

OSNOVA ZAŠTITE PACIJENATA OD ŠTETNIH VIBRACIJA U MEDICINSKIM VOZILIMA - MEDICINSKI OVJES

BASIS OF PROTECTION OF PATIENTS FROM HARMFUL VIBRATIONS IN MEDICAL VEHICLES - MEDICAL SUSPENSION

Dinko Mikulić¹, Draško Mück², Emanuel Pakšec³

¹Veleučilište Velika Gorica

²DOK-ING d.o.o. Zagreb

³Klinički bolnički centar Zagreb

SAŽETAK

Prikazujemo istraživanje udobnosti medicinskih vozila s aspekta problematike štetnih vibracija i zaštite pacijenata. Pacijent koji leži na nosilu može od medicinskog tima primiti širok raspon predbolničke skrbi. Medicinska vozila izvede se na bazi teretnih vozila. Njihov pasivni ovjes je prilagođen teretnom vozilu. Pri kretanju po neravninama, ovjes vozila uzrokuje štetne mehaničke vibracije koje mogu ugroziti život pacijenta. Usporedbom karakteristika pasivnog i aktivnog ovjesa te modela simulacije pokazali smo prednosti ugradnje zračnog ovjesa za smanjenje i otklanjanje štetnih vibracija. Razmatrali smo suvremeni medicinski ovjes vozila, po principu samo-niveliranja visine podnice, s mogućnošću spuštanja stražnjeg dijela vozila za prihvata pacijenata. Na realnom primjeru prikazali smo moguću ugradnju aktivnog zračnog ovjesa. Pojam naziva *medicinski ovjes* potječe iz stručnog žargona jer se najbliže može identificirati sa medicinskim vozilima hitne pomoći.

Ključne riječi: *medicinska vozila, medicinski ovjes, vozila hitne pomoći, problem vibracija, aktivni zračni ovjes*

ABSTRACT

We present research into the comfort of medical vehicles from the aspect of the issue of harmful effects and patient protection. A patient lying on a stretcher can receive a wide range of pre-hospital care from the medical team. Medical vehicles are produced on the basis of cargo vehicles.

Their passive suspension is adapted to a truck. When moving on uneven surfaces, the vehicle's suspension causes harmful mechanical vibrations that can endanger the patient's life. By comparing the characteristics of the passive and active suspension and the simulation model, we showed the advantages of installing an air suspension to reduce and eliminate harmful vibrations. We considered a modern medical vehicle suspension, based on the principle of self-leveling of the floor height, with the possibility of lowering the rear part of the vehicle for receiving patients. On a realistic example, we have shown the possible installation of an active air suspension. The term medical suspension comes from professional jargon because it can be most closely identified with medical vehicles.

Keywords: *medical vehicles, medical suspension, emergency vehicles, vibration problem, active air suspension*

1. UVOD

1. INTRODUCTION

Kod hitnog prijevoza pacijenta u medicinskom vozilu (hitna pomoć) svaka sekunda je za njegov život važna. Dok je vozilo u pokretu medicinski tim mora osjetljivo pružati pomoć pacijentu, *slika 1*. Opća je percepcija da liječnici nastoje spasiti pacijenta koristeći medicinsku opremu. Može se pretpostaviti da slučajne udarne vibracije uzrokuju ili pogoršavaju ozljede pacijenta. Čak i inercijska vožnja (ubrzanje, kočenje, uspornici) može biti opasna po njegov život. U radu prikazujemo relevantna istraživanja udobnosti medicinskih

vozila s aspekta problematike zaštite pacijenata od štetnih vibracija tijekom prijevoza i zbrinjavanja te načina rješavanja, kao doprinos povećanju sigurnosti rada u vozilima hitne pomoći. Moderni sustav ovjesa medicinskog vozila treba otkloniti štetne vibracije koje se prenose na pacijenta i medicinsko osoblje pri prolasku po različitim cestovnim površinama. Uz suvremeno opremljeno vozilo medicinski tim ima veći potencijal spašavanja ljudskih života.

Vođenje brige o modernizaciji medicinskih vozila jedna je od komponenti kontinuiranog poboljšavanja kvalitete usluga *Hrvatskog zavoda za hitnu medicinu* (HZHM). Donesen je Standard vozila za ujednačeni vozni park, vanjski izgled vozila za obavljanje djelatnosti izvanbolničke hitne medicine [1], kao i usvojena norma HRN EN 17898:2020 [2], koja određuje opće zahtjeve za projektiranje, ispitivanje, izvedbu i opremanje medicinskih vozila koja se koriste za prijevoz, liječenje i njegu pacijenata. S obzirom na veliki godišnji intenzitet broja prijeđenih kilometara, medicinska vozila, posebno sanitetska vozila brzo zastarijevaju. U Hrvatskoj se na raspolaganju nalazi oko 450 vozila hitne službe. Za pružanje medicinske skrbi, tehničku ispravnost i opremanje vozila odgovorni su županijski zavodi hitne medicine.



Slika 1 Medicinski tim mora osjetljivo pružiti pomoć pacijentu u vozilu hitne pomoći [1]

Figure 1 The medical team must sensitively assist the patient in the emergency vehicles [1]

U zapadnim zemljama provedena su temeljna istraživanja vibracija medicinskih vozila u cilju smanjenja štetnih vibracija. U radovima [3, 4] prikazani su rezultati opsežnih istraživanja vibracija koje se javljaju u prostoru za njegu pacijenata. Istraživanja [3] su pokazala da vertikalna akceleracija (ubrzanje/usporenje) koja se doživljava u podnici odjeljka za pacijente često premašuju granice koje postoje za zdrave odrasle osobe, što ima štetne učinke na pacijente. U radu [4], autori se bave poopćavanjem vibracijskih parametara medicinskih vozila, dajući fiziološke odgovore na štetne vibracije. U skladu sa smjericama koje je postavilo *Društvo automobilskih inženjera* (SAEJ670e) i *Međunarodni standard* (ISO 2631), rezultati testiranja pokazuju da velik dio srednjih vršnih vrijednosti ubrzanja premašuje granice tolerancije oba standarda i da prosječne vrijednosti premašuju granice tolerancije prema SAE. Istaknut je problem štetnih vibracija kod pacijenta u kratkom intervalu prijevoza do bolnice. Najteže se podnose slučajne udarne vibracije na podnici vozila po vertikalnoj osi, koje su uzrokovane preprekama na površini ceste kao što su udarne rupe ili uspornici brzine, a ubrzanja su se kretala do 15 m/s^2 što spada u kategoriju izrazito štetnih za ljudsku fiziologiju, jer su ubrzanja popraćena silama (*II. Newtonov zakon*) koja mogu uzrokovati povrede pacijenta. U ležećem položaju pacijenta podnošenje vibracija je najteže, pa bolesnička nosila moraju biti pažljivo izvedena. Kod prijevoza dječjih inkubatora, razina vibracija i buke premašuje preporučene vrijednosti, koje su "vrlo neugodne" i za zdrave odrasle osobe. Rezultati istraživanja smanjenja vibracija na tijelo pacijenta upućuju na primjenu aktivnih sustava ovjesa za održavanje stalne visine vozila, koji se postavlja između kotača i karoserije i na ublažavanje vibracija kod glavnih nosila.

