ماه‌نامه علمی پژوهشی
مهندسی ساخت و تولید ایران
www.smeir.org
10.22034/IJME.2024.448088.1935

شبیه‌سازی واقعیت مجازی ایستگاه همبندی قطعه پرخوران موتور ملی EF7-TC: با هدف توسعه قابلیت‌ها در آینده

مرتضی امجدی [۱]، سید اشکان موسویان [۲*]
۱- کارشناس، شرکت تحقیق، طراحی و تولید موتور ایران‌خودرو (ایپکو)، تهران، ایران
۲- عضو هیئت‌علمی، گروه مهندسی کشاورزی، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، تهران، ایران
* ایمیل نویسنده مسئول: a_moosavian@tvu.ac.ir

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی
دریافت: ۱۰ فروردین ۱۴۰۳
پذیرش: ۹ مرداد ۱۴۰۳

کلیدواژگان:
موتورهای درون‌سوز
توربو شارژر
واقعیت مجازی
شبیه‌ساز رایانه‌ای

چکیده

شبیه‌سازهای رایانه‌ای امروزه بخش جدایی ناپذیر در صنعت به شمار می‌روند. به طوری که امروزه اکثر صنایع در جهت تسریع در توسعه محصولات و کاهش هزینه‌های تولیدی از امکانات مفید این بستر بهره‌مند شده‌اند. در این میان استفاده از شبیه‌سازهای واقعیت مجازی و محیط‌های مجازی تعاملی و همه جانبه در طراحی و چیدمان خطوط تولید، مراحل مونتاژ و سایر فرایندهای تولیدی و آموزشی، موجب مهارت افزایی کارکنان، ارتقاء سطح دانش و مهارت آموزی اپراتورهای تازه استخدام شده، همچنین سبب کاهش هزینه‌های احداث و راه‌اندازی سالن‌های مونتاژ گشته است. مقاله حاضر به شبیه‌سازی یک ایستگاه همبندی قطعه پرخوران موتور ملی EF7-TC در یک خط تولید موتور به منظور بررسی نحوه عملکرد فرایندهای مونتاژ با هدف بهبود فرایندهای مونتاژ و آشنایی فراگیران با فرایند مونتاژ صورت گرفت. خروجی نهایی شبیه‌سازی ایستگاه کاری مجازی توسط عده‌ای از شرکت کنندگان مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت و در نهایت نظر کاربران توسط یک پرسشنامه ۱۲ سوالی با ۵ مؤلفه جمع‌بندی و نتایج به روش تحلیل فراوانی و تحلیل توصیفی و به منظور پایایی پرسشنامه از آلفای کرونباخ استفاده گردید. نتایج بدست آمده نشان از این دارد که حس حضور و تعامل در محیط مجازی خط تولید ایستگاه همبندی به طور مطلوبی برای کاربران بوجود آمده و همچنین درک مناسبی از فرایند مونتاژ قطعه پرخوران پیدا کردند و عمدتا علاقه‌مند به تجربه دوباره استفاده از فناوری واقعیت مجازی بودند. مطالعات نشان داد که شبیه‌سازی فرایندهای اسمبلی در زمینه محیط واقعیت مجازی تعاملی، سطح مهارت کاربران را قبل از تجربه آن فرایند در دنیای واقعی افزایش داده است.

Virtual reality simulation of the national EF7-TC engine turbo charger assembly station: With the aim of developing capabilities in the future

Morteza Amjadi[1], Ashkan Moosavian[2*]
1- Expert, IranKhodro Powertrain Company (IPCO), Tehran, Iran
2- Faculty Member, Department of Agricultural Engineering, Technical and Vocational University (TVU), Tehran, Iran
* Corresponding Author's Email: a_moosavian@tvu.ac.ir

Article Information

Original Research Paper
Received: 29 March 2024
Accepted: 30 July 2024

Keywords:
Internal Combustion Engines
Turbo Charger
Virtual Reality
Computer Simulator

Abstract

Computer simulators are an integral part of the industry today. So that today most of the industries benefit from the useful facilities of this platform in order to accelerate the development of products and reduce production costs. In the meantime, the use of virtual reality simulators and interactive and comprehensive virtual environments in the design and layout of production lines, assembly stages and other production and training processes, increases the skills of employees, improves the level of knowledge and skills of newly hired operators, and It also reduces the costs of building and operating assembly halls. The present article was carried out to simulate an assembling station of the national EF7-TC engine in an engine production line in order to investigate the functioning of the assembly processes with the aim of improving the assembly processes and familiarizing the learners with the assembly process. The final output of virtual workstation simulation was reviewed and evaluated by a number of participants, and finally, users' opinions were collected by a 12-question questionnaire with 5 components, and the results were summarized by the method of frequency analysis and descriptive analysis, and for the reliability of the questionnaire from Alpha. Cronbach was used. The obtained results show that the sense of presence and interaction in the virtual environment of the production line of the assembly station was created favorably for the users, and they also found a proper understanding of the assembly process of Turbo charger parts and were mostly interested in experiencing the use of virtual reality technology again. Studies indicate that the simulation of assembly processes in the context of interactive virtual reality environment increases the skill level of users before experiencing that process in the real world.

Please cite this article using:
برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:
Amjadi M, Moosavian A. Virtual reality simulation of the national EF7-TC engine turbo charger assembly station: With the aim of developing capabilities in the future. Iranian Journal of Manufacturing Engineering. 2024 Jul 22;11(5):13-23. doi: 10.22034/IJME.2024.448088.1935 [In Persian]

