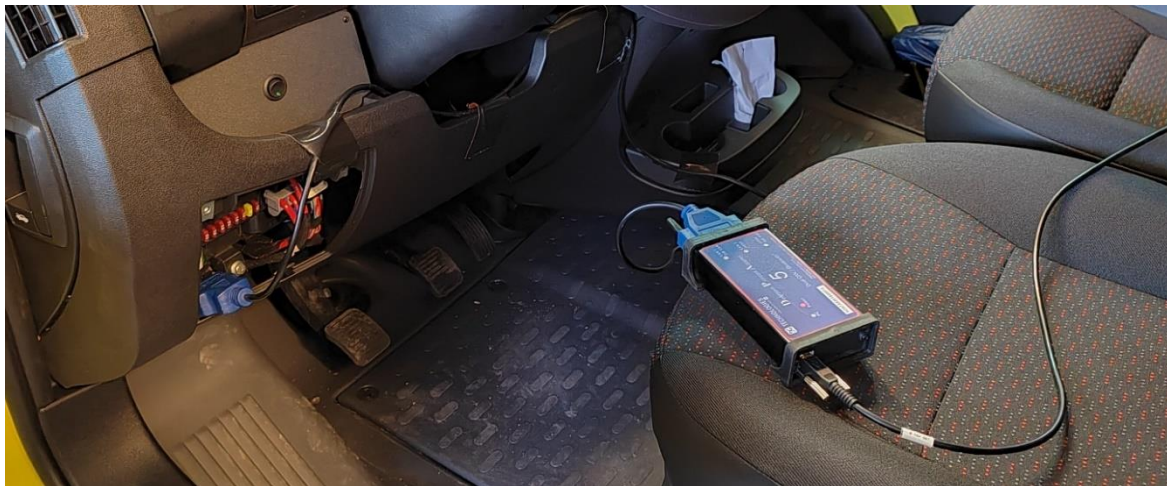
4.2. Mjerni uređaj podataka vozila

Kako bi se mjerenja ubrzanja povezala s podacima o načinu i samoj ruti vožnje, korišten je mjerni uređaj *AVL M.O.V.E System Control* tvrtke AVL koji je prikazan na slici 21. To je robusni, računalni sustav za vozila koji je namijenjen za upravljanje mjernim uređajima, prikupljanje podataka i njihov izračun.



Slika 21. AVL M.O.V.E. System Control

Spajanjem uređaja na dijagnostički sustav vozila očitavaju se određeni podaci vezani za način rada motora za vrijeme vožnje. Uređaj za spajanje na dijagnostičku utičnicu prikazan je na slici 22.



Slika 22. Uređaj za očitavanje podataka o radu motora putem OBD priključnice

Za dobivanje podataka o ruti vožnje koja je odvožena za vrijeme ispitivanja, koristi se GPS antena na krovu vozila spojena na upravljački uređaj. Osim pozicije, antena bilježi i brzinu vožnje koja je izuzetno bitna kao mjerodavna veličina za usporedbu različitih mjerenja. Na slici 23., prikazana je sama GPS antena, te njen smještaj na vozilu.



Slika 23. GPS antena postavljena na krov vozila

4.3. Procjena vibracija

Prema dijelu norme HRN ISO 2631-1 [16], procjena vibracija temelji se na izmjerenim iznosima ponderirane srednje kvadratne vrijednosti (engl. *weighted root-mean-square value*, *weighted r.m.s. value*) ubrzanja. Za translacijske vibracije, ponderirane srednje kvadratne vrijednosti ubrzanja imaju mjernu jedinicu izraženu u metrima po sekundi kvadrat (m/s^2). Prema normi, jednadžba za izračun ponderirane srednje kvadratne vrijednosti ubrzanja glasi:

$$a_w = \left[\frac{1}{T} \int_0^T a_w^2(t) dt \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (1)$$

gdje su:

$a_w(t)$ – ponderirano ubrzanje u funkciji vremena, m/s^2 ;

T – duljina mjerenja, s.

Kako određeni intervali frekvencija imaju značajniji utjecaj na udobnost i zdravlje, za naglašavanje njihovog utjecaja koriste se faktori frekvencijskog ponderiranja u jednoj trećini oktave iz kojih je vidljiv utjecaj faktora W_k i W_d na iznos srednje kvadratne vrijednosti ubrzanja. Iznosi tih faktora mijenjaju se ovisno o intervalu frekvencija i prikazanu su u Tablici 3. i 4. norme HRN ISO 2631-1 [16], te u prilogu.

Ovisno o tome procjenjuje li se utjecaj vibracija na osobu u stojećem, sjedećem ili ležećem položaju, za pojedine osi mjerenja koriste se različiti faktori frekvencijskog ponderiranja. Za ležeći položaj osobe, koji se procjenjuje u našem slučaju, za vertikalnu os X koristi se faktor W_k , dok se za horizontalne osi Y i Z koristi faktor W_d . Orijehtacija osi prikazana je na slici 15. Faktori frekvencijskog ponderiranja se na spektar ubrzanja primjenjuju prema formuli:

$$a_w = \left[\sum_i (W_i a_i)^2 \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (2)$$

gdje su:

a_w – frekvencijski ponderirano ubrzanje, u metrima po sekundi kvadrat, m/s^2 ;

W_i – faktori ponderiranja za i -ti interval jedne trećine oktave;

a_i – RMS ubrzanje za i -ti interval jedne trećine oktave, m/s^2 .

U kontekstu komfora, ovisno o položaju osobe, na faktore frekvencijskog ponderiranja dodaje se multiplikacijski faktor k za svaku os. Za ležeći položaj osobe, multiplikacijski faktor k iznosi 1 za sve osi, vertikalnu X i horizontalne Y i Z .

Dobiveni iznos frekvencijski ponderirane srednje kvadratne vrijednosti ubrzanja moguće je usporediti s iskustvenim vrijednostima ubrzanja i njima pridodanim osjećajima ugone koji su prikazani u tablici 1. Potrebno je naglasiti kako je za izračun frekvencijski ponderirane srednje kvadratne vrijednosti ubrzanja u softverskom programu *LabVIEW* potrebna frekvencija mjerenja podataka od minimalno 200 Hz što korištenim mjernim uređajem nije moguće postignuti.

5. PRELIMINARNO ISPITIVANJE

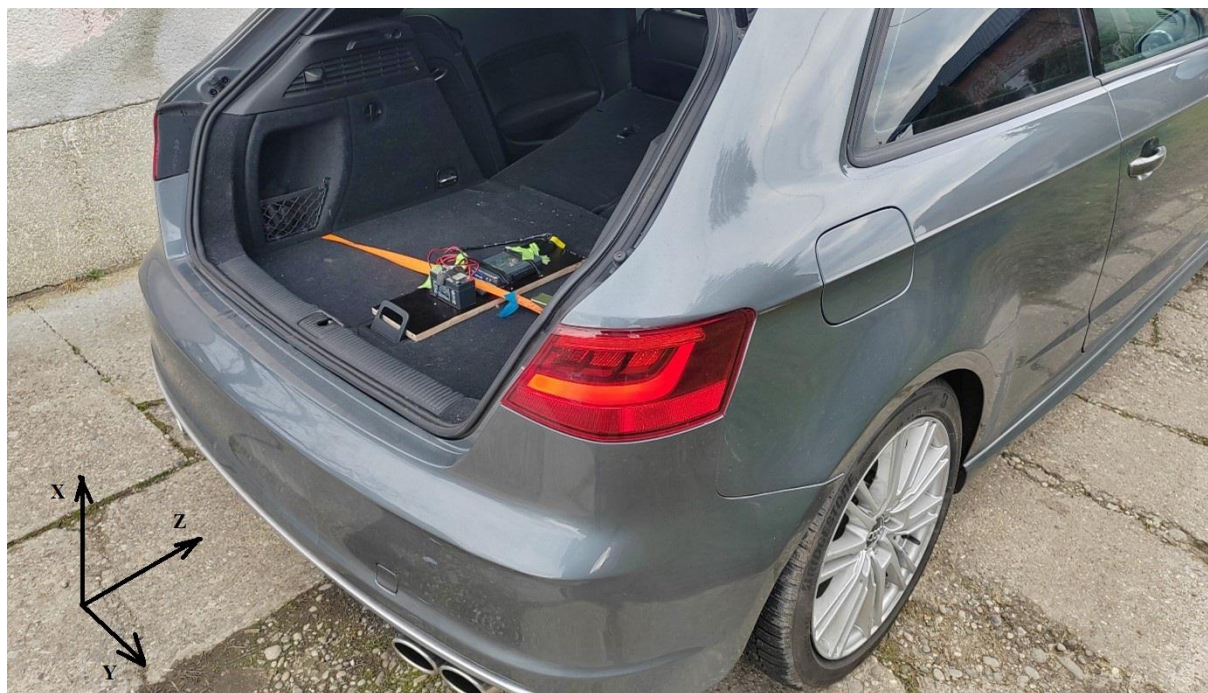
Prije provođenja glavnih mjerenja vezanih za određivanje performansi medicinskog vozila, provedena su dva inicijalna mjerenja kako bi se utvrdila ispravnost akcelerometra te provjerila obrada podataka. Cilj ovih preliminarnih mjerenja bio je prikazati performanse različitih tipova ovjesa na dva vozila i donijeti zaključke o utjecaju mase vozila i vrste ovjesa na udobnost putnika tijekom vožnje. Također, u oba eksperimenta mjerni uređaj, odnosno akcelerometar, bio je postavljen što bliže stražnjoj osovini vozila radi što preciznijeg prikupljanja podataka vezanih za udobnost putnika.

Prvo vozilo na kojem su mjerenja provedena bio je automobil Audi A3, godine proizvodnje 2013., s masom praznog vozila od 1310 kg. Ovo vozilo opremljeno je neovisnim prednjim i stražnjim ovjesom sa spiralnim oprugama i uljnim amortizerima, kao opružno-prigušnim elementima. Zahvaljujući S-line paketu opreme, vozilo je opremljeno oprugama povećane krutosti u odnosu na standardne modele. Konstrukcija stražnjeg neovisnog ovjesa prikazana je na slici 24.

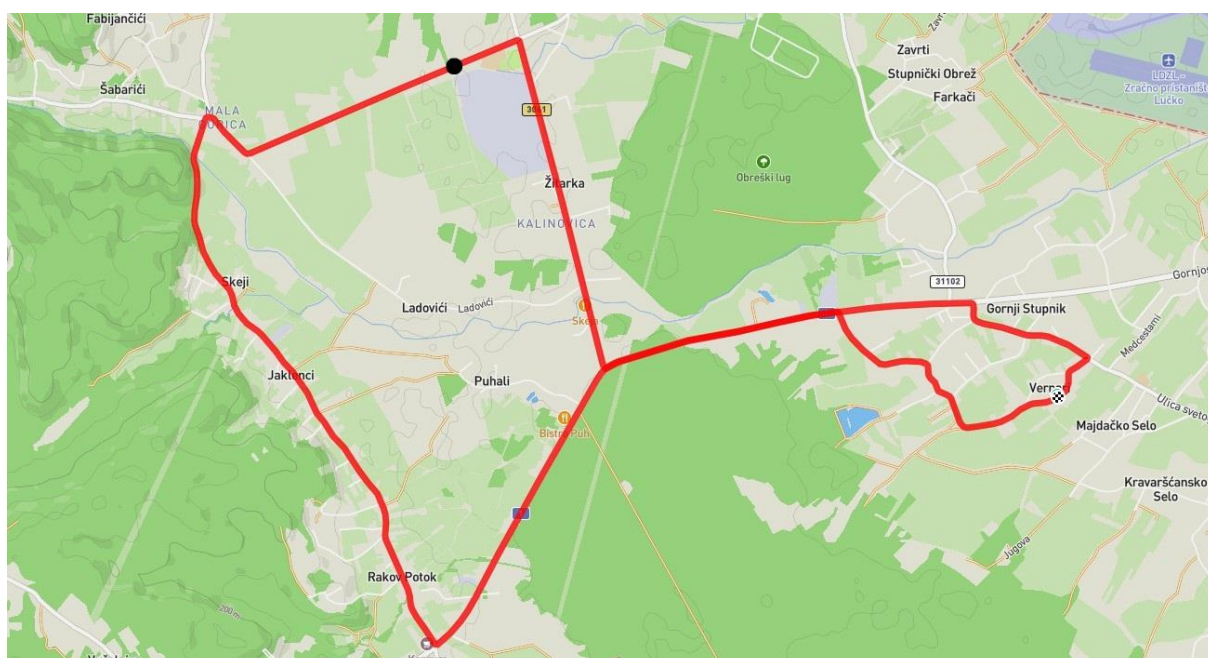


Slika 24. Izvedba stražnjeg ovjesa vozila Audi A3 [19]

Dionica ceste na kojoj su provedena mjerenja bila je ista za oba vozila, a prikazana je na slici 26. Ova ispitna ruta obuhvaća ceste bolje kvalitete s višim dopuštenim brzinama, kao i izrazito oštećene i razrovane prometnice koje zahtijevaju rekonstrukciju. Na slici 25., prikazan je položaj akcelerometra u vozilu.

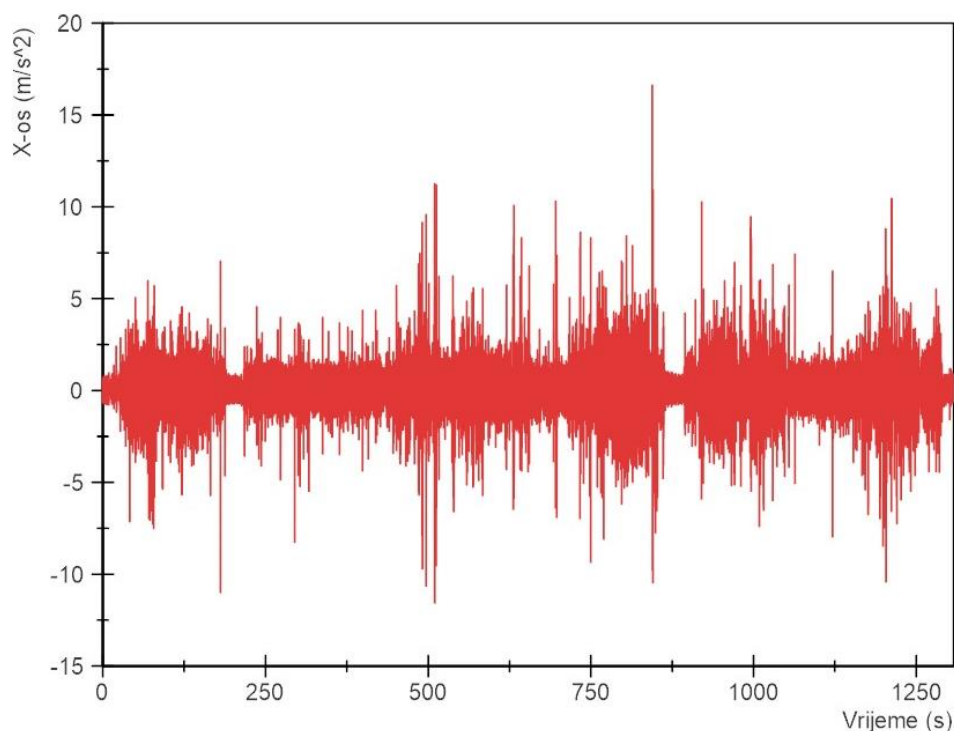


Slika 25. Položaj akcelerometra u vozilu Audi A3 s ucrtanim koordinatnim osima



Slika 26. Dionica preliminarnog ispitivanja vozila Audi A3 i Range Rover Sport

Slika 27. prikazuje vertikalna ubrzanja izmjerena na dionici ispitivanja.



Slika 27. Vertikalna ubrzanja izmjerena u Audiju A3

Kao drugo vozilo korišten je Range Rover Sport, godine proizvodnje 2007., s masom praznog vozila od 2455 kg. Vozilo je opremljeno neovisnim zračnim ovjesom s mogućnošću regulacije visine vožnje i niveliranjem visine vožnje ovisno o opterećenju vozila. Izvedba sklopa zračne opruge i amortizera prikazana je na slici 28.

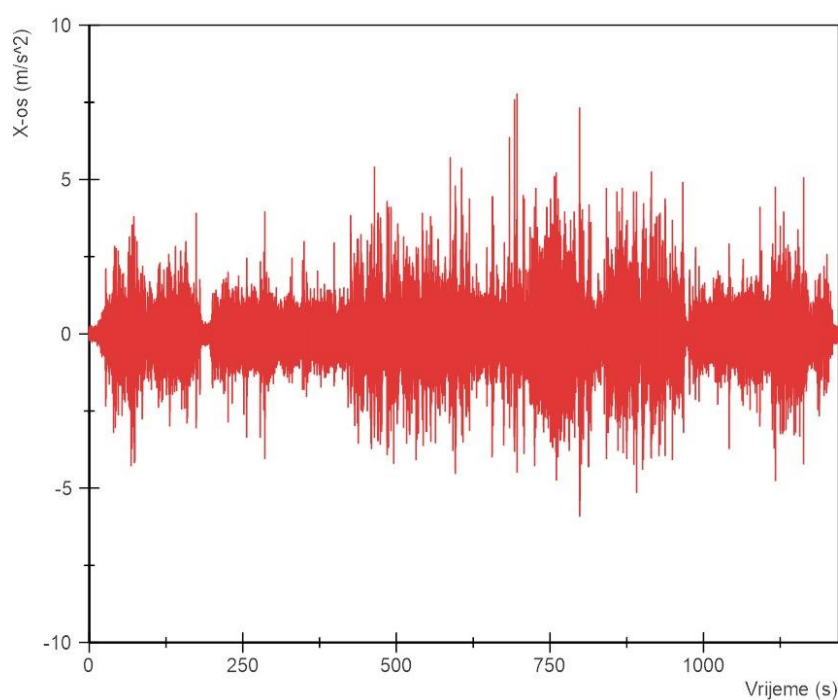


Slika 28. Sklop zračne opruge i amortizera vozila Range Rover Sport [20]

Korištenjem ovako različita dva vozila bilo je s ciljem prikazivanja utjecaja mase i izvedbe ovjesa na vertikalne ubrzanja u vozilu. Položaj akcelerometra za drugo ispitno vozilo prikazano je na slici 29., te je vidljivo da se u oba mjerenja mjerni uređaj nalazi vertikalno iznad stražnje osovine. Ubrzanja izmjerena u drugom vozilu prikazana su na slici 30., te u tablici 3. su prikazana RMS ubrzanja za oba vozila i ekvivalentni osjećaj ugone vožnje prema normi.



Slika 29. Položaj mjernog uređaja u vozilu Range Rover Sport s ucrtanim koordinatnim sustavom



Slika 30. Vertikalna ubrzanja vozila Range Rover Sport

Tablica 3. Izmjerene RMS ubrzanja preliminarnih ispitivanja

Vozilo	RMS vertikalna ubrzanja, m/s^2	Osjećaj ugone
Audi A3 S-line	1.03	Neudobno
Range Rover Sport	0.779	Prilično neudobno

Iz izračunatih vrijednosti RMS ubrzanja vidljivo je da vozilo s većom masom i ovjesom boljih karakteristika udobnosti ostvaruje približno 25 % niže vrijednosti vertikalnih ubrzanja u odnosu na vozilo s tzv. standardnim ovjesom i manjom masom, te bolji osjećaj udobnosti vožnjom po rutu ispitivanja s prometnicama izuzetno loše kvalitete kako je ranije napomenuto. Potrebno je detaljnije istražiti što značajnije doprinosi udobnosti – povećana masa vozila, a time i veća inercija koja ga čini manje osjetljivim na vanjske podražaje, ili kvaliteta ovjesa koji učinkovito apsorbira podražaje i sprječava njihovo prenošenje na putnički prostor.

6. ISPITIVANJE PERFORMANSI MEDICINSKOG VOZILA

6.1. Ispitno vozilo

Kao ispitno vozilo za određivanje performansi ovjesa medicinskog vozila izrađenog prema *Standardu* (NN 80/2016) [3], korišten je Opel Movano C, godine proizvodnje 2022. Vozilo je opremljeno motorom zapremine 2179 cm³ i snage 121 kW. Izvorni oblik vozila pripada kategoriji vozila N1, no ono je prenamijenjeno i homologirano kao medicinsko vozilo za prijevoz šest osoba i jednog pacijenta, odnosno M1 vozilo. Vanjski izgled vozila prikazan je na slikama 31. i 32. Točna masa vozila nije nam poznata, no masa vozila kategorije N1 prema zakonskim propisima ne smije prelaziti 3500 kg. Prema normi HRN EN 1789:2024, vozilo mora osigurati zalihu mase od 225 kg za dodatnu opremu kada se u njemu nalazi broj osoba za koji je homologirano. Na temelju tih pretpostavki, procijenjeno je da je vozilo tijekom ispitivanja, s ispitnom opremom i četiri osobe unutar kabine, imalo masu od približno 3165 kg.



Slika 31. Prednja strana medicinskog vozila



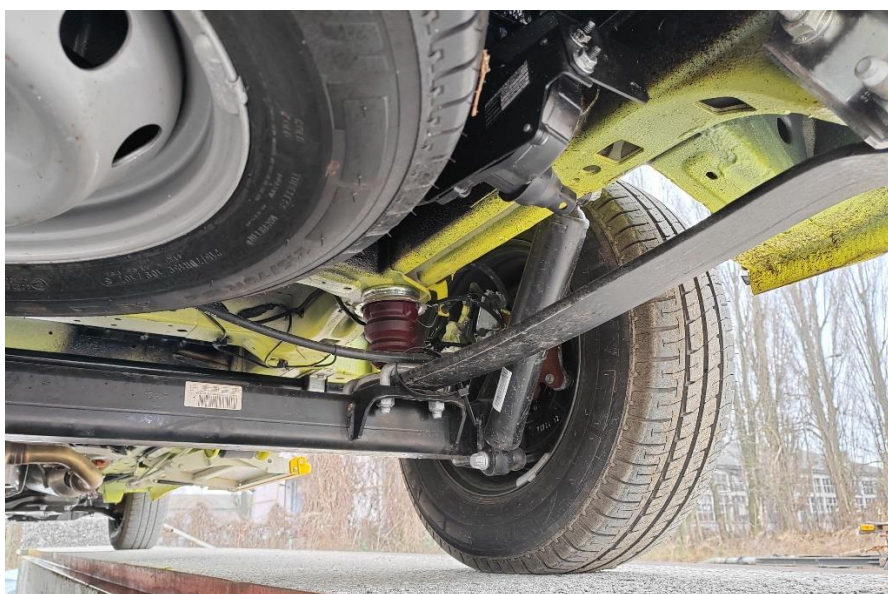
Slika 32. Stražnja strana medicinskog vozila

Ovaj model ispitnog vozila vjerno odražava trenutnu strukturu voznog parka vozila hitne medicinske službe u Hrvatskoj, jer je jedan od najzastupljenijih modela u izvanbolničkim hitnim službama. Izvanbolničke hite medicinske službe najčešće djeluju izvan urbanih središta te se kreću cestama različitih kvaliteta, uključujući i nerazvrstane ceste u određenim slučajevima.

Specifičnost ovog modela vozila leži u činjenici da njegovu karoseriju, ovjes i pogonski sustav koriste različiti proizvođači automobila - Fiat, Peugeot, Citroën i Toyote pa zbog toga ima značajnu zastupljenost u trenutnom voznom parku izvanbolničke hitne medicinske službe.