Mehanizmi koji se koriste za ograničenje brzine prometa na cestama, uključuju uspornike ili graničnike brzine ("ležeće policajce"), odnosno podignute pragove ili podignute pješačke prijelaze (engl. *speed bump*, *hump* / njem. *hupser*) za nametanje ograničenja brzine na prometno važnim mjestima. Preporučene granične brzine vožnje preko uspornika iznose 20 km/h, 30 km/h ili najviše 40 km/h. Međutim, kada vozilo pretjeranom brzinom naleti na uspornike putnici

mogu pretrpjeti tjelesne ozljede. Primjerice, vožnjom autobusa dvostruko većom brzinom od dopuštene (30 km/h) u naletu na uspornik, putnici na stražnjim sjedalima uslijed visokih ubrzanja mogu zadobiti ozljede u obliku traume kralježnice [5]. Čak i sudovi kod toga pozivaju vještake za procjenu uzroka nastalih ozljeda putnika. Rezultati istraživanja [3, 4, 5, 6], i reference [7, 8] dopuštaju argumentiranu diskusiju i zaključke o modernizaciji medicinskih vozila.

Na hrvatskim cestama ima bezbroj uspornika različitih profila i izvedbi. Njihove visine iznose do 120 mm što je više od evropskog standarda (75 mm). Najčešći je trapezoidni ili zaobljeni presjek profila uspornika, visine 50 mm i baze oko 350 mm, položen po cijeloj širini ceste. Granična brzina vožnje preko graničnika je najveća brzina kojom putničko vozilo može prijeći graničnik bez značajnih neugodnosti za putnike, bez oštećenja vozila ili opasnosti za sigurnost prometa. Vozila hitne pomoći imaju svoje rute kretanja čime izbjegavaju uspornike. Međutim, u hitnim situacijama traženje što kraćeg puta često nije moguće, pa tako nije moguće izbjeći ni uspornike. Također, u slučaju *eCall* poziva, vozilo hitne pomoći dobiva lokaciju i smjer putovanja na mjesto prometne nesreće. To često zahtijeva slučajeve prelaska cestovnih uspornika, bočnih nagiba, rupa i neravnina, što dovodi do teško podnošljive vožnje pacijenata i medicinskih djelatnika. Pri udaru kotača vozila o uspornik sa graničnom brzinom od 40 km/h ili većom brzinom, ubrzanja karoserije mogu biti iznimno štetna, što je povezano s bukom i podizanjem vozila. Istraživanja pokazuju da su ubrzanja/usporenja na osi stražnjih kotača veća nego na osi prednjih kotača, što je važno s gledišta zaštite pacijenta. Ubrzanja koja se mogu pojaviti pri pretjeranoj brzini prelaska uspornika s medicinskim vozilima (koja imaju pasivni ovjes) mogu izazvati boli ili ozljede pacijenta. Takva vertikalna i kutna ubrzanja vozila su opasna za pacijenta koji leži na nosilima. Veća brzina vozila preko neravnina donosi veći rizik od ozljeđivanja pacijenata. Kako bi se otklonile štetne vibracije medicinskih vozila pri kretanju po različitim vrstama neravnina, nije dovoljno osigurati udoban ležaj nosila (*ambulance stretcher*), potrebno je pasivni ovjes vozila zamijeniti zračnim ovjesom.

2. UTJECAJ VIBRACIJA VOZILA NA ČOVJEKA

2. INFLUENCE OF VEHICLE VIBRATION ON MAN

Vibracije su mehaničke oscilacije sustava s manjim amplitudama. To su gibanja koja se periodički ponavljaju. Motorna vozila pri kretanju uzrokuju vertikalne i kutne vibracije. Na čovjeka se vibracije prenose preko tijela (sjedala, ili nosila ako leži). Čovjek najbolje podnosi vertikalne vibracije gore-dolje, a teže podnosi kutne vibracije. Sve mehaničke vibracije vozila mogu se promatrati u koordinatnom sustavu X, Y i Z. Od svih mogućih ubrzanja i pomaka karoserije (šest: 3 linijska i 3 kutna) najznačajnija su ubrzanja u smjeru vertikalne Z-osi, kutne vibracije oko Y-osi (*galopiranje / pitching*) i kutne vibracije oko X-osi (*valjanje / rolling*). Vezama karoserije ostali pomaci su ograničeni. Konstrukcijski se sprečavaju uzdužne vibracije, a ne smiju se dopustiti ni poprečne vibracije. Tako ovješene mase imaju vertikalne i kutne vibracije oko uzdužne X-osi i poprečne Y-osi. Vibracije se prenose s kotača i ovjesa na karoseriju, putnike i teret koji se prevozi. Vibracije također dolaze od strane motora, transmisije i kotača. Intenzivne vertikalne vibracije i kutne vibracije izazivaju neugodan osjećaj i brzo zamaranje putnika i vozača, što ograničava vrijeme sigurne vožnje. Zbog toga se u analizi udobnosti putnika razmatraju vertikalne i kutne vibracije. Na motornom vozilu razlikuju se dvije vrste vertikalnih vibracija, *slika 2*:

- niskofrekventne vibracije: 60-120 cikl/min (1-2 Hz) na karoseriji
- visokofrekventne vibracije: 600-900 cikl/min (10-15 Hz) na kotačima



Slika 2 Niskofrekventne i visokofrekventne vibracije vozila
Figure 2 Low-frequency and high-frequency vehicle vibrations

Ljudsko tijelo još se od djetinjstva privikava na frekvencije hoda od 1-2 Hz (1-2 ciklusa gore-dolje u sekundi). Zbog toga se frekvencije vibracija karoserije vozila nalaze u granicama 60-90 cikl/min (udobna-sportska vožnja), što govori o mirnoći hoda. Vibrira li karoserija s manje od 60 cikl/min, smatra se da je ovjes mekan, što odgovara vremenu titraja 0,8-1,0 sekunde. Ako su vibracije veće od 90 cikl/min ovjes je pretvrd pa može uzrokovati oštećenja dijelova tijela. Niske frekvencije u području 0,1-0,65 Hz, izazivaju mučninu (*morska bolest*). Utjecaj vibracija na ljudsko tijelo je dosta subjektivno, od osobe do osobe. Međutim, vibracije se ocjenjuju kvantitativno na temelju parametara ponašanja vozila: *frekvencije i amplitude vibracija, brzine i ubrzanja vibracija*.