۱– مقدمه

کاهش هزینه در احداث خطوط تولید و یا جایگزینی تجهیزات جدید، افزایش کیفیت و در نتیجه ارتقای محصول برخی از مواردی است که همواره در صنعت مورد توجه و جزو اهداف اصلی تولید محصول محسوب می شود. در سالیان اخیر پیشرفت تکنولوژی سبب شده تا روز به روز دستیابی به این مهم با بهبود چشمگیری مواجه باشد، به‌طوری‌که امروزه شرکت‌های بزرگ صنعتی حاضر به سرمایه‌گذاری در بخش فناوری‌های نوین هستند زیرا خروجی نهایی بهره‌مندی از این فناوری‌ها توانسته تا حد مطلوبی از خطاهای انسانی ناشی از عدم آگاهی یا دانش کارکنان شود که این امر خود باعث کاهش هزینه و جلوگیری از هدررفت زمان و حفظ جان نیروی انسانی می‌شود. افراد، دارایی‌ها و سیستم‌های مدیریت داده‌ها در یک کارخانه سنتی جدا از یکدیگر عمل می‌کنند و باید به صورت دستی هماهنگ و یکپارچه شوند [۱]. بیشتر نمونه‌های مجازی محیط‌های کار جایگزین نمونه‌های فیزیکی می‌شوند. روش‌های نوین قطعه سازی مانند ساخت مجازی به عنوان یک راه‌حل آموزشی نوآورانه که امکان آموزش اپراتورهای آینده یا بهبود کیفیت ارگونومیک محل کار را فراهم می‌کند. به‌منظور معرفی تکنیک‌های جدید و مؤثرتر تولید، ارائه شده است [۲]. دلیل آن کاهش هزینه‌های مورد نیاز برای توسعه نمونه اولیه واقعی ایستگاه کاری و همچنین پتانسیل محیط‌های کاری مجازی پیچیده برای انواع تغییر به منظور بررسی موقعیت‌های مختلف است. معمولاً چنین مکان‌های کاری که به‌عنوان برنامه‌های کاربردی واقعیت مجازی تعاملی ایجاد می‌شوند، شامل تصویرسازی هستند که با کمک سیستم‌ها و دستگاه‌های واقعیت مجازی پیشرفته کار می‌کنند. پیاده‌سازی تجهیزات فراگیر حس حضور کاربر را افزایش می‌دهد [۳]. پیاده‌سازی فناوری‌های واقعیت مجازی و واقعیت افزوده (VAR)[1] در فرایندهای تجاری است که می تواند به بهره وری بالاتر، ایمنی و هزینه‌های کمتر و از کار انداختن محصول دست یابد [۴]. سیستم‌های VR[2] در حال حاضر به راحتی برای فرایندهای آموزشی و پژورشی مورد استفاده قرار می گیرند [۵]. سیستم‌های VR راه‌حل‌هایی مبتنی بر رایانه هستند که امروزه نه تنها برای کمک به صنایع نظامی، پزشکی یا سرگرمی، بلکه برای فرایندهای تولید مورد استفاده قرار می‌گیرند [۶]. شبیه‌سازهای رایانه‌ای این امکان را فراهم می آورند تا قبل از تولید فیزیکی و یا ساخت نمونه اولیه یک محصول و یا حتی طراحی و ساخت یک محیط کاری واقعی، ابتدا در محیط مجازی از جنبه‌های مختلف مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته و در نهایت بعد از اطمینان از نحوه انجام فرایندها و بررسی عملکردها، خروجی نهایی با هزینه‌ای به مراتب کمتر و صرف زمان کوتاه‌تری صورت گیرد. شبیه‌سازی واقعیت مجازی با توجه به امکانات ویژه‌ای که در زمنیه‌های مختلف از جمله آموزش، طراحی، مدل‌سازی، آزمایش و بررسی در اختیار کاربران قرار می‌دهد، توانسته است که جایگاه ویژه‌ای در صنایع گوناگون مانند هوافضا، پزشکی، آموزش و پرورش، نظامی، فرهنگی، گردشگری و سایر حوزه‌ها پیدا کند. این موضوع سبب شده تا هر روزه جنبه‌های تازه‌ای در اخبار رسانه‌ها در زمنیه فناوری واقعیت مجازی ظهور کند و توسعه دهندگان این فناوری در تلاش هستند تا هرچه بهتر قابلیت‌های آن را کاربردی‌تر کرده و در اختیار کاربران مربوطه قرار دهند.

در خطوط تولید همواره خطرات گوناگونی جان کارکنان را تهدید می‌کند که در امان ماندن از این خطرات مستلزم دانش فنی و کافی در موضوع مورد نظر، آگاهی به مسائل ایمنی، بهداشت محیط کار و همچنین طرز استفاده صحیح از تجهیزات تحت اختیار می‌باشد. در عین حال VR، یک محیط آموزشی ایمن با حداقل خطرات درمانی ارائه می‌دهد. همچنین می‌تواند رفتار کاربران را بررسی و تجزیه و تحلیل کند یا بازخورد عملکرد و سرنخ‌هایی در مورد نحوه اصلاح رفتار ارائه دهد [۷]. با توجه به اینکه نیروی کار جز سرمایه‌های یک واحد تولیدی به حساب می‌آید و هرگونه آسیب به آنان و یا تجهیزات بار مالی فراوان و بعضا جبران ناپذیری را به همراه خواهد داشت، از این حیث استفاده از فناوری واقعیت مجازی برای آموزش و آزمایش کارکنان در محیط شبیه‌سازی شده قبل از ورود به محیط کار واقعی موجب درک بهتر کارکنان از وظایف محول شده است و در نتیجه جلوگیری از بروز مشکلات ناشی از عدم آگاهی کارکنان در استفاده از تجهیزات و دستورالعمل‌های در حین کار، ارزیابی عملکرد و نهایتا کاهش هزینه‌ها، بهبود تولید و کیفیت محصول خواهد شد. آزمایش‌ها در تولید می‌تواند بر اساس معیارهای ارزیابی متنوعی باشد. با ارزیابی طراحی چیدمان کارخانه، زمان فرایند یا سیستم امنیتی شروع می‌شود و به آزمایش‌های دقیق‌تر ویژگی‌های محصول مانند تغییر شکل‌پذیری اجزای مربوط به فرایند، ارگونومی، قابلیت دسترسی، دید یا استحکام فرایند کل‌نگر به طور ضمنی ارزیابی می‌شود [۸]. پلتفرم VR توسعه‌یافته همچنین می‌تواند برای آموزش تعاملی و جلسات شبیه‌سازی استفاده شود که به طور بالقوه می‌تواند کارایی را بهبود بخشد و به دستیابی به