6.2. Ovjes ispitnog vozila

Stražnji ovjes ovog vozila, koji ima ključnu ulogu u osiguravanju komfora pacijenta i medicinskog osoblja, izveden je kao kruta osovina s jedno-lisnim paraboličnim lisnatim oprugama, dvocijevnim uljnim amortizerima i graničnim odbojnikom. Radi postizanja boljih voznih karakteristika, stražnji kotači povezani su stabilizatorom koji smanjuje naginjanje osovine prilikom prelaska jednog kotača preko neravnine na cesti. Prikaz konstrukcije ovog ovjesa nalazi se na slici 33.



Slika 33. Stražnji ovjes ispitnog vozila

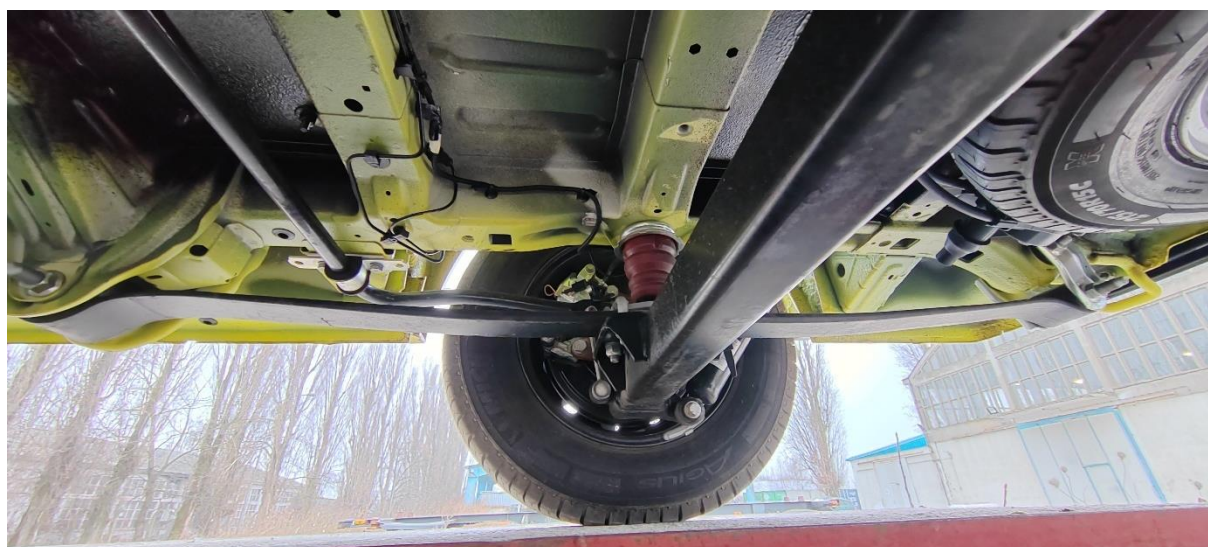
Slika 34. prikazuje prihvat stabilizatora na karoseriji vozila i na krutoj osovini.



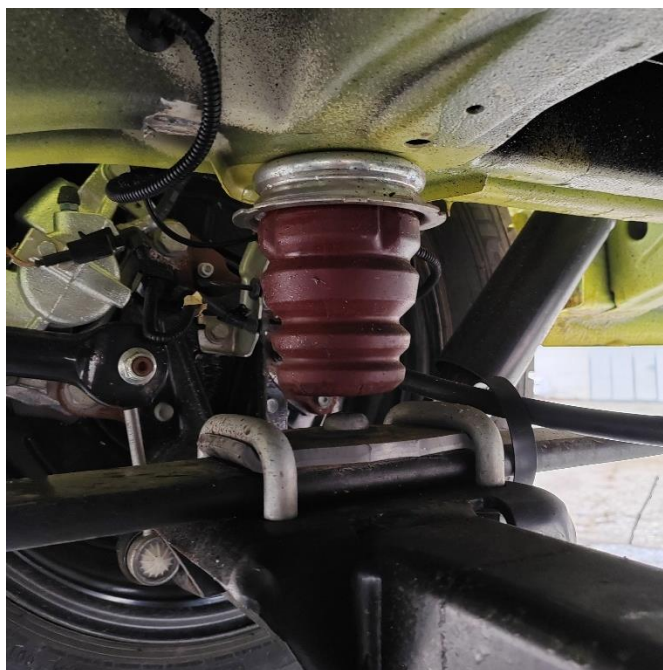
Slika 34. Stabilizator

Ovjes izveden na ovakav način primarno se koristi u vozilima za prijevoz tereta, gdje je udobnost putnika zanemarena. Kada je vozilo opterećeno blizu svoje maksimalno dopuštene mase, lisnata opruga se znatno sabija i gubi svoju elastičnost. Osim toga, smanjuje se i hod ovjesa jer se kruta osovina približava graničnom odbojniku. U takvim slučajevima, kada se prevozi teret, to ne predstavlja značajan problem, jer se uglavnom može prilagoditi brzina vožnje uvjetima na prometnicama lošije kvalitete. Međutim, kod medicinskih vozila taj nedostatak elastičnosti opruge i smanjeni hod ovjesa postaju izuzetno važni čimbenici.

Na intervencijama se u vozilu obično nalaze tri člana medicinskog tima, pacijent i sva potrebna oprema za pružanje hitne pomoći. Tada je vozilo opterećeno vrlo blizu svoje najveće nosivosti, što uvelike kompromitira sposobnost ovjesa da učinkovito ublaži podražaje koji se prenose na karoseriju, a time i na osobe u vozilu. Tijekom ispitivanja, u vozilu nije bila prisutna oprema za hitnu medicinsku pomoć. Na slikama 35. i 36. jasno su prikazani oblik lisnate opruge u opterećenom stanju i relativno ograničen hod ovjesa pri istom opterećenju.

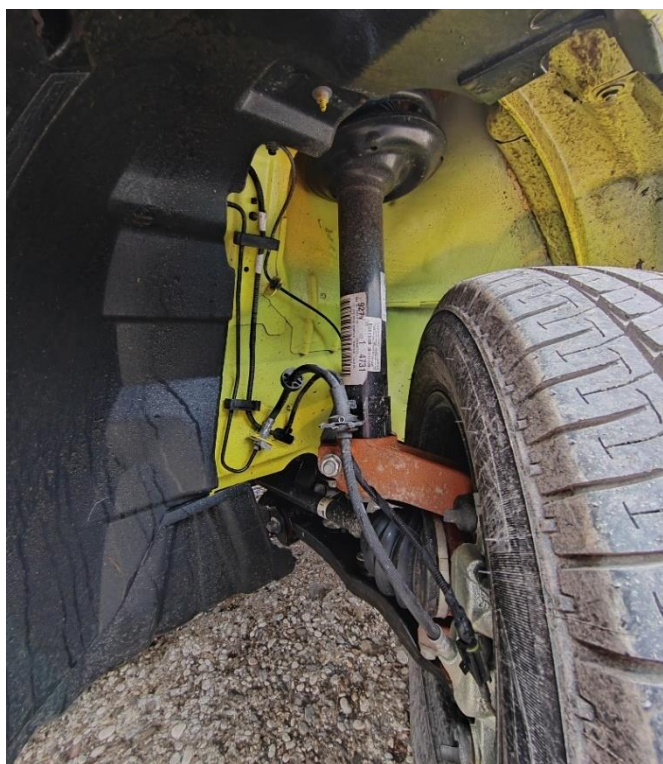


Slika 35. Oblik opterećene lisnate opruge



Slika 36. Relativan hod ovjesa za razmatrani slučaj opterećenja vozila

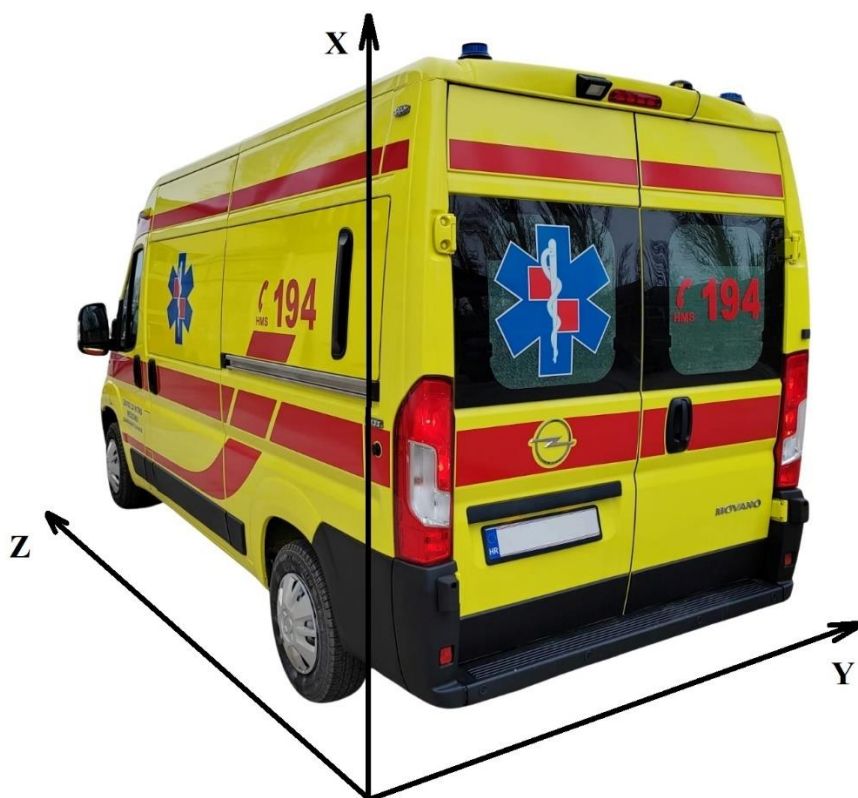
Važno je dodatno istaknuti da je prednji ovjes ispitnog vozila izveden kao neovisni ovjes s opružnom nogom i stabilizatorom, što je prikazano na slici 37. Opružna noga zapravo predstavlja kombinaciju pojačanog amortizera i opruge te se u pravilu koristi kao okomita vodilica kotača.



Slika 37. Prednji ovjes ispitnog vozila

6.3. Smještaj mjernog uređaja

Za mjerenje ubrzanja koja utječu na pacijenta, potrebno je postaviti mjerni uređaj na mjesto kontakta pacijenta s vozilom, odnosno na nosila, kako je propisano normom. Norma preporučuje postavljanje mjernog uređaja na lokaciju koja odgovara položaju zdjelice pacijenta u ležećem položaju. Također je normom određen relativni koordinatni sustav pacijenta koji će se koristiti kao apsolutni koordinatni sustava cijelog vozila zbog olakšavanja analize podataka. Smjerovi apsolutnog koordinatnog sustava prikazani su na slici 38.



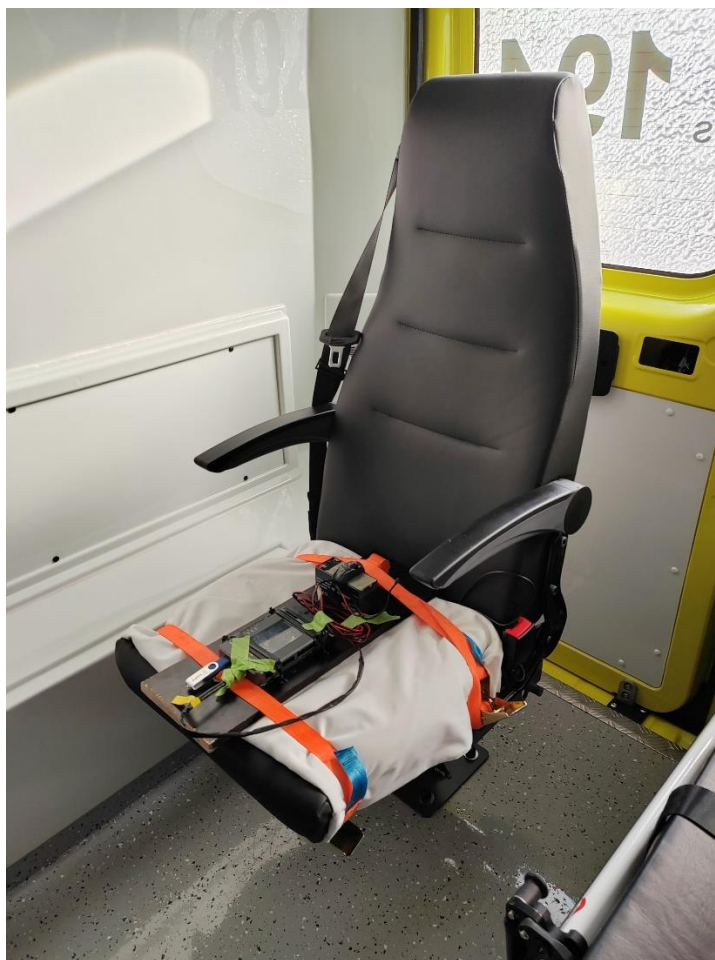
Slika 38. Apsolutni koordinatni sustav vozila

S obzirom na relativno malu masu akcelerometra i baterije potrebne za njegovo napajanje, kako bi se spriječilo odvajanje akcelerometra od nosila tijekom velikih vertikalnih ubrzanja, uređaj je čvrsto pričvršćen za nosila. Pri tome je pažljivo uzeto u obzir koliko snažno ga je potrebno vezati kako se mekana podloga nosila ne bi previše komprimirala, čime bi se smanjila njezina sposobnost apsorpcije i prigušivanja vibracija. Način postavljanja mjernog uređaja na nosila prikazan je na slici 39.



Slika 39. Pozicioniranje mjernog uređaja na nosilu za pacijente

Za mjerenje ubrzanja na mjestu gdje sjedi medicinski tim potrebno se držati norme i paziti na pozicioniranje mjernog uređaja na mjestu mjerenja. Način postavljanja mjernog uređaja na sjedalo medicinskog osoblja prikazan je na slici 40.



Slika 40. Pozicioniranje mjernog uređaja na sjedalu

6.4. Ruta vožnje

Za prikazivanje što realnijih uvjeta svakodnevnog vožnje vozila hitne medicine, ruta vožnje je odabrana da obuhvati što raznolikije prometnice s različitim dopuštenim brzinama vožnje. Također se vodila briga da se obuhvati što više različitih vrsta uspornika na kolniku i vrsta prometnica od onih novo uređenih pa do nekih već u lošijem stanju. Bitno je naglasiti da se dopuštena brzina vožnje pošivala prilikom ispitivanja, ali na nekim uspornicima se nije previše smanjivala ispod te dopuštene kako bi malo dočarali utjecaj tih uspornika kada medicinsko vozilo na hitnoj intervenciji ne uspije dovoljno usporiti zbog prioriteta brzine dolaska u bolnicu. Zbog lakše analize podataka ruta je podijeljena na 3 dijela.

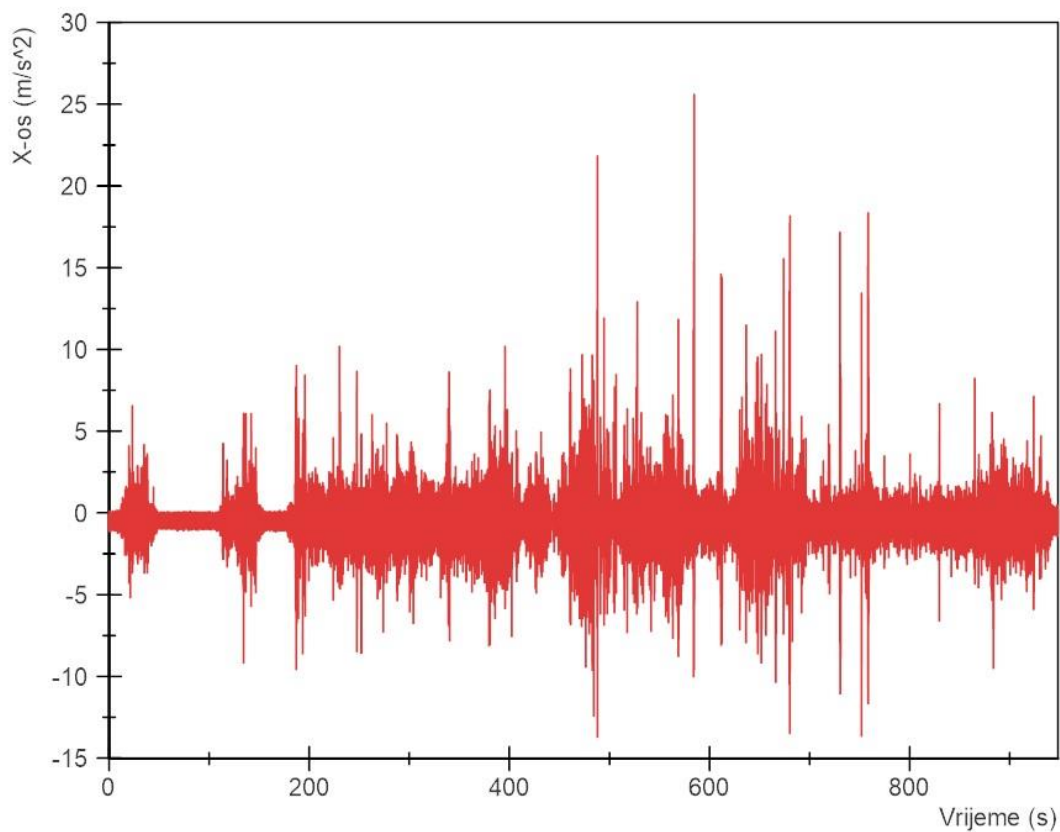
6.4.1. Prvi dio rute

Prvi dio rute ispitivanja, prikazan na slici 41., vožen je od privremene lokacije Laboratorija za motorna vozila Fakulteta strojarstva i brodogradnje, na adresi Radnička cesta 206, Zagreb, do naselja Jakuševac. Ruta je prošla kroz naselje Mičevec, koji spada u Zagrebačku županiju, te ostatak voženog kroz Grad Zagreb. Prvi kilometri ove rute voženi su Radničkom cestom, koja je jedan od glavnih ulaznih pravaca u grad, te njome redovito prometuju vozila hitne medicine kada su na putu prema bolničkim centrima grada Zagreba. Ostatak ovog dijela rute vožen je po prigradskoj prometnici s nekoliko izvedbi uspornika na kolniku.

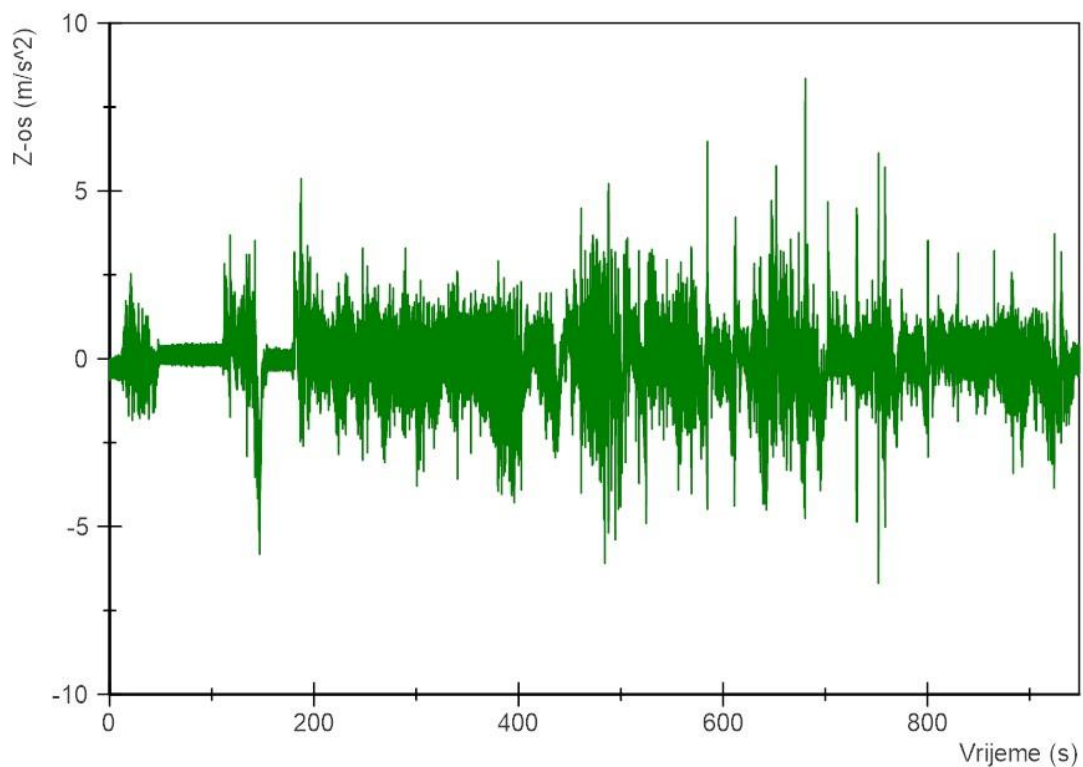


Slika 41. Prvi dio rute, Radnička cesta - Jakuševac

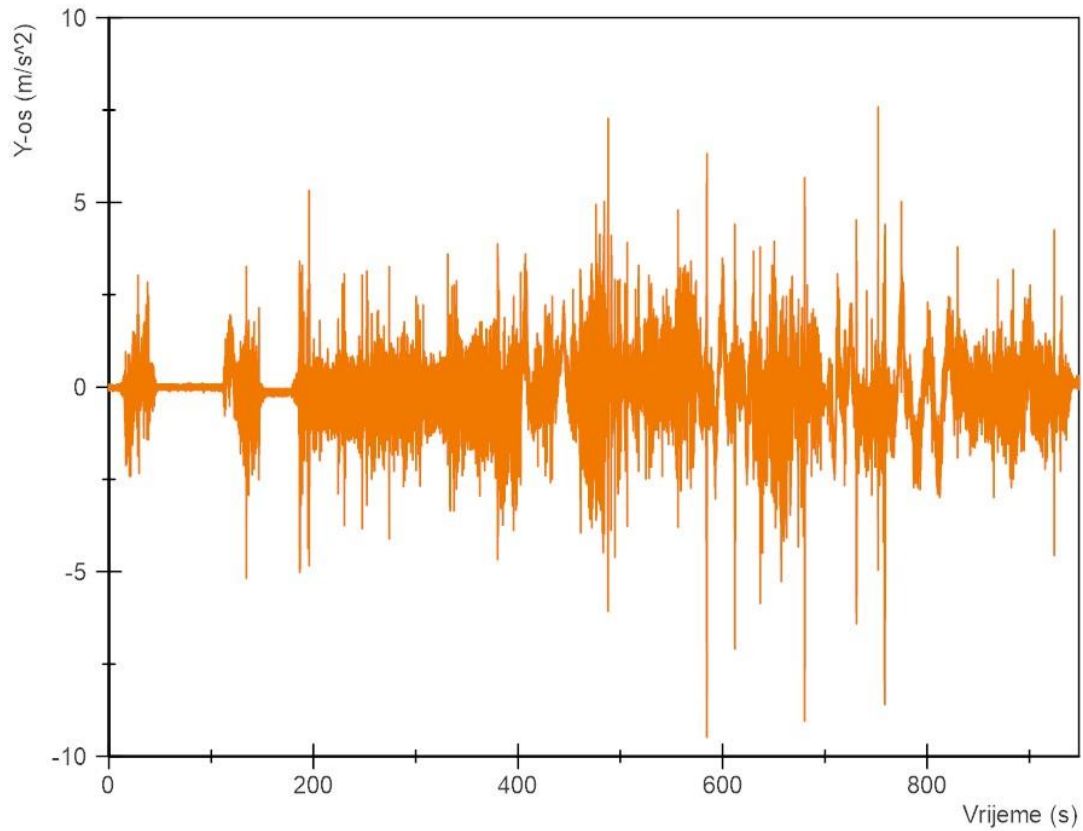
Na nekoliko sljedećih slika prikazani su različiti podaci prikupljeni za vrijeme vožnje. Prvi dijagram na slici 42. prikazuje sva vertikalna ubrzanja koja su izmjerena na mjestu pacijenta u vozilu, dok slike 43. i 44. prikazuju uzdužna i poprečna ubrzanja. Slike 45., 46. i 47., prikazuju brzinu vožnje tokom rute, brzinu vrtnje motora i izračunato opterećenje motora.