Dopuštenu izloženost ljudi vibracijama propisuje norma ISO 2631, a direktiva EU 2002/44/EC definira minimalne sigurnosne i zdravstvene zahtjeve za radna mjesta. Postavljene su granične i upozoravajuće vrijednosti vibracijske izloženosti cijelog tijela (m/s^2) u referentnom radnom vremenu do osam sati. Međutim, treba razlikovati izloženost vibracijama stalne posade od izloženosti pacijenata. Medicinski tim može u radnoj smjeni imati više intervencija, čija se profesionalna izloženost može izračunati i normirati. Izloženost pacijenta u prijevozu do bolnice je jednokratna, različitog vremena trajanja, međutim zbog hitne skrbi pacijenta, treba izbjeći štetne vibracije koje mogu ugroziti njegov život. Stoga, radi zaštite pacijenta od ozljeđivanja treba održavati mirnoću hoda vozila, održavajući frekvenciju vibracija i niske amplitude pomaka. Praktično, vlastite frekvencije za automobile iznose 0,8-1,2 Hz i 1,2-1,9 Hz za autobuse i kamione [7]. Ako su frekvencije unutar naznačenih intervala, tada organizam dobro podnosi vibracije. Ljudsko tijelo je osjetljivo na vertikalno ubrzanje kod frekvencija 4-8 Hz, kao i na bočna ubrzanja do 2 Hz, koje treba izbjegavati. Osjetljivost na frekvencije 4-8 Hz je prepoznata kao rezultat rezonancije trbušnih organa. Kako se frekvencija povećava, tako se dopuštena amplituda pomaka smanjuje (2 Hz/10 mm; 6 Hz/0,5 mm).

Većina vozila hitne pomoći dizajnirana su tako da su glavna nosila s pacijentom fiksno

pričvršćena na karoseriju vozila. U ležećem položaju tijela, podnošenje vibracija je teže, pa nosila moraju biti pažljivo izvedena za prihvat pacijenta, *slika 3*. Pacijent je podvrgnut jednakim vibracijama kao i karoserija vozila. Za čovjeka u ležećem položaju na nosilima koja podupiru težinu bedara, potkoljenica i stopala, rezonantna frekvencija iznosi 3-3,5 Hz [6]. Ako je kretanje pacijenta ograničeno stezanjem tijela na nogama i na ramenima, rezonancija je pomaknuta niže, na 2,5 Hz. S obzirom na vertikalne i kutne pomake, mogu se postaviti vrijednosti parametara programa udobne gradske, cestovne ili terenske vožnje. Primjerice, mogu se pretpostaviti vrijednosti putne udobnosti vozila: vlastita frekvencija vozila 0,8-1,2 Hz; vertikalno ubrzanje, 0,65-2,0 m/s^2 ; kutno ubrzanje oko X i Y-osi, manje od 1,5 (2,0) rad/s^2 . Manje dopuštene granice ubrzanja povezane su sa funkcijama kao što su hranjenje u vozilu, pisanje i slično.

3. TEHNIČKI ZAHTJEVI ZA MEDICINSKA VOZILA

3. TECHNICAL REQUIREMENTS FOR MEDICAL VEHICLES

Hrvatski zavod za hitnu medicinu postavio je tehničke uvjete za medicinska vozila hitne pomoći (NN 80/2016), kao *Standard vozila i vanjskog izgleda vozila za obavljanje djelatnosti izvanbolničke hitne medicine* [1]. Standard vozila opisuje uvjete koje trebaju zadovoljavati medicinska vozila izvanbolničke hitne službe u RH u pogledu općih svojstava, opremanja i vanjskog uređenja, pregradne stijene između odjeljka za pacijente i odjeljka za vozača, otvora na medicinskom vozilu, područja za unošenje/ iznošenje pacijenta, odjeljka za pacijente, odjeljka za vozača, opremanja i unutarnjeg uređenja vozila. Medicinska vozila hitne pomoći izvode se na bazi komercijalnih vozila s pasivnim ovjesom, koja izravno nisu prilagođena za prijevoz i spašavanje pacijenata. Prerada takvih vozila tipa transporter u medicinska vozila hitne pomoći podrazumijeva preradu i opremanje u specijaliziranim tvrtkama te izdavanje certifikata ovlaštene institucije.

Prema HRN EN 1789:2020 normi [2], medicinsko vozilo je namijenjeno za pružanje



Slika 3 Glavna nosila kod medicinskog vozila (ambulance stretcher)

Figure 3 Main stretcher in a medical vehicle (ambulance stretcher)

brige i prijevoza najmanje jednog pacijenta, njime upravljaju minimalno dva odgovarajuće obrazovana i istrenirana djelatnika. Definirane su tri vrste/tipa medicinskih vozila:

1. Vozilo vrste **A**: vozilo za prijevoz pacijenata, sa svoje dvije podvrste; A1 – vozilo prilagođeno za prijevoz jednog pacijenta i A2 – vozilo prilagođeno za prijevoz jednog ili više pacijenata
2. Vozilo vrste **B**: vozilo za prijevoz, pružanje osnovne pomoći i skrbi o pacijentima
3. Vozilo vrste **C**: jedinica intenzivne skrbi opremljena za prijevoz i pružanje naprednije medicinske pomoći.

Sva medicinska vozila hitne medicinske službe u RH moraju zadovoljavati B tip vozila [2]. Ova vrsta medicinskog vozila je namijenjena za pružanje osnovne pomoći i skrbi o pacijentima, konstruirana i opremljena za prijevoz, liječenje i nadzor pacijenata. Opremanje i vanjsko uređenje medicinskog vozila odnosi se na dodatnu opremu i uređaje koji se postavljaju na osnovni model vozila prilikom njegovog preuređenja u medicinsko vozilo. Područje za unošenje/iznošenje pacijenta nalazi se na stražnjoj strani vozila te mora osigurati sigurno unošenje i iznošenje pacijenata. Kut unošenja *glavnih nosila* (nosivosti 150 kg) iznosi najviše do 16° te općenito kut unošenja mora biti što je moguće manji. Maksimalna visina praga podnice ili rampe/platforme za ukrcaj glavnih nosila, mjereno od tla, ne smije biti veća od 750 mm kada se u vozilu nalazi sva propisana oprema. Oprema i uređaji u prostoru za pacijenta moraju biti postavljeni i učvršćeni tako da pružaju nesmetanu upotrebu i nadzor pacijenta tijekom vožnje kao i unošenje i izvlačenje glavnih nosila koji zahtjeva pacijentovo zdravstveno stanje.

U *Standardu vozila* [1] nisu prepoznati tehnički zahtjevi udobnosti i sigurnosti vozila za smanjenje

nepoželjnih vibracija tijekom prijevoza i liječenja pacijenata. U čl. 4. toč. 5. stoji sljedeće: **ovjes mora biti prilagođen prijevozu pacijenata koji leže na nosilima i medicinskog osoblja u odjeljku za pacijente**. Budući da prilagođenost ovjesa prijevozu pacijenata koji leže na nosilima i medicinskog osoblja nije dalje tehnički specificirana, u ovom istraživanju se razmatraju dodatni napredni zahtjevi, na temelju modernizacije njihova ovjesa.

