

МИКРОКЛИМАТСКИ УСЛОВИ У ПУТНИЧКОМ ПРОСТОРУ АУТОБУСА MICROCLIMATIC CONDITIONS IN BUS PASSENGERS COMPARTMENT

Дејан Поповић, Драган Ружић, *Факултет техничких наука, Нови Сад*

Област – МАШИНСТВО

Кратак садржај – *Тема рада су услови топлотног комфора у кабини аутобуса уз утицај клима уређаја. На почетку рада направљен је преглед развоја клима уређаја у аутобусима, наведена су претходна истраживања за побољшање перформанси система, као и начини и примјер испитивања. Обрађени су и сви параметри топлотног комфора. Урађено је испитивање услова топлотног комфора у кабини аутобуса у стационарном стању. Након испитивања урађено је читавање резултата, њихова обрада, анализа и поређење са стандардним вриједностима. На крају рада извршена је оцјена резултата, наведени су могући правци даљег истраживања и могућност побољшања.*

Кључне речи: *аутобус, путничка клима, возачка клима, испитивање топлотног комфора.*

Abstract – *The topic of the paper is the conditions of thermal comfort in the bus cabin with the influence of air conditioning. At the beginning of the work, an overview of the development of air conditioners in buses was made, previous research to improve system performance was listed, as well as methods and examples of testing. All parameters of thermal comfort are also processed. An examination of the conditions of thermal comfort in the bus cabin in a stationary state was performed. After the examination, the results were read, processed, analyzed and compared with standard values. At the end of the paper, the results were evaluated, possible directions for further research and the possibility of improvement were stated.*

Keywords: *Bus, microclimate, drivers AC, passengers AC, thermal comfort experiment.*

1. УВОД

Аутобуси почињу да играју кључну улогу у транспорту путника, како у туризму тако и у локалном и градском превозу. Због путовања при високим и ниским вањским температурама, јавља се потреба за системом који ће хладити кабину са путницима љети, односно гријати зими. Циљ овог експерименталног истраживања је био да се истраже услови топлотног комфора у путничком простору, у топлим спољашњим условима. Испитивања су рађена на два идентична аутобуса. Приликом првог испитивања била је укључена само возачка клима, а приликом другог испитивања била је укључена и возачка и путничка.

НАПОМЕНА:

Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је био др Драган Ружић, ванр. проф.

Идеја је била да се добијени резултати анализирају, да се виде разлике на почетку и на крају мјерења, као и то да се добијени резултати коментаришу да ли задовољавају или не задовољавају услове топлотног комфора.

2. КОНСТРУКТИВНИ ЦИЉЕВИ И ТЕНДЕНЦИЈЕ

Са повећање потребе за топлотним комфором путника у путничким кабинама, али и самог возача, како би се обезбиједили услови за вожњу у што комфорнијим топлотним условима, многи произвођачи возила су се укључили у истраживања за развој клима уређаја и система гријања. Поред горе наведених разлога за унапређење постојећих решења клима уређаја, нужно је споменути и два разлога која су чак и битнија, а то су потрошња горива и емисија штетних гасова. На основу прегледа објављених истраживања и тестирања на ову тему као три најчешће кориштена метода за испитивање микроклиматских услова у кабини аутобуса су:

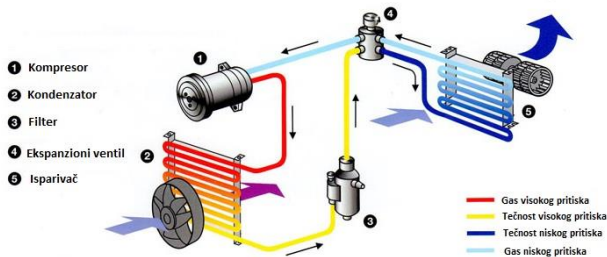
1. испитивање унутар климатске коморе
2. испитивање помоћу софтвера
3. испитивање у току вожње аутобуса

Као што је већ раније речено највећи проблем са клима уређајима возила јесу повећана потрошња горива и већа емисија штетних гасова. Као решење за набројане проблеме јавиле су се климе на електрични погон. Решавају проблем повећане потрошње горива, емисије штетних гасова, али и у могућности су да остваре свој пуни капацитет независно од броја обртаја мотора што је веома битно у условима када возило стоји у мјесту. Даљи напредак и развој ће свакако ићи у овом смијеру.

