

SIMULACIJA PROIZVODNEGA PROCESA Z UPORABO ODPR TOKODNEGA PROGRAMA BLENDER KOT ORODJE ZA USPOSABLJANJE V INDUSTRIJI

ŽAN KERŠIČ AHLIN, BORUT WERBER

Univerza v Mariboru, Fakulteta za organizacijske vede, Kranj, Slovenija
zan.kersic1@student.um.si, borut.werber@um.si

Prispevek obravnava uporabo 3D-simulacij kot sodobnega pristopa k usposabljanju zaposlenih v industriji. Namen raziskave je bil prikazati, kako je mogoče z uporabo odprtokodnega programa Blender razviti realistično simulacijo proizvodnega procesa, ki izboljša razumevanje delovnih postopkov, poveča varnost pri delu in zmanjša stroške izobraževanja. Teoretični del obravnava značilnosti odprtokodne programske opreme, razvoj in zmogljivosti programa Blender ter vlogo 3D-simulacij v industrijskem izobraževanju. V empiričnem delu je predstavljena izdelava 3D-animacije sestave električne polnilnice ter analiza njene uporabnosti v primerjavi s klasično tehnično dokumentacijo. Ugotovitve kažejo, da 3D-simulacije omogočajo boljše razumevanje delovnih nalog, večjo ponovljivost učnih postopkov in zmanjšanje napak. Prispevek potrjuje, da odprtokodna orodja predstavljajo učinkovito podporo sodobnemu industrijskemu usposabljanju.

DOI

[https://doi.org/
10.18690/um.fov.3.2026.23](https://doi.org/10.18690/um.fov.3.2026.23)

ISBN

978-961-299-124-1

Ključne besede:

3D-simulacija,
Blender,
usposabljanje za industrijo,
odprtokodna programska
oprema,
izobraževanje,
proizvodni proces



Univerzitetna založba
Univerze v Mariboru

DOI
[https://doi.org/
10.18690/um.fov.3.2026.23](https://doi.org/10.18690/um.fov.3.2026.23)

ISBN
978-961-299-124-1

Keywords:
3D simulation,
blender,
industrial training,
open-source software,
education,
manufacturing process

SIMULATION OF A MANUFACTURING PROCESS AS A TOOL FOR INDUSTRIAL TRAINING USING THE OPEN-SOURCE SOFTWARE BLENDER

ŽAN KERŠIČ AHLIN, BORUT WERBER

University of Maribor, Faculty of Organizational Sciences, Kranj, Slovenia
zan.kersic1@student.um.si, borut.werber@um.si

The paper addresses the use of 3D simulations as a modern instructional approach in industrial employee training. The aim of the research was to demonstrate how a realistic simulation of a manufacturing process can be developed using the open-source software Blender, improving the understanding of work procedures, increasing workplace safety, and contributing to reduced training costs. The theoretical part of the paper discusses the characteristics of open-source software, the development and capabilities of Blender software, and the role of 3D simulations in industrial education. The empirical part presents the creation of a 3D animation of an electric charging station assembly and an analysis of its usability compared to traditional technical documentation. The findings indicate that 3D simulations enable better understanding of work tasks, greater learning repeatability, and a reduction in errors. The paper confirms that open-source tools provide effective support for modern industrial training.



University of Maribor Press

1 Uvod

Učinkovito usposabljanje zaposlenih je eden ključnih dejavnikov uspešnega delovanja sodobnih industrijskih organizacij (Serrano et al., 2016; Radianti et al., 2020). Zaradi nenehnega tehnološkega razvoja, avtomatizacije in večje kompleksnosti proizvodnih procesov se zahteve po znanju in usposobljenosti zaposlenih nenehno povečujejo, kar od organizacij zahteva uvajanje novih, prilagodljivih oblik izobraževanja (Chiang & Qin, 2018). Neustrezno usposobljeni delavci lahko povzročijo napake v proizvodnji, zastoje delovnih procesov ter povečano tveganje za poškodbe, kar neposredno vpliva na stroške in konkurenčnost podjetja (Borsci et al., 2015).

V industrijski praksi se še vedno uporabljajo tradicionalni pristopi k usposabljanju, kot so mentorstvo na delovnem mestu, pisna navodila in priročniki. Čeprav ti pristopi omogočajo neposreden stik z realnim delovnim okoljem, imajo tudi pomembne omejitve, zlasti pri prenosu kompleksnih znanj in standardizaciji učnega procesa (Sampaio & Henriques, 2010). Usposabljanje v proizvodnji je lahko povezano z varnostnimi tveganji, kakovost prenosa znanja pa je pogosto odvisna od izkušenj posameznega mentorja (Borsci et al., 2015). Pisna dokumentacija praviloma ne omogoča zadostne prostorske predstave, kar otežuje razumevanje zapletenih postopkov sestave in delovanja naprav (Vergara et al., 2015).

Razvoj digitalnih tehnologij omogoča uvajanje sodobnejših učnih metod, med katerimi imajo 3D-simulacije in virtualna resničnost pomembno vlogo (Freina & Ott, 2015). S pomočjo vizualnih in dinamičnih prikazov je mogoče proizvodne procese predstaviti jasno in pregledno, še preden zaposleni stopijo v dejansko delovno okolje. To prispeva k boljšemu razumevanju postopkov in hitrejšemu učenju (Mujber et al., 2004; Radianti et al., 2020). Takšen pristop zmanjšuje možnost napak, povečuje varnost ter omogoča učenje v lastnem tempu, saj lahko uporabniki postopke večkrat ponovijo brez tveganja za poškodbe ali materialno škodo (Makransky et al., 2019).