[1] Virtual Reality and Augmented Reality
[2] Virtual Reality

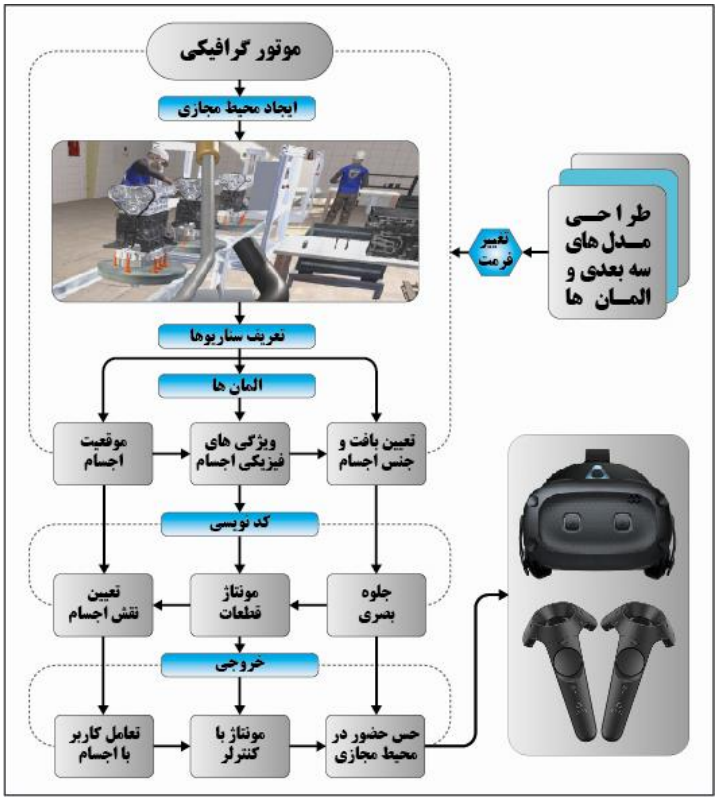
عملکرد کاری بهتر برای مجموعه‌های سیستم‌های پیچیده کمک کند [۹]. فناوری واقیعت مجازی باعث می‌شود تا کاربر در دنیایی شبیه‌سازی شده قرار بگیرد که این فضا خود امکاناتی در اختیار قرار می‌دهد که شاید تجربه آن در دنیای واقعی یا غیر ممکن باشد و یا برای تجربه آن موضوع نیاز به صرف هزینه و زمان و نفرات بیشتری باشد. با توجه به بررسی صورت گرفته در دوره‌های آموزشی مقاطع مختلف تحصیلی درک برخی موضوعات از نظر تئوری دشوار بوده و بعضی ممکن نیست و این درحالی است که فناوری واقعیت مجازی این امکان را فراهم می‌کند که بتوان سناریوهای مختلفی را برای بهبود درک فراگیران طراحی و پیاده سازی نمود تا به واسطه آن کاربر در محیطی شبیه به واقعیت قرار گرفته و بتواند تجربه و درک بهتری نسبت به حالت تئوری را تجربه کند. امروزه، گستره بسیار وسیعی از تجهیزات مختلف (دستگاه‌های لمسی، سیستم‌های ردیابی و تشخیص حرکت) وجود دارد که نه‌تنها امکان دستیابی به تصویر واقعی را در عینک‌های VR (دستگاه‌های نصب‌شده بر روی سر) فراهم می‌کند، بلکه به کاربر اجازه می‌دهد مستقیماً با عناصر داخل شبیه‌سازی، ارتباط برقرار کند و احساس غوطه‌وری را تشدید نماید [۱۰]. در نتیجه با ادغام سخت‌افزار خاص با یک برنامه VR، می‌توان یک محیط شبیه‌سازی تخصصی را به دست آورد که در آن آموزش با توجه به شرایط موجود در واقعیت انجام می‌شود. همچنین برنامه‌های آموزشی VR امکان افزایش اثربخشی انتقال و دسترسی به دانش رویه‌ای را به ویژه برای کارکنان بی‌تجربه فراهم می‌کند و این در حالی است که انجام مکرر فعالیت‌های آموزشی در VR و همچنین ارائه موقعیت‌های نامطلوب یا خطرناک بسیار آسان‌تر است. برنامه‌های کاربردی VR انعطاف‌پذیر و مقیاس‌پذیر نیز هستند و این به‌عنوان یک مزیت آشکار محسوب می‌شود. برنامه‌های آموزشی VR کاربرد خود را در بسیاری از شاخه‌های مختلف پیدا کرده‌اند؛ به‌طوری‌که آباته و همکاران [۱۱] سیستم ViRstperson را ارائه کردند که به آموزش‌هایی در حوزه خدمات فنی هواپیماها با استفاده از دستگاه‌های لمسی اختصاص یافته است. آنجلوف و همکاران [۱۲] یک سیستم VR آموزشی را برای شاخه‌ای از انرژی توصیف کردند. لین و همکاران [۱۳] یک برنامه VR برای یادگیری عملکرد یک ماشین‌ابزار کنترل عددی توسعه دادند، درحالی‌که وسفی و همکاران [۱۴] از یک محیط مجازی برای آموزش عملکرد یک تونل آیرودینامیکی در ناسا استفاده کردند. کریستوف ژیویکی و همکاران [۱۵] به نمونه اولیه سیستم واقعیت مجازی برای یادگیری عملکرد در یک کارخانه هوشمند بر اساس مفهوم کارخانه ۴,۰ پرداختند. دنی هررا و همکاران [۱۶] به موضوع یک سیستم آموزشی مجازی جهت یادگیری جوشکاری الکتریکی که در صنعت مونتاژ خودرو کاربرد دارد، پرداختند. رادو کامس و همکاران [۱۷] در مطالعات خود به یک روش گردش کار برای به‌دست آوردن مدل‌های سه‌بعدی دقیق بهینه شده برای محیط‌های آموزشی مختلف واقعیت مجازی پرداختند. گورکی و همکاران [۱۸] یک برنامه آموزشی VR را در محدوده پروژه VISTRA ارائه کردند. این راه حل به‌عنوان نمونه‌ای از فرایند مونتاژ قطعات خودرو با استفاده از تکنیک‌ها و روش‌های مختلف ارائه شده است. لازم به تأکید است که کل سیستم با یک پایگاه دانش و طراحی رابط کاربری با فرض تعامل بصری شناخته شده از بازی‌های رایانه‌ای (تعامل کاربر مبتنی بر بازی) غنی شده است.

طبق مطالعات صورت گرفته در روش‌های پیشین در مورد القای حس قرارگیری اشیاء در دست کاربر تنها با استفاده از کنترلر واقعیت مجازی و بدون نیاز به حسگرهای جانبی به صورت جامع مورد بررسی و آزمایش قرار نگرفته است؛ اما در این مقاله با استفاده از روش‌های شخصی سازی توابع و امکانات، شکل نحوه قرار گرفتن جسم در دست کاربر هنگام تعامل با شی مورد نظر ایجاد شد تا کاربر هرچه بیشتر حس حضور و غوطه‌وری را تجربه کند.