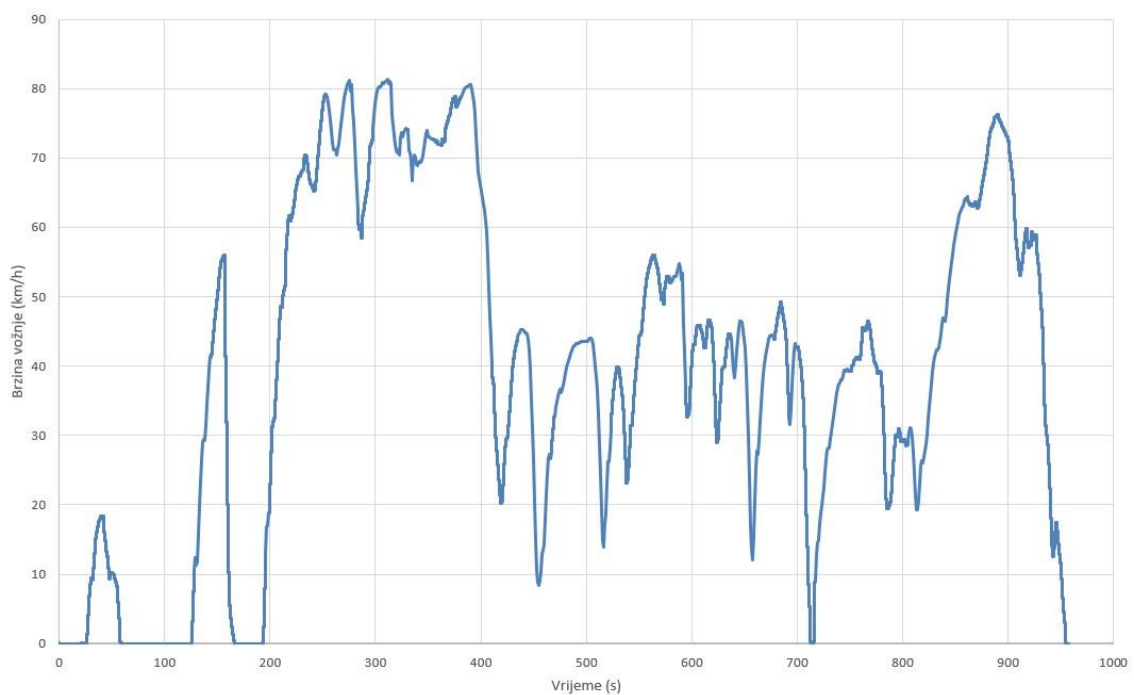
Slika 42. Vertikalna ubrzanja u prvom dijelu rute, Radnička cesta - Jakuševac



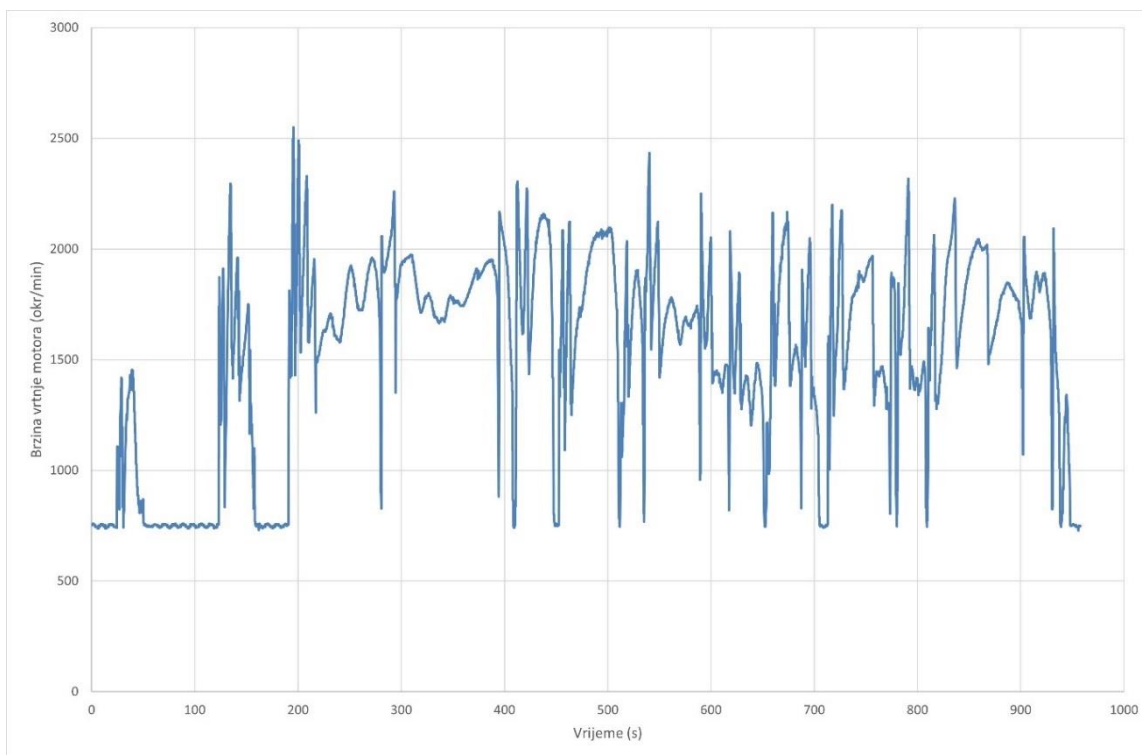
Slika 43. Uzdužna ubrzanja u prvom dijelu rute, Radnička cesta - Jakuševac



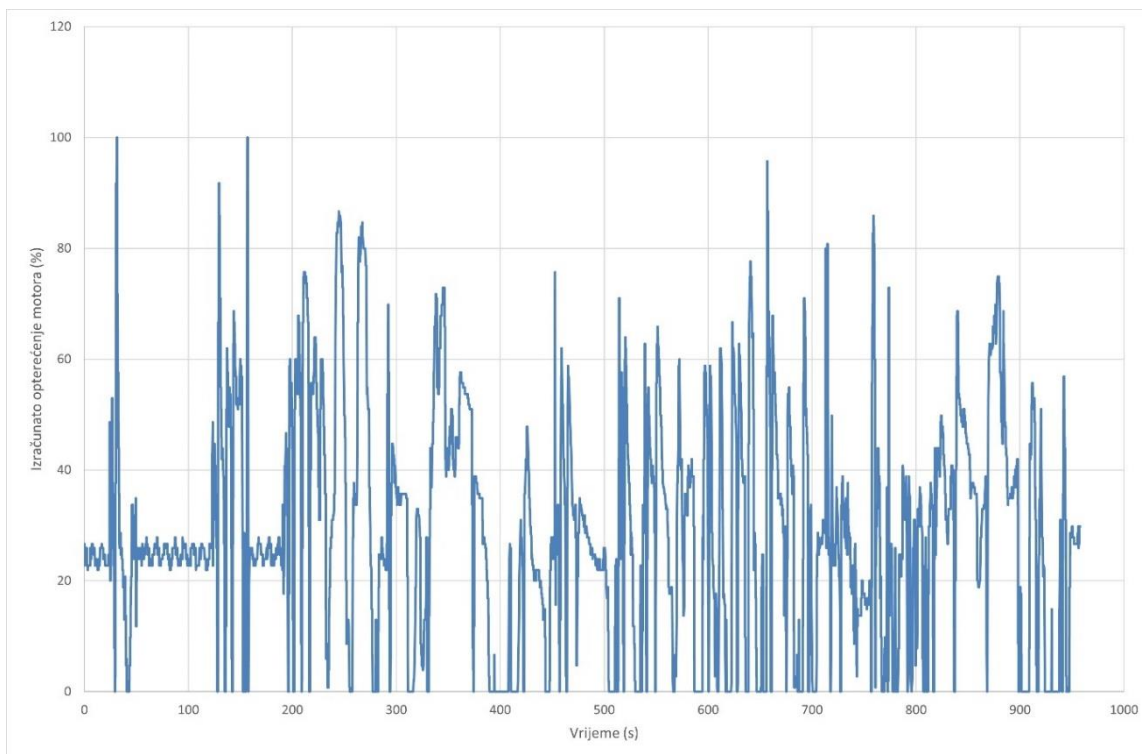
Slika 44. Poprečna ubrzanja u prvom dijelu rute, Radnička cesta – Jakuševac



Slika 45. Brzine vožnje u prvom dijelu rute, Radnička cesta - Jakuševac

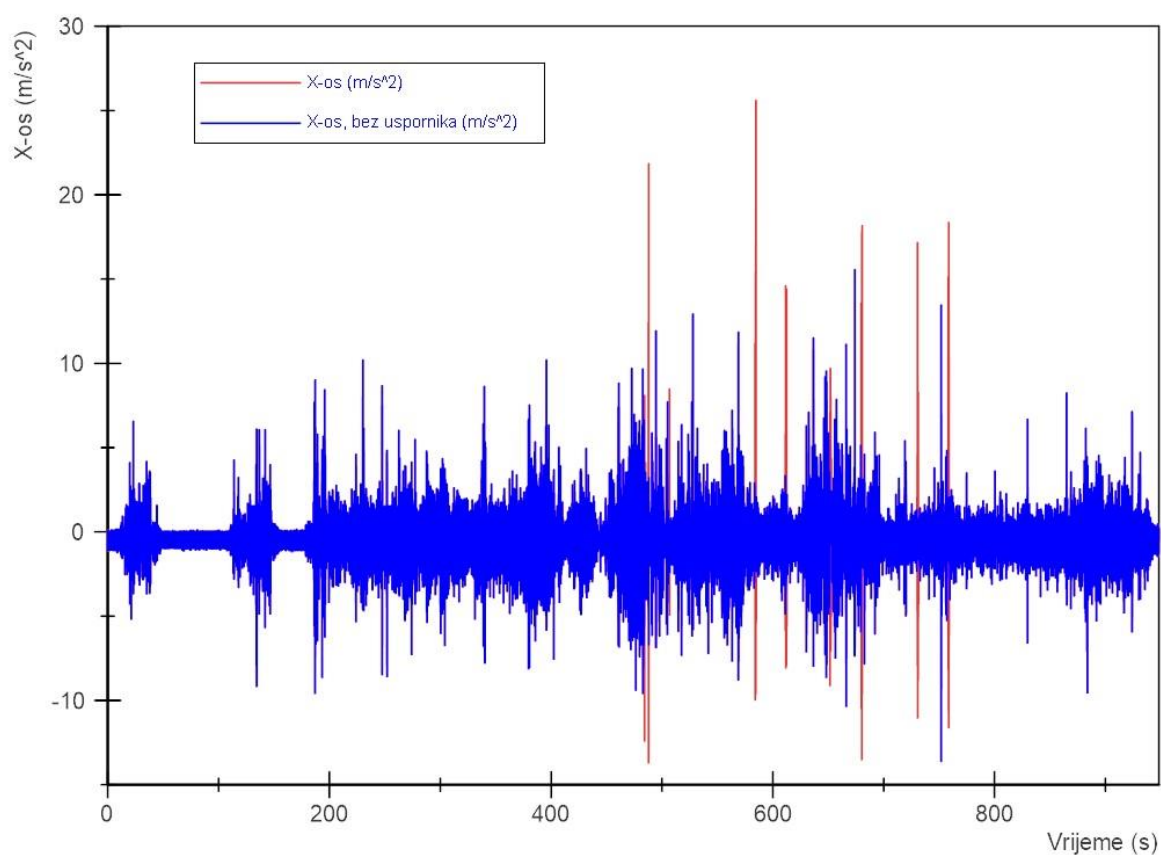


Slika 46. Brzine vrtnje motora u prvom dijelu rute, Radnička cesta – Jakuševac



Slika 47. Izračunato opterećenje motora u prvom dijelu rute, Radnička cesta - Jakuševac

Prema normi HRN ISO 2631-1 za dobivanje mjerodavne veličine ubrzanja koja služi za uspoređivanje komfora vožnje koristi se frekvencijski ponderirana srednja kvadratna vrijednost ubrzanja. Kako je prije spomenuto za dobivanje te vrijednosti potrebna je velika frekvencija snimanja od 200 Hz što s trenutnom opremom nije moguće postići. Kako bi se ipak mogla uspoređivati mjerenja dobivena u pojedinoj ruti i uspoređivati vrijednosti ubrzanja ako se iz svake rute izbace trenuci prelaska preko uspornika, koristit će se samo srednja kvadratna vrijednost ubrzanja – RMS ubrzanja. Da bi se vidjelo koliki utjecaj na vertikalna ubrzanja imaju uspornici na kolniku, iz ukupnih mjerenja vertikalnog ubrzanja izbačeni su svi trenuci kad je vozilo prešlo preko njih. Slika 48. prikazuje usporedno mjerenja vertikalnih brzina s i bez uspornika na kolniku.



Slika 48. Dijagram vertikalnih ubrzanja prvoga dijela rute s i bez uspornika, Radnička cesta - Jakuševac

Analizom vertikalnih ubrzanja prvog dijela rute s i bez uspornika na kolniku dobivene su vrijednosti RMS ubrzanja i prikazane su u tablici 4., zajedno s mogućim osjećajem udobnosti vožnje. Vidljivo je da je iznos RMS ubrzanja bez uspornika manja za oko 6 % od rute s

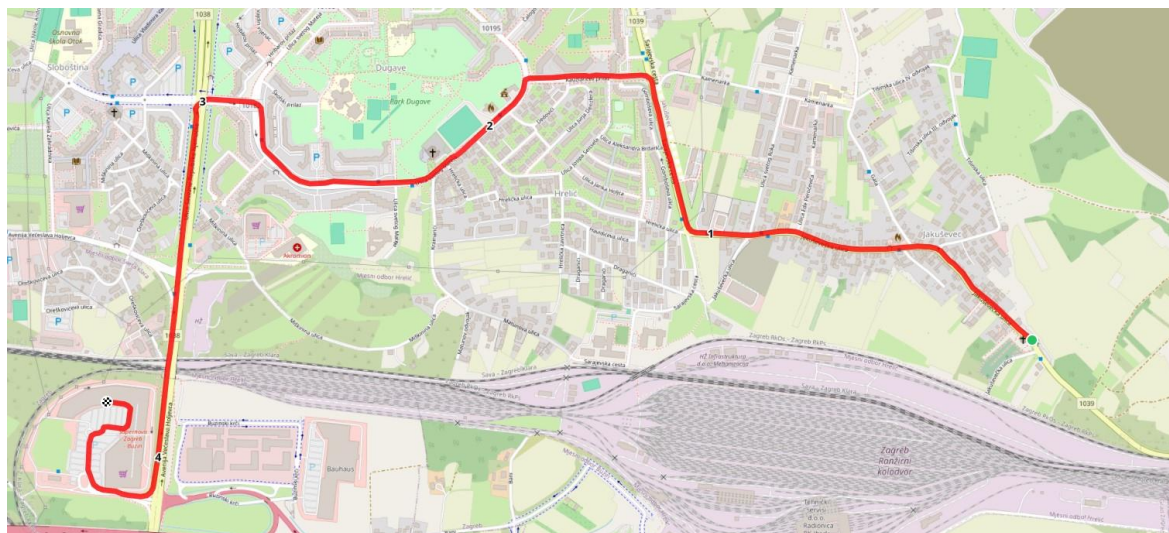
uključenim uspornicima. Također je iz tablice 4. vidljivo da iznosi ubrzanja za ostale osi iznosi oko 40 % manje nego za vertikalnu os.

Tablica 4. Iznos RMS ubrzanja prvog dijela rute, Radnička cesta-Jakuševac

Os mjerenja	RMS ubrzanja, m/s ²	Osjećaj udobnosti
Ruta s uspornicima na kolniku, X-os	1.36	Neudobno
Ruta bez uspornika na kolniku, X-os	1.28	Neudobno
Ruta s uspornicima na kolniku, Z-os	0.896	Prilično neudobno
Ruta s uspornicima na kolniku, Y-os	0.782	Prilično neudobno

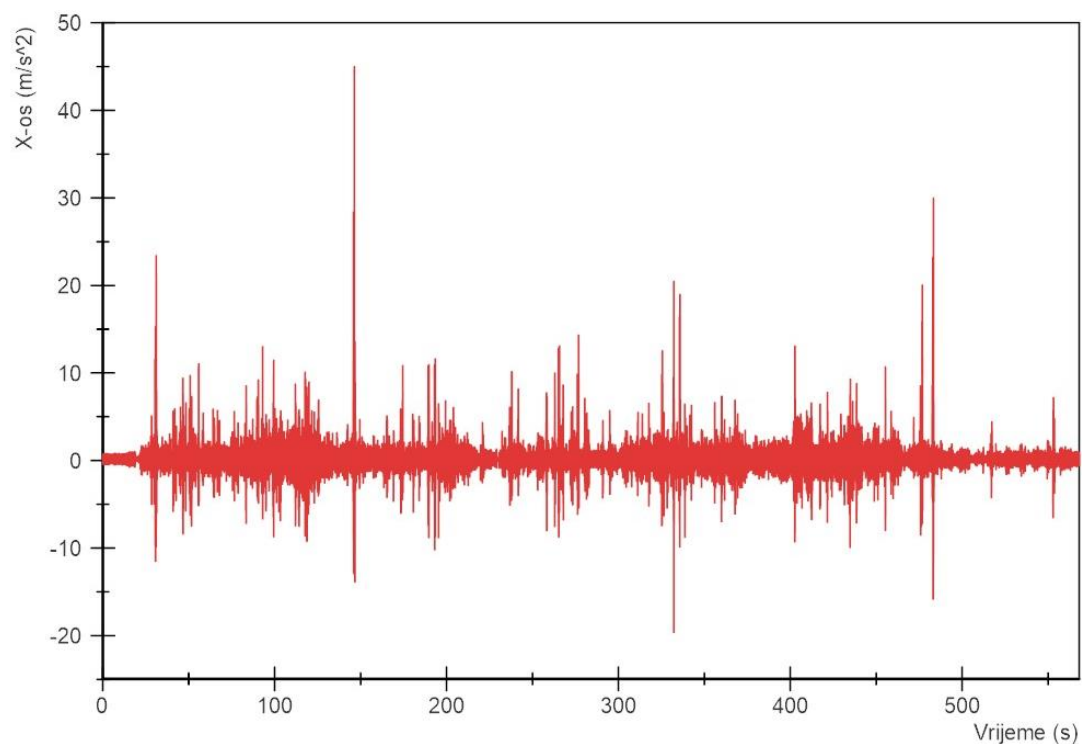
6.4.2. Drugi dio rute

Drugi dio rute ispitivanja, prikazan na slici 49., vožen je od naselja Jakuševac do trgovačkog centra Supernova u Buzinu. Ruta je također prolazila kroz naselje Dugave, kako bi obuhvatili spore gradske ceste s velikim broje uspornika i njihov utjecaj na komfor. Zbog želje za prikazivanjem različitih vrsta uspornika i utjecaja brzine prelaska preko njih na vertikalna ubrzanja, odabran je prolazak kroz cestu trgovačkog centra Supernova gdje se nalazi netipičan uspornik koji stvara veliku pobudu na ovjes.

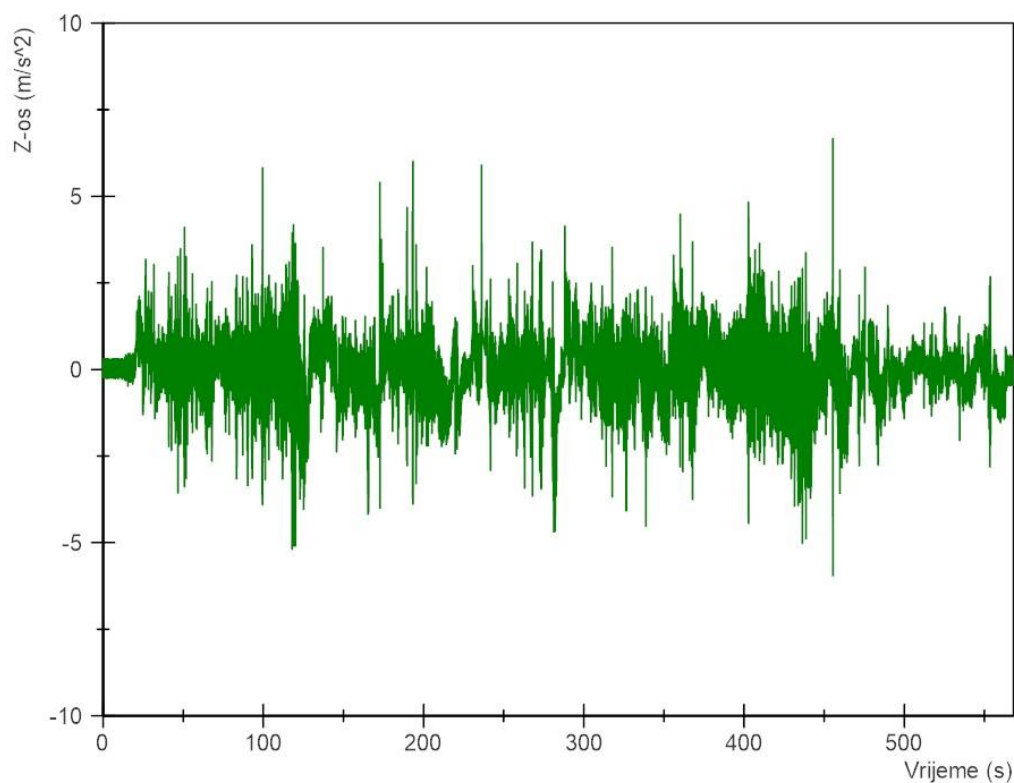


Slika 49. Drugi dio rute, Jakuševac - Buzin

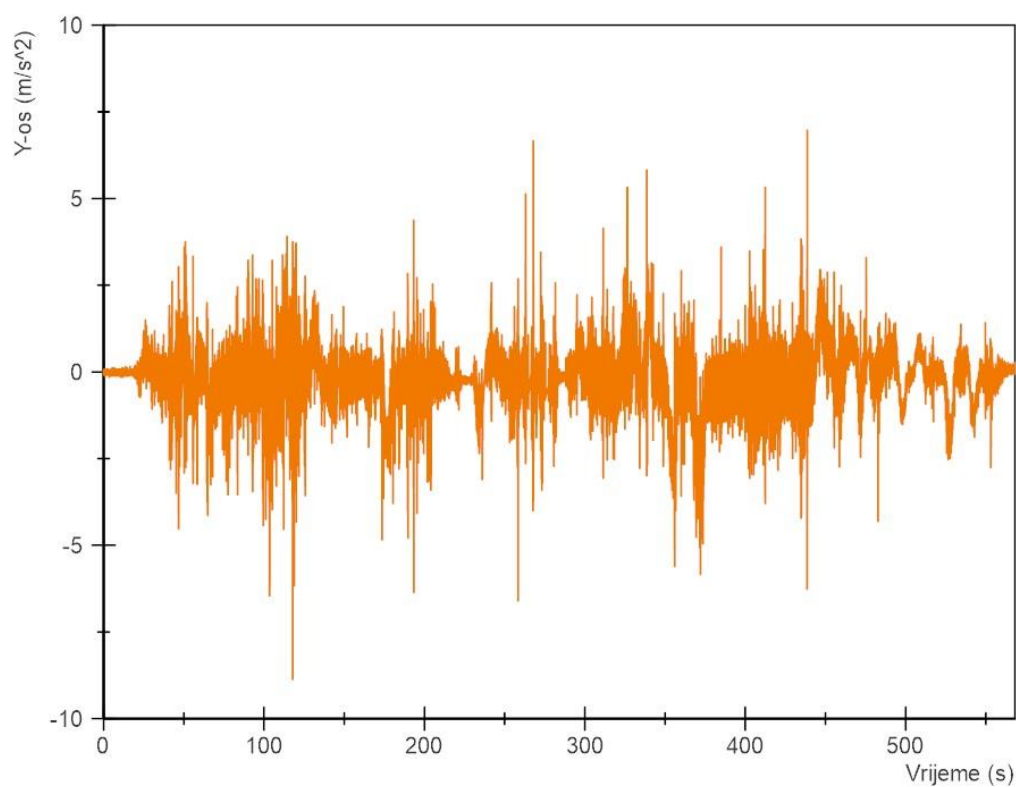
Na nekoliko sljedećih slika prikazani su također različiti podaci prikupljeni za vrijeme vožnje. Prvi dijagram, na slici 50., prikazuje sva vertikalna ubrzanja koja su izmjerena na mjestu pacijenta u vozilu, dok slike 51. i 52. prikazuju uzdužna i poprečna ubrzanja. Slike 53., 54. i 55., prikazuju brzinu vožnje tokom rute, brzinu vrtnje motora i izračunato opterećenje motora.