Poleg tega 3D-simulacije omogočajo večjo dostopnost učnih vsebin, saj so digitalni materiali lahko na voljo ne glede na čas in lokacijo bodisi v intranetu ali na medmrežju (Radianti et al., 2020). To je posebej pomembno v podjetjih z več izmenami ali razpršenimi proizvodnimi enotami, kjer je klasično usposabljanje

pogosto organizacijsko zahtevno (Vergara et al., 2015). Digitalne učne vsebine je mogoče tudi hitreje posodabljeni v primeru sprememb proizvodnih postopkov ali tehnologije, kar dolgoročno prispeva k večji učinkovitosti in aktualnosti izobraževanja zaposlenih (Chiang & Qin, 2018).

Namen prispevka je predstaviti uporabo odprtokodnega programa Blender za simulacijo proizvodnega procesa kot podporo industrijskemu usposabljanju. Prispevek temelji na raziskovalnem delu, v okviru katerega je bila razvita 3D-animacija sestave električne polnilnice ter analizirana njena uporabnost v primerjavi s klasično tehnično dokumentacijo, kar sovпада z ugotovitvami raziskav o pozitivnem vplivu 3D in virtualnih simulacij na razumevanje tehničnih postopkov (Sampaio & Henriques, 2010; Radianti et al., 2020).

2 Teoretično ozadje

Odprtokodna programska oprema temelji na javno dostopni izvorni kodi, ki uporabnikom omogoča pregledovanje, prilagajanje in razširjanje funkcionalnosti v skladu z licenčnimi pogoji. Ta način dela spodbuja inovativnost in znižuje stroške uporabe (Feller & Fitzgerald, 2002). Nasprotno pa je za lastniško programsko opremo značilno, da je izvorna koda nedostopna, uporaba programske opreme pa omejena z licenčnimi pogoji proizvajalca (Fitzgerald, 2006). V tem primeru uporabniki praviloma nimajo možnosti prilagoditve in nadzora nad razvojem programske rešitve.

V industrijskem okolju se odprtokodne rešitve vse pogostejše uporabljajo kot alternativa lastniški programski opremi, saj omogočajo večjo prilagodljivost, neodvisnost od posameznega ponudnika ter lažjo integracijo v obstoječe informacijske in proizvodne sisteme (Dedrick & West, 2004). To je posebej pomembno pri razvoju učnih in simulacijskih orodij, kjer se zahteve pogosto spreminjajo in je potrebna hitra prilagoditev vsebin specifičnim proizvodnim procesom.

Pomembna prednost odprtokodnih rešitev je tudi njihova stroškovna dostopnost, saj praviloma ne zahtevajo plačevanja licenčnih stroškov, hkrati pa zmanjšujejo odvisnost uporabnikov od posameznega ponudnika programske opreme (Raymond, 2001; Fitzgerald, 2006).

Program Blender predstavlja enega najvidnejših primerov odprtokodnih programov za ustvarjanje 3D-vsebin, saj omogoča celovit proces izdelave 3D-modelov, animacij in simulacij, vključno z modeliranjem, animiranjem, renderiranjem ter osnovno postprodukcijo (Blender Foundation, 2025). Zaradi odprtokodne narave je v stalnem razvoju, njegova funkcionalnost pa se izboljšuje s prispevki globalne skupnosti razvijalcev in uporabnikov, kar povečuje njegovo prilagodljivost in razširljivost v različnih aplikacijskih okoljih (Feller & Fitzgerald, 2002).

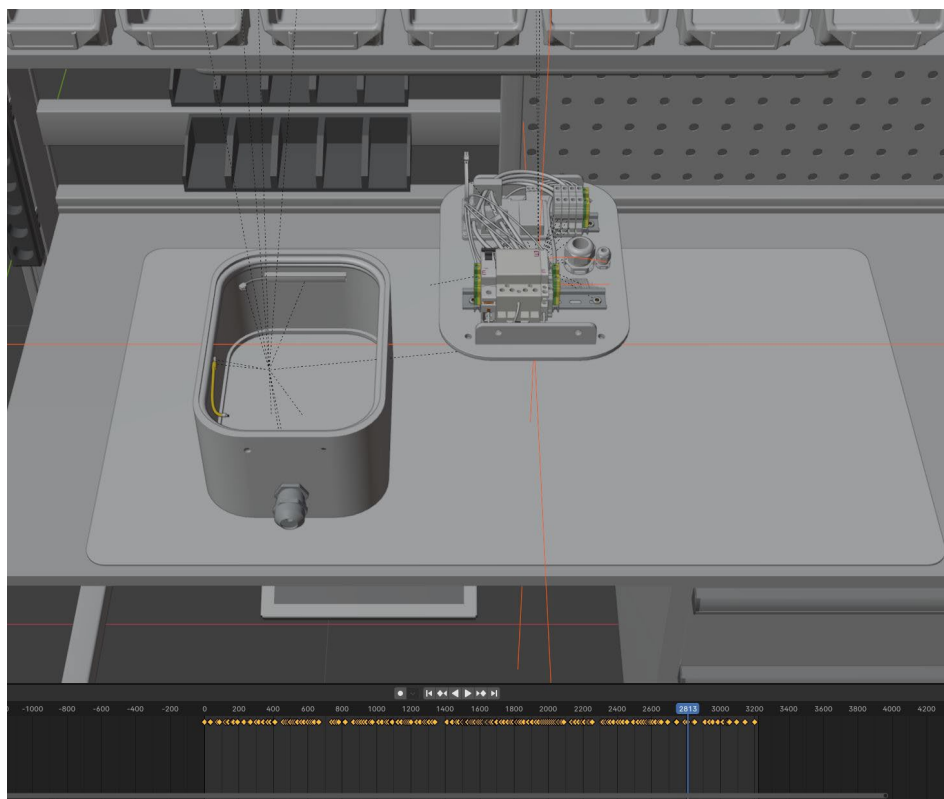
Dodatno prednost predstavlja možnost uporabe programskega jezika Python, ki omogoča avtomatizacijo postopkov, razvoj lastnih skript in prilagajanje orodij specifičnim potrebam uporabnikov (Blender Foundation, 2025). Takšna prilagodljivost omogoča uporabo programa Blender tudi za razvoj specializiranih simulacijskih rešitev, prilagojenih konkretnim proizvodnim procesom.