Zahtjevi za modernizaciju medicinskih vozila:

- održavanje stalne visine vozila od tla (samo-niveliranje, cesta, komfor)
- povećanje i smanjenje visine vozila od tla (teren brza cesta)
- podizanje i spuštanje stražnjeg dijela vozila
- bočno naginjanje vozila

Održavanje stalne visine vozila od tla, pri prijelazu raznih neravnina, postiže se procesiranim izravnavanjem karoserije pomoću aktivnog ovjesa u kratkom vremenu (*self-leveling*), čime se izbjegava pojava štetnih vibracija. Primjerice, nailaskom kotača na prepreku aktivni zračni ovjes nivelira zadanu visinu karoserije, dok se kotači podižu ili spuštaju na račun promjene karakteristika zračnog ovjesa, kao i međusobni kutni pomaci prednjih u odnosu na stražnje kotače i obrnuto. Osim regulacije održavanja stalne visine vozila, takvi ovjesi pružaju programe vožnje (*cesta, autoput, teren*) i dodatne praktične mogućnosti korištenja vozila: lagani pristup ulasku glavnih nosila i neometan rad s pacijentom. To znači, vozila se mogu stražnjim dijelom spuštati prema kolniku kako bi pomoglo ulasku i izlasku invalidskih kolica. Spuštanjem ovjesa znatno se smanjuje kut rampe, može se koristiti kraća rampa, čime se olakšava preglednost unošenja pacijenta, a bočno naginjanje vozila omogućava pražnjenje toaletnog spremnika.

4. PASIVNI OVJES VOZILA

4. PASSIVE VEHICLE SUSPENSION

Najviše korišteni ovjes kod putničkih (M) i teretnih (N) vozila je pasivni (klasični) ovjes, *slika 4*. Ovjes povezuje kotače, osovine i karoseriju vozila. Sastoji se od elastičnih, prigušnih i elemenata za vođenje *gore-dolje*. Glavni dijelovi ovjesa su opruge (zavojne ili lisnate), amortizeri, vodilice i poprečni stabilizatori. Ovjes ima dvije primarne funkcije, izolaciju vibracija i držanje kotača na cesti bez poskakivanja. Funkcija poprečnih stabilizatora je ograničiti bočno naginjanje vozila povećanjem kutne krutosti, što poboljšava stabilnost i upravljivost vozila. Prema tome, pasivni ovjes vozila dopušta određene vertikalne i kutne vibracije karoserije, ostali pomaci konstrukcijski su ograničeni.

Vozila većeg međuosovinskog razmaka i traga kotača općenito daju veću udobnost i sigurnost vozila. Međutim, ovjes vozila određuje bitne karakteristike motornog vozila: *putnu udobnost, putnu sigurnost i operativnu sigurnost vozila*. Putna udobnost vozila može biti ostvarena mirnoćom hoda, tj. s umjerenim prigušivanjem vibracija. Statički hod ovjesa kod osobnih vozila nalazi se između 100 i 200 mm, što najbliže određuje vlastitu frekvenciju ovjesa. Sigurnost držanja kotača na cesti bez poskakivanja postiže se jačim prigušivanjem vibracija, što osigurava stabilnost kretanja. Izvedba pasivnog ovjesa daje kompromis između ova dva suprotna zahtjeva. Operativna sigurnost vozila ovisi o čvrstoći dijelova ovjesa, pa su isti zaštićeni koeficijentom sigurnosti. Frekvencija i amplituda vibracija je vezana za elastične elemente ovjesa (opruge, zračni jastuk), a regulacija brzine i

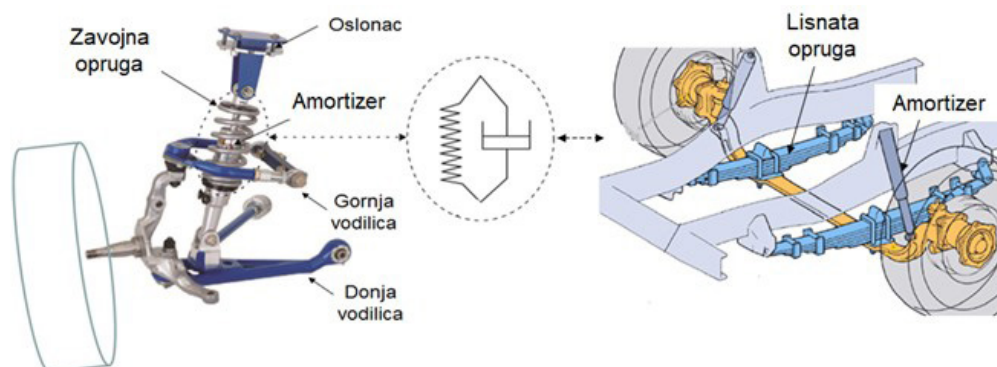
ubrzanja vibracija se veže za prigušne elemente ovjesa (amortizere). Karakteristika prigušivanja amortizera može biti *linearna, progresivna ili degresivna*. Udobna vožnja zahtjeva degresivne dok sportska vožnja progresivne sile prigušivanja.

Pasivni ovjes nema mogućnosti samo-niveliranja visine vozila kao i promjene visine i nagiba stražnjeg dijela vozila, koje zahtijeva napredno medicinsko vozilo. Pasivni ovjes ne pruža dovoljno kvalitetno smirivanje putnih vibracija osobito na osi stražnjih kotača pri kretanju vozila po raznim neravninama, a prema tome i sigurnost pacijenata i medicinskog tima. Zbog toga, na takvim suvremenim vozilima dolazi do zamjene pasivnog ovjesa s aktivnim zračnim ovjesom ili hidraulično-pneumatskim ovjesom, koji pružaju veću putnu udobnost i sigurnost pacijenata.

5. MEDICINSKI OVJES

5. MEDICAL SUSPENSION

Tržište ovjesima nudi aktivni zračni sustav medicinskog vozila. Takav ovjes [8] uključuje zračne opruge (jastuke), plinske amortizere, poprečne stabilizatore, senzore visine, G-senzore i upravljačku jedinicu za održavanje stalne visine od tla, posebice na neravninama i usponicima, koordiniranim izravnavanjem dijelova karoserije u vrlo kratkom vremenu, čime se izolira štetno vertikalno ubrzanje, kutna ubrzanja (*galopiranje i valjanje*) karoserije. Upravljanje ovjesom u smislu podizanja, spuštanja zadnjeg dijela karoserije ili drugih mogućnosti izvedeno je preko daljinskog upravljača. Platforma vozila se može podizati i spuštati kada je vozilo u stanju mirovanja što omogućuje lakši ulazak/



Slika 4 Pasivni ovjes motornih vozila, os prednjih i stražnjih kotača [7]

Figure 4 Passive suspension of motor vehicles, axle of the front and rear wheels [7]

izlazak putnika iz vozila. Senzori pomaka kotača koji u vožnji prate podizanje kotača pružaju upravljačkoj jedinici (ECU) podatke za nivelaciju visine podnice karoserije. Aktivni zračni ovjes pruža putnu udobnost i sigurnost kretanja vozila koje klasični pasivni ovjes ne pruža.

Medicinska vozila prerađuju se na bazi komercijalnih vozila N1 kategorije, najveće dopuštene mase 3,5 tona. Nova vozila mogu se naručiti s aktivnim zračnim ovjesom ili preraditi kod rabljenih vozila s pasivnim ovjesom. Na tržištu postoji veći broj vozila za preradu u medicinska vozila (marka/model: *Citroen Jumper*, *Mercedes Sprinter*, *VW Transporter*, *Peugeot Boxer*, ..). U ovom istraživanju, kao primjer dostupnih podataka, prikazano je vozilo Citroen Jumper koje se prepoznaje po univerzalnosti korištenja [9]. Modularna platforma pruža naručiteljima mogućnost odabira konfiguracije ovisno o njihovim potrebama u pogledu korištenja i izbora snage dizel motora HDi 110, 130, 150 i 180. Os prednjih kotača ima nezavisni ovjes tipa *MacPhersonove noge* (zavojna opruga i amortizer) s trokutastom donjom vodilicom. Os stražnjih kotača ima zavisni ovjes, uzdužne lisnate opruge i hidraulične amortizere.

Na tržištu medicinskih ovjesa, nudi se tvornička ugradnja ili paketi opreme za zamjenu pasivnog ovjesa zračnim ovjesom (kit oprema), za sve poznate marke vozila tipa transporter ili kombi vozila. Hitna medicinska služba (*EMS - Emergency Medical Services*) - specijalizirana tvrtka za hitnu pomoć širom svijeta (cestom i zrakom), kako bi povećala sigurnost i udobnost

pacijenata, koriste sva vozila hitne pomoći opremljena zračnim ovjesom. Osim toga, kako bi izbjegli nagle trzaje kod startanja, tvrtka je odlučila koristiti samo ambulantna vozila s automatskim mjenjačem. Među najpoznatije proizvođače zračnog ovjesa mogu se navesti tvrtke, **VB Air Suspension** (Nizozemska) i **Glide-Rite Air Suspension** (Velika Britanija). Primjerice, gotovo 90 % vozila hitne pomoći u Nizozemskoj opremljeno je zračnim ovjesom *VB-Airsuspension* [8]. Koncept VB zračnog ovjesa nudi opcije, od jednostavnije (2C) do složenije (4C) varijante:

1. **VB-zračni ovjes 2C**, za os stražnjih kotača, sa 2-kutna senzora visine.
2. **VB-zračni ovjes 3C**, za os stražnjih kotača i polu zračni ovjes na os prednjih kotača.
3. **VB-zračni ovjes 4C**, kompletan sustav ovjesa prednjih i stražnjih kotača, opremljeni kutnim sensorima visine i G-senzorima ubrzanja.

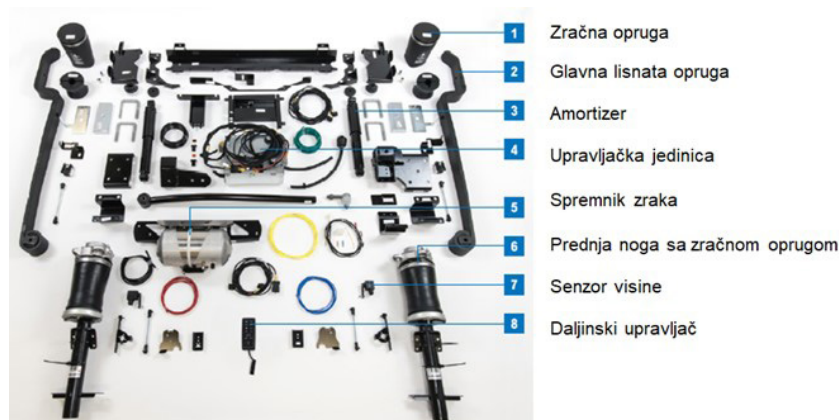
Paket opreme standardnog zračnog ovjesa 4C, prikazuje *slika 5*.

Funkcije upravljanja ovjesom iz kabine vozača pomoću daljinskog upravljača, *slika 6*.

Autolevel razina – uključuje funkciju samo-nivelacije visine vozila (*self-leveling*) i udobnog programa vožnje (cesta, komfor). Osim toga, ova funkcija omogućuje da se vozilo postavi vodoravno, kada vozilo stoji na neujednačenoj podlozi.

Sport vožnja – smanjenje visine vozila za oko 30 mm za bolju aerodinamiku (autoput).

Road vožnja – povećanje visine vozila do 30 mm za grublje putove/teren, < 30 km/h



Slika 5 Oprema zračnog ovjesa 4C (VB-FullAir 4C) [8]

Figure 5 Air suspension equipment 4C (VB-FullAir 4C) [8]

Opcije ovjesa	2C	3C	4C
Samo-nivelacija			X
Sport			X
Teran		X	X
Ručno podizanje	X	X	X
Ručno spuštanje	X	X	X
Memoriranje	X		X
Bočno nagnjanje			X
Parking / garaža		X	X
Trajekt	X	X	X



Slika 6 Funkcije zračnog ovjesa i daljinski upravljači, 2C, 3C, 4C [8]

Figure 6 Air suspension functions and remote controls, 2C, 3C, 4C [8]

Memorija – individualno slobodno programiranje visine ovjesa

Parkiranje vozila – za smanjenje visine vozila, kako bi ušli u garažu s nižim krovom, < 30 km/h

Trajekt – stražnji dio se podiže do najveće visine, radi ulaska vozila na trajekt, < 30 km/h

Ispuštanje vode – nagnjanje vozila na stranu radi pražnjenja toaletnog spremnika, < 0 km/h

Utovar / istovar – os prednjih kotača je automatski podignuta i stražnja je spuštena do kraja koja olakšava utovar ili istovar tereta, < 0 km/h

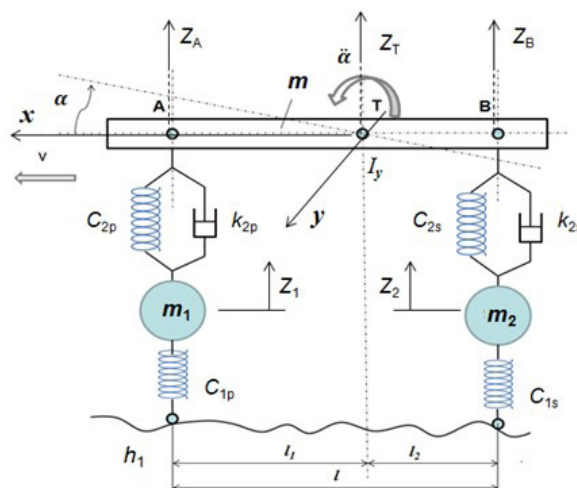
6. MODEL SIMULACIJE OVJESA

6. SUSPENSION SIMULATION MODEL

Usporedba i značaj parametara vibriranja pasivnog i zračnog ovjesa provedena je putem modela simulacije, korištenjem *Motion Study* modula (*Solidworks 2016*). Simulacija je napravljena za ravninski dvodimenzionalni model vibriranja vozila u uzdužnoj ravnini, s četiri stupnja slobode gibanja (*half car model*, 4 DoF), slika 7. Vertikalne vibracije težišta po pravcu z-osi opisane su i kutnim vibracijama oko poprečne y-osi (*galopiranje*). Ovješena masa vozila (m , m_1 , m_2) koncentrirana je u tri materijalne točke (A - iznad prednje osovine, T - spregnuta masa u težištu karoserije, B - iznad stražnje osovine). Pretpostavlja se da vibracije prednjih kotača utječu na vibracije stražnjih kotača. S obzirom na to da su sve tri mase povezane, njihova su ubrzanja i pomaci različiti (\ddot{z}_i , $Z_{A,T,B}$, $Z_{1,2}$).

Kako kod pasivnog tako i kod zračnog ovjesa, simulirana su ubrzanja u točkama A, T i B, kao i kutno ubrzanje uslijed skokovite uzbude prilikom prelaza vozila preko uspornika visine 50 mm, najmanjom brzinom od 20 km/h.

Izvedena je usporedba rezultata simulacije zračnog ovjesa na obje osovine u odnosu na pasivni ovjes (sprijeda zavojne opruge, straga lisnate opruge). Usvojeni podaci za vozilo *Jumper X250* [9], su: $m_1=m_2=35$ kg, $m=1250$ kg (ukupno 2500 kg), $l=4035$ mm, težište $h_T=1010$ mm, $C_{1p}=C_{1s}=70$ N/mm, $C_{2p}=50$ N/mm, $C_{2s}=80$ N/mm, $k_{2p}=k_{2s}=1,6$ Ns/mm, $h_1=50$ mm, $v=20$ km/h. U području pomaka te opterećenja i radnog tlaka 9-13 bara usvojena je karakteristika zračne opruge tipa 2B8-550 [10]. Karakteristike amortizera nisu mijenjane.



Slika 7 Dvodimenzionalni vibracijski $\frac{1}{2}$ model vozila [7]

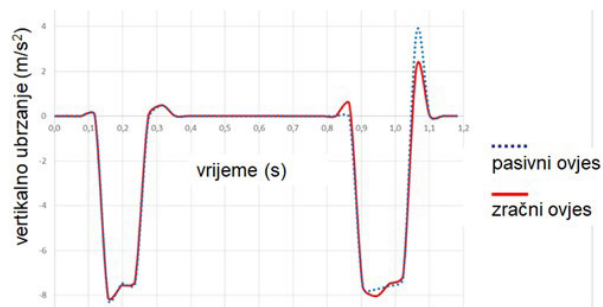
C_{1ip} - krutost pneumatika, C_{2ips} - krutost opruga, $k_{2p,s}$ - prigušivanje amortizera, $\ddot{\alpha}$ - kutno ubrzanje mase, h_1 - funkcija uzbude

Figure 7 Two-dimensional vibration $\frac{1}{2}$ vehicle model [7]

C_{1ip} - stiffness of tires, C_{2ips} - stiffness of springs, $k_{2p,s}$ - damping of shock absorbers, $\ddot{\alpha}$ - angular acceleration of mass, h_1 - excitation function

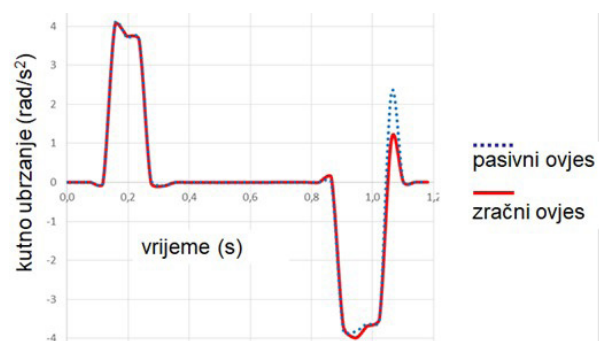
Usporedba vertikalnih ubrzanja točke T, za klasični i zračni ovjes, prikazana su na slici 8. Pri prijelazu prednjih kotača preko uspornika, po vrijednostima vertikalnih ubrzanja, nema značajne razlike između klasičnog i zračnog ovjesa. Pri prijelazu stražnjih kotača preko uspornika sa zračnim ovjesom postižu se niske

vršne vrijednosti vertikalnog ubrzanja. Stoga je postojana opcija 2C zračnog ovjesa samo za os stražnjih kotača (stražnja osovina). Također, dokazane su i niže vrijednosti kutnih ubrzanja promatrane točke, *slika 9*. Iznosi vertikalnih i kutnih ubrzanja izravno utječu na kvalitetu vožnje. Povećanjem brzine kretanja vozila preko uspornika, očekuju se izraženije vrijednosti promatranih ubrzanja.



Slika 8 Vertikalna ubrzanja T točke

Figure 8 Vertical accelerations of the T point



Slika 9 Kutna ubrzanja T točke

Figure 9 Angular accelerations of the T point

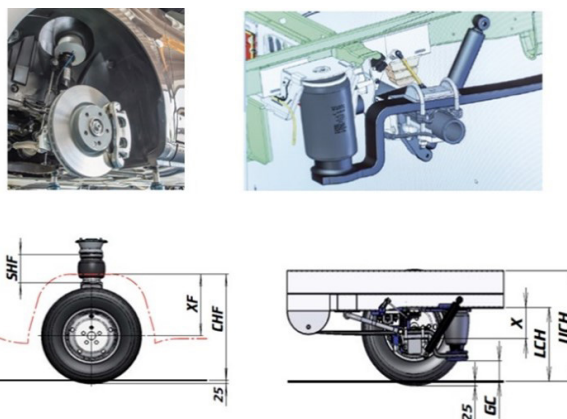
Osim promjene parametara ubrzanja, rezultati simulacije pokazuju na brzinu reakcije ovjesa. Vrijeme reagiranja je važno za buduće rješavanje samo-niveliranja vozila. Također, veća masa vozila (što se u praksi može očekivati) na istim karakteristikama ovjesa donosi manja ubrzanja, jer na istu uzbuđu daju manji odziv, kao što i veća baza vozila rezultira manjim valjanjem vozila. Opremanje vozila plinskim amortizerima ili podesivim magnetsko-reološkim amortizerima (MR), dodatno može povećati putnu udobnost i sigurnost kretanja. Kod takvih amortizera ne slabi sila prigušivanja u dugotrajnoj vožnji, pa ne dolazi do gubitka prigušne sile i sigurnosti kretanja.

7. PRIMJER UGRADNJE ZRAČNOG OVJESA

7. EXAMPLE OF AIR SUSPENSION INSTALLATION

Prikazujemo primjer ugradnje aktivnog zračnog ovjesa 4C na prednju i stražnju osovinu [8], u vozilo *Citroën Jumper X250*, *slika 10*.

Elegantno rješenje zračnog jastuka i polužja, doprinosi kompaktnosti konstrukcije. Primjer regulacije samo-nivelacije visine prikazana je na shemi, *slika 11*. Kontrolom gibanja ovješene mase izoliraju se štetna ubrzanja karoserije. Upravljačka jedinica ovjesa (ECU) upravlja elastičnim i prigušnim elementima regulirajući parametre, kako za samo-niveliranje visine tako i za programe vožnje. Na temelju praćenja ubrzanja karoserije prilagođava se intenzitet prigušivanja amortizera sukladno programu vožnje (*cesta, teren, autoput*). Radni tlak u zračnim jastucima mijenja se progresivno, od 9 do 13 bara, u ovisnosti o opterećenju (prazno, puno), zadržavajući zadanu frekvenciju (1 Hz). Vrijeme podizanja i spuštanja karoserije na određenu visinu ovisi o opterećenju vozila. S aspekta modifikacije ovjesa, zamjenom pasivnog sa zračnim ovjesom postoji neznatno povećanje mase po osovini (20-30 kg), koja za N1 kategoriju vozila nema značajnog utjecaja na ubrzanje i brzinu.