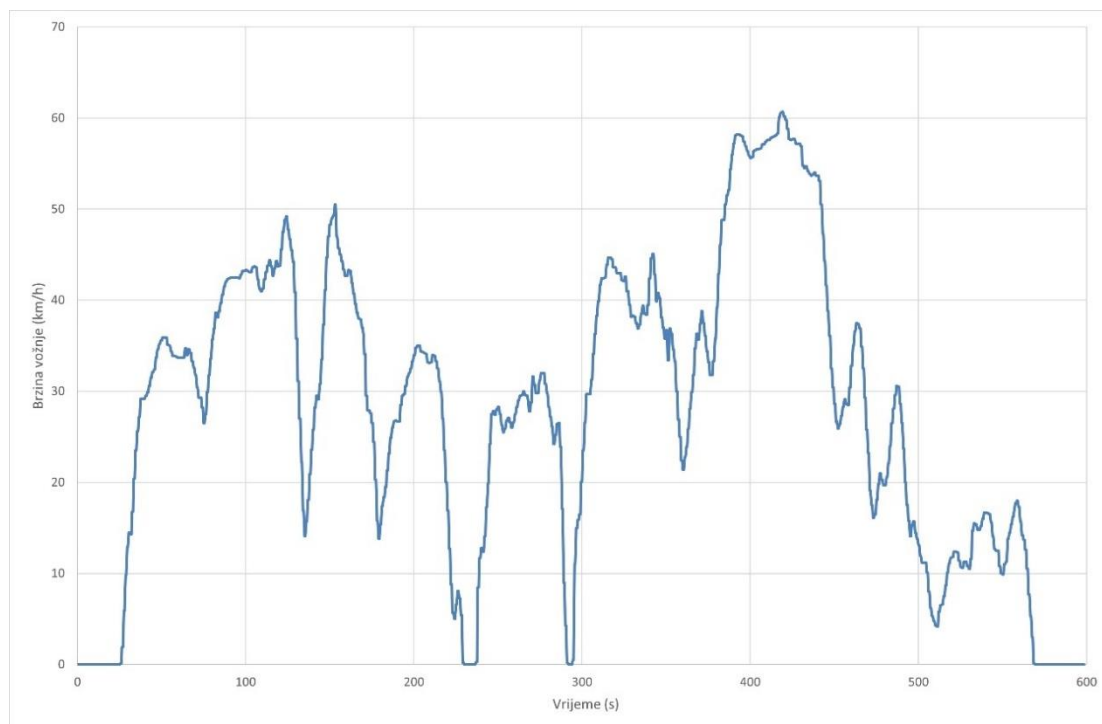
Slika 50. Vertikalna ubrzanja u drugom dijelu rute, Jakuševac - Buzin



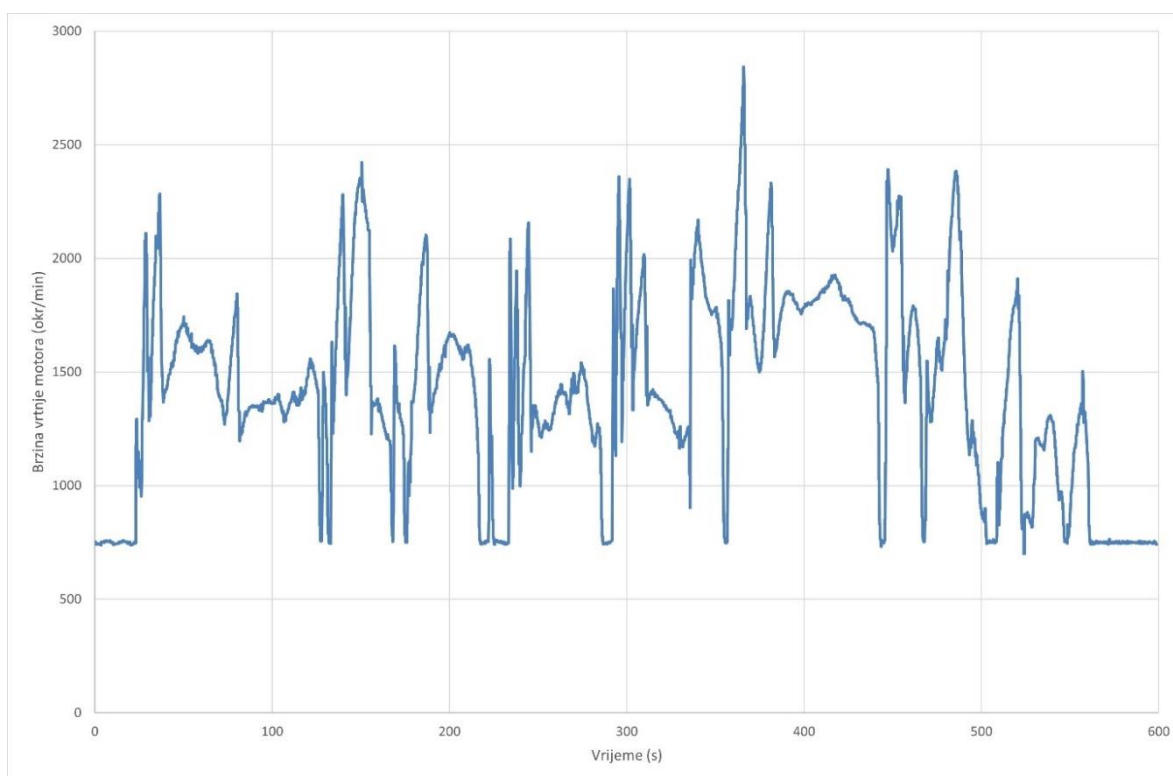
Slika 51. Uzdužna ubrzanja u drugom dijelu rute, Jakuševac - Buzin



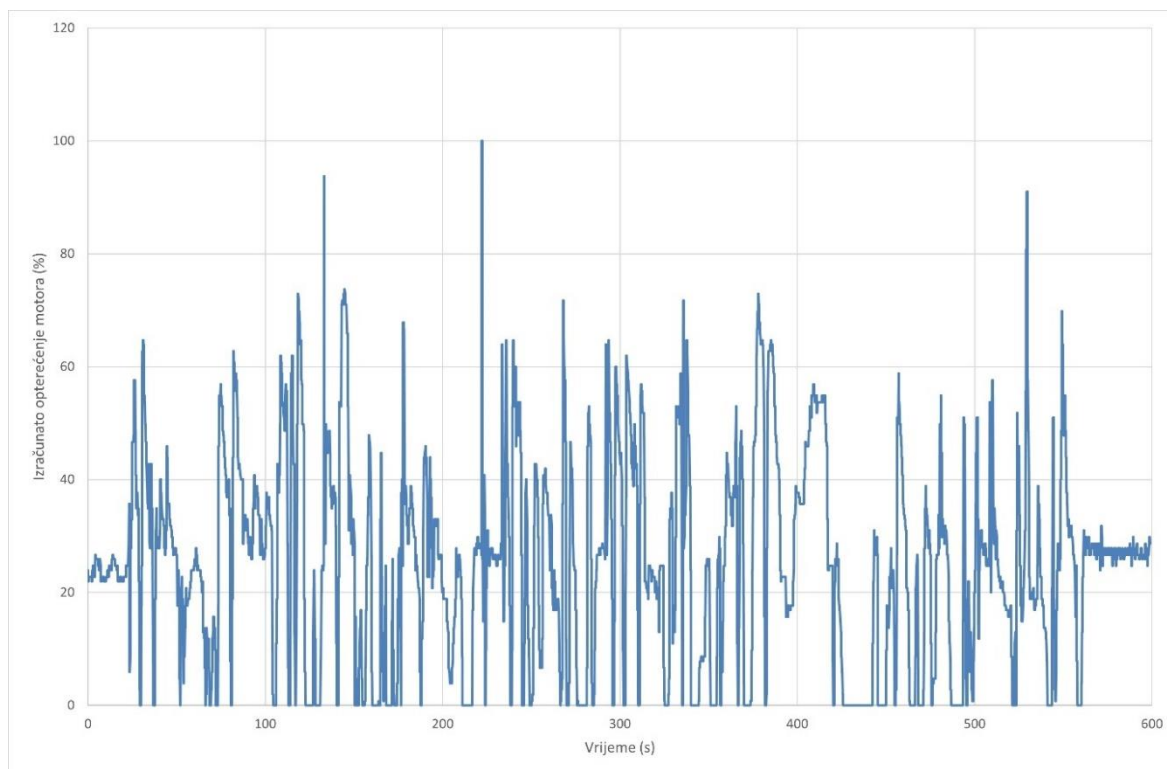
Slika 52. Poprečna ubrzanja u drugom dijelu rute, Jakuševac - Buzin



Slika 53. Brzina vožnje u drugom dijelu rute, Jakuševac – Buzin

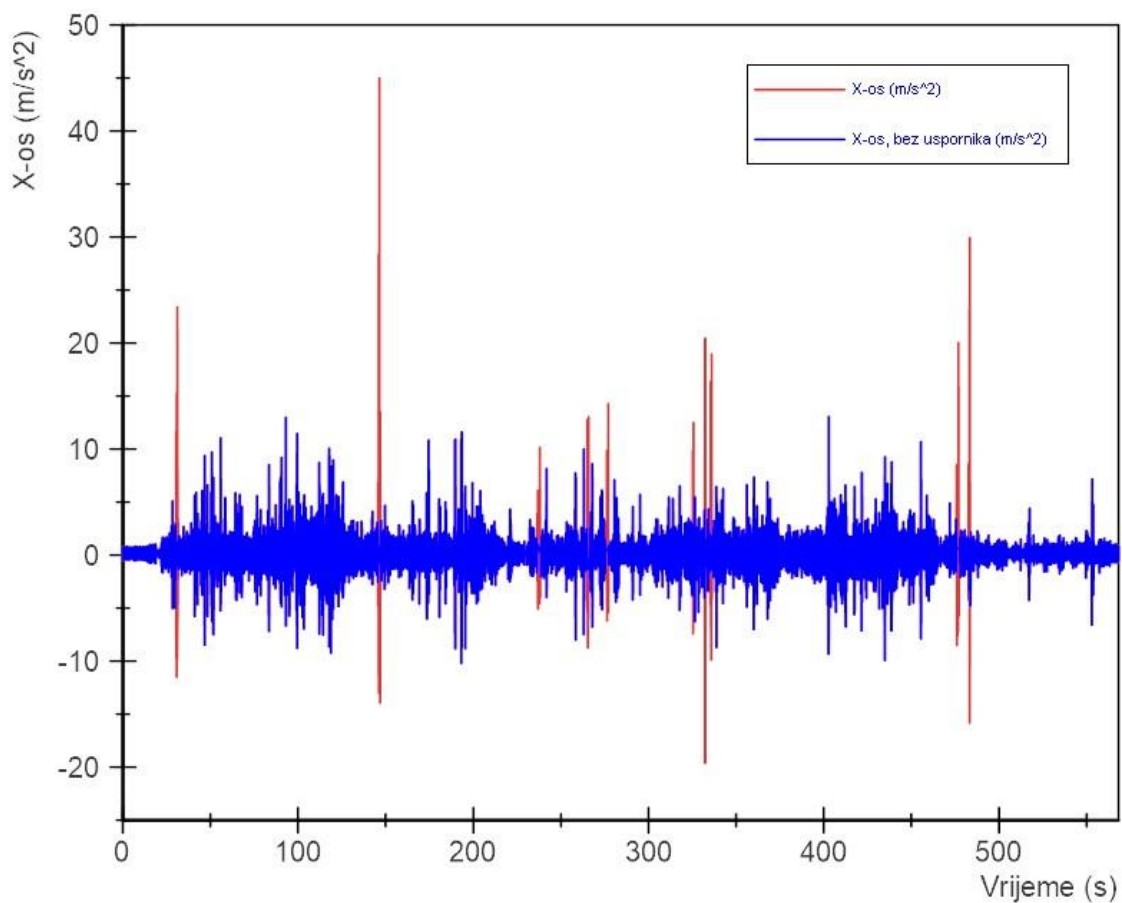


Slika 54. Brzina vrtnje motora u drugom dijelu, Jakuševac - Buzin



Slika 55. Izračunato opterećenje motora u drugom dijelu, Jakuševac - Buzin

Izbacivanjem trenutaka prelaska preko uspornika dobiven je dijagram vertikalnih ubrzanja na slici 56., dodatno su na toj slici prikazana vertikalna ubrzanja s uspornicima za drugi dio rute. Daljnjim izračunom dobivene vrijednosti RMS ubrzanja prikazan su u tablici 5. zajedno s mogućim osjećajem udobnosti vožnje i ubrzanjima izmjerenim u ostale dvije osi. Iz dobivenih vrijednosti vidljivo je da je iznos RMS ubrzanja bez uspornika uzetih u obzir, manji za oko 16 % u odnosu na vertikalna ubrzanja s uspornicima uzetim u obzir. Takva značajna razlika primjetljiva je i po osjećaju ugone vožnje. Vrijednosti ubrzanja za ostale dvije osi manje su za oko 40 % ako ih se uspoređi s vertikalnom osi X.



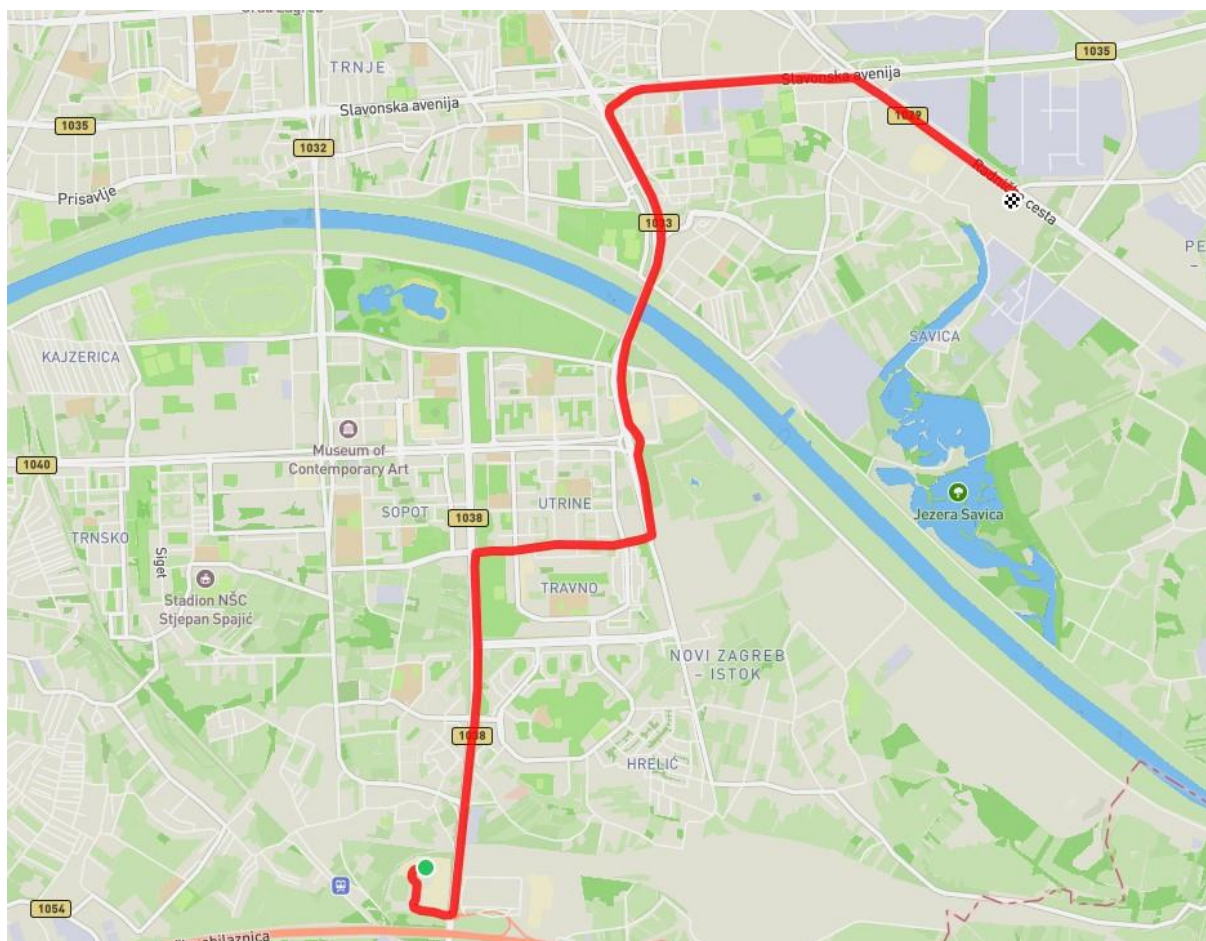
Slika 56. Vertikalna ubrzanja s i bez uspornika u drugom dijelu rute, Jakuševac - Buzin

Tablica 5. Iznos RMS ubrzanja drugog dijela rute

Os mjerenja	RMS ubrzanja, m/s^2	Osjećaj udobnosti
Ruta s uspornicima na kolniku, X-os	1.42	Veoma neudobno
Ruta bez uspornika na kolniku, X-os	1.19	Neudobno
Ruta s uspornicima na kolniku, Z-os	0.798	Prilično neudobno
Ruta s uspornicima na kolniku, Y-os	0.823	Prilično neudobno

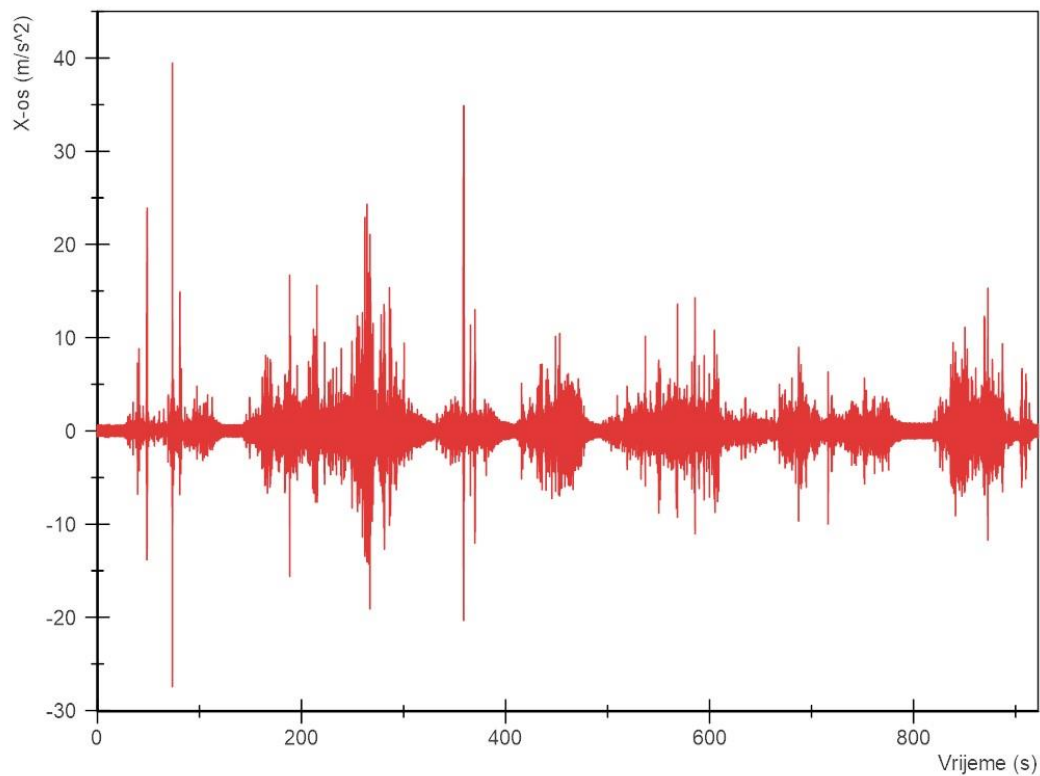
6.4.3. Treći dio rute

Posljednji dio rute, prikazan na slici 5., vožen je od trgovačkog centra Supernova u Buzinu natrag do Laboratorija za motorna vozila na Radničkoj cesti 206. Prometnice po kojima je vožen ovaj dio rute bile su prometnice s relativno većom dopuštenom brzinom vožnje.