۲- ابزار و روش تحقیق

۲-۱- معماری سیستم در واقعیت مجازی

ابتدا بر اساس مطالعات صورت گرفته در مورد چگونگی نحوه همبندی قطعه پرخوران موتور ملی EF7-TC در ایستگاه کاری و امکان‌سنجی به منظور پیاده‌سازی فرایندهای همبندی قطعه مذکور در یک محیط کاری مجازی شبیه‌سازی شده در بستر واقعیت مجازی، اطلاعات لازم جمع‌آوری و مورد ارزیابی قرار گرفت؛ سپس یک نقشه راه در قالب یک فلوچارت به عنوان معماری سیستم شبیه‌سازی در واقعیت مجازی تهیه و تنظیم گردید. شکل ۱ مراحل اجرای کار و انجام فرایندهای شبیه‌سازی را نشان می‌دهد.



شکل ۱ معماری سیستم واقعیت مجازی

۲–۲– طراحی و مدل سازی اجزای محیط مجازی

بعد از جمع آوری اطلاعات مورد نیاز در فاز اول، نوبت به آماده‌سازی اجزای تشکیل دهنده محیط شبیه‌سازی واقعیت مجازی رسید. در این مرحله یک کارخانه مجازی مشتمل بر یک سالن تولید موتور درون‌سوز مشابه با سالن اصلی در واقعیت طراحی و سپس به مدل‌سازی اجزای تشکیل دهنده ایستگاه همبندی قطعه پرخوران موتور ملی پرداخته شد. با توجه به نیاز و در نظر گرفتن محدودیت‌های سخت‌افزاری در بحث پردازش محیط و به منظور دستیابی به یک خروجی نسبتاً روان در زمان اجرای فرایند در سربند واقعیت مجازی، تا حد امکان از مدل‌سازی اجزای نامرتبط با فرایند همبندی قطعه پرخوران موتور درون‌سوز در ایستگاه کاری مربوطه خوداری گردید و صرفا اجزای اصلی جهت اجرای فرایند مدل‌سازی و مورد استفاده قرار گرفت. در این میان برخی از مدل‌های اصلی از جمله مجموعه قطعات پرخوران موتور ملی و اجزای اصلی موتور EF7-TC قبلا توسط اداره طراحی شرکت ایپکو مدل‌سازی گشته بود. به منظور سازگاری هرچه بهتر مدل‌ها با محیط مجازی و انتقال آن‌ها به موتور گرافیکی یونیتی، فرمت خروجی مدل‌های سه بعدی که برخی در نرم‌افزارهای مهندسی طراحی و مدل‌سازی شده بود و برخی دیگر در سایر نرم فزارهای مدل‌سازی، همگی با یک پسوند یکسان FBX به بخش محیط موتور گرافیکی انتقال پیدا کرد.

۲–۳– ایجاد محیط مجازی در موتور گرافیکی

به منظور پیاده‌سازی ایستگاه کاری مجازی همبندی قطعه پرخوران موتور درون‌سوز در یک محیط شبیه‌سازی واقعیت مجازی از یک موتور گرافیکی به نام یونیتی استفاده گردید. تمامی طرح‌ها و مدل‌هایی که در فاز دوم تهیه شده بود به محیط موتور گرافیکی انتقال داده شد. سپس با توجه به نقش هر یک از اجزای تشکیل دهنده سالن تولید موتور و ایستگاه مونتاژ، سناریوهایی طبق دستورالعمل همبندی قطعه پرخوران موتور ملی EF7-TC تعریف و نقش هر یک از اجزا در محیط مجازی مشخص گردید. بعد از تعریف سناریوهای مخصوص برای هر کدام از المان‌های موجود در صحنه، محل قرارگیری صحیح اجسام در محیط مجازی، ویژگی‌های فیزیکی و همچنین ویژگی‌های ظاهری مثل جنس مواد تشکیل دهنده و بافت ظاهری المان‌ها طراحی و آماده سازی شد. شکل ۲ نمایی از محیط مجازی ایجاد شده در موتور گرافیکی را نشان می‌دهد.

شکل ۲ نمایی از محیط مجازی ایجاد شده در موتور گرافیکی

۲-۴- کدنویسی

برای اینکه فرایندهای همبندی در ایستگاه کاری مجازی مشابه با ایستگاه واقعی باشد و همچنین حس حضور در محیط مجازی و غوطه‌وری برای کاربر فراهم گردد، نیاز به تعریف توابع مختلفی برای هر یک از بخش‌های محیط واقعیت مجازی می‌باشد. از این جهت بعد از تعیین نقش هر یک از اجزای موجود در صحنه، برنامه نویسی مخصوص هر فرایند در محیط ویژوال استودیو به زبان سی شارپ انجام شد. این توابع به منظور تعامل کاربر با محیط مجازی و اشیاء موجود محیط مجازی بود که شامل حرکت در محیط، برداشتن و جابجا کردن اجسام در محیط به نحوی که کاربر واقعا حس حضور در یک محیط مشابه با واقعیت را تجربه کند. برای تجربه هرچه بهتر کاربر از حضور در محیط واقعیت مجازی، برخلاف پژوهش‌های صورت گرفته در گذشته، در این روش با استفاده از قابلیت‌های محیط گرافیکی توابع تعامل با اجسام موجود در صحنه طوری برنامه نویسی و پیاده‌سازی گردید که به طور مثال زمانی که کاربر یک مهره و یا پیچ را از داخل پالت برمی‌دارد، نوع چیدمان انگشتان دست کاربر به نوعی باشد که واقعا احساس قرار گرفتن مهره یا پیچ در دست خود را تجربه کند و این در حالی است که برای القای این حس از هیچ حسگر لمسی و جانبی دیگر استفاده نشده و تنها از کنترلرهای استاندارد خود سربند واقیعت مجازی استفاده گردید. شکل ۳ نحوه قرار گرفتن مهره در دست کاربر در محیط واقعیت مجازی را نشان می دهد.

شکل ۳ نحوه قرار گرفتن مهره در دست کاربر در محیط کاری مجازی

۳- نتایج و بحث

پس از آن که کدنویسی فرایندها طبق سناریوهای از قبل تعریف شده انجام شد، نوبت به بررسی و رفع خطا در صورت موجود بودن می‌رسد. در مرحله آزمایش چندین بار و البته مرحله به مرحله فرایندهای مختلف مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت؛ در نهایت بعد از اصلاحات لازم خروجی نهایی برای استفاده و آزمایش نهایی توسط کاربران تهیه گردید. برای نحوه بازخورد کابران از یک پرسشنامه با ۵ مؤلفه و جهت ارزیابی از روش تحلیل فراوانی و تحلیل توصیفی و به منظور پایایی پرسشنامه از آلفای کرونباخ استفاده گردید. لازم به ذکر است که تعدادی از کاربران به دلیل کمبود وقت موفق به تکمیل پرسشنامه نشدند و بازخورد خود را صرفا به صورت شفاهی اعلام نموده و عمدتا رضایت خود نسبت به استفاده از شبیه‌سازی واقعیت مجازی ایستگاه همبندی قطعه پرخوران موتور ملی EF7-TC را ابراز کردند. شکل۴ نمایی از انجام فرایند همبندی در محیط مجازی توسط شرکت کننده را نشان می دهد.

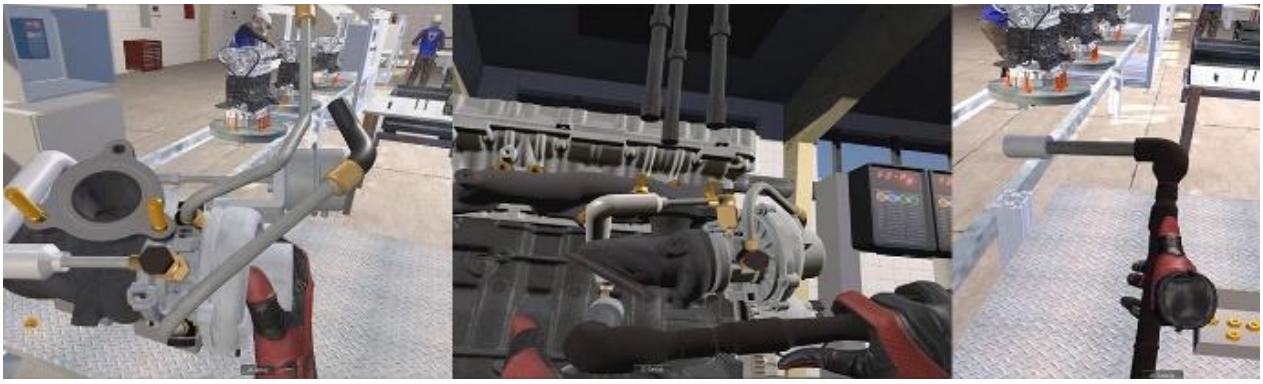
شکل ۴ نمایی از همبندی در محیط مجازی توسط شرکت کننده

اما قبل از استفاده کاربران از شبیه‌سازی واقعیت مجازی، ابتدا مختصری توضیحات در رابطه با فناوری واقعیت مجازی، قابلیت‌های آن و نحوه استفاده از سربند واقعیت مجازی و کنترلرها به آن‌ها ارائه می‌گردد. در این آزمایش از کابران که خواسته شد تا چالش‌هایی که در ذیل به آن‌ها اشاره شده را انجام داده و در نهایت فرایند همبندی قطعه پرخوران موتور درون‌سوز ملی EF7-TC را در محیط مجازی شبیه‌سازی شده انجام داده و فرایند را تکمیل کنند. چالش‌ها به شرح ذیل می‌باشد.

- حرکت در محیط مجازی و قرار گرفتن در موقعیت مناسب تعیین شده
- برداشتن قطعه پرخوران موتور درون‌سوز از روی میز طبق دستورالعمل همبندی
- حرکت به سمت موتور قرار گرفته برروی ریل
- قرار دادن قطعه در محل نصب و تثبیت آن با مهره نسوز مخصوص
- قرار دادن پیچ مخصوص در محل اتصال
- فشردن دکمه دستگاه بوکس سقفی جهت سفت شدن خودکار پیچ‌ها
- استفاده از بوکس برقی دستی جهت سفت کردن پیچ‌های ورودی و خروجی روغن

با توجه به سناریوهای بالا، کاربر ابتدا باید با استفاده از کنترلرهای واقعیت مجازی و راهنمایی که قبلا صورت گرفته بود به سمت موقعیت مناسب که همان ایستگاه همبندی قطعه پرخوران موتور درون‌سور می‌باشد، حرکت کند؛ سپس طبق مراحل تعیین شده در برگه دستورالعمل همبندی قطعات موتور EF7-TC، به سمت میزی که مجموعه پرخوران موتور روی آن قرار دارد رفته و به کمک دکمه‌هایی روی کنترلر که به منظور برداشتن اجسام و تعامل با اشیای موجود در صحنه برای آن‌ها کدنویسی صورت گرفته بود، قطعه

پرخوران را از روی میز برداشته و به محل نصب آن روی موتور انتقال دهد. بعد از انتقال قطعه به محل نصب، بایستی پیچ‌های متصل به قطعه را از داخل سوراخ‌های تعبیه شده بر روی منیفولد خروجی به منظور اتصال قطعه پرخوران عبور دهد تا قطعه مذکور به صورت موقت در سرجای خود قرار گیرد؛ سپس با توجه به مراحل دستورالعمل، کاربر باید از داخل پالت قرار گرفته بر روی میز دو مهره جهت تثبیت قطعه پرخوران بر محل نصب خود برداشته و با متصل کردن آن‌ها به پیچ مخصوص، این عمل را انجام می‌داد. بعد از آن نوبت به پیچ مخصوص اتصال پرخوران به منیفولد دود می‌رسد که برای این منظور نیز کاربر بایستی از داخل پالت پیچ‌ها، آن را برداشته و در محل نصب خود قرار دهد. جهت سفت شدن پیچ و مهره‌های مذکور، مطابق ایستگاه واقعی در خط تولید موتور درونسوز EF7-TC، یک دستگاه بوکس سقفی طراحی و شبیه‌سازی گردید. زمانی که کاربر دکمه تعبیه شده بر روی استند را بفشارد، بوکس سقفی به سمت محل اتصال قطعه حرکت کرده و به صورت خودکار پیچ و دو مهره نسوز را در سرجای خود سفت می کند. در پایان نوبت به سفت کردن پیچ‌های ورودی و خروجی روغن می‌رسد که جای آن‌ها بر روی بلوک سیلندر می‌باشد. برای سفت کردن این دو پیچ یک بوکس برقی دستی بر روی میز قرار دارد که کاربر با استفاده از آن می‌تواند به سفت کردن پیچ‌ها اقدام کند. برای تمامی فرایندهای ذکر شده کدهای مخصوصی نوشته شد که هر کدام در زمان مناسب و با توجه به رفتار کاربر عمل می‌کند. شبیه‌سازی این سناریوها و امکان ایجاد تعامل کاربر با محیط و اشیا حاضر در صحنه، موجب می‌شود تا کاربر درک مناسبی از فرایندهای تولید و همبندی در ایستگاه‌های کاری واقعی داشته باشد، حتی اگر قبلا آن فرایند را تجربه نکرده باشد. شکل ۵ نمایی از انجام برخی فرایندها در محیط شبیه‌سازی واقعیت مجازی را نشان می دهد.



شکل ۵ نمایی از برخی فرایندها در محیط واقعیت مجازی

به منظور آزمایش و دریافت بازخورد کاربران بعد از تجربه استفاده از شبیه‌سازی فرایند همبندی قطعه پرخوران موتور ملی EF7-TC در محیط واقعیت مجازی، از یک پرسشنامه ۱۲ سؤالی با ۵ مؤلفه استفاده گردید. مؤلفه‌های مورد ارزیابی در پرسشنامه شامل موارد زیر می باشد:

- میزان آشنایی و تجربه استفاده از فناوری واقعیت مجازی
- میزان غوطه وری، احساس حضور و تعامل با محیط مجازی
- میزان راحتی استفاده از تجهیزات واقعیت مجازی و تمایل به استفاده مجدد از واقعیت مجازی
- مدت زمان استفاده از واقعیت مجازی برای کاربر
- اهمیت بهداشت در زمان استفاده از تجهیزات واقعیت مجازی

در رابطه با مؤلفه اول که در رابطه با میزان آشنایی کاربران قبل از استفاده از شبیه‌سازی واقعیت مجازی ایستگاه همبندی قطعه پرخوران موتور ملی و همچنین تعداد دفعات تجربه کاربران از فناوری واقعیت مجازی را شامل می‌شود، در سه پرسش نظرات کاربران دریافت و مورد ارزیابی قرار گرفت که جدول ۱ سؤالات مربوطه را نشان می‌دهد. نتیجه ارزیابی پرسشنامه از نظر پایایی، میزان آلفای کرونباخ مرتبط با این مؤلفه مطابق با جدول ۲ عدد ۰،۸۳۵ را نشان می دهد.

جدول ۱ نمایی از برخی فرایندها در محیط واقعیت مجازی

	میانگین	انحراف استاندارد	تعداد
میزان آشنایی شما با فناوری واقعیت مجازی قبل تجربه امروز	2.4000	.69921	10
میزان آشنایی شما با تجهیزات واقعیت مجازی قبل از تجربه امروز	2.1000	.73786	10
تجربه استفاده از فناوری واقعیت مجازی قبل از تجربه امروز	1.4000	.69921	10

جدول ۲ میزان آلفای کرونباخ پایایی پرسشنامه

آمار قابلیت اطمینان	
تعداد از آیتم‌ها	آلفای کرونباخ
3	.835

برای اطلاع از نحوه باز خورد کاربران در رابطه با میزان غوطه‌وری و حس حضور در محیط مجازی شبیه‌سازی شده و اینکه تا چه حد بحث تعامل با محیط واقعیت مجازی و اشیاء موجود در آن برای آن‌ها میسر گردید، از ۴ پرسش مجزا برای این منظور استفاده شد. درصد فراوانی پاسخ‌ها به یک نمونه از سوالات این مؤلفه در جدول شماره ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳ درصد فراوانی پاسخ ها

سوال: از نظر شما میزان تعامل با محیط و اشیاء درون صحنه در حین استفاده از واقعیت مجازی چگونه بود؟					
		فراوانی	درصد	درصد معتبر	درصد تجمعی
موجود	متوسط	3	30.0	30.0	30.0
	خوب	4	40.0	40.0	70.0
	خیلی خوب	3	30.0	30.0	100.0
	کل	10	100.0	100.0	

نتایج بدست آمده از تحلیل فراوانی پاسخ‌ها بیان‌گر میزان غوطه‌وری و تعامل با محیط واقعیت مجازی تا حد قابل قبولی برای کاربران می‌باشد. با توجه به محدودیت فضای مقاله حاضر صرفا نتایج یک پرسش به عنوان نمونه در جدول ۳ نشان داده شده است. همچنین نتیجه ارزیابی پایایی این مؤلفه نیز طبق جدول شماره ۴ عدد آلفای کرونباخ ۰،۸۰۲ را نشان میدهد.

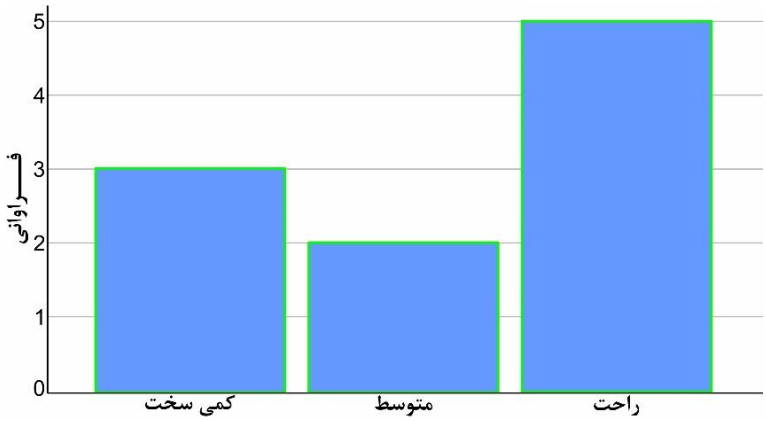
جدول ۴ میزان آلفای کرونباخ پایایی پرسشنامه

آمار قابلیت اطمینان	
تعداد از آیتم‌ها	آلفای کرونباخ
4	.802

مؤلفه دیگری که در پرسشنامه مدنظر قرار گرفت مربوط به میزان سهلوت در استفاده از تجهیزات فناوری واقعیت مجازی و همچین تمایل کاربران به تجربه دوباره آن بود. طبق جدول شمار ۵ نتایج تحلیل فراوانی در خصوص این مؤلفه نشان از درصد بالای تمایل کاربران به استفاده از فناوری واقعیت مجازی و تجربه مجدد آن می‌باشد؛ به‌طوری که ۸۰ درصد شرکت کنندگان از تمایل زیاد خود برای استفاده دوباره از فناوری واقعیت مجازی را اعلام نمودند. در رابطه با میزان راحتی استفاده از تجهیزات فناوری واقعیت مجازی نیز نیمی از شرکت کنندگان به راحتی استفاده از تجهیزات اشاره داشتند، ۲۰ درصد آن‌ها گزینه متوسط و ۳۰ درصد مابقی کمی سخت را در پاسخ به پرسش این مؤلفه به ثبت رسانده‌اند. شکل شماره ۶، درصد فراوانی پاسخ شرکت کنندگان را نشان می‌دهد.

جدول ۵ تحلیل فراوانی تمایل به استفاده از واقعیت مجازی

سوال: میزان تمایل شما به استفاده مجدد از فناوری واقعیت مجازی					
		فراوانی	درصد	درصد معتبر	درصد تجمعی
موجود	متوسط	2	20.0	20.0	20.0
	زیاد	8	80.0	80.0	100.0
	کل	10	100.0	100.0	



شکل ۶ درصد فراوانی پاسخ به استفاده از تجهیزات واقعیت مجازی

یکی از مؤلفه‌های مهمی که در بحث استفاده از تجهیزات واقعیت مجازی و قرار گرفتن در محیط واقعیت مجازی باید به آن توجه نمود، مدت زمان استفاده از سربند واقعیت مجازی بر روی سر و حضور داشتن در محیط واقعیت مجازی می‌باشد؛ چرا که قرار گرفتن بیش از حد در محیط واقعیت مجازی، مخصوصاً برای کسانی اولین بار از سربند واقعیت مجازی استفاده می‌کنند، موجب کمی سردرد و سرگیجه می‌شود. در این خصوص نیز نظر شرکت کنندگان مورد تحلیل و ارزیابی قرار گرفت که در این میان ۶۰ درصد شرکت کنندگان مدت زمان ۱۰ دقیقه، ۲۰ درصد آن‌ها ۲۰ دقیقه و بقیه شرکت کنندگان ۳۰ دقیقه را برای استفاده از سربند واقعیت مجازی را با توجه به تجربه‌ای که کسب کرده بودند، در پاسخ به پرسش مربوطه پاسخ دادند. جدول شماره ۶ نمونه سوال و نتایج را نشان می‌دهد.

جدول ۶ تحلیل فراوانی مدت زمان استفاده از واقعیت مجازی

سوال: مدت زمان استفاده از سربند واقیعت مجازی و قرار داشتن در محیط شبیه‌سازی حدودا چند دقیقه می‌باشد؟					
		فراوانی	درصد	درصد معتبر	درصد تجمعی
موجود	۱۰ دقیقه	6	60.0	60.0	60.0
	۲۰ دقیقه	2	20.0	20.0	80.0
	۳۰ دقیقه	2	20.0	20.0	100.0
	کل	10	100.0	100.0	

اما موضوع پر اهمیت دیگری که متاسفانه در زمان استفاده از تجهیزات واقعیت مجازی به آن کمتر توجه می‌شود، بحث رعایت بهداشت است؛ به‌طوری‌که امروزه با فراگیر شدن استفاده از سربندهای واقعیت مجازی متاسفانه در بسیاری از مراکز تفریحی و توریستی استفاده از سربندهای واقعیت مجازی برای عموم بدون استفاده از پدهای بهداشتی یک‌بار مصرف مخصوص صورت برای کاربران مشهود است. با توجه به اهمیت موضوع بهداشت در زمان استفاده از تجهیزات فناوری واقعیت مجازی، نظر کاربران در رابطه با

این مؤلفه مهم نیز در پرسشنامه مورد تحلیل و ارزیابی قرار گرفت که خوشبختانه اکثر شرکت کنندگان از گزینه اهمیت زیاد این موضوع استفاده کردند و تنها یک نفر از شرکت کنندگان به متوسط بودن اهمیت بهداشت در زمان استفاده از تجهیزات واقعیت مجازی اشاره کرده است. نتیجه پاسخ شرکت کنندگان به این موضوع نشان از این دارد که باید در زمان استفاده از تجهیزات واقعیت مجازی که به صورت مشترک بین کاربران مورد استفاده قرار می‌گیرد، مانند سربند واقعیت مجازی که مستقیما با صورت کاربر در تماس است، به ماسک‌های یکبار مصرف مخصوص صورت مجهز گردد تا در زمان استفاده شخص دیگر ماسک تعویض شده و از یک ماسک جدید برای کاربر بعدی استفاده گردد. جدول شماره ۷ نتایج مؤلفه بهداشت را نشان می‌دهد.

جدول ۷ تحلیل فراوانی مدت زمان استفاده از واقعیت مجازی

سوال: به نظر شما بهداشت فردی و رعایت بهداشت عمومی در هنگام استفاده از تجهیزات واقیعت مجازی تا چه میزان اهمیت دارد؟

		فراوانی	درصد	درصد معتبر	درصد تجمعی
موجود	متوسط	1	10.0	10.0	10.0
	زیاد	9	90.0	90.0	100.0
	کل	10	100.0	100.0	