3. КЛИМАТИЗАЦИЈА АУТОБУСА

Систем за климатизацију аутобуса углавном се састоји од кондензатора, испаривача, компресора, експанзионог вентила, магнетне спојнице, уређаја за свјеж ваздух, уређаја за дување ваздуха, вентилатора, повратне решетке за ваздух, контролне плоче, система цјевовода и електричног система управљања. Клима уређаји аутобуса се могу класификовати у три групе, на основу типа рада компресора [5]:

1. погон компресора помоћним мотором
2. погон компресора главним мотором
3. компресор са електричним погоном



Слика 1. Приказ основних елемената система клима уређаја [7]

4. ТЕОРИЈСКЕ ОСНОВЕ МИКРОКЛИМЕ

Микроклима према дефиницији представља стање природних појава на релативно малом простору. У последње вријеме људи проводе доста времена у моторним возилима, гдје бораве у малом простору, услови у кабини моторног возила могу у великој мјери утицати на њихов радни учинак, задовољство и здравље. Неповољни микроклиматски услови у возилу неповољно утичу на концентрацију, умор и будност, како возача тако и путника [3].

Када се човјек нађе у затвореном простору фактори који утичу на његов осјећај су вриједности везане за ваздух, површине које га окружују и индивидуални фактори самог човјека [1].

Четири основна фактора која утичу на пренос топлоте између човјековог тијела и околине су:

- Температура ваздуха t_a [°C]
- Средња температура зрачења t_{mr} [°C]
- Брзина ваздуха v_a [m/s]
- Влажност ваздуха која се исказује према релативној влажности RH [%] или преко парцијалног притиска водене паре p_a [Pa]

Два индивидуална фактора су:

- Метаболичка активност M [Met, W, W/m²]
- Изолација одјеће I_{cl} [Clo, m²K/W]

Како би се описало стање микроклиме неког простора, нужно је одредити све факторе који утичу на пренос топлоте између човјека и околине. Неопходно је

одредити претходно описане факторе: метаболичку активност, изолацију одјеће, температуре ваздуха, брзину ваздуха, средњу температуре зрачења, влажност ваздуха [4].

Међутим одређивање свих набројаних фактора одједном чини анализу сложеном и тешком. Због поједностављења анализе комфора, тежи се ка увођењу једне величине која ће обухватати утицаје појединих параметара. Обједињени показатељи су:

- Оперативна температура t_o
- Еквивалентна температура t_{eq}
- PMV индекс и PPD показатељ

За мјерење обједињених показатеља потребно је и мање мјерне опреме која треба бити постављена у кабини возила, што код аутобуса не представља велики проблем због велике кабине али код возила са мањим кабинама игра значајну улогу [4].

5. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИСТРАЖИВАЊЕ

5.1. Спецификације испитиваног возила

За експеримент је кориштен минибус фирме FENIKSBUS d.o.o. Фирма FENIKSBUS је овлаштени бодибилдер компаније IVECO BUS. Бави се производњом свих главних компоненти каросерије аутобуса и подскопова каросерије.

Возило припада категорији М3, класи II, тип аутобуса је школски. Спецификације возила су:

- Модел: FBI 88 S – MY 2021.

- Мотор: IVECO дизел 2998 cm³, 135 kW - Еуро 6 Д.

- Клима: аутобус посједује аутоматску возачку климу са компресором 170 цц. У процесу надоградње уграђена је путничка клима Autoclima PT160, 16kW, компресор TM21, аутоматска контрола.

- Стакла: једнострука зелена, дебљине 5 mm, са 75% пропусности свјетлости, сем предњег вјетробранског стакла дебљине 6.76 mm које има 80%. Аутобус посједује и један кровни отвор са димензијама стакленог дијела 970x630 mm, као и статички одсис – електрични.

- Запремина путничког простора: 32 m³

- Број сједишта је 51 (сједишта за дјецу) + 1 сувозачко сједиште + возачево сједиште.

- Боја каросерије: жута.

- Димензије: 9.000x2.350x3.000mm.

- Максимална дозвољена маса: 7200 kg.

- Материјал костура: нехрђајући челик (ИНОКС-1.4003-феритни).

- Дијелови од полиестера: кров, задња стијена, предња стијена, предњи блатобрани.

- Дијелови од алуминијума: бочне оплате.

- Под: шпер-плоча (бреза) дебљине 12 mm, подна облога Таркет Смарт 121-600 (сива).

- Плафон и бочне облоге: обојени ембосирани лим.