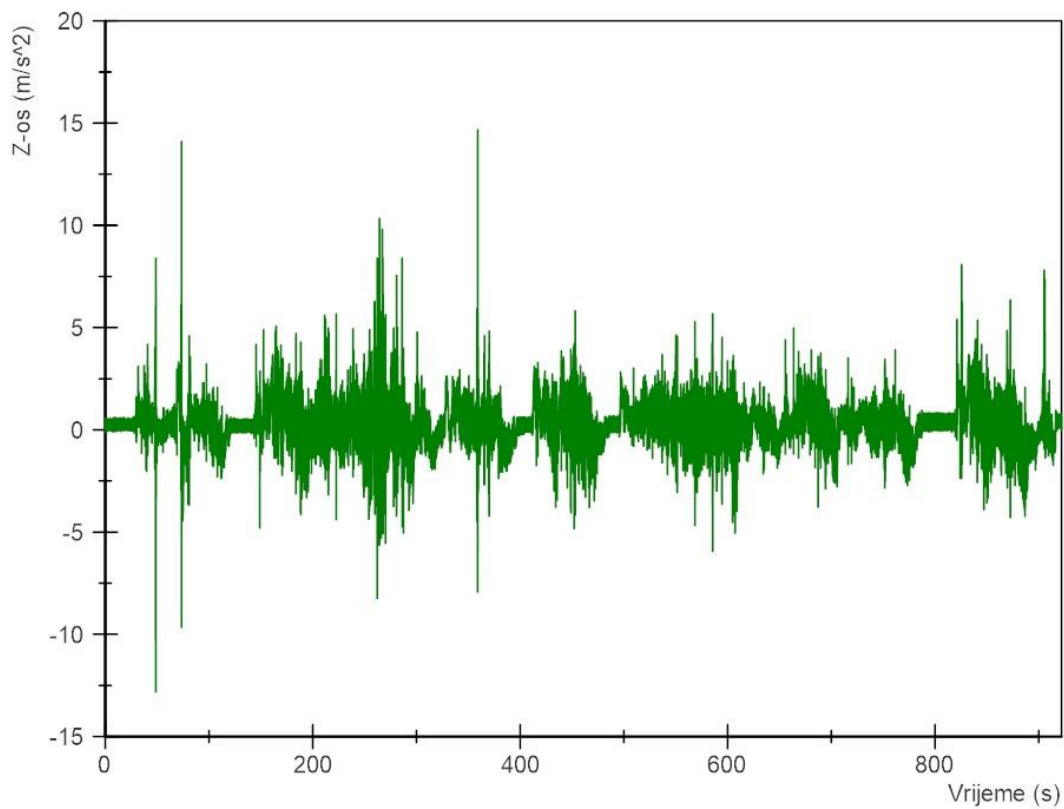


Slika 57. Treći dio rute, Buzin – Radnička cesta

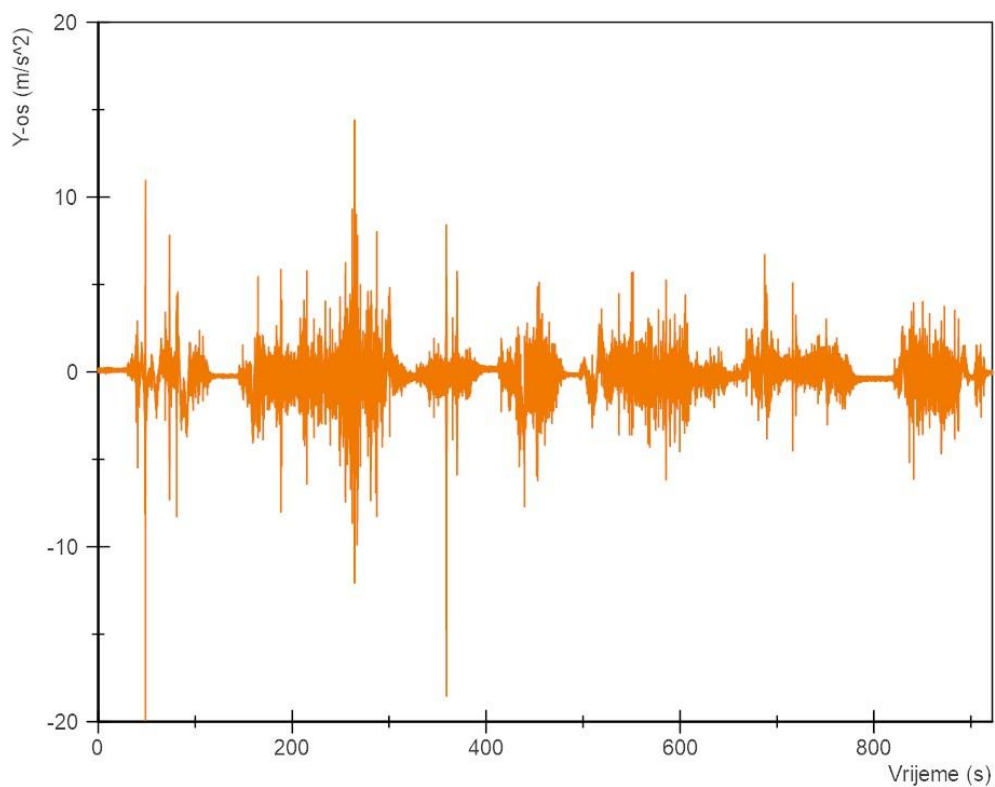
Na nekoliko sljedećih slika prikazani su različiti podaci prikupljeni za vrijeme vožnje. Prvi dijagram na slici 58., prikazuje sva vertikalna ubrzanja koja su izmjerena na mjestu pacijenta u vozilu, dok su na slikama 59. i 60. prikazani dijagrami uzdužnih i poprečnih ubrzanja na trećem dijelu rute. Slike 61., 62. i 63., prikazuju brzinu vožnje tokom istog dijela rute, brzinu vrtnje motora i izračunato opterećenje motora.



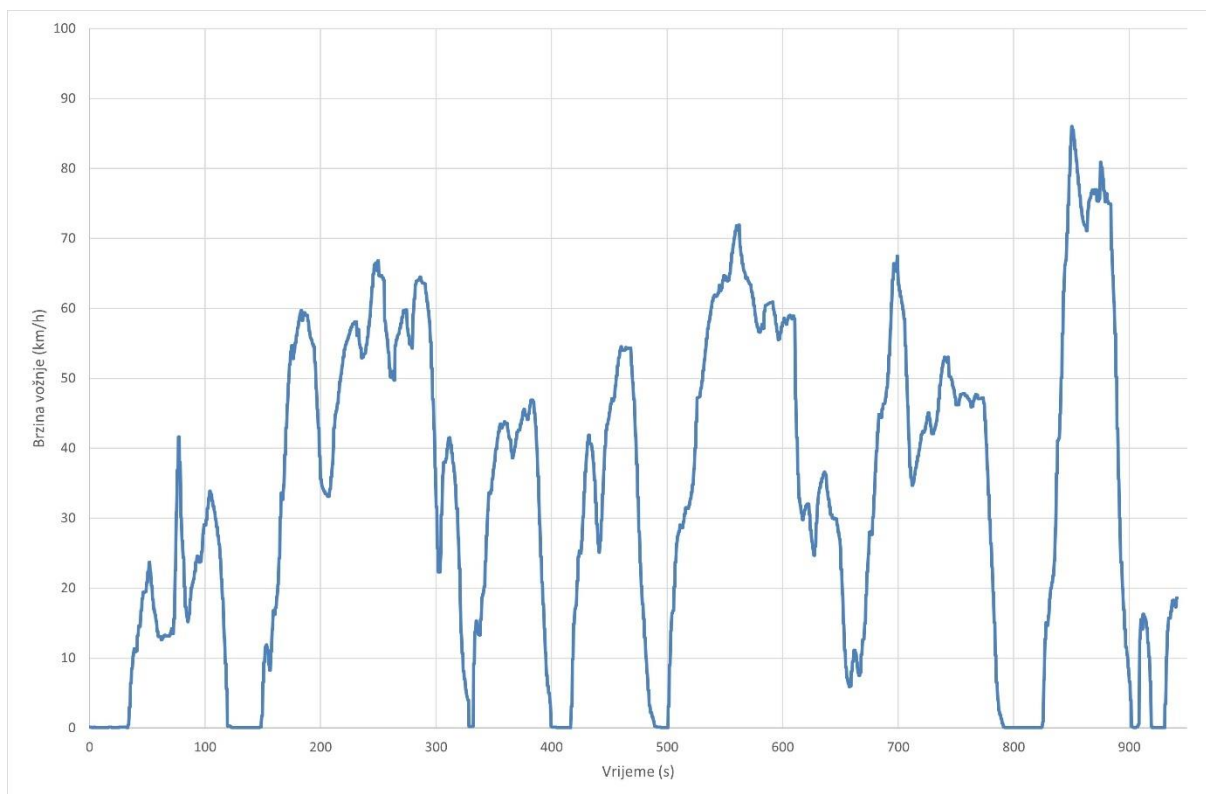
Slika 58. Vertikalna ubrzanja u trećem dijelu rute, Buzin – Radnička cesta



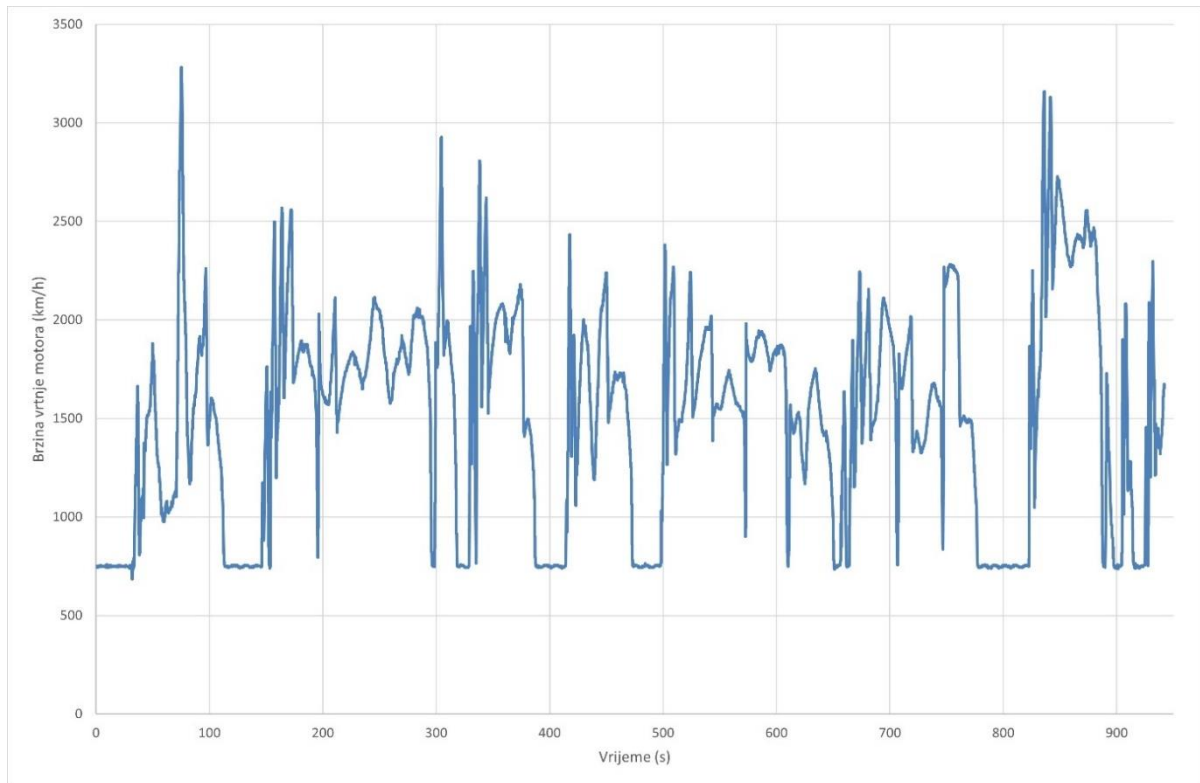
Slika 59. Uzdužna ubrzanja u trećem dijelu rute, Buzin – Radnička cesta



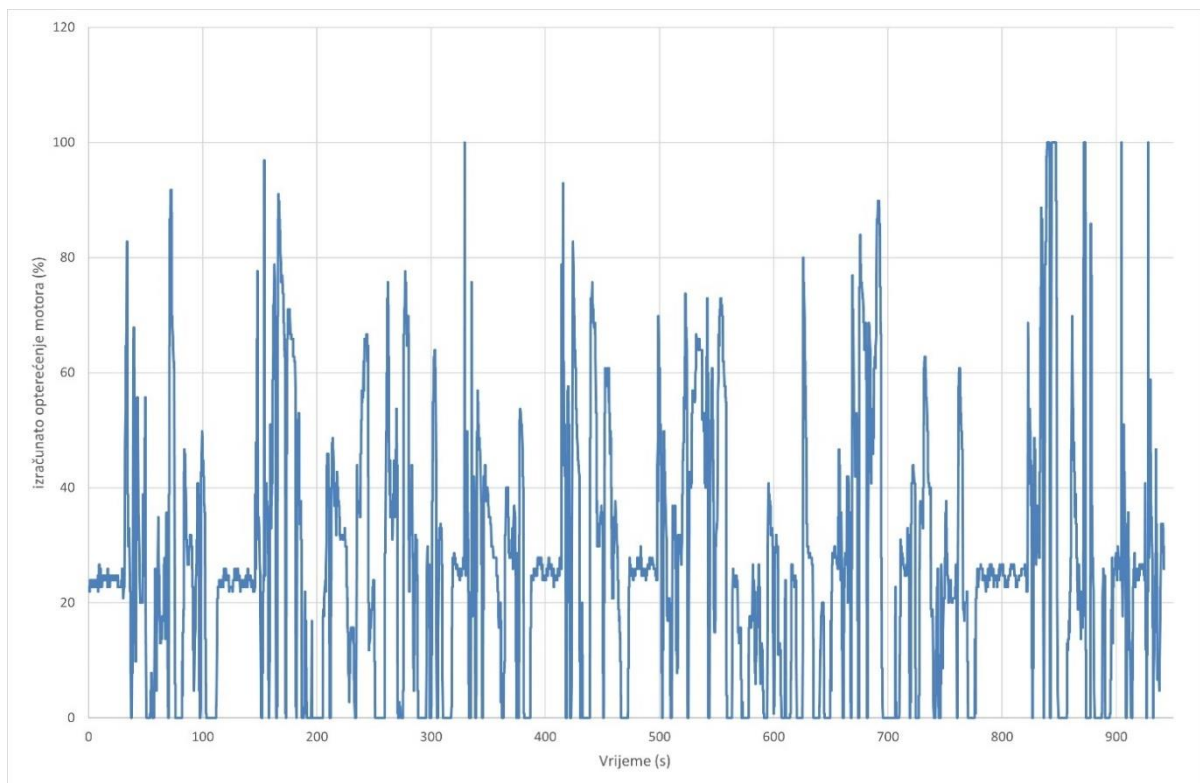
Slika 60. Poprečna ubrzanja u trećem dijelu rute, Buzin – Radnička cesta



Slika 61. Brzina vožnje u trećem dijelu rute, Buzin – Radnička cesta

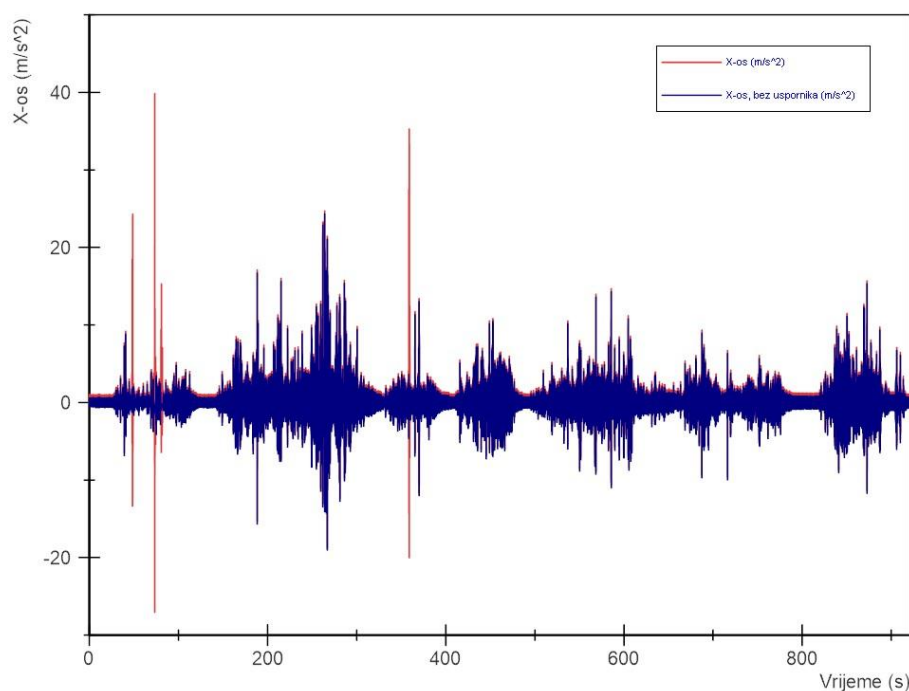


Slika 62. Brzina vrtnje motora u trećem dijelu rute, Buzin – Radnička cesta



Slika 63. Izračunato opterećenje motora u trećem dijelu rute, Buzin – Radnička cesta

Isto kao u ostalim dijelovima rute izostavljeni su trenuci prelaska preko uspornika na kolniku kako bi se dobila realniji uvid u vertikalne vibracije koje stvara površina kolnika i taj dijagram prikazan je na slici 64. Također su u tablici 6. prikazane vrijednosti RMS ubrzanja s utjecajem uspornika i bez, te procijenjeni osjećaj udobnosti vožnje. S obzirom na manji broj uspornika na kolniku razlika u vrijednostima vertikalnih ubrzanja je oko 7 %.



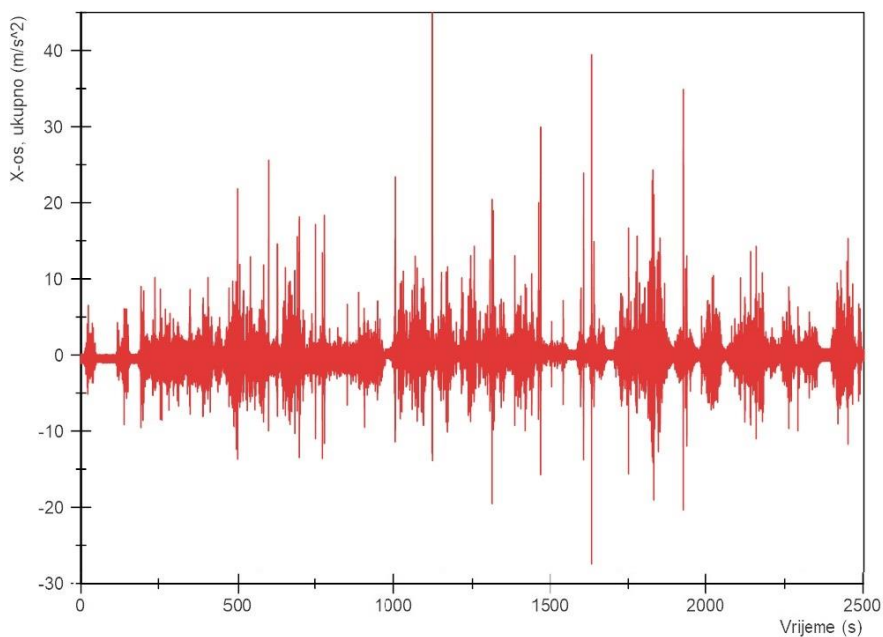
Slika 64. Vertikalna ubrzanja s i bez utjecaja uspornika u trećem dijelu rute

Tablica 6. Iznos RMS ubrzanja trećeg dijela rute

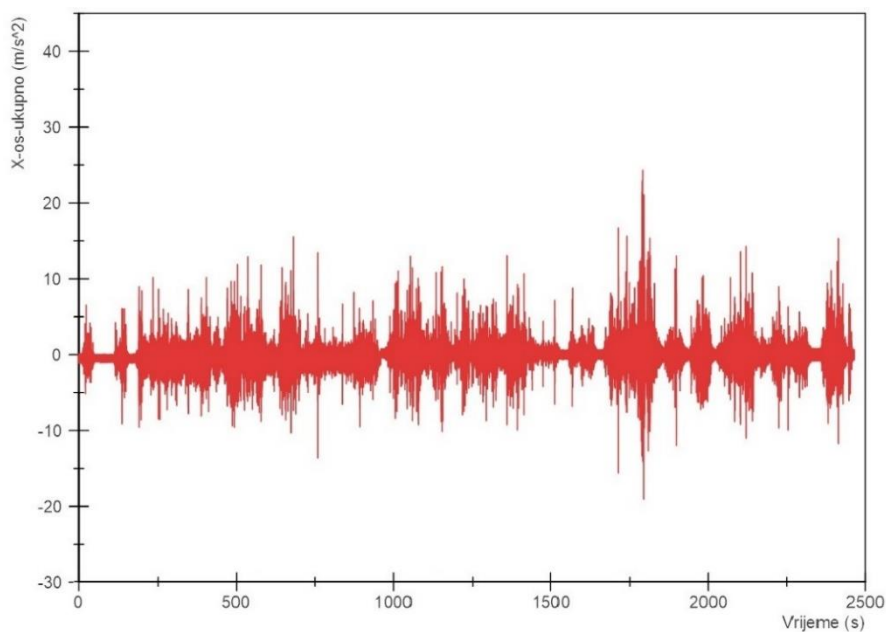
Os mjerenja	RMS ubrzanja, m/s^2	Osjećaj udobnosti
Ruta s uspornicima na kolniku, X-os	1.52	Veoma neudobno
Ruta bez uspornika na kolniku, X-os	1.38	Veoma neudobno
Ruta s uspornicima na kolniku, Z-os	0.969	Prilično neudobno
Ruta s uspornicima na kolniku, Y-os	0.834	Prilično neudobno

6.4.4. Izračun RMS ubrzanja ukupne rute

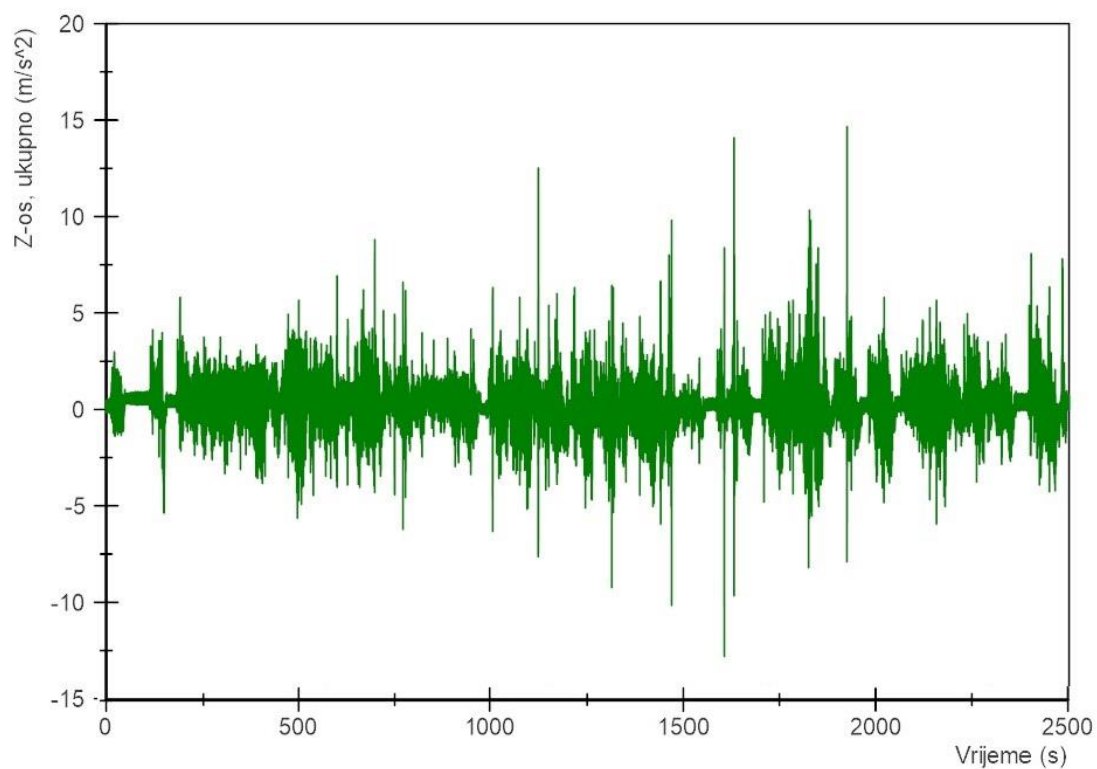
Za dobivanje RMS vrijednosti ubrzanja na cijeloj dionici ispitivanja sva tri dijela rute spojena su u jedan dijagram koji prikazuje sva vertikalna, uzdužna i poprečna ubrzanja koje bi pacijent osjetio u ovom medicinskom vozilu. Slike 65. i 66. prikazuju vertikalna ubrzanja s i bez utjecaja uspornika na kolniku, dok slike 67. i 68. prikazuju uzdužna i poprečna ubrzanja.