2.1 3D-simulacije v industrijskem usposabljanju

3D-simulacije predstavljajo sodoben učni pristop, ki omogoča vizualno in dinamično predstavitev delovnih postopkov ter proizvodnih procesov. V primerjavi s statičnimi slikami ali zgolj besedilnimi navodili animirani prikazi omogočajo boljše razumevanje zaporedja korakov, gibanja komponent in medsebojnih povezav elementov sistema (Mujber et al., 2004; Zhang et al., 2014).

Pomemben vidik uporabe 3D-simulacij je tudi njihov kognitivni učinek na proces učenja. Vizualno podprte in interaktivne vsebine omogočajo lažje procesiranje informacij ter prispevajo k boljšemu dolgoročnemu pomnjenju in razumevanju učnih vsebin (Makransky et al., 2019). Učenje v simuliranem okolju zaposlenim omogoča, da se z delovnimi postopki seznanijo brez časovnih omejitev in možnosti napak v realnem proizvodnem okolju. To zmanjšuje stres ter spodbuja aktivno in samostojno učenje (Radianti et al., 2020).

Poleg tega 3D-simulacije omogočajo varno učenje, saj zaposleni niso neposredno izpostavljeni nevarnim strojem, električnim komponentam ali drugim potencialno tveganim dejavnikom. Takšen pristop (Slika 1) je še posebej primeren za uvajanje novih zaposlenih ter za ponavljanje zahtevnejših in redkeje izvajanih delovnih postopkov (Sampaio & Henriques, 2010).



Slika 1: Prikaz 3D-simulacije procesa.

Vir: Lasten

3 Metodologija

Raziskava je temeljila na kombinaciji teoretičnega pregleda in praktične študije primera. Najprej je bil opravljen pregled literature s področja industrijskega usposabljanja, digitalnega učenja in 3D-simulacij. Na tej osnovi je bil razvit praktični del, v katerem je bila v programu Blender izdelana 3D-simulacija proizvodnega procesa.

Praktični del je vključeval pripravo in uvoz 3D-modelov, modeliranje manjkajočih komponent, postavitev elementov v tridimenzionalni prostor, animacijo montažnih korakov ter končno renderiranje animacije. Poseben poudarek je bil namenjen preglednosti prikaza in realističnemu zaporedju delovnih postopkov. V empiričnem

delu so udeleženci primerjali učenje s pomočjo 3D-animacije in klasične tehnične dokumentacije. Zbrane so bile ocene razumljivosti, uporabnosti in zaznane učinkovitosti obeh pristopov.

4 Simulacija proizvodnega procesa

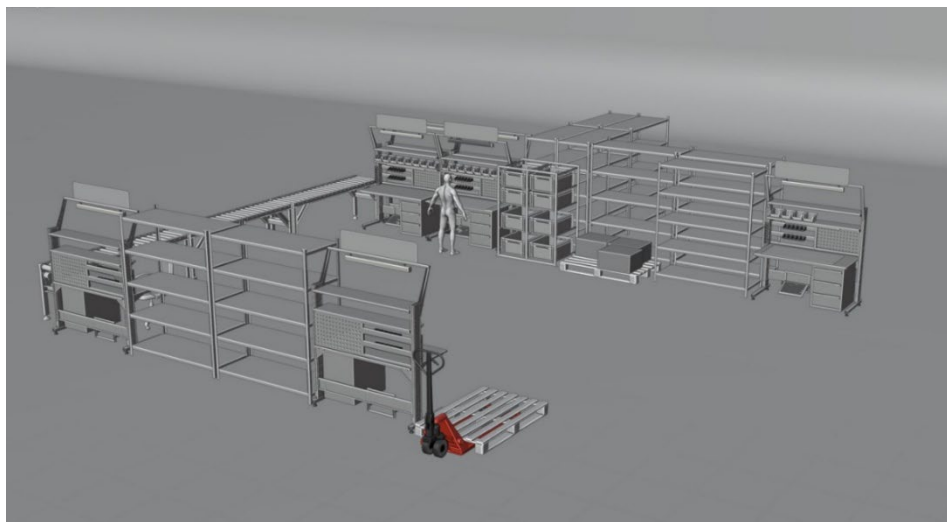
Simulacija proizvodnega procesa temelji na realnem primeru sestave domače električne polnilnice. Izbrani proces je večstopenjski in dobro ponazarja zaporedje montažnih korakov, zato je primeren za prikaz prednosti uporabe 3D-simulacije pri industrijskem usposabljanju (Slika 2).

Pri izdelavi simulacije smo v programu Blender uporabili kombinacijo obstoječih 3D-modelov in lastno izdelanih komponent. Pripravljeni so bili osnovni elementi, kot so ohišje polnilnice, elektronski sklopi, kabli in pritrdilni deli. V primerih, kjer ustrezni modeli niso bili na voljo, smo jih izdelali sami, pri čemer smo upoštevali dejanske mere in razporeditev komponent, da bi se čim bolj približali realnemu izdelku (Slika 3).



Slika 2: 3D-model polnilnice.

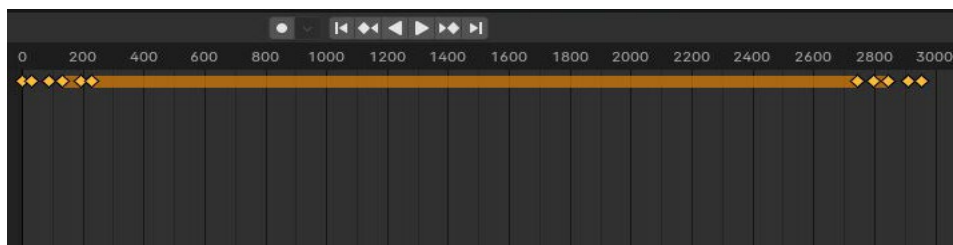
Vir: Lasten



Slika 3: Postavljeno 3D-okolje.

Vir: Lasten

Po pripravi modelov smo jih postavili v skupno delovno okolje in uredili njihov medsebojni položaj. Sledila je izdelava animacije, ki je bila izvedena s pomočjo ključnih točk (Slika 4), s katerimi smo določili začetni in končni položaj posameznih komponent, medtem ko je program samodejno izračunal vmesne premike. Na ta način je bil postopoma prikazan celoten potek sestave, od nameščanja posameznih delov do končnega zapiranja ohišja.



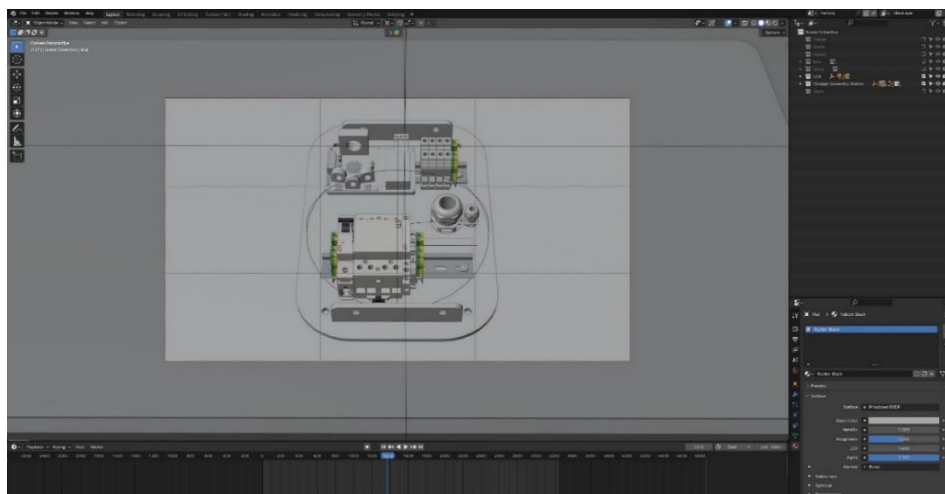
Slika 4: Prikaz točk animacije enega od elementov v časovnici.

Vir: Lasten

Poseben poudarek je bil namenjen jasnemu zaporedju korakov, saj je bil cilj simulacije, da gledalec razume potek postopka in povezavo med posameznimi elementi brez dodatnih razlag. Animacija je bila zato zasnovana pregledno in v

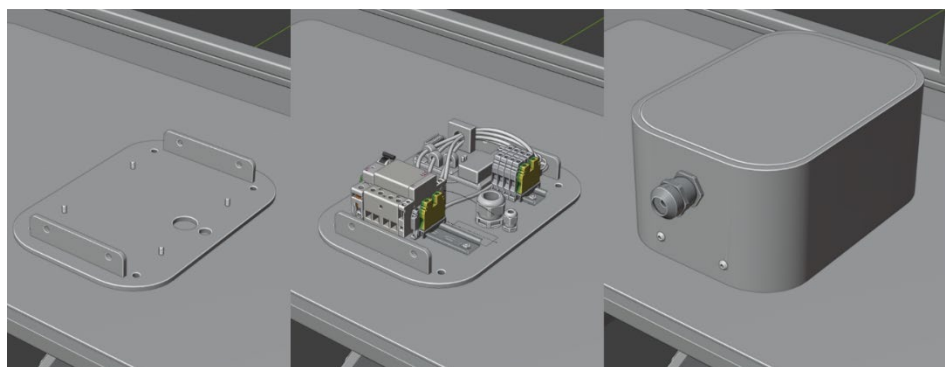
zmernem tempu, kar omogoča lažje spremljanje postopka tudi manj izkušenim uporabnikom.

Za boljšo preglednost in boljšo uporabniško izkušnjo je bila vključena tudi animacija kamere. Ta je bila nastavljena tako, da sledi ključnim fazam sestave in se osredotoča na pomembne detajle, kot so nameščanje komponent in njihova pritrditev. S tem je gledalcu omogočen jasen pogled na postopek brez potrebe po ročnem spreminjanju pogleda, kar dodatno prispeva k razumljivosti prikaza (Slika 5).



Slika 5: Pogled na animacijo skozi kamero.

Vir: Lasten

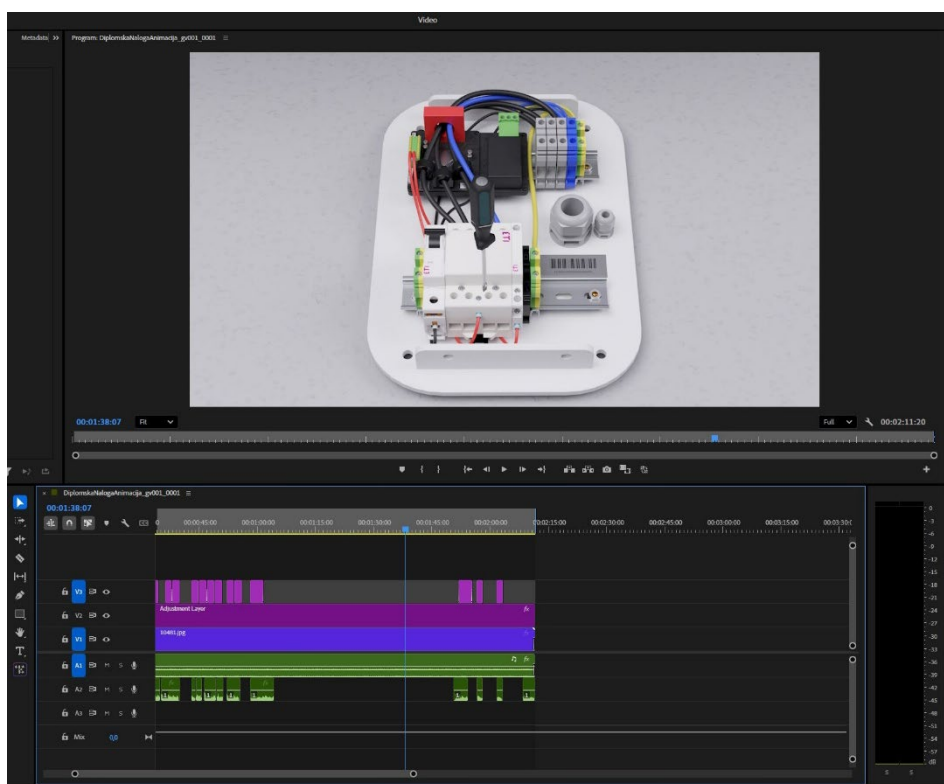


Slika 6: Faze poteka animacije sestavljanja ohišja in elektronskih komponent.

Vir: Lasten

Simulacija je bila zasnovana modularno, kar omogoča uporabo posameznih delov animacije za različne namene, kot so osnovno usposabljanje novih zaposlenih, ponavljanje posameznih postopkov ali osvežitev znanja (Slika 6).

Po končani animaciji je sledila še postprodukcija, v okviru katere smo animacijo dodatno uredili in prilagodili za uporabo v učne namene. Posamezni kadri so bili časovno usklajeni, dodani so bili osnovni napisi in poudarki, ki gledalca usmerjajo na pomembne korake postopka. S tem je animacija postala bolj pregledna in primerna za samostojno učenje brez dodatnih razlag (Slika 7).

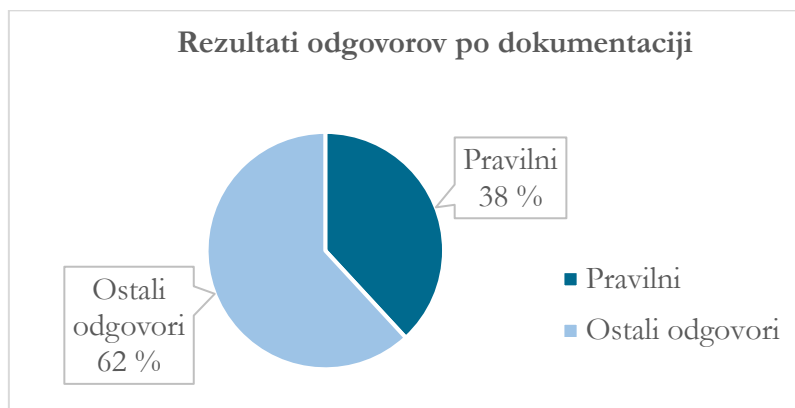


Slika 7: Zaslonski posnetek v programu Adobe Premiere Pro.

Vir: Lasten

5 Rezultati in analiza

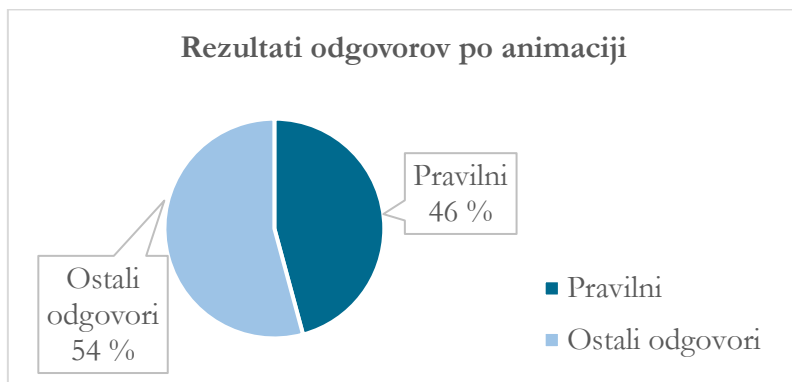
Rezultati raziskave kažejo, da v primerjavi s klasično tehnično dokumentacijo uporaba 3D-simulacij izboljša razumevanje delovnih postopkov. Raziskava je bila izvedena v obliki ankete, v kateri so udeleženci najprej prebrali pisna navodila, nato pa si ogledali 3D-animacijo istega postopka. Po obeh fazah so reševali enak vprašalnik, kar je omogočilo neposredno primerjavo obeh učnih metod. V raziskavo je bilo vključenih 53 anketirancev (57 % moških, 41 % žensk), 2 % se jih ni opredelilo. Po ogledu 3D-animacije so udeleženci praviloma dosegli boljše rezultate pri vprašanjih, povezanih z zaporedjem korakov in pravilno montažo posameznih delov. Vizualni prikaz jim je pomagal lažje slediti postopku in si ustvariti boljšo predstavo o tem, kako se deli med seboj povezujejo (Slika 8 in 9).



Slika 8: Rezultati odgovorov po dokumentaciji.

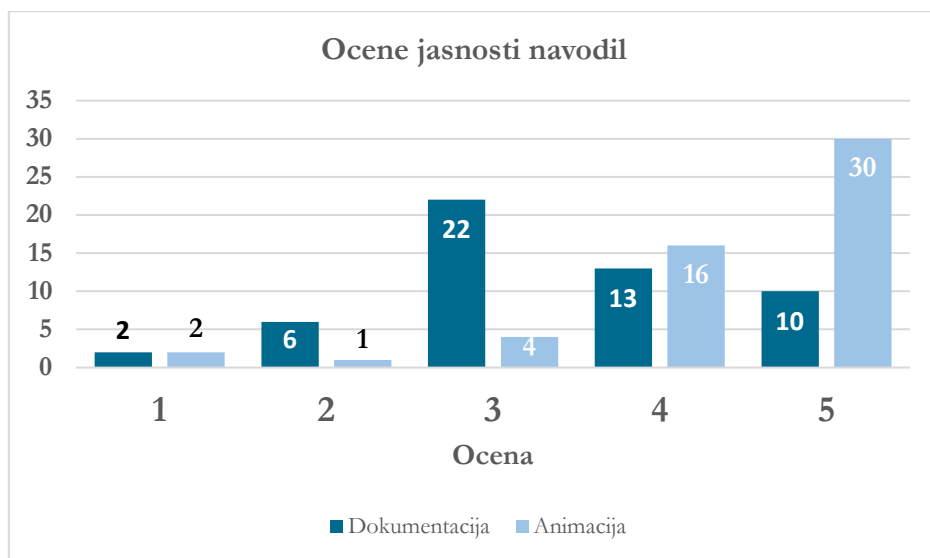
Vir: Lasten

Udeleženci so v anketi poudarili, da se jim je zdela 3D-animacija bolj pregledna in razumljiva kot pisna navodila. Večina jih je izpostavila, da so z animacijo hitreje razumeli celoten potek dela in se pri tem počutili bolj samozavestne. Pomembna prednost je bila možnost večkratnega ogleda postopka, kar pri klasični dokumentaciji ni tako učinkovito. Kljub pozitivnim odzivom so udeleženci opozorili na nekatere omejitve, predvsem na časovno zahtevnost izdelave 3D-animacij in potrebo po ustrezni računalniški opremi.



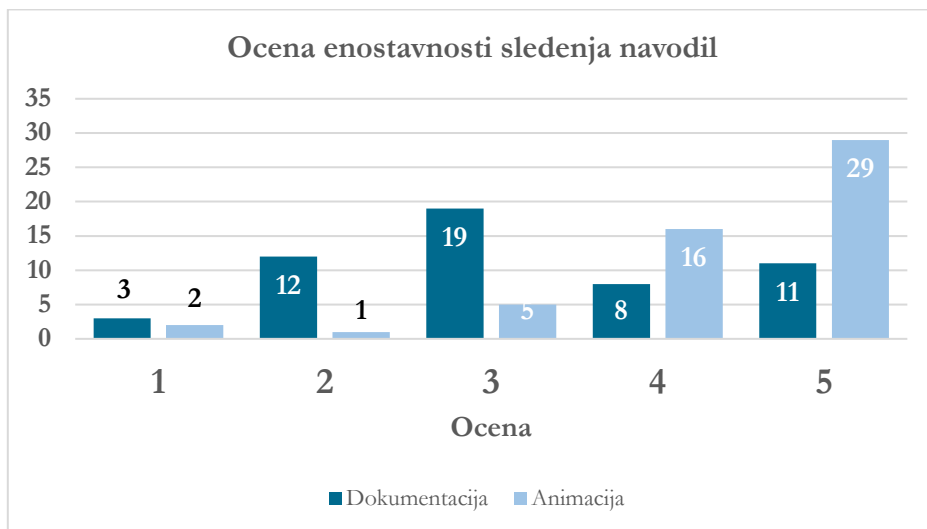
Slika 9: Rezultati odgovorov po dokumentaciji.