Slika 10 Ugradnja ovjesa 4C, os prednjih i stražnjih kotača, *Citroën Jumper X250* [9]

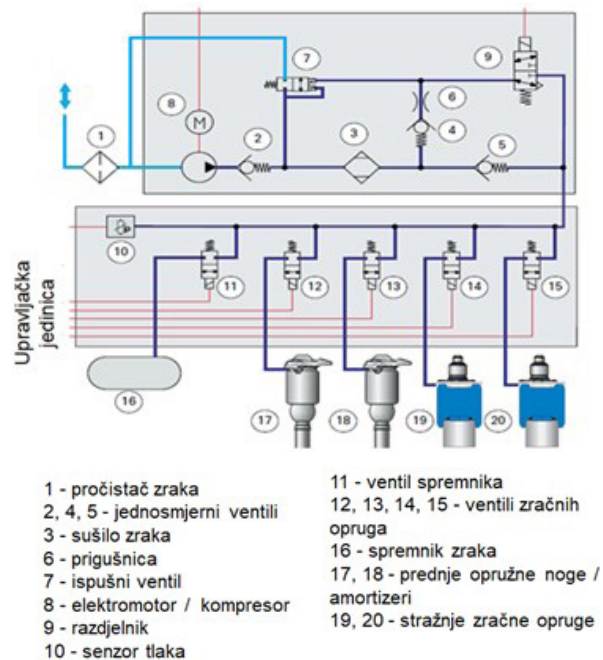
Figure 10 Installation of the 4C suspension, axle of the front and rear wheels, *Citroën Jumper X250* [9]

Specifikacije ugradnje 4C	Min visina	Stalna visina	Maks visina
Donja visina šasijske, prag (LCH)	380	445	490
Gornja visina šasijske, prag (UCH)	610	675	720
Visina od tla, klirens (GC), gume	135	115	107
X-vrijednost (X)	140	205	250
X- os prednjih kotača (XF)	370	465	535
Visina šasijske na osi prednjih kotača (CHF)	690	785	855
Visina zračne opruge (SHF)	125	210	270

25 - progib pneumatika (mm)

Komponente zračnog ovjesa 4C:

- zračne opruge sa amortizerima / MR amortizer
- spremnik zraka sa sušilom zraka
- blok elektromagnetskih ventila
- kutni senzori visine vozila (*Hallovi senzori*)
- senzor vertikalnog ubrzanja karoserije (G senzor)
- upravljačka jedinica (kontroler / ECU).

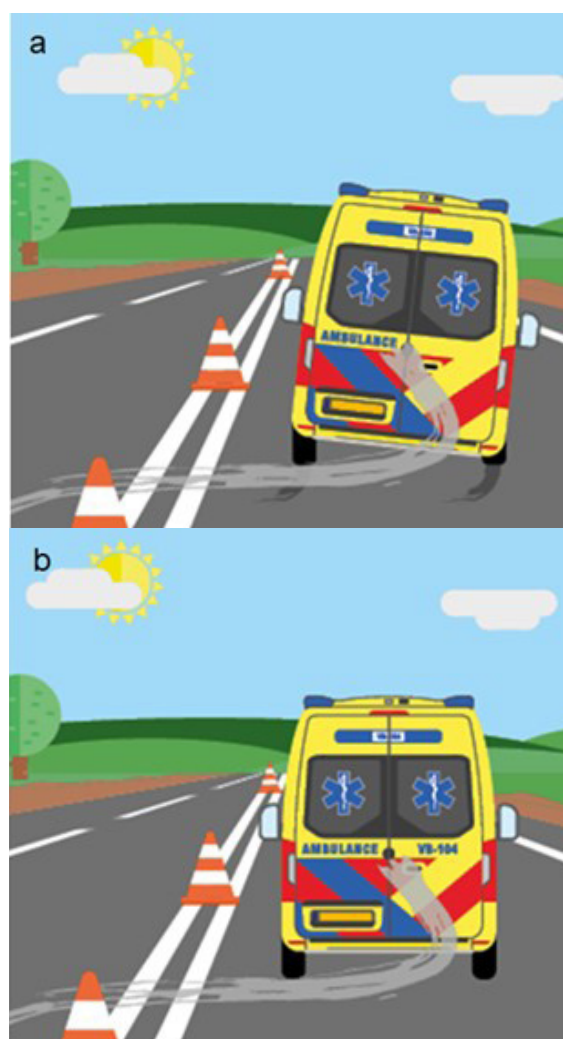


Slika 11 Shema aktivnog zračnog ovjesa, prilagođeno [7]

Figure 11 Active air suspension scheme, adapted [7]

Zračni ovjes 4C osigurava:

- stalnu visinu vozila neovisno o opterećenju (samo-niveliranje), bez štetnih vibracija *galopiranja i valjanja, slika 12*, uz mogućnost podešavanja visine praga utovara +/- 70 mm
- vozač može birati pored normalne stalne visine karoserije i višu razinu (teren), a niža razina se namješta automatski pri brzjoj vožnji (sport)
- stražnji dio se podiže do najveće visine, radi ulaska vozila na trajekt
- utovar / istovar, os prednjih kotača je automatski podignuta i stražnja je spuštana do kraja koja olakšava utovar ili istovar tereta.



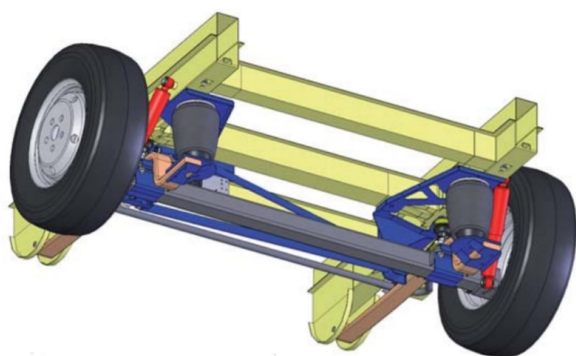
Slika 12 Medicinsko vozilo na cesti: a) pasivni ovjes - vozilo se nagnje (valja), b) aktivni zračni ovjes, bez štetnih vibracija - vozilo stabilno i lako upravljivo [8]

Figure 12 Medical vehicle on the road: a) passive suspension - the vehicle is tilted (rolled), b) active air suspension, free from harmful vibrations - vehicle stable and easy to steer [8]

Zračni ovjes 2C

Zračni ovjes osi stražnjih kotača 2C nudi jednostavnije rješenje, iako ne pruža kompletno samoniveliranje vozila, postoje prihvatljive vrijednosti vertikalnih i kutnih ubrzanja, *slika 13*. Ova izvedba ovjesa prikladna je za medicinska vozila i prijevoz pacijenata osjetljivih na udarce od različitih neravnina. Kako istraživanja pokazuju, ubrzanja na osi stražnjih kotača veća su nego na prednjoj osi, stoga je prioritetno potrebno ugraditi zračni ovjes na os stražnjih kotača i tako otkloniti štetne vibracije. Sustav ovjesa pomoću upravljačke jedinice (ECU) ograničava vertikalna i kutna ubrzanja težišta vozila i stražnjeg dijela karoserije, što doprinosi mirnoći hoda i stabilnosti vozila. 2C ovjes osigurava:

- stalnu visinu praga osi stražnjih kotača neovisno o opterećenju, 675 mm
- spuštanje osi stražnjih kotača radi utovara ili istovara tereta (*klečanje*), 65 mm
- podizanje osi stražnjih kotača radi ulaska na trajekt, 45 mm.