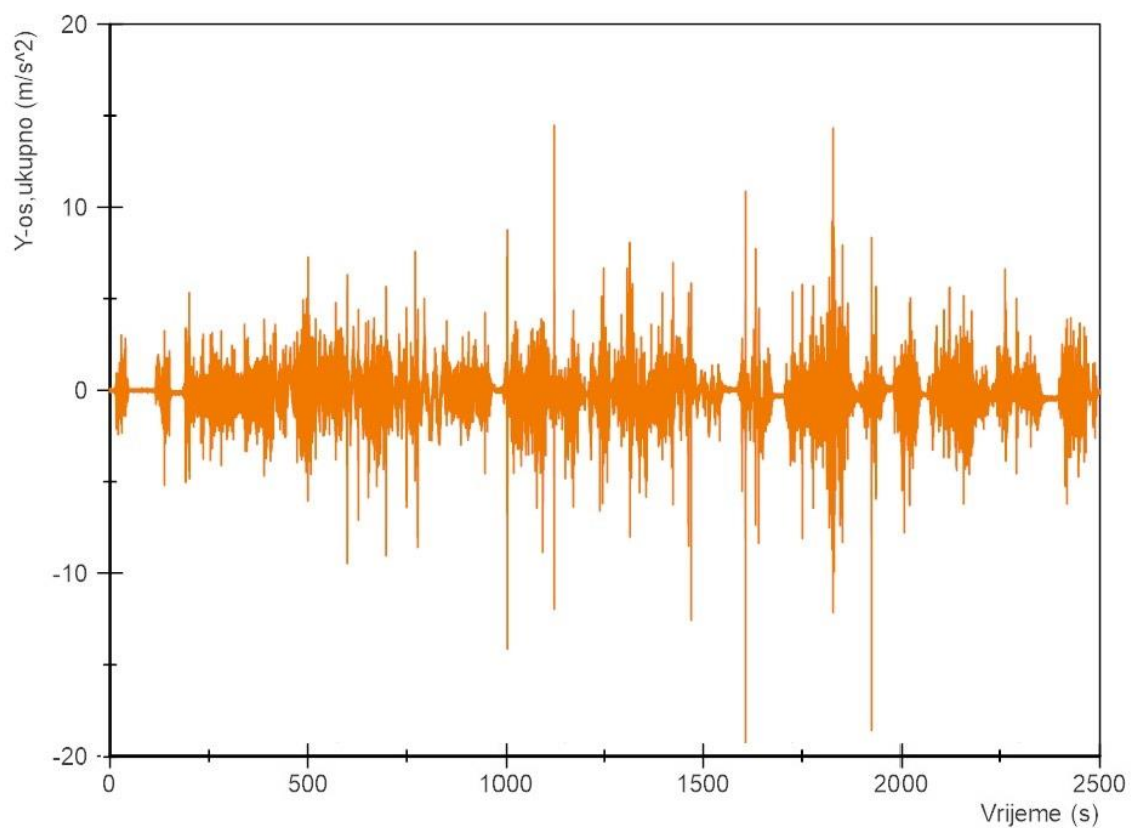
Slika 65. Vertikalna ubrzanja na cijeloj dionici ispitivanja



Slika 66. Vertikalna ubrzanja na cijeloj dionici ispitivanja bez utjecaja uspornika na kolniku



Slika 67. Uzdužna ubrzanja na cijeloj dionici ispitivanja



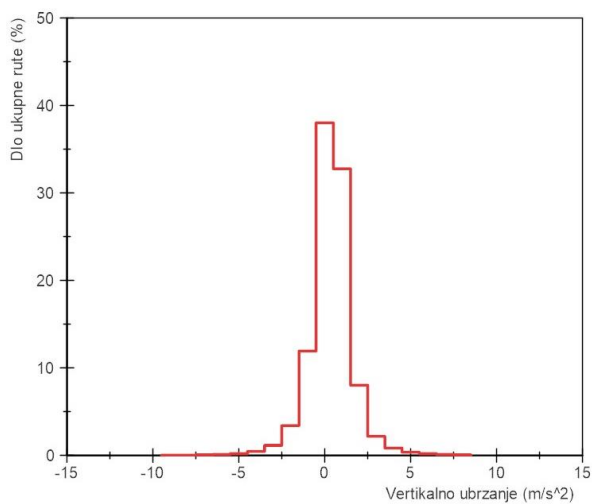
Slika 68. Poprečna ubrzanja na cijeloj dionici ispitivanja

Iz slika 65. i 66. vidljiv je jasan utjecaj uspornika na vršne vrijednosti vertikalnih ubrzanja za vrijeme ispitivanja. Ukupne RMS vrijednosti ubrzanja i osjećaja udobnosti u vožnji cijelom rutom, prikazane su u tablici 7. Njihovom usporedbom vidljivo je da uspornici povisuju RMS vrijednost vertikalnog ubrzanja za oko 8 %.

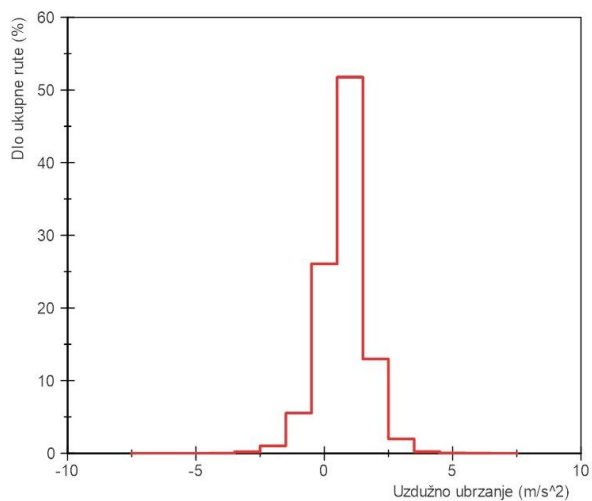
Tablica 7. Iznos RMS ubrzanja ukupne dionice ispitivanja

Os mjerenja	RMS ubrzanja, m/s ²	Osjećaj udobnosti
Ukupna duljina ispitivanja s uspornicima na kolniku, X-os	1.42	Veoma neudobno
Ukupna duljina ispitivanja bez utjecaja uspornika na kolniku, X-os	1.30	Neudobno
Ukupna duljina ispitivanja s uspornicima na kolniku, Z-os	0.912	Prilično neudobno
Ukupna duljina ispitivanja s uspornicima na kolniku, Y-os	0.824	Prilično neudobno

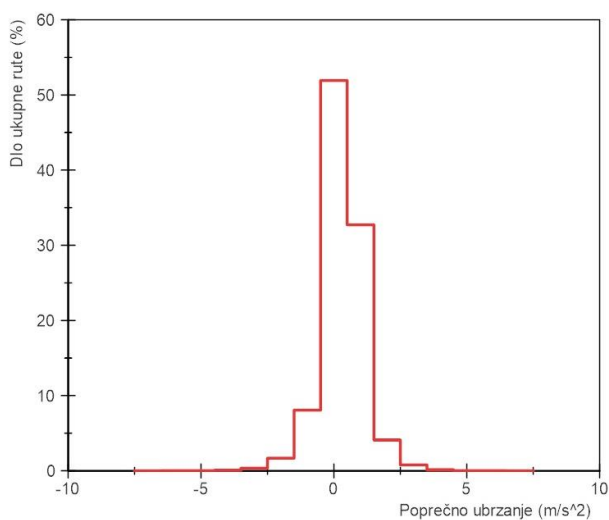
Za dobivanje boljeg osjećaja o amplitudama ubrzanja koje se javljaju u različitim osima tokom vožnje, potrebno je podatke mjerenja prikazati u histogramu kako bi se vidjelo koji iznosi ubrzanja se najčešće pojavljuju u ruti vožnje. Histogrami za sve tri osi prikazani su na slikama 69., 70. i 71.



Slika 69. Histogram vertikalnih ubrzanja



Slika 70. Histogram uzdužnih ubrzanja



Slika 71. Histogram poprečnih ubrzanja

Iz histograma je vidljivo da se u najvećem dijelu rute javljaju ubrzanja relativno malog iznosa i da udio vertikalnih ubrzanja nastalih uslijed prelaska preko uspornika na kolniku je minimalan zbog relativno kratkog vremena kada se te pobude odvijaju. Bez obzira što je u određenim rutama porast neudobnosti uslijed prelaska preko uspornika relativno mali, nekoliko posto ako se gleda RMS ubrzanja, njihov utjecaj na pacijentovo stanje može biti izuzetno velik.

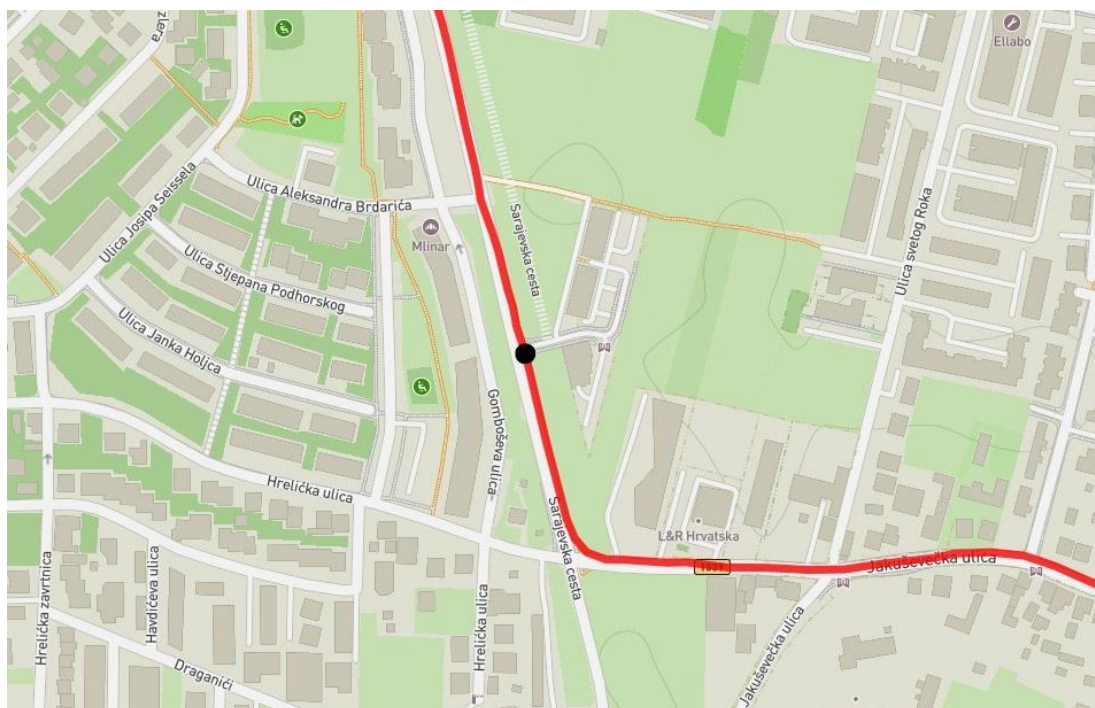
6.5. Utjecaj uspornika na vertikalna ubrzanja

Zbog velikog broja uspornika na prometnicama Republike Hrvatske, čest je slučaj da medicinsko vozilo tijekom hitnih intervencija mora prijeći preko njih na putu prema bolničkoj ustanovi kako bi pacijenta ugroženog zdravlja odvelo na daljnje pružanje pomoći. U većini slučajeva, vozač medicinskog vozila pokušava dovoljno usporiti pri prelasku preko uspornika zbog sigurnosti i komfora svih osoba u vozilu, no u nekim slučajevima može doći do toga da vozač, zbog hitnosti ne uspije usporiti na svaki uspornik na svojoj ruti prema bolničkoj ustanovi. Upravo takav slučaj želio se zabilježiti kako bi se utvrdilo kolika vertikalna ubrzanja nastaju u tom trenutku.

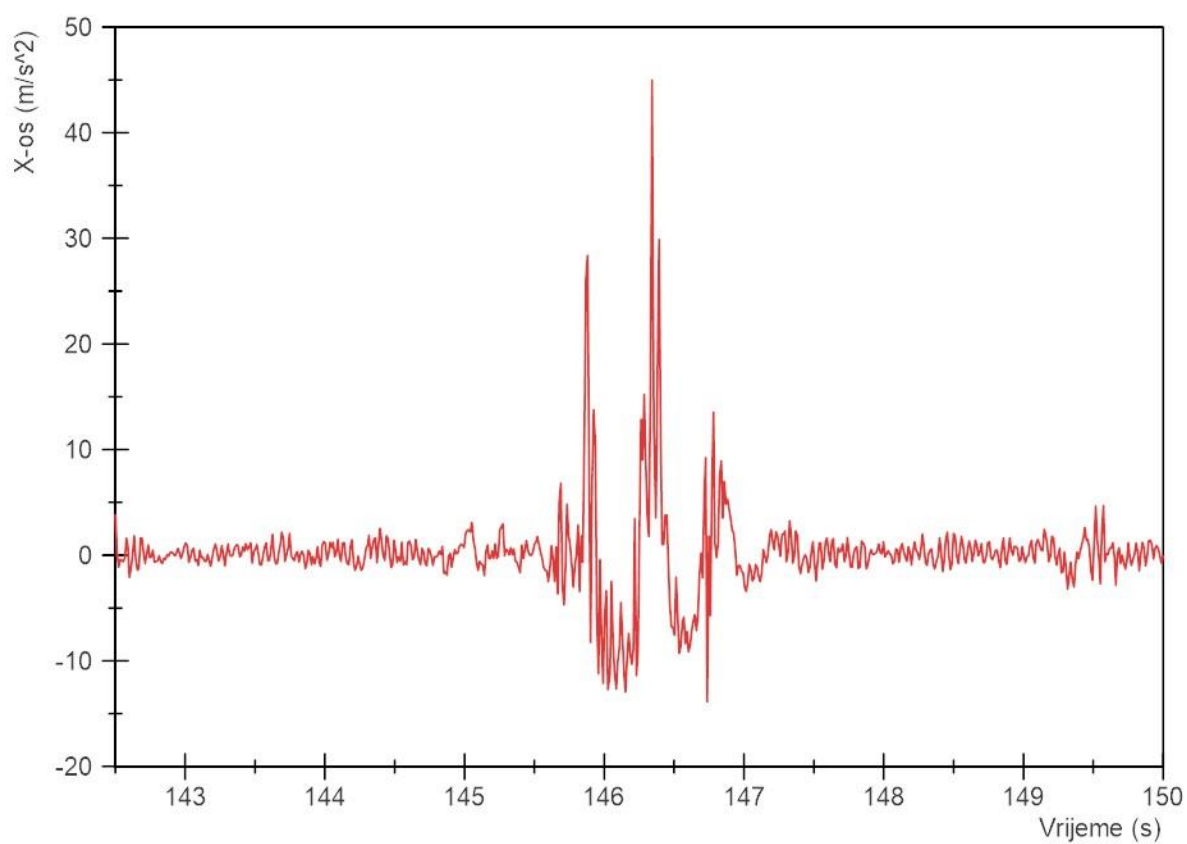
Grad Zagreb koristi veliki broj uspornika istog tipa u blizini pješačkih prijelaza kako bi vozačima onemogućio vožnju brzinama iznad dopuštenih. Oblik tih uspornika vidljiv je na slici 72. Za vrijeme ispitivanja pređeno je preko tih uspornika nekoliko puta i zabilježene su brzine kretanja, te maksimalni iznos vertikalnog ubrzanja, pri tome izuzetno pazeći na sigurnost svih sudionika u prometu. Na slikama 73., 74. i 75. prikazane su lokacija, vertikalno ubrzanje i brzina vožnje u trenutku prelaska preko jednog od takvih uspornika.



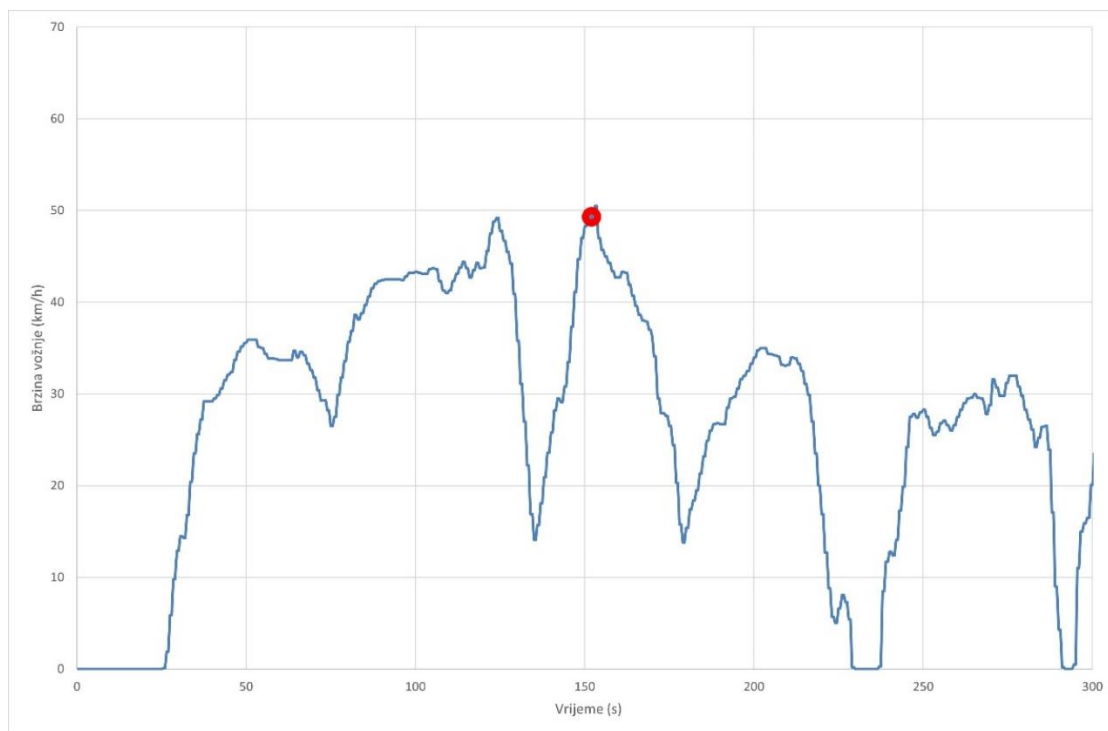
Slika 72. Izgled izvedenog uspornika na kolniku, Sarajevska cesta



Slika 73. Lokacija uspornika označena crnom točkom, Sarajevska cesta



Slika 74. Vertikalno ubrzanje pri prelasku preko uspornika, Sarajevska cesta

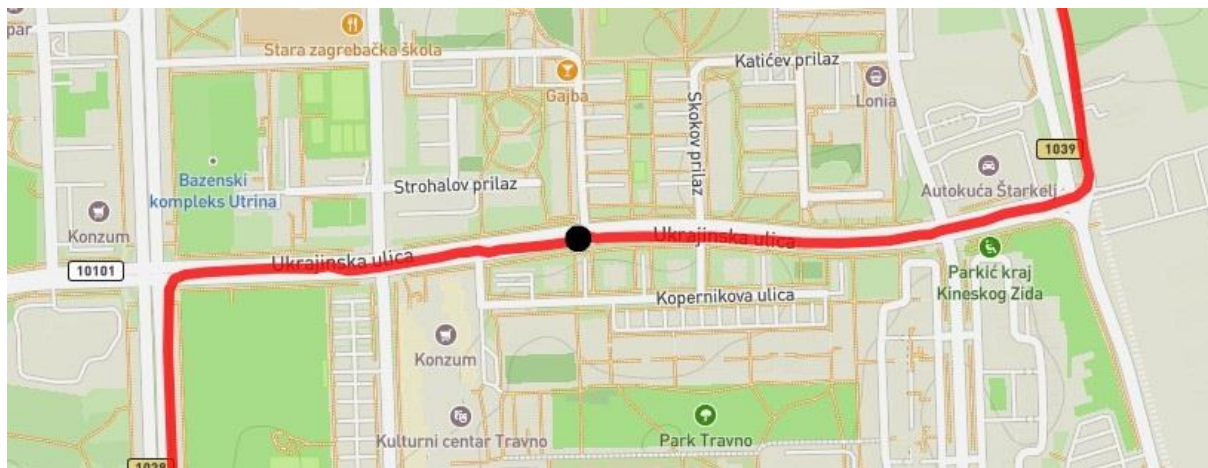


Slika 75. Brzina vožnje u trenutku prelaska preko uspornika, Sarajevska cesta

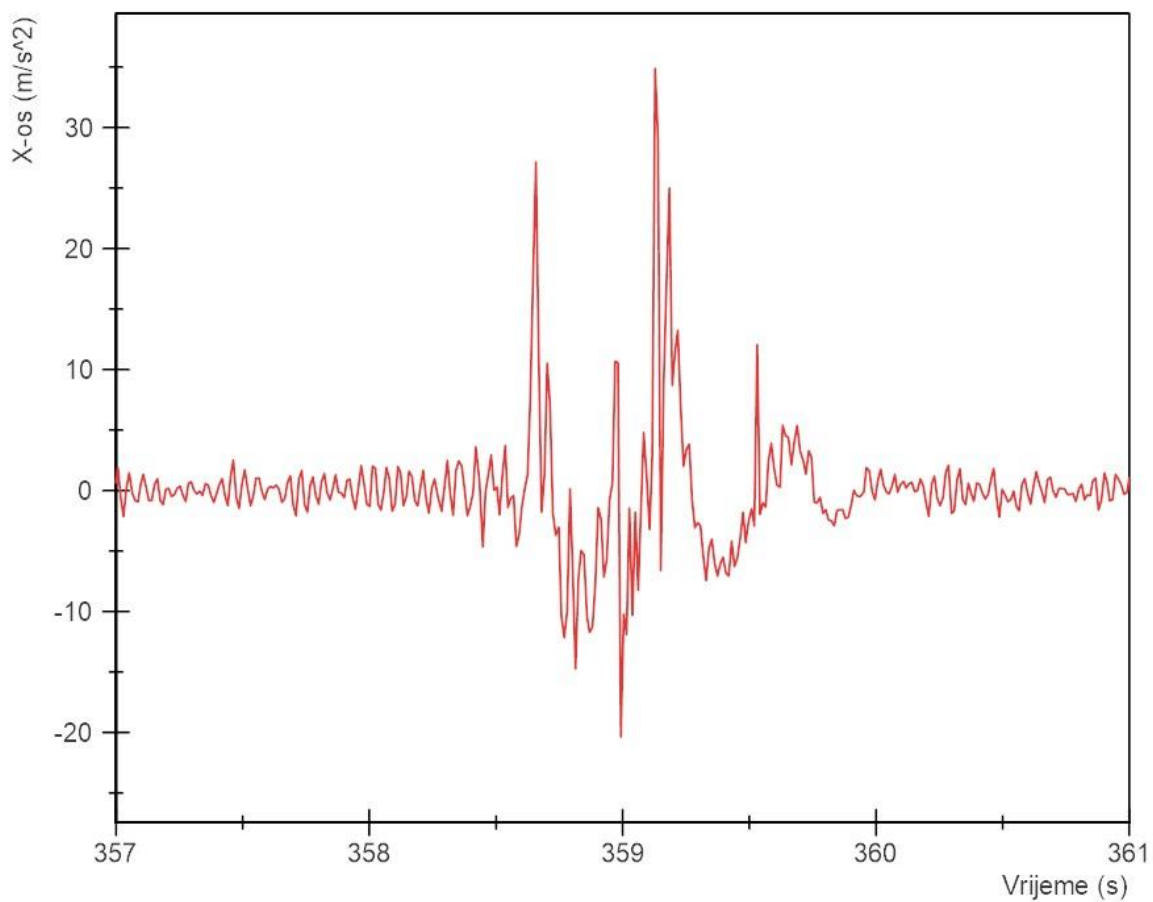
Za usporedbu, na slikama 76., 77., 78. i 79. prikazan je oblik još jednog uspornika takvog tipa, njegova lokacija, vertikalno ubrzanje i brzina prolaska.