۴- نتیجه گیری

مقاله حاضر با هدف ایجاد یک شبیه‌سازی از ایستگاه همبندی قطعه پرخوران موتور ملی EF7-TC در محیط واقعیت مجازی به منظور بررسی قابلیت‌های فناوری واقعیت مجازی و جهت توسعه و بهره‌مندی از ظرفیت‌های مفید این فناوری صورت گرفت که در نهایت خروجی تهیه شده در اختیار عده‌ای از شرکت کنندگان جهت کسب تجربه فرایندهای همبندی ایستگاه مذکور در محیط واقعیت مجازی قرار گرفت و از سوی دیگر توسط یک پرسشنامه چند مؤلفه‌ای نظرات کاربران و پاسخ‌ها مورد تحلیل و ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل نشان می‌دهد که کاربران با تجربه قرارگیری در محیط کاری مجازی و انجام فرایندهای همبندی یک قطعه در یک محیط کار مجازی مطابق با سناریوها و دستورالعمل‌های همبندی از قبل تعریف شده، از نحوه همبندی قطعه پرخوران موتور ملی EF7-TC با وجود اینکه قبلا آن فرایند را به صورت واقعی تجربه نکرده بودند، درک مناسبی پیدا کرده و همچنین تمایل کاربران به استفاده مجدد از فناوری واقعیت مجازی گویای این مطلب است که انجام فرایندهایی که آموزش و یا درک آن‌ها در دنیای واقعی کمی حوصله بر و کسل کننده باشد، در محیط واقعیت مجازی با توجه به اینکه که سناریوها بصورت بازی‌های رایانه‌ای ارائه می‌شود، کاربران رقبت بیشتر نسبت به انجام و تکمیل فرایندها در آن محیط را داشته باشند. همچنین با توجه به توسعه روزافزون فناوری‌های نوین و فراگیر شدن استفاده از شبیه‌سازهای رایانه‌ای و بهره‌وری مناسب به نسبت هزینه تجهیزات شبیه‌سازی واقعیت مجازی، انتظار می‌رود که فرهنگ‌سازی مناسب در جهت بهره‌مندی از این تکنولوژی در واحدهای مختلف صنعتی، مخصوصا در بخش آموزش کارکنان تازه استخدام شده جهت ارتقاء سطح مهارت آموزی برای جوامع مختلف از جمله دانشجویی و دانش‌آموزی زمینه‌های لازم فراهم گردد؛ زیرا که تحقیقات انجام شده در زمینه واقعیت مجازی توسط سایر محققان و همچنین مقاله حال حاضر بیانگر پتانسیل بالای فناوری واقعیت مجازی در استفاده از جنبه‌های مختلفی همچون شبیه‌سازی خطوط تولید قبل از احداث به صورت واقعی، ارتقاء خطوط تولید برای تولید محصول جدید، بررسی و آزمایش انواع فرایندهایی که امکان تحلیل و آزمایش آن‌ها در دنیای واقعی یا غیر ممکن و یا بسیار هزینه‌بر می‌باشد. در پایان می‌توان به این نکته اشاره نمود که در بسیاری از مواقع استفاده از شبیه‌سازهای رایانه‌ای همچون شبیه‌سازی واقعیت مجازی فرایندها، موجب کاهش هزینه‌ها در دنیای واقعی خواهد شد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مراتب تشکر و قدردانی خود را از شرکت تحقیق، طراحی و تولید موتور ایران خودرو (ایپکو) به موجب حمایت‌های همه جانبه مالی و معنوی از این پژوهش اعلام می‌دارند.

References

[1] Hovanec M, Korba P, Vencel M, Al-Rabeei S. Simulating a digital factory and improving production efficiency by using virtual reality technology. Applied Sciences. 2023 Apr 20;13(8):5118. doi: 10.3390/app13085118

[2] Soori M, Arezoo B, Dastres R. Advanced virtual manufacturing systems: A review. Journal of Advanced Manufacturing Science and Technology. 2023. doi: 10.51393/j.jamst.2023009

[3] Grajewski D, Górski F, Hamrol A, Zawadzki P. Immersive and haptic educational simulations of assembly workplace conditions. Procedia Computer Science. 2015 Jan 1;75:359-68. doi: 10.1016/j.procs.2015.12.258

[4] Balco P, Bajzík P, Škovierová K. Virtual and augmented reality in manufacturing companies in Slovakia. Procedia Computer Science. 2022 Jan 1;201:313-20. doi: 10.1016/j.procs.2022.03.042

[5] Langley A, Lawson G, Hermawati S, D'cruz M, Apold J, Arlt F, Mura K. Establishing the usability of a virtual training system for assembly operations within the automotive industry. Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries. 2016 Nov;26(6):667-79. doi: 10.1002/hfm.20406

[6] Seidel RJ, Chatelier PR, editors. Virtual reality, training's future?: perspectives on virtual reality and related emerging technologies. Springer Science & Business Media; 1997 Apr 30.

[7] Rizzo A, Koenig ST. Is clinical virtual reality ready for primetime?. Neuropsychology. 2017 Nov;31(8):877. doi: 10.1037/neu0000405

[8] Wolf B, Kind S, Stark R. Smart Hybrid Prototyping in manual automotive assembly validation. Procedia CIRP. 2020 Jan 1;88:82-7. doi: 10.1016/j.procir.2020.05.015

[9] Noghabaei M, Asadi K, Han K. Virtual manipulation in an immersive virtual environment: Simulation of virtual assembly. InASCE International Conference on Computing in Civil Engineering 2019 2019 Jun 13 (pp. 95-102). Reston, VA: American Society of Civil Engineers.

[10] Grajewski D, Górski F, Zawadzki P, Hamrol A. Application of virtual reality techniques in design of ergonomic manufacturing workplaces. Procedia Computer Science. 2013 Jan 1;25:289-301. doi: 10.1016/j.procs.2013.11.035

[11] Abate AF, Guida M, Leoncini P, Nappi M, Ricciardi S. A haptic-based approach to virtual training for aerospace industry. Journal of Visual Languages & Computing. 2009 Oct 1;20(5):318-25. doi: 10.1016/j.jvlc.2009.07.003

[12] Angelov AN, Styczynski ZA. Computer-aided 3D virtual training in power system education. In2007 IEEE Power Engineering Society General Meeting 2007 Jun 24 (pp. 1-4). IEEE. doi: 10.1109/PES.2007.386078

[13] Lin F, Ye L, Duffy VG, Su CJ. Developing virtual environments for industrial training. Information sciences. 2002 Jan 1;140(1-2):153-70. doi: 10.1016/S0020-0255(01)00185-2

[14] Wasfy A, Wasfy T, Noor A. Intelligent virtual environment for process training. Advances in Engineering Software. 2004 Jun 1;35(6):337-55. doi: 10.1016/j.advengsoft.2004.04.005

[15] Żywicki K, Zawadzki P, Górski F. Virtual reality production training system in the scope of intelligent factory. InIntelligent Systems in Production Engineering and Maintenance–ISPEM 2017: Proceedings of the First International Conference on Intelligent Systems in Production Engineering and Maintenance ISPEM 2017 1 2018 (pp. 450-458). Springer International Publishing. doi: 10.1007/978-3-319-64465-3_43

[16] Herrera DF, Bolívar Acosta S, Quevedo WX, Balseca JA, Andaluz VH. Training for bus bodywork in virtual reality environments. InAugmented Reality, Virtual Reality, and Computer Graphics: 5th International Conference, AVR 2018, Otranto, Italy, June 24–27, 2018, Proceedings, Part I 5 2018 (pp. 67-85). Springer International Publishing. doi: 10.1007/978-3-319-95270-3_5

[17] COMES R, NEAMȚU C, GRAJDEANU A, Stefan BO. Virtual reality training system based on 3D scanned automotive parts. ACTA TECHNICA NAPOCENSIS-Series: APPLIED MATHEMATICS, MECHANICS, and ENGINEERING. 2021 Apr 7;64(1).

[18] Gorecky D, Khamis M, Mura K. Introduction and establishment of virtual training in the factory of the future. International Journal of Computer Integrated Manufacturing. 2017 Jan 2;30(1):182-90. doi: 10.1080/0951192X.2015.1067918