Slika 13 Projekcija zračnog ovjesa 2C na os stražnjih kotača [8]

Figure 13 Projection of the 2C air suspension on the axis of the rear wheels [8]

Tehničke specifikacije:

Standardna visina praga (Neopterećeno sa pasivnim ovjesom)	720 mm
Stalna visina praga sa zračnim ovjesom 2C	675 mm
Najviša pozicija (0-5 km/h)	+ 45 mm
Najniža pozicija (0-5 km/h) (Visina šasijske na stražnjoj osovini)	- 65 mm

8. ZAKLJUČAK

8. CONCLUSION

Možemo zaključiti, medicinska vozila trebaju imati suvremeni sustav ovjesa, koji će pružiti udoban prijevoz pacijenata do bolnice. U radu su prikazani napredni zahtjevi modernizacije ovjesa medicinskih vozila. Zračni ovjes je prepoznat za kvalitetno opremanje medicinskih vozila i prema tome dostupan, kako pri specifikaciji nabave novih vozila tako i rabljenih vozila.

Usporedbom karakteristika pasivnog i zračnog ovjesa prikazane su prednosti ugradnje zračnog ovjesa. Najmanje što je potrebno je ugraditi zračni ovjes na osu stražnjih kotača (stražnja osovina) i tako otkloniti moguće štetne vibracije. Kompletan aktivni zračni ovjes otklanja nepoželjne vertikalne i kutne vibracije karoserije što pruža mirnu vožnju pacijenata te nesmetan rad medicinskog tima. Na kraju, možemo pretpostaviti da će odgovorni djelatnici, prepoznati prednosti modernizacije ovjesa medicinskih vozila u RH. To opravdava povjerenje u hitnu medicinsku službu javne zdravstvene ustanove.

9. REFERENCE

9. REFERENCES

- [1.] Hrvatski zavod za hitnu medicinu. Standard vozila i vanjskog izgleda vozila za obavljanje djelatnosti izvanbolničke hitne medicine, NN 80/2016, <https://www.hzhm.hr>
- [2.] Hrvatska norma HRN EN 1789:2020, Medicinski automobili i njihova oprema – Cestovni medicinski automobil (EN 1789:2007+A1:2010) 2011, Hrvatski zavod za norme.
- [3.] Klegraefe N.: Force plate reliability and dynamics for ambulance vibration suppression, Worcester Polytechnic Institute, 2010. https://digital.wpi.edu/concern/student_works/47429b71w
- [4.] Graziosi J., Barber L., Wojcik M.: Ambulance Services, Reliability Problems and Potential Technologies, Project Number 9003, Worcester Polytechnic Institute, 2010. <https://core.ac.uk/download/pdf/212969385.pdf>; 15.02.2022.

- [5.] Janczur R.: Vertical accelerations of the body of a motor vehicle when crossing a speed bump, Cracow University of Technology, Faculty of Mechanical Engineering, The Archives of Automotive Engineering - Archiwum Motoryzacji 1/2015; vol.67; 47-60. <http://www.aaejournal.com/Vertical-accelerations-of-the-body-of-a-motor-vehicle-when-crossing-a-speed-bump,99367,0,2.html>
- [6.] Brammer J. A., Von Gierke E. H.: Effects of shock and vibration on humans, Chapter 42. <https://www.researchgate.net/publication/44056533>; 15.03.2022.
- [7.] Mikulić, D.: Motorna vozila, teorija kretanja i konstrukcija, Veleučilište Velika Gorica, ISBN 978-953-7716-89-9, Velika Gorica, 2020, str. 306-349.
- [8.] VB air suspensions for Commercial Light Vehicles, Brochure VB-FullAir, Product sheet VB, Varsseveld, Holand, <https://www.vbairsuspension.com/en/page/downloads/remaining.html>
<https://www.vbairsuspension.com/en/news/1923/ambulance-with-full-air-suspension-maneuvers-skillfully-through-roadworks.html>; <https://ems-ambulance.com/services/road-ambulances>; 10.04.2022.
- [9.] Citroen Jumper, tehničke karakteristike i oprema, brošura, <https://business.citroen.hr>, https://loadsafe.nz/wp-content/uploads/2019/05/VB_FullAir.pdf; 15.02.2022.
- [10.] Air Springs 2B8-550, Basic principles, Goodyear-Air-Spring-Data, <http://ltech.com/pdf/automation/pneumatic/Goodyear-Air-Spring-Data.pdf>, 12.04.2022.

AUTORI · AUTHORS



• **Dinko Mikulić** - Autor je znatnog broja znanstvenih i stručnih radova iz područja konstrukcije motornih vozila, građevinskih i specijalnih strojeva, objavljenih u domaćim i stranim časopisima (CROSBI).

Autor je knjiga: Motorna vozila, teorija kretanja i konstrukcija (2020), Aktivni sustavi sigurnosti motornih vozila (2011), Građevinski strojevi (1998). Autor je knjige Design of Demining Machines (2013). Doktorirao je na Fakultetu strojarstva i brodogradnje, gdje je držao nastavu iz predmeta Specijalna vozila i Građevinski strojevi. Na Veleučilištu Velika Gorica drži predavanja iz predmeta: Motorna vozila i Građevinski strojevi.

Korespondencija · Correspondence

dinko.mikulic@vvg.hr



• **Draško Mück** - Autor je znanstvenih i stručnih radova iz područja motornih vozila, objavljenih u domaćim i međunarodnim konferencijama. Diplomirao je na Fakultetu strojarstva i brodogradnje.

Zaposlen je u tvrtki DOK-ING d.o.o. u Zagrebu. Voditelj je grupe za konstrukcijska rješenja unutar odjela Razvoja. Na Veleučilištu Velika Gorica drži predavanja iz predmeta: Mehanika i Čvrstoća konstrukcija

Korespondencija · Correspondence

drasko.muck@dok-ing.hr



• **Emanuel Pakšec** - Voditelj odjela transporta u Kliničkom bolničkom centru u Zagrebu. Upravlja voznim parkom medicinskih vozila. Na Veleučilištu Velika Gorica završio je stručni studij Motorna vozila. Na istoj ustanovi završava specijalistički diplomski stručni studij Logistički menadžment.

Korespondencija · Correspondence

emanuel.paksecc@kbc-zagreb.hr