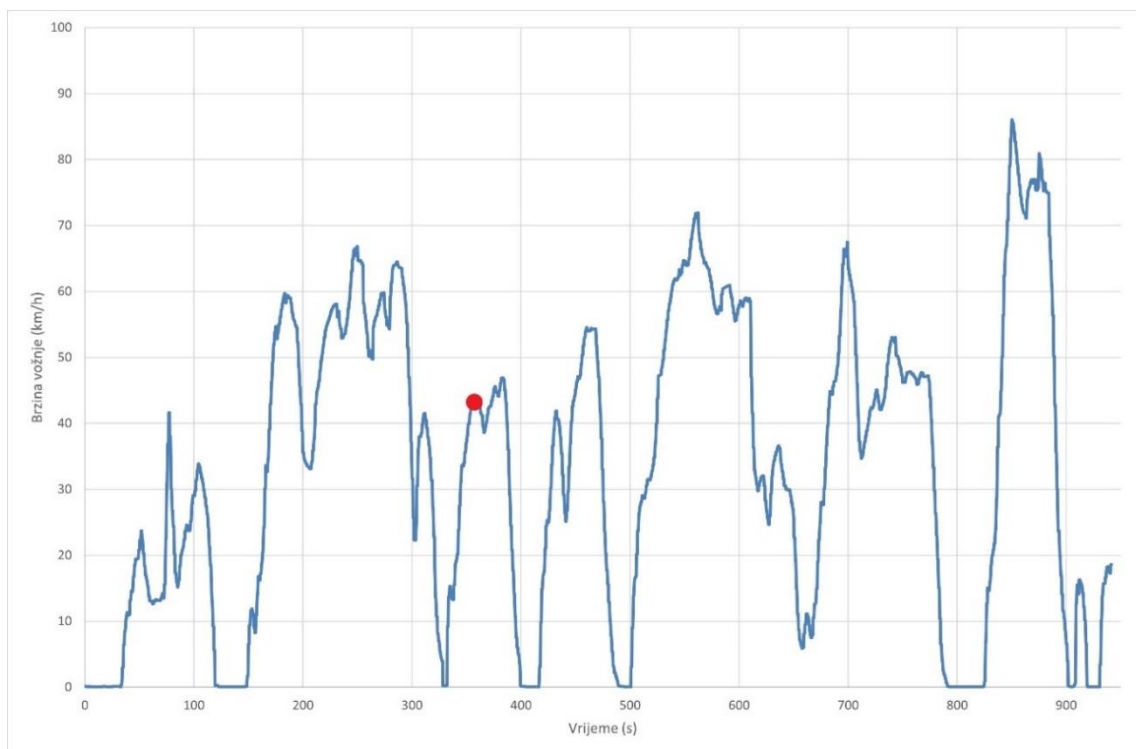
Slika 76. Uspornik na kolniku, Ukrajinska ulica



Slika 77. Lokacija uspornika označena crnom točkom, Utrajnska ulica



Slika 78. Vertikalno ubrzanje pri prelasku preko uspornika, Utrajnska ulica



Slika 79. Brzina vožnje u trenutku prelaska preko uspornika, Ukrajinska ulica

Uspoređivanjem prelaska preko oba uspornika istog tipa vidljivo je da povećanjem brzine vozila od nekoliko kilometara na sat, u ovom slučaju 8 km/h, drastično raste vertikalno ubrzanje. Tablica 8. prikazuje vrijednosti vezane uz brzinu prelaska preko uspornika i vertikalno ubrzanje.

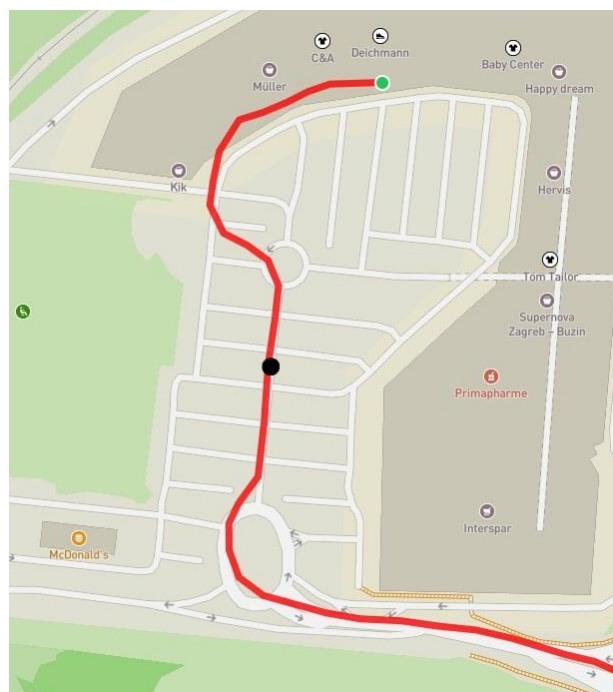
Tablica 8. Utjecaj brzine na vertikalno ubrzanje preko velikog uspornika

Brzina vožnje, km/h	Maksimalno vertikalno ubrzanje, m/s ²
51	45
43	36

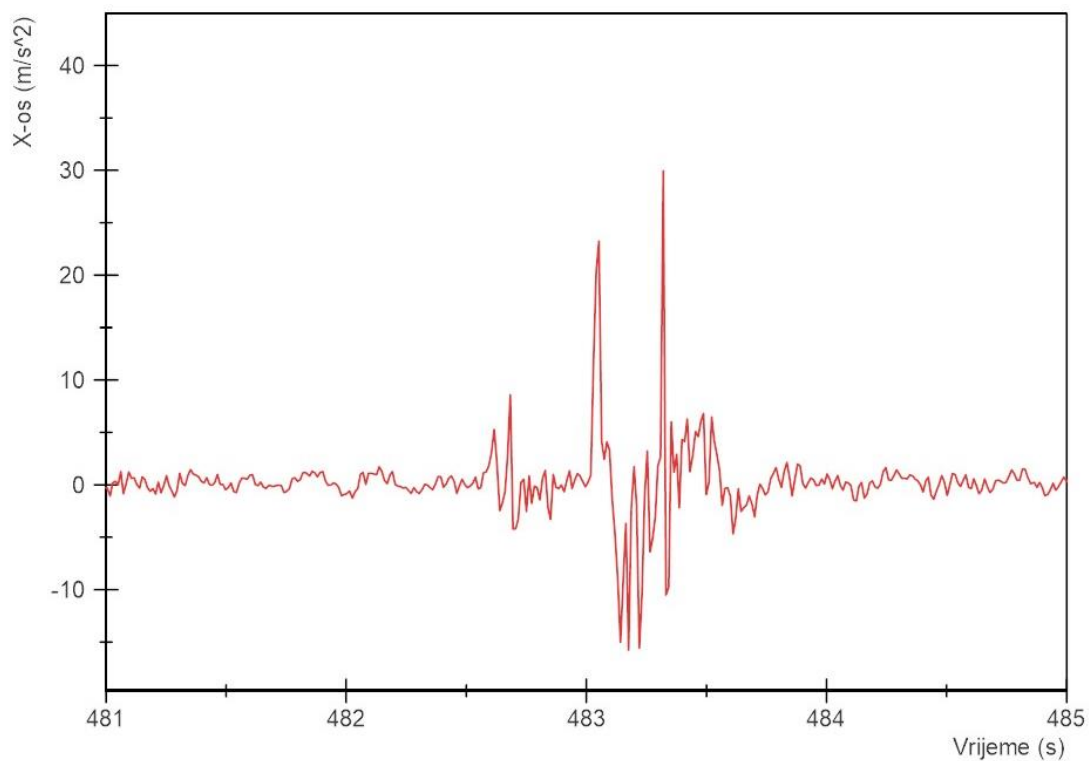
Osim uspornika spomenutog tipa, postoji i jedna vrsta uskih uspornika koji se sve manje i manje nalaze na prometnicama jer uzrokuju veliku vertikalnu pobudu na ovjes i vozilo. Takav uspornik nalazi se na cesti trgovačkog centra Supernova i prikazan je na slici 79. Za dobivanje utjecaja brzine na vertikalno ubrzanje, preko toga uspornika pređeno je dva puta različitim brzinama. Iznos tih brzina i vertikalnog ubrzanja prikazan je u tablici 9., a dijagrami vertikalnog ubrzanja prikazani su na slikama 81. i 82.



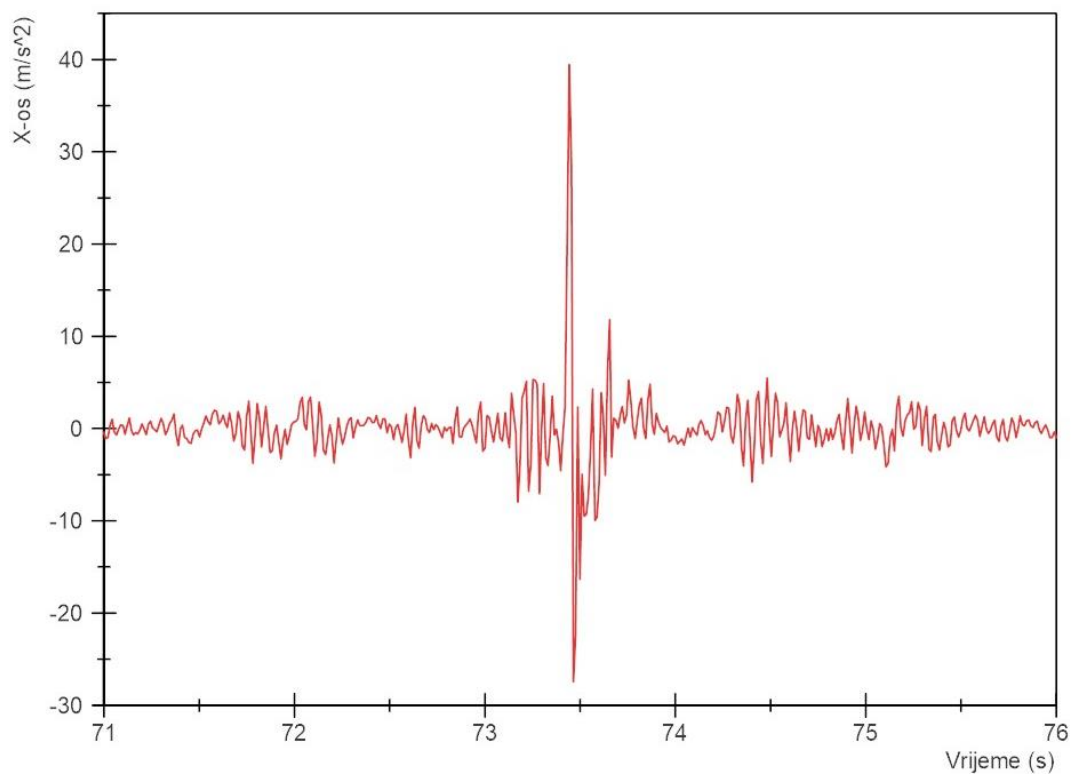
Slika 80. Izgled uskog uspornika ispred trgovačkog centra Supernova



Slika 81. Lokacija uspornika ispred trgovačkog centra Supernova na trećem dijelu rute, označena crnom točkom



Slika 82. Vertikalno ubrzanje u jednom smjeru preko uskog uspornika ispred trgovačkog centra Supernova



Slika 83. Vertikalno ubrzanje u drugom smjeru preko uskog uspornika ispred trgovačkog centra Supernova

Tablica 9. Iznos brzine i vertikalnog ubrzanja prilikom prelaska preko uskog uspornika

Brzina vožnje, km/h	Maksimalno vertikalno ubrzanje, m/s ²
32	30
41	39

Prema dijagramima vertikalnog ubrzanja vidljivo je da se povećanjem brzine prelaska povećava iznosa ubrzanja, ali i smanjuje trajanje samog udara što povećava intenzitet pobude na pacijenta u medicinskom vozilu.

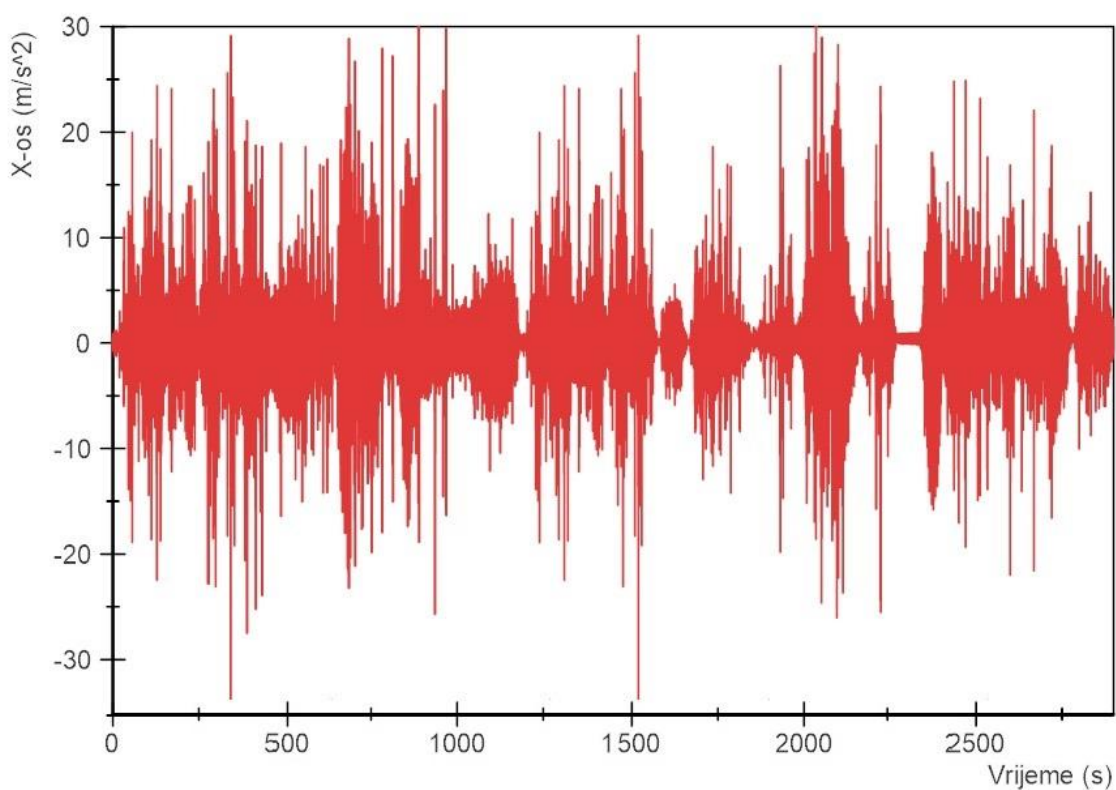
6.6. Mjerenje vertikalnog ubrzanja na mjestu sjedenja medicinskog tima

Osim što vertikalna ubrzanja utječu na pacijentovo zdravlje, ona također utječu na medicinski tim koji provodi znatno vrijeme vozeći se u medicinskom vozilu. Kako bi imali rezultate mjerenja usporedive s prijašnjim, ponovno je odvožena ista dionica ispitivanja vrlo sličnim brzinama kretanja. Mjerni uređaj postavljen je na najnepogodnije mjesto sjedenja u medicinskom vozilu. Način pozicioniranja mjernog uređaja prikazan je i objašnjen u poglavlju 6.3., a sami položaj toga sjedala u vozilu prikazan je na slici 84.

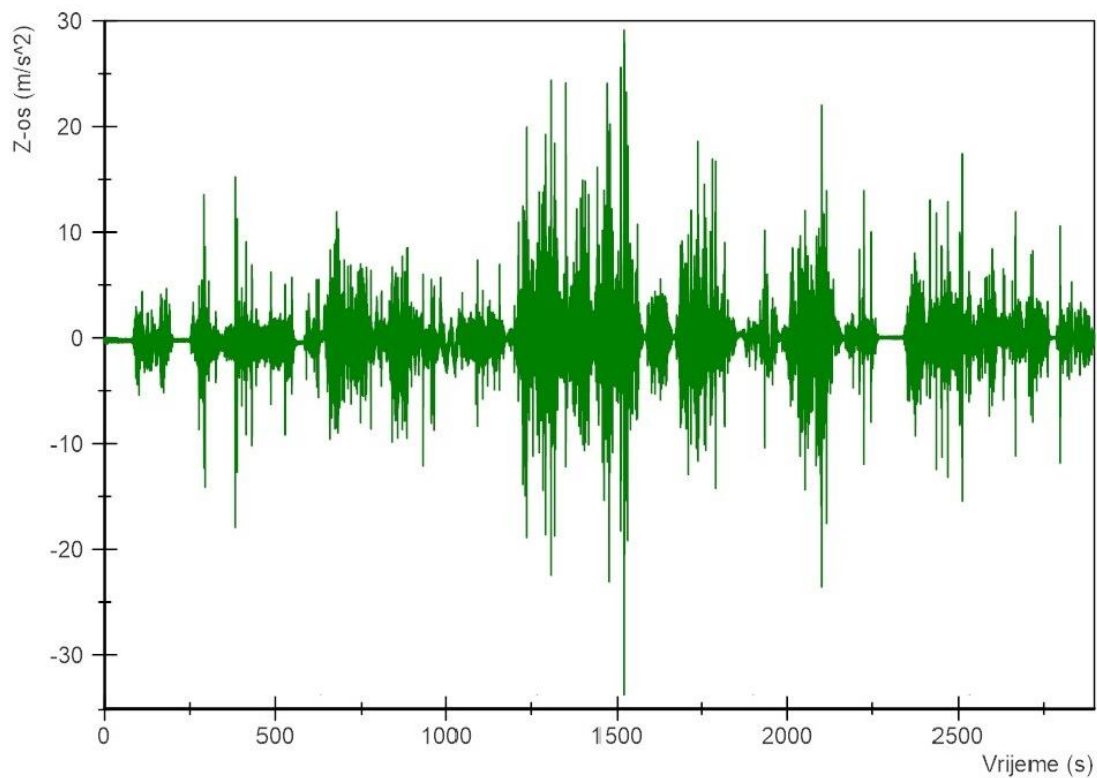


Slika 84. Sjedalo na najnepovoljnijem položaju u medicinskom vozilu

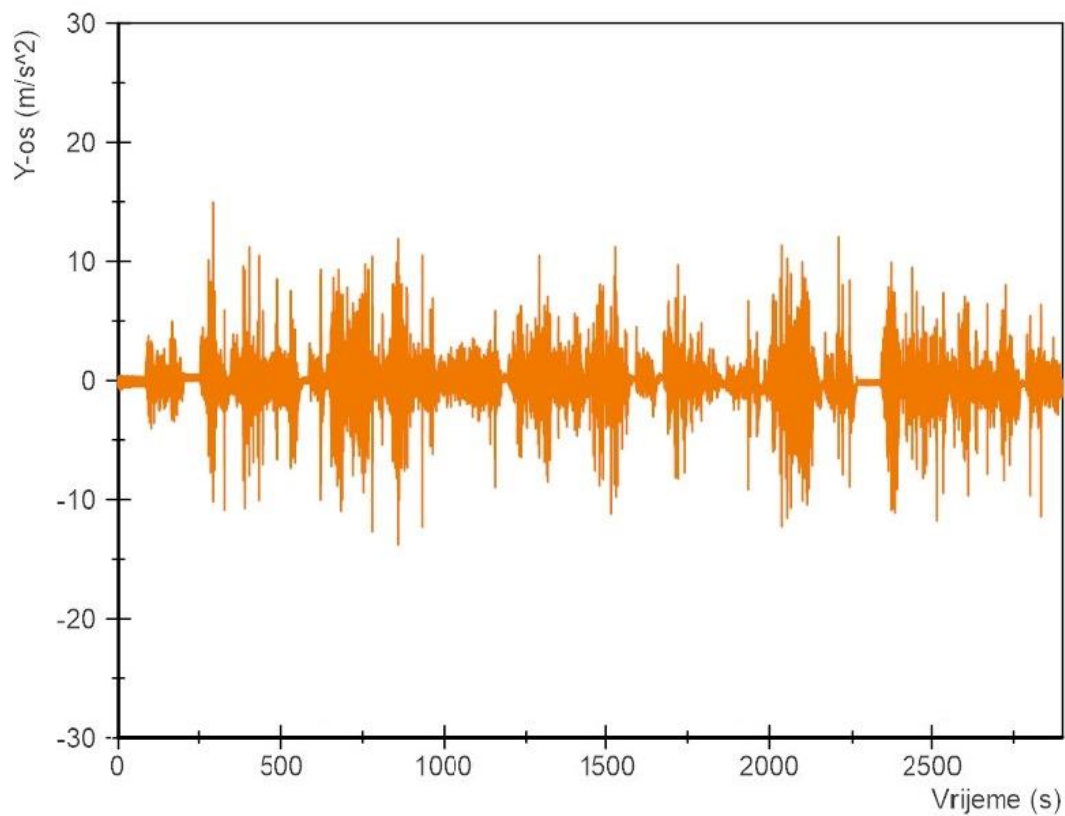
Sjedalo se nalazi iza stražnje osovine vozila i kruto je vezano za samu podnicu vozila. Zbog pozicioniranja sjedala na to mjesto, njegov vertikalni pomak veći je nego kod ostalih sjedala u medicinskom vozilu što može dovesti do neudobne vožnje. Povećana neudobnost također može biti zbog same izvedbe sjedala, *Standardom vozila* [21] minimalna debljina sjedećeg uložka mora iznositi 50 mm. Kako bi se utvrdila razina neudobnosti provedena su mjerenja. Na slikama 85., 86. i 87. prikazana su izmjerena ubrzanja u sve tri osi apsolutnog koordinatnog sustava vozila.



Slika 85. Vertikalna ubrzanja na stražnjem sjedalu za članove medicinskog tima



Slika 86. Uzdužna ubrzanja na stražnjem sjedalu za članove medicinskog tima



Slika 87. Poprečna ubrzanja na stražnjem sjedalu za članove medicinskog tima

Dijagram vertikalnog ubrzanja na slici 85. prikazuje i utjecaj uspornika na kolniku, te je evidentno da je intenzitet vibracija veći nego na mjestu pacijenta.