- Изолација: стиропор дебљине 30 mm и 40 mm топлотне проводљивости од 0.37 W/mK, и стаклена вуна у предњем дијелу кабине дебљине 50 mm топлотне проводљивости 0.038 W/mK.



Слика 2. Аутобус FBI 88 S

5.2. Кориштена опрема за мјерење

Параметри који су мјерени током експерименталног истраживања су температура, влажност ваздуха, брзина струјања ваздуха и температура загријаних површина.

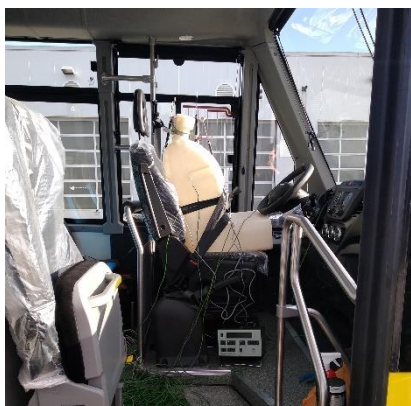
Током експеримента кориштена је следећа мјерна опрема:

- Brüel & Kjaer 1213 анализатор
- Сензор температуре ваздуха (Brüel & Kjaer MM 0034)
- Сензор брзине ваздуха (Brüel & Kjaer MM 0038)
- Сензор температуре зрачења (Brüel & Kjaer MM 0036)
- AMI 310 мултифункционални инструмент
- AMI 310 сензор за мјерење температуре ваздуха
- AMI 310 анемометар са лопатицама
- All-Sun EM520В инфрацрвени термометар
- Expert 9520 комуникациони модул
- Термопарови

5.3. Принцип испитивања

Мјерна опрема је постављена унутар кабине возила, након тога се затварају сви прозори и врата, возило је остављено на сунцу и чека се да се кабина загрије. Приликом првог испитивања скоро сва мјерна опрема је укључена тек након загријавања кабине, док је приликом другог испитивања мјерна опрема укључена прије загријавања кабине.

Након временског периода од 25 минута, када се кабина загријала улази се у аутобус и врата се одмах затварају, након тога се укључује клима. Приликом првог испитивања у кабини су биле три особе, а приликом другог двије особе.



Слика 4. Лутка са сензорима на возачком мјесту

5.4. Режим рада аутобуса

Током испитивања аутобус се није кретао. Мотор је радио у режиму празног хода. Број обртаја није прелазило 1000 о/мин. Сви прозори, врата и кровни отвори су били затворени. Клима је била подешена на 16°C што представља најнижу могућу температуру. Брзине вентилатора су биле подешене на највећу брзину. Сви вентилациони отвори су били максимално отворени.

6. АНАЛИЗА ДОБИЈЕНИХ РЕЗУЛТАТА

У овом поглављу рађена је анализа резултата испитивања и њихово међусобно поређење као и поређење са критеријумима по стандарду ISO 7730 за просторе у зградама, с обзиром да стандард не прописује посебно услове за аутобусе.

Тип простора	Активност W/m ²	Категорија	Оперативна температура °C		Максимална брзина ваздуха m/s	
			Лјето	Зима	Лјето	Зима
Канцеларија Јавни затворени простор	70	A	24,5 ± 1,0	22,0 ± 1,0	0,12	0,10

Слика 3. Температурни критеријуми за просторе у зградама [2]

6.1. Резултати добијени мјерењем температуре ваздуха

• **Возачко мјесто** - Приликом анализе резултата на возачевом мјесту узети су у обзир резултати добијени са термопарова као и резултати добијени преко Brüel & Kjaer анализатора (температуре ваздуха, температуре зрачења, брзина ваздуха) приликом првог испитивања. Приликом првог мјерења разлике вриједности пада температуре нису велике, у просјеку 5.9°C. Чак и температура мјерена Brüel & Kjaer 0034 сензором биљежи пад од 4 до 5°C, што такође није много узимајући у обзир висину почетне температуре. Приликом другог испитивања падови температуре су много већи, у просјеку 12.8°C. Разлика у температурама између првог и другог испитивања је очекивана јер је приликом другог испитивања била укључена и путничка клима.

• **Путничко мјесто** - Резултати температуре и брзине ваздуха за путничко мјесто су читавани са AMI мултифункционалног уређаја. Добијене температуре након расхлађивања кабине за прво испитивање су 34.2 и 32.5°C, док су за друго испитивање нешто ниже 28.4 и 26.0°C.

Ако се температурни критеријуми за просторе у зградама са слике узму као мјеродавни и за аутобусе, резултати првог и другог мјерења не задовољавају критеријум, температуре нису биле у опсегу 24.5±1 °C. Као разлог томе може да се узме сама чињеница да су возила током испитивања била у стању мировања, није било струјања ваздуха око кабине које се јавља током вожње, и аутобуси су били у положају у ком су у великој мјери изложени сунцу. Режим рада аутобуса током испитивања је био такав је мотор радио на малом броју обртаја а самим тим ни компресор климе није могао да достигне свој пуни капацитет.

6.2. Резултати добијени мјерењем брзине ваздуха

Резултате добијене мјерењем брзине ваздуха уз помоћ AMI анемометра са лопатицама, приликом првог и другог испитивања није могуће поредити. Приликом првог испитивања брзина ваздуха је мјерена на сва 4 вентилациона отвора са растојања од 100 mm док је приликом другог испитивања брзина мјерена само на два средња отвора и са већег растојања. Иако се резултати не могу упоредити један са други, остаје

могућност да се упореде са прописаним резултатима. Брзина ваздуха мјерена помоћу Brüel & Кјær 0038 сензора код главе возача током првог испитивања након што се усталила је 0.19 m/s што се и подудара са прописаном вриједности.

6.3. Резултати добијени мјерењем температуре зрачења

Температура зрачења је мјерена само приликом првог испитивања. Просјечна вриједност током периода у коме је клима била укључена износи 55°C што је јако неповољно по возача. Оваква вриједност температуре зрачења директно је утицала и на вриједности PMV индекса и PPD показатеља. Вриједности PMV индекса од периода када је укључена клима па до неког периода док је клима још увијек радила је између 6.98 и 7.59. Пошто је према PMV скали доња вриједност за најнеповољни осјећај (врело) 3 [6], може се закључити да је добијени резултат врло неповољан. PPD показатељ у овом случају је очекивано 100%.

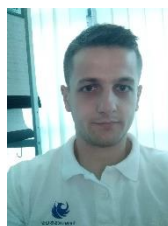
7. ЗАКЉУЧАК

У раду је рађено испитивање микроклиматских услова у аутобусу у топлим условима са два режима рада клима-уређаја. У првом режиму била је укључена само возачка клима а у другом и возачка и путничка клима. Добијени резултати након испитивања су веома неповољни. Далеко одступају од прописаних вриједности. Када се узму у обзир почетни услови испитивања а и сама чињеница да је возило стајало у мјесту било је и за очекивати да ће резултати бити лошији. За даљи рад на испитивању топлотног комфора аутобуса могло би се спровести испитивање приликом вожње, тада би клима остварила свој пуни потенцијал, због зависности од броја обртаја мотора. Струјање ваздуха око кабине би било веће што би резултирало повољнијим резултатима, а и сама изложеност сунцу би се мијењала током вожње. Као конструктивна побољшања на самој кабини би се могло навести додавање елемената за усмјеравање ваздуха на вентилационим отворима у путничком дијелу кабине, као и употреба стакала са вишим степеном тонирања.

8. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Хома Д.: Истраживање топлотних услова у кабинама пољопривредних трактора, мастер рад, ФТН, Нови Сад, 2020.
- [2] ISO 7730.: 2005 [E] Ergonomics of the thermal environment — Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria
- [3] Ружић Д.: Ергономија моторних возила, ФТН Нови Сад, 2020.
- [4] Ружић Д.: Утицај климатизације на топлотни комфор у путничком аутомобилу, магистарски рад, ФТН Нови Сад, 2006.
- [5] <https://www.guchen.com/industry-news/different-types-of-bus-airconditioning-system-for-body-builders.html> (септембар 2021. године)
- [6] <https://andersonenergy.com.au/how-to-quantify-comfort-with-pmv/>, (октобар 2021. године)
- [7] <https://alenauto.com/air-conditioning-service/>, (октобар 2021. године)

Кратка биографија:



Дејан Поповић рођен у Добоју, Босна и Херцеговина/Република Српска, 1995. год. Дипломирао 2018. год. на Факултету техничких наука, смијер Механизација и конструкционо машинство, на којем исте године уписује мастер студије, смијер Аутомобилско инжењерство.



Драган Ружић рођен у Новом Саду 1973.год. Докторирао је 2013. год. Од 2017. год. је постављен на мјесто директора Департамента за механизацију и конструкционо машинство. Запослен је као ванредни професор на Факултету техничких наука у Новом Саду.