

Dr. sc. Mario Jadrić¹

KVANTITATIVNI I KVALITATIVNI PRISTUPI U PROCJENI ALATA ZA SIMULACIJU DISKRETNIH DOGAĐAJA

Izvorni znanstveni rad / Original scientific paper

UDK / UDC: 65.012.12

DOI: 10.51650/ezrvs.19.1-2.7

Primljeno / Received: 16/12/2024

Prihvaćeno / Accepted: 29/01/2025

U ovom istraživanju analizirani su Python biblioteka SimPy za simulaciju diskretnih događaja i Arena alat, s ciljem procjene i komparacije njihovih performansi i karakteristika prilikom simulacije jednog obrazovnog procesa. Uz metodološku nadogradnju kvalitativne procjene primjenom SWOT analize u radu se predlaže proširenje broja i vrste kriterija za procjenu i usporedbu alata za simulaciju diskretnih događaja. Provedena je komparativna kvantitativna analiza temeljem simulacije jednostavnog obrazovnog procesa, dok se kvalitativna procjena temeljila na proširenom broju kriterija procjene. Kvalitativno istraživanje, uz uobičajene kriterije procjene, također je uključilo dimenzije procjene prema DeLone i McLean modelu uspjeha informacijskih sustava. Model je korišten za procjenu alata prema ključnim dimenzijama kvalitete: kvaliteta sustava, kvaliteta informacija i kvaliteta usluga. Iako istraživanje uključuje i kvantitativnu procjenu, glavni fokus je na kvalitativnoj analizi. Primijenjena je SWOT analiza procijenjenih dimenzija kvalitete kako bi se dublje razumjeli snage, slabosti, prilike i prijetnje u primjeni analiziranih simulacijskih alata. Rezultati istraživanja ukazuju na to da oba alata imaju specifične prednosti, koje ovise o prirodi namjene i potrebama korisnika. Iako SimPy nudi veću fleksibilnost i mogućnost prilagodbe, Arena se pokazala efikasnijom za brže modeliranje. Zaključak istraživanja ukazuje na to da je odabir simulacijskog alata uvjetovan specifičnostima primjene te da uvođenje dimenzija kvalitete iz DeLone i McLean modela može značajno unaprijediti proces donošenja odluka pri odabiru alata za simulaciju. Takav pristup omogućava precizniju procjenu alata, što u konačnici može voditi do većeg uspjeha u njihovoj primjeni.

Ključne riječi: simulacija diskretnih događaja; DeLone i McLean model uspjeha; SimPy; Arena.

¹ Redoviti profesor; Sveučilište u Splitu, Ekonomski fakultet, Cvite Fiskovića 5, 21 000 Split, Republika Hrvatska; e-mail: mario.jadric@efst.hr

1. Uvod

Dosadašnja istraživanja uspoređivala su različite simulacijske alate s ciljem utvrđivanja njihovih prednosti, ograničenja i specifičnih primjena u raznim industrijama. Takve usporedbe često ukazuju na značajne razlike u performansama alata, kao i u točnosti rezultata, što dodatno naglašava važnost pravilnog odabira alata koji odgovara specifičnim potrebama i uvjetima primjene. Istraživanja su obuhvatila različite simulacijske domene, od modeliranja prometnih mreža do simulacije proizvodnih, obrazovnih i drugih procesa. Glavni izazov s kojim se suočavaju korisnici pri odabiru simulacijskog alata veliki je broj dostupnih opcija, što može otežati donošenje odluke. Primjerice, Jadrić i sur. (2014) procjenjivali su dva alata za simulaciju diskretnih događaja, ExtendSim i Arena, koristeći jednostavan simulacijski model za analizu subjektivnih (stavovi) i objektivnih pokazatelja (logovi aktivnosti). Rezultati su pokazali kontrast između subjektivnih i objektivnih indikatora, naime studenti su preferirali ExtendSim, percipirajući ga kao kvalitetniji i robusniji alat, dok je Arena pokazala veću učinkovitost u praksi jer su studenti trošili manje vremena i činili manje pokreta koji su bilježeni pri izradi modela. Također, u drugom radu (Zenina i Merkurjevs, 2009) je prikazana usporedba ulaznih karakteristika i izlaznih mjera dvaju simulacijskih alata, AIMSUN i Synchro/SimTraffic, s ciljem procjene njihovih potencijala i ograničenja. Analiza je provedena modeliranjem raskrižja koristeći postojeće podatke prikupljene u gradu Rigi, dok su izlazni parametri obuhvaćali simulirane prometne protoke (vozila na sat), kašnjenja, te duljinu kolona. Oba alata, postizala su zadovoljavajuće performanse, ali uz ograničenja koja autori ističu da je potrebno uzeti u obzir prilikom donošenja odluke za odabir alata. Shaaban i Kim (2015) usporedili su SimTraffic i VISSIM u modeliranju kružnih tokova, ne pronalazeći statistički značajne razlike u cjelokupnim rezultatima, ali su primijetili da je VISSIM pokazao veća prosječna kašnjenja u scenarijima s visokim prometnim opterećenjem. Nikakhtar i sur. (2011) usporedili su ARENA i WITNESS alat za simulaciju građevinskih procesa, utvrdivši da oba alata pružaju slične rezultate i izlaze, uz naglasak na različite značajke i izvještaje koje svaki softver nudi. Oujezský i Horváth (2016) proveli su studiju slučaja uspoređujući SimPy i OMNeT++, fokusirajući se na njihov učinak i prikladnost za simulacije mrežne konfiguracije, uz izradu jednostavnih mrežnih modela korištenjem programskih jezika Python i C++. Nadalje, Gupta i sur. (2010) procjenjivali su četiri simulacijska alata za primjenu u domeni proizvodnje (NX-IDEAS, Star-CD, Micro Saint Sharp i ProModel) koristeći analitički hijerarhijski proces (AHP). Istaknuli su na važnost pravilnog odabira simulacijskog softvera zbog razlika u njihovim značajkama, troškovima i mogućnostima primjene.