Vir: Lasten



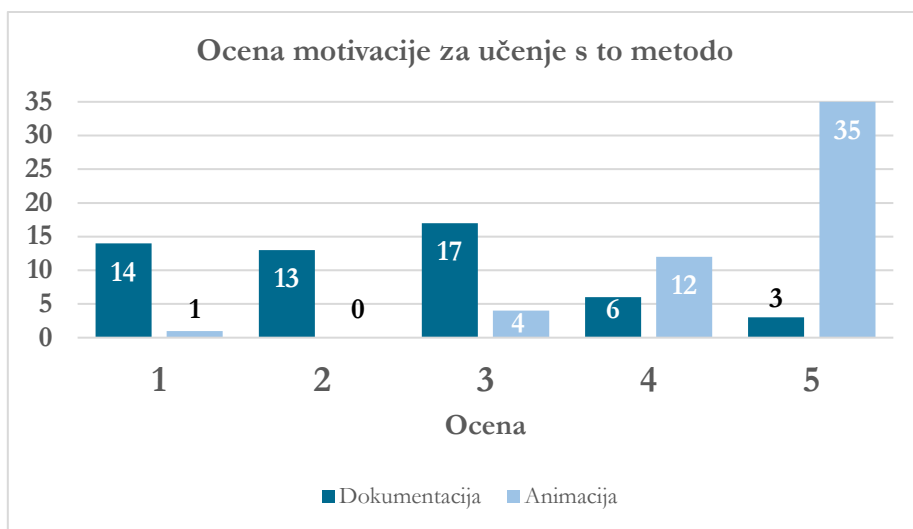
Slika 10: Ocena jasnosti navodil.

Vir: Lasten



Slika 11: Ocena enostavnosti sledenja.

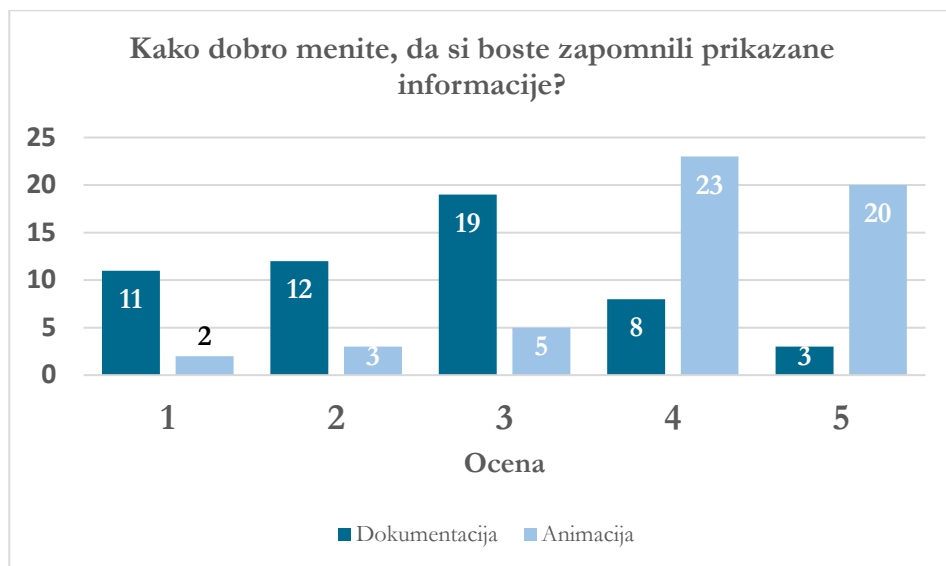
Vir: Lasten



Slika 12: Ocena motivacije za učenje s to metodo.

Vir: Lasten

Kljub temu večina meni, da prednosti, kot so boljše razumevanje, večja varnost pri učenju in enotnost navodil, te pomanjkljivosti odtehtajo (Slika 10, 11, 12 ter 13).



Slika 13: Kako dobro menite, da si boste zapomnili prikazane informacije?

Vir: Lasten

Na podlagi rezultatov raziskave lahko zaključimo, da odprtokodni program Blender omogoča izdelavo kakovostnih učnih animacij brez dodatnih licenčnih stroškov. Za primerjavo vzemimo zelo drago in kompleksno 3D-simuliranje letenja za pilote in 3D-simuliranje operacij za kirurge. Zakaj sodobna 3D-simulacija ne bi pomagala tudi pri usposabljanju drugih poklicev? 3D-simulacije se izkazujejo kot uporaben in sodoben učni pripomoček, ki lahko učinkovito dopolni ali delno nadomesti klasično tehnično dokumentacijo pri industrijskem usposabljanju. Vseeno pa ostaja nekaj, česar 3D-simulacija še ne more nadomestiti – občutka na koži, v zapestju, potrebne moči za izvedbo operacije, posebnega giba za pritrditev ter občutka za postopno dodajanje moči, torej elementov, ki zahtevajo praktično delo.

Čprav so rezultati preverjanja znanja po animaciji v povprečju boljši le za približno 8 %, je treba upoštevati še prednosti, kot so večja motivacija, boljše razumevanje prostorskih odnosov, večja varnost pri učenju ter enotnost podanih navodil. Ti

dejavniki kažejo, da je vložek v pripravo 3D-gradiv smiselno predvsem pri kompleksnejših postopkih in dolgoročni uporabi v industrijskem usposabljanju.

Pri interpretaciji rezultatov je treba upoštevati tudi omejitve raziskave, zlasti relativno majhen vzorec udeležencev in enkratni preizkus znanja. Rezultati zato predvsem nakazujejo trende in potencial uporabe 3D-simulacij v industrijskem usposabljanju.

6 Zaključek

Prispevek potrjuje, da odprtokodni program Blender predstavlja učinkovito orodje za simulacijo proizvodnih procesov in industrijsko usposabljanje zaposlenih. Uporaba 3D-simulacij omogoča varno, ponovljivo in stroškovno učinkovito učenje ter predstavlja kakovostno dopolnitev tradicionalnih metod usposabljanja, kot so pisna navodila in priročniki.

Rezultati izvedene ankete so pokazali, da so udeleženci po ogledu 3D-animacije dosegli občutno boljše rezultate pri preverjanju znanja. Pri vprašanjih o zaporedju montažnih korakov se je delež pravilnih odgovorov povečal za približno 8 % v primerjavi z učenjem iz klasične dokumentacije. Poleg tega so udeleženci 3D-simulacijo v povprečju ocenili kot jasnejšo, enostavnejšo za sledenje in bolj motivacijsko, kar potrjuje njen pozitiven vpliv na učni proces.

Večina sodelujočih je poudarila tudi večjo samozavest pri razumevanju postopkov ter boljše zapomnitev prikazanih informacij. To kaže, da vizualni in dinamični prikaz postopkov pomembno prispeva k boljšemu prenosu znanja in zmanjšanju možnosti napak pri dejanskem delu.

Na podlagi ugotovitev je mogoče sklepati, da ima uporaba 3D-simulacij velik potencial tudi v prihodnje, zlasti v povezavi z drugimi digitalnimi tehnologijami, kot so sistemi za upravljanje učenja (LMS), navidezna in razširjena resničnost ter interaktivni učni moduli. Takšne rešitve lahko podjetjem omogočijo še bolj prilagodljivo, standardizirano in učinkovito usposabljanje zaposlenih ter dolgoročno prispevajo k večji varnosti in kakovosti delovnih procesov.

Viri in literatura

- Blender Foundation. (2025). Blender documentation. <https://docs.blender.org>
- Bell, J. T., & Fogler, H. S. (2016). The application of virtual reality to (chemical engineering) education. *Virtual Reality*, 20(2), 217–225. <https://doi.org/10.1007/s10055-016-0294-2>
- Borsci, S., Lawson, G., & Broome, S. (2015). Empirical evidence, evaluation criteria and challenges for the effectiveness of virtual and mixed reality tools for training operators. *Virtual Reality*, 19(3–4), 205–226. <https://doi.org/10.1007/s10055-015-0277-7>
- Chiang, F. K., & Qin, S. F. (2018). A survey of virtual reality and augmented reality applications in design and manufacturing. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 97, 131–147. <https://doi.org/10.1007/s00170-018-2009-9>
- Dedrick, J., & West, J. (2004). An exploratory study into open source platform adoption. *Proceedings of the 37th Annual Hawaii International Conference on System Sciences*. <https://doi.org/10.1109/HICSS.2004.1265315>
- Feller, J., & Fitzgerald, B. (2002). *Understanding open source software development*. Addison-Wesley.
- Fitzgerald, B. (2006). The transformation of open source software. *MIS Quarterly*, 30(3), 587–598. <https://doi.org/10.2307/25148740>
- Freina, L., & Ott, M. (2015). A literature review on immersive virtual reality in education: State of the art and perspectives. *Proceedings of eLearning and Software for Education (eLSE)*, 1, 133–141. <https://doi.org/10.12753/2066-026X-15-020>
- Makransky, G., Petersen, G. B., & Immersive Learning Research Network. (2019). Immersive virtual reality and learning: A meta-analysis. *Educational Psychology Review*, 31, 749–779. <https://doi.org/10.1007/s10648-019-09474-3>
- Mujber, T. S., Szecsi, T., & Hashmi, M. S. J. (2004). Virtual reality applications in manufacturing process simulation. *Journal of Materials Processing Technology*, 155–156, 1834–1838. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2004.04.401>
- Radianti, J., Majchrzak, T. A., Fromm, J., & Wohlgenannt, I. (2020). A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: Design elements, lessons learned, and research agenda. *Computers & Education*, 147, 103778. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103778>
- Raymond, E. S. (2001). *The cathedral and the bazaar: Musings on Linux and open source by an accidental revolutionary*. O'Reilly Media.
- Sampaio, A. Z., & Henriques, P. G. (2010). Virtual reality technology used in maintenance and assembly training. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 23(6), 523–536. <https://doi.org/10.1080/09511921003652554>
- Serrano, B., Baños, R. M., & Botella, C. (2016). Virtual reality and serious games for education and training. *International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence*, 4(2), 6–11. <https://doi.org/10.9781/ijimai.2016.421>
- Vergara, D., Rubio, M. P., & Lorenzo, M. (2015). On the use of virtual reality for virtual manufacturing. *Procedia Computer Science*, 75, 132–137. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.12.228>
- Zhang, J., Ong, S. K., & Nee, A. Y. C. (2014). A review of augmented reality in assembly. *CIRP Annals*, 63(1), 1–20. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2014.03.006>