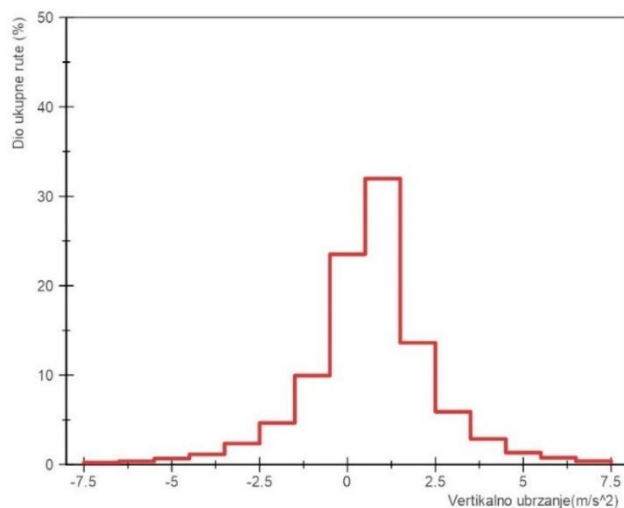
Tablica 10. prikazuje iznos vertikalnog RMS ubrzanja za mjerenja na mjestu pacijenta i medicinskog tima, očekivani osjećaj udobnosti i RMS ubrzanja u ostale dvije osi. Uspoređivanjem oba iznosa, vidljivo je da je iznos vertikalnog RMS ubrzanja na mjestu medicinskog tima veći za 37 % nego na mjestu pacijenta. To je značajan iznos koji ovisi o nekoliko faktora, ali najviše o kvaliteti i udobnosti sjedala, te vrsti stražnjeg ovjesa vozila.

Tablica 10. Iznos RMS ubrzanja za mjerenja na mjestu pacijenta i medicinskog tima

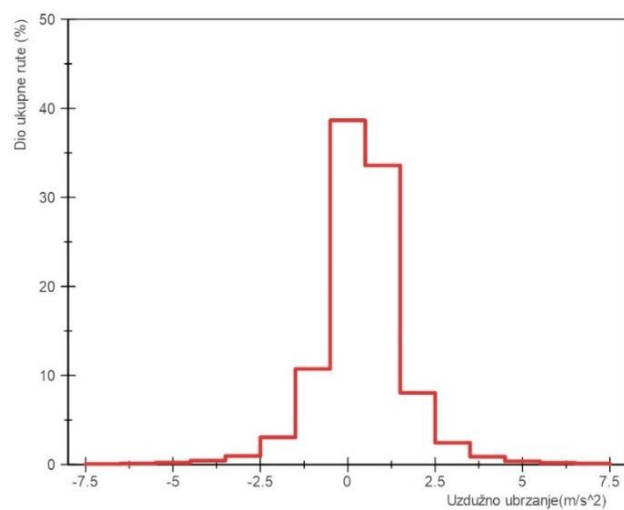
Os mjerenja	RMS ubrzanja, m/s^2	Osjećaj udobnosti
Mjerenje na mjestu pacijenta, X-os	1.42	Veoma neudobno
Mjerenje na mjestu pacijenta, Z-os	0.912	Prilično neudobno
Mjerenje na mjestu pacijenta, Y-os	0.824	Prilično neudobno
Mjerenje na mjestu sjedenja medicinskog tima, X-os	2.24	Veoma neudobno
Mjerenje na mjestu sjedenja medicinskog tima, Z-os	1.40	Veoma neudobno
Mjerenje na mjestu sjedenja medicinskog tima, Y-os	1.06	Neudobno

Mogući porast uzdužnog RMS ubrzanja zabilježenog pri mjerenju udobnosti sjedala medicinskog tima najvjerojatnije je rezultat jednog duljeg intervala kočenja, pri čemu je intenzitet kočenja bio veći nego u ispitivanjima udobnosti pacijenta. Kako bi se u budućim mjerenjima minimizirao utjecaj ovakvih ekstremnih događaja na prosječnu vrijednost izmjerenih podataka, preporučuje se odabir dulje rute koja će omogućiti reprezentativniju analizu.

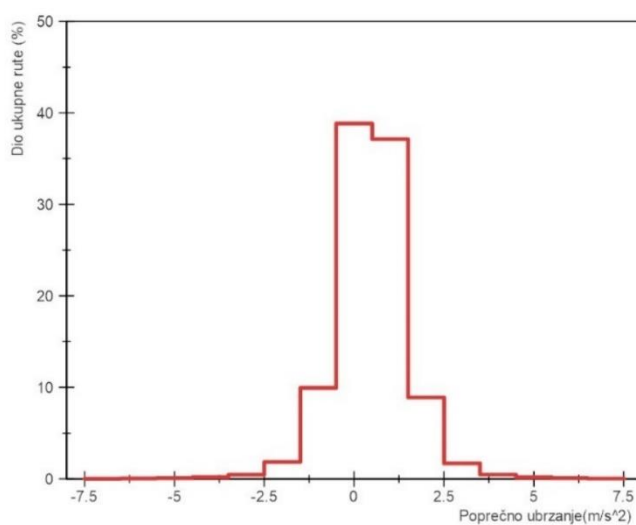
U sklopu ovog ispitivanja izrađeni su i histogrami za vertikalna, uzdužna i poprečna ubrzanja, koji su prikazani na slikama 88., 89. i 90.



Slika 88. Histogram vertikalnih ubrzanja



Slika 89. Histogram uzdužnih ubrzanja



Slika 90. Histogram poprečnih ubrzanja

6.7. Ukupni rezultati mjerenja

U tablicama 11., 12., 13. i 14. prikazane su vrijednosti duljine i trajanja pojedine rute, RMS ubrzanja, standardne devijacije ubrzanja, te maksimalan i minimalan, tj. najveći u negativnom smjeru osi, iznos ubrzanja za svaku os vozila i svaki dio rute zasebno. U tablici 15. prikazani su vrijednosti za sva ispitivana vozila, te je za usporedbu medicinskog vozila uzeto samo ispitivanje na mjestu pacijenta. Za lakšu usporedbu rezultata, rezultati preliminarnih ispitivanja su svedeni na smjerove osi koordinatnog sustava korištenog u ispitivanju medicinskog vozila. Sve vrijednosti izražene su u mjernoj jedinici m/s^2 .

Tablica 11. Duljina i trajanje pojedinog dijela rute

Dio rute	Duljina dijela rute, km	Vrijeme vožnje rute, s
Prvi dio, Radnička cesta - Jakuševac	10.59	957
Drugi dio, Jakuševac - Buzin	4.65	570
Treći dio, Buzin - Radnička cesta	8.68	920

Tablica 12. Karakteristične veličine ispitivanja na prvom dijelu rute

Os mjerenja	RMS	SD	MAX	MIN
X-os, mjesto pacijenta	1.36	1.28	25.59	-13.68
X-os, bez uspornika, mjesto pacijenta	1.28	1.19	15.55	-13.60
Y-os, mjesto pacijenta	0.782	0.776	7.58	-9.46
Z-os, mjesto pacijenta	0.896	0.807	8.81	-6.21
X-os, mjesto medicinskog tima	2.28	2.28	30.11	-27.47
Y-os, mjesto medicinskog tima	1.05	1.05	14.98	-13.79
Z-os, mjesto medicinskog tima	1.10	1.05	15.25	-17.93

Tablica 13. Karakteristične veličine ispitivanja na drugom dijelu rute

Os mjerenja	RMS	SD	MAX	MIN
X-os, mjesto pacijenta	1.42	1.41	44.97	-19.54
X-os, bez uspornika, mjesto pacijenta	1.19	1.17	13.06	-10.11
Y-os, mjesto pacijenta	0.823	0.800	6.97	-8.85
Z-os, mjesto pacijenta	0.798	0.798	6.67	-5.94
X-os, mjesto medicinskog tima	2.07	2.07	29.15	-34.48
Y-os, mjesto medicinskog tima	1.02	1.01	11.22	-11.19
Z-os, mjesto medicinskog tima	2.07	2.07	29.15	-34.48

Tablica 14. Karakteristične veličine ispitivanja na trećem dijelu rute

	RMS	SD	MAX	MIN
X-os, mjesto pacijenta	1.52	1.46	39.84	-27.04
X-os, bez uspornika, mjesto pacijenta	1.38	1.38	24.33	-19.04
Y-os, mjesto pacijenta	0.834	0.794	14.33	-19.96
Z-os, mjesto pacijenta	0.969	0.928	14.67	-12.79
X-os, mjesto medicinskog tima	2.30	2.26	31.68	-26.01
Y-os, mjesto medicinskog tima	1.08	1.05	12.07	-12.26
Z-os, mjesto medicinskog tima	1.16	1.16	22.03	-22.56

Tablica 15. Objedinjeni rezultati mjerenja svih vozila

Vozilo	Audi A3 S-line	Range Rover Sport	Opel Movano C
Opružni element stražnjeg ovjesa	Spiralna opruga	Zračna opruga	Lisnata opruga
Prigušni element stražnjeg ovjesa	Uljni amortizer	Uljni amortizer	Uljni amortizer
RMS ubrzanja, X-os	1.03	0.779	1.42
RMS ubrzanja, Y-os	0.745	0.619	0.834
RMS ubrzanja, Z-os	0.611	0.876	0.912
MAX, X-os	16.63	7.78	44.97
MAX, Y-os	6.24	3.87	14.33
MAX, Z-os	5.78	6.86	14.67
MIN, X-os	-11.53	-5.90	-27.04
MIN, Y-os	-5.86	-3.03	-19.96
MIN, Z-os	-3.91	-7.35	-12.79

7. ZAKLJUČAK

Ispitivanja provedena na medicinskom vozilu, s ciljem procjene performansi ovjesa iz perspektive udobnosti putnika, omogućila su detaljan uvid u dinamiku ubrzanja koja djeluju na vozilo u pokretu. Analizom prikupljenih podataka, koja je opisana u prilogu, i izračunom RMS (engl. *Root Mean Square*) vrijednosti ubrzanja, utvrđeno je da je vertikalna os vozila ona u kojoj je razina udobnosti konstantno najmanja kroz sva ispitivanja. Ova smanjena udobnost direktno je povezana s karakteristikama opružno-prigušnih elemenata ovjesa, kao i ukupnom masom vozila.

Analizirajući RMS vrijednosti ubrzanja duž uzdužne i poprečne osi vozila, također su uočene naznake smanjene udobnosti, no u znatno manjoj mjeri nego li kod vertikalne osi. Udobnost u ovim smjerovima značajno ovisi o stilu vožnje, koji u hitnim intervencijama može biti vrlo dinamičan.

Polazeći od pretpostavke da vršne vrijednosti vertikalnih ubrzanja, uzrokovane neravninama na kolniku ili prelaskom preko uspornika, najviše doprinose pogoršanju zdravstvenog stanja pacijenta, dolazi se do jasne potrebe za njihovim minimiziranjem. S obzirom na to da ispitno medicinsko vozilo koristi standardni ovjes, implementacija kvalitetnijeg ovjesa s naprednim opružno-prigušnim elementima, koji pružaju veću sposobnost apsorpcije vibracija, mogla bi značajno povećati razinu udobnosti svih putnika u vozilu. Temeljem podatak iz tablice 15. vidi se da su za vrijeme ispitivanja vozila s zračnim ovjesom zabilježene najmanje vrijednosti vertikalnih RMS ubrzanja, kao i vršne vrijednosti.

Također, posebnu pozornost potrebno je posvetiti konstrukciji i izvedbi sjedala za medicinski tim. Mjerenjima je pokazano da su to izuzetno neudobna mjesta, te se preporuča optimizacija sjedala s ciljem smanjenja utjecaja vertikalnih ubrzanja što bi značajno poboljšalo radne uvjete medicinskog tima.

Predloženi nastavak na ovaj diplomski rad u smjeru provedbe daljnjih ispitivanja različitih vrsta stražnjeg ovjesa medicinskog vozila s ciljem utvrđivanja vrste ovjesa koja najviše pridonosi poboljšanju udobnosti vožnje. Kako bi ti rezultati bili sukladni normi, potrebno je korištenje specijalne mjerne opreme namijenjene za takva ispitivanja.

8. LITERATURA

- [1] <https://www.tportal.hr/vijesti/clanak/zavod-za-hitnu-medicinu-prosjecna-starost-vozila-cetiri-godine-20210811>, zadnji pristup 9. 1. 2025.
- [2] Hrvatska norma HRN EN 1789:2024, Medicinska vozila i njihova oprema – Cestovna medicinska vozila (EN 1789:2020 + A1:20203), Hrvatski zavod za norme
- [3] Hrvatski zavod za hitnu medicinu, Standard vozila i vanjskog izgleda vozila za obavljanje djelatnosti izvanbolničke hitne medicine, NN 80/2016, https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2016_09_80_1814.html, zadnji pristup 29. 1. 2025.
- [4] <https://www.vbairsuspension.com/en/emergency-service-vehicles>, zadnji pristup 9. 1. 2025.
- [5] <https://www.pgz.hr/objave/nabavljeno-sesnaest-novih-vozila-zavoda-za-hitnu-medicinu-pgz/>, zadnji pristup 9. 1. 2025.
- [6] <https://www.pentlandcomponents.com/shock-absorbers-and-coil-springs>, zadnji pristup 10. 1. 2025.
- [7] https://industrial.panasonic.com/ww/products-sensors/sensors/6dof-inertial-sensor/application_active-suspension, zadnji pristup 11. 1. 2025.
- [8] <https://www.sabo.it/en/products/air-springs-aftermarkets-heavy-vehicles/>, zadnji pristup 11. 1. 2025.
- [9] <https://www.rosmia.co.uk/vb-airuspension/vb-fullair/>, zadnji pristup 11. 1. 2025.
- [10] <https://www.rosmia.co.uk/vb-airuspension/vb-semiair/>, zadnji pristup 11. 1. 2025.
- [11] <https://www.extrica.com/article/15773>, zadnji pristup 12. 1. 2025.
- [12] <https://suspensionspot.com/blogs/news/citroens-amazing-hydropneumatic-suspension>, zadnji pristup 12. 1. 2025.
- [13] <https://www.aftermarket.com.au/pedders-parabolic-leaf-springs/>, zadnji pristup 12. 1. 2025.
- [14] <https://www.leightonparts.co.uk/vw-t5-t6-bilstein-b14-coilover-kit-t32.html>, zadnji pristup 12. 1. 2025.
- [15] <https://www.autoclinic.com.sg/how-shock-absorbers-work/>, zadnji pristup 12. 1. 2025.
- [16] Hrvatska norma HRN ISO 2631-1:1999/A1:2019, Mehaničke vibracije i udari -- Ocjenjivanje izloženosti ljudi vibracijama cijeloga tijela - 1. dio: Opći zahtjevi (ISO 2631-1:1997/Amd 1:2010), Hrvatski zavod za norme

- [17] <https://www.ni.com/en-rs/shop/model/myrio-1900.html?srsltid=AfmBOoohYzXjpz4tcHwecpVZa6hKOpwCZ1tl6z2qvFbwIu0Av1DLWXPd>, zadnji pristup 12. 1. 2025.
- [18] <https://www.ni.com/docs/en-US/bundle/myrio-1900-getting-started/resource/376047d.pdf>, zadnji pristup 12. 1. 2025.
- [19] https://www.caricos.com/cars/a/audi/2013_audi_a3_sportback/images/137.html, zadnji pristup 26. 1. 2025.
- [20] <https://rebuildmastertech.com/land-rover-range-rover-sport-l320-2010-2013-w-vds-rear-left-oem-rebuild-suspension-air-spring-bag-strut-lr032651/>, zadnji pristup 26. 1. 2025.
- [21] Hrvatski zavod za hitnu medicinu, Standard vozila i vanjskog izgleda vozila za obavljanje djelatnosti izvanbolničke hitne medicine, NN 12/2025, https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2025_01_12_108.html, zadnji pristup 29. 1. 2025.
- [22] https://www.jsa.fr/produit_222_kit-suspension-assouplie-mecanique-arriere-citroen-fiat-peugeot-035120-c, zadnji pristup 29. 1. 2025.

9. PRILOG

Analiza prikupljenih podataka

Kako bi se dobili određeni zaključci potrebno je obraditi i analizirati podatke nakon mjerenja. Sirovi rezultati mjerenja ubrzanja i vibracija, koji su snimani na eksternu memoriju, su obrađeni u softverskom programu *DIAdem*. Nakon što su podaci uneseni u program, prvo je potrebno pretvoriti sve mjerne jedinice u jedinice prema SI sustavu mjera. Za dobivanje iznosa relativnih ubrzanja potrebno je za sve osi provesti korekciju pomaka prema nuli. Najveći pomak je za vertikalnu os jer u trenutku mirovanja akcelerometra, on bilježi ubrzanje sile teže. Softverski program *DIAdem* u sebi sadrži program za korekciju pomaka prema nuli koji sva mjerenja svede oko nul – osi, te ih je tako lakše usporediti. Za dobivanje RMS vrijednosti ubrzanja, također program *DIAdem* sadrži program koji iz jednog dijagrama mjerenja izračuna sve vrijednosti vezane za analitiku npr. medijan, aritmetičku sredinu, standardnu devijaciju, RMS itd. Kao dodatni podaci za analizu izrađeni su histogrami pojedinih osi koji prikazuju učestalost pojavljivanja određenih vrijednosti, odnosno ubrzanja za ova ispitivanja.

Podaci vezani za vozilo i rutu vožnje obrađivani su u *AVL*-ovom softveru koji sve mjerene podatke sustavno prikaže u tablicama koje su pogodne za izradu dijagrama.

Tablica 16. Glavni frekvencijski faktori [16]

Frequency band number ¹⁾ <i>x</i>	Frequency <i>f</i> Hz	<i>W_k</i>		<i>W_d</i>		<i>W_f</i>	
		factor × 1 000	dB	factor × 1 000	dB	factor × 1 000	dB
17	0,02					24,2	-32,33
16	0,025					37,7	-28,48
15	0,031 5					59,7	-24,47
14	0,04					97,1	-20,25
13	0,05					157	-16,10
-12	0,063					267	-11,49
-11	0,08					461	-6,73
-10	0,1	31,2	-30,11	62,4	-24,09	695	-3,16
-9	0,125	48,6	-26,26	97,3	-20,24	895	-0,96
-8	0,16	79,0	-22,05	158	-16,01	1 006	0,05
7	0,2	121	-18,33	243	-12,28	992	-0,07
6	0,25	182	-14,81	365	-8,75	854	-1,37
-5	0,315	263	-11,60	530	-5,52	618	-4,17
-4	0,4	352	-9,07	713	-2,84	384	-8,31
-3	0,5	418	-7,57	853	-1,38	224	-13,00
-2	0,63	459	-6,77	944	-0,50	116	-18,69
-1	0,8	477	-6,43	992	-0,07	53,0	-25,51
0	1	482	-6,33	1 011	0,10	23,5	-32,57
1	1,25	484	-6,29	1 008	0,07	9,98	-40,02
2	1,6	494	-6,12	968	-0,28	3,77	-48,47
3	2	531	-5,49	890	1,01	1,55	56,19
4	2,5	631	-4,01	776	2,20	0,64	63,93
5	3,15	804	-1,80	642	3,85	0,25	71,96
6	4	967	0,29	512	5,82	0,097	80,26
7	5	1 039	0,33	409	7,76		
8	6,3	1 054	0,46	323	9,81		
9	8	1 036	0,31	253	-11,93		
10	10	988	-0,10	212	-13,91		
11	12,5	902	-0,89	161	-15,87		
12	16	768	-2,28	125	-18,03		
13	20	636	-3,93	100	-19,99		
14	25	513	-5,80	80,0	-21,04		
15	31,5	405	-7,86	63,2	-23,08		
16	40	314	-10,05	40,4	-26,13		
17	50	246	-12,10	38,8	-28,22		
18	63	188	-14,61	29,5	-30,60		
19	80	132	-17,56	21,1	-33,53		
20	100	88,7	-21,04	14,1	-36,99		
21	125	54,0	-25,35	8,63	-41,28		
22	160	28,5	-30,91	4,55	-46,84		
23	200	15,2	-36,38	2,43	-52,30		
24	250	7,90	-42,04	1,26	-57,97		
25	315	3,98	-48,00	0,64	-63,92		
26	400	1,95	-54,20	0,31	-70,12		

1) Index *x* is the frequency band number according to IEC 1260.

NOTES

1 For tolerances of the frequency weightings, see 6.4.1.2.

2 If it has been established that the frequency range below 1 Hz is unimportant to the weighted acceleration value, a frequency range 1 Hz to 80 Hz is recommended.

3 The values have been calculated including frequency band limitation.

Tablica 17. Dodatni frekvencijski faktori [16]

Frequency band number ¹⁾ <i>x</i>	Frequency <i>f</i> Hz	<i>W_c</i>		<i>W_e</i>		<i>W_f</i>	
		factor × 1 000	dB	factor × 1 000	dB	factor × 1 000	dB
-10	0,1	62,4	-24,11	62,5	-24,08	31,0	-30,18
-9	0,125	97,2	-20,25	97,5	-20,22	48,3	-26,32
-8	0,16	158	-16,03	159	-15,98	78,5	-22,11
-7	0,2	243	-12,30	245	-12,23	120	-18,38
-6	0,25	364	-8,78	368	-8,67	181	-14,86
-5	0,315	527	-5,56	536	-5,41	262	-11,65
-4	0,4	708	-3,01	723	-2,81	351	-9,10
-3	0,5	843	-1,48	862	-1,29	417	-7,60
-2	0,63	929	-0,64	939	-0,55	458	-6,78
-1	0,8	972	-0,24	941	-0,53	478	-6,42
0	1	991	-0,08	880	-1,11	484	-6,30
1	1,25	1 000	0,00	772	-2,25	485	-6,28
2	1,6	1 007	0,06	632	-3,99	483	-6,32
3	2	1 012	0,10	512	-5,82	482	-6,34
4	2,5	1 017	0,15	409	-7,77	489	-6,22
5	3,15	1 022	0,19	323	-9,81	524	-5,62
6	4	1 024	0,20	253	-11,93	628	-4,04
7	5	1 013	0,11	202	-13,91	793	-2,01
8	6,3	974	-0,23	160	-15,94	946	-0,48
9	8	891	-1,00	125	-16,03	1 017	0,15
10	10	776	-2,20	100	-19,98	1 030	0,26
11	12,5	647	-3,79	80,1	-21,93	1 026	0,22
12	16	512	-5,82	62,5	-24,08	1 018	0,16
13	20	409	-7,77	50,0	-26,02	1 012	0,10
14	25	325	-9,76	39,9	-27,97	1 007	0,06
15	31,5	256	-11,84	31,6	-30,01	1 001	0,00
16	40	199	-14,02	24,7	-32,15	991	-0,08
17	50	156	-16,13	19,4	-34,24	972	-0,24
18	63	118	-18,53	14,8	-36,62	931	-0,62
19	80	84,4	-21,47	10,5	-39,55	843	-1,48
20	100	56,7	-24,94	7,07	-43,01	708	-3,01
21	125	34,5	-29,24	4,31	-47,31	539	-5,36
22	160	18,2	-34,80	2,77	-52,86	364	-8,78
23	200	9,71	-40,26	1,21	-58,33	243	-12,30
24	250	5,06	-45,92	0,63	-63,99	158	-16,03
25	315	2,55	-51,88	0,32	-69,94	100	-19,98
26	400	1,25	-58,08	0,16	-76,14	62,4	-24,10

1) Index *x* is the frequency band number according to IEC 1260.

NOTES

- 1 For tolerances of the frequency weightings, see 6.4.1.2.
- 2 If it has been established that the frequency range below 1 Hz is unimportant to the weighted acceleration value, a frequency range 1 Hz to 80 Hz is recommended.
- 3 The values have been calculated including frequency band limitation.