Primjena odgovarajućih metoda i tehnika procjene, zajedno s jasnim kriterijima procjene, postaje ključna u procesu donošenja odluke o odabiru simulacijskog alata. Međutim, važno je razlikovati metode procjene od kriterija procjene. Metode procjene odnose se na opće pristupe i postupke koji se koriste za vrednovanje softverskih paketa, kao što su korištenje višekriterijske analize, studija slučaja, eksperimentiranje i sl., dok se kriteriji procjene koriste za usporedbe i rangiranje različitih opcija, kao što su funkcionalnost, cijena, fleksibilnost u modeliranju, analiza rezultata i sl. Korištenje jasno definiranih metoda i kriterija omogućava objektivnu analizu i donošenje odluke o odabiru alata. U radu (Alomair i sur., 2015) se analiziraju metode i tehnike koje istraživači koriste za procjenu i odabir simulacijskih paketa. Navedene metode i tehnike omogućuju strukturiran pristup u ocjenjivanju simulacijskih

alata. Primjerice, višekriterijske metode odlučivanja pružaju podršku pri donošenju odluka u uvjetima s više sukobljenih kriterija. Izvođenje scenarija koristi se za analizu specifičnih uvjeta primjene u realnim ili hipotetskim situacijama. Metodologija procjene i selekcije u dvije faze predlaže postupak odabira koji uključuje smanjenje dugog popisa potencijalnih alata na uži izbor, a zatim detaljnu analizu preostalih opcija, itd.

U ovom radu za analizu su odabrani Simpy (Python biblioteka za simulaciju diskretnih događaja) i Arena alat zbog različitih pristupa u simulaciji diskretnih događaja. Simpy, kao predstavnik otvorenog koda koji omogućuje široku prilagodbu, te Arena kao komercijalni alat s grafičkim sučeljem, koji omogućuje jednostavnu izradu modela i simulaciju korištenjem povuci i ispusti funkcionalnosti. Smatra se kako ova kombinacija omogućava uvid u različite potrebe korisnika pri simulaciji diskretnih događaja. SimPy je temeljen na Pythonu, te nudi prednosti poput modularnosti, automatske dokumentacije i proširivosti. Bitno je istaknuti da su istraživači usporedili Arenu s drugim simulacijskim alatima (Jadrić i sur., 2014), procjenjujući njenu učinkovitost u akademskom okruženju. Međutim, još uvijek nije provedena usporedba alata Arene sa SimPy kao predstavnikom otvorenog koda za simulacije u Pythonu.

U nastavku rada daje se pregled literature koji se fokusira na kriterije za procjenu i komparaciju alata za simulaciju diskretnih događaja. Posebna pažnja posvećena je primjeni DeLone i McLeanovog modela uspješnosti informacijskih sustava u procjeni i komparaciji simulacijskih alata jer to uvidom u literaturu još nije istraženo. U poglavlju Metodologija opisuje se proces definiranja simulacijskog modela, odabir scenarija i ključnih parametara, te kratak opis Simpy i Arena alata. U trećem poglavlju predstavljaju se rezultati simulacije jednostavnog obrazovnog procesa te kvantitativna i kvalitativna analiza SimPy i Arena alata. U zaključku se iznose ključni nalazi istraživanja, te ograničenja i preporuke za buduća istraživanja.

2. Pregled literature

2.1. Kriteriji za procjenu i komparaciju alata za simulaciju diskretnih događaja

Procjene i komparacije simulacijskih alata iznimno su važne jer omogućuju analizu njihovih prednosti i ograničenja u odnosu na specifične potrebe korisnika. Autori (Azadeh i Shirkouhi, 2009) su koristili sljedeće kriterije: korisničke značajke, testiranje i učinkovitost, dobavljače, model i unos podataka, izlazne značajke, izvršavanje, te animaciju i pokretanje za procjenu i rangiranje simulacijskih softverskih alata. Procjena je obuhvatila alate za simulaciju Arena, Automod, Simul8, Promodel, Visual Slam i Witness, ocjenjujući ih prema odabranim kriterijima. S obzirom na to da svaki simulacijski alat nudi različite značajke, troškove, kompatibilnost i primjene, pravilno odabrani alat može značajno unaprijediti preciznost i učinkovitost simulacijskog modeliranja. Ovdje je potrebno naglasiti da se procjena i komparativna analiza može napraviti temeljem subjektivnih i objektivnih pokazatelja. Dok se subjektivni pokazatelji uglavnom mjere provođenjem intervjua ili anketiranjem korisnika simulacijskih alata, objektivni pokazatelji se prikupljaju temeljem rezultata stvarnog korištenja alata. U ranije spomenutoj komparaciji alata za simulaciju diskretnih događaja, ExtendSim i Arena (Jadrić i sur.,2014), korišteni kriteriji temeljili su se na dva modela procjene prethodno objavljenima u radovima Bosilj-Vukšić i sur., (2007) i Gupta i sur., (2010). Prvi model se sastojao od

četiri glavne skupine kategorija i nekoliko podkategorija: hardver i softver (kodiranje, kompatibilnost softvera, korisnička podrška, financijske i tehničke značajke, pedigree), modeliranje (opće značajke i pomoć u modeliranju), simulacije (vizualni aspekti, učinkovitost, testabilnost, mogućnosti eksperimentiranja, statističke mogućnosti), te ulaz/izlaz (Bosilj-Vukšić i sur., 2007). Gupta i sur. (2010) su u svom radu obuhvatili sljedeće elemente: aspekte kodiranja, kompatibilnost, korisničku podršku, opće značajke, pomoć pri modeliranju, vizualne aspekte, efikasnost, testabilnost, eksperimentiranje, statističke značajke, ulaz/izlaz, te analizu.

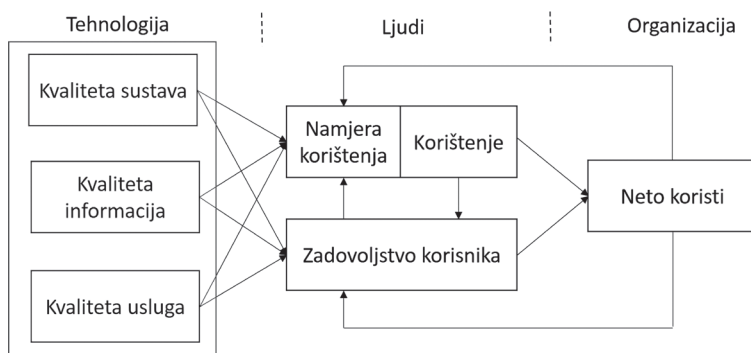
Kriteriji za usporedbu SimPy i Arene za potrebe ovog rada preuzeti su i dorađeni na temelju istraživanja kojeg su proveli Jadrić i sur. (2014) za alate Arena i ExtendSim. Ovi kriteriji su prilagođeni za SimPy i Arenu s ciljem pružanja detaljnog uvida u karakteristike svakog alata u različitim aspektima. Dopunjeni su za kriterij zajednice, te kriterij cijene i licenciranja. Kategorija proces modeliranja obuhvaća ključne aspekte koji se odnose na rad s alatima, uključujući korištenje alata, postupak izgradnje modela, učenje kako koristiti alat, verifikaciju modela, mogućnosti uvoza resursa i podataka u model, kao i dodavanje i uređivanje podataka modela. Kategorija podrška u modeliranju odnosi se na pomoć koju alat pruža tijekom procesa modeliranja. Ovdje se analiziraju kriteriji poput broja i vrsta predložaka, razine detalja tijekom modeliranja, intuitivnosti objekata, te mogućnosti automatskog praćenja osnovnih performansi modela i većeg broja eksperimenata. Također, važan kriterij je online pomoć te postojanje aktivne zajednice korisnika koja može pružiti podršku u slučaju problema. Kategorija simulacija pokriva tehničke aspekte vezane uz samu simulaciju, uključujući prikaz performansi, mogućnost uvoza i odabira statističkih distribucija, te animaciju modela. Dodatno, procjenjuje se prilagodljivost modela na promjene, brzina izvršavanja simulacije, dinamički objekti modela, i dinamičko prikazivanje statističkih podataka. Kategorija analiza izlaza obuhvaća aspekte vezane uz rezultate simulacije, uključujući format izvještaja, mogućnost jasnog razumijevanja izvještaja, te statističku analizu izlaza. Na kraju, cijena i licenciranje predstavlja važan kriterij u usporedbi SimPy i Arene.

2.2. Primjena DeLone i McLeanovog modela uspješnosti informacijskih sustava u procjeni i komparaciji simulacijskih alata

Osim navedenih kriterija u ovom radu se predlaže korištenje DeLone i McLeanovog modela uspješnosti informacijskih sustava (IS) (DeLone i McLean, 2003) za procjenu i komparaciju alata za simulaciju diskretnih događaja. Ovime se nudi novi pristup temeljen na provjerenj teoriji uspješnosti informacijskih sustava, koja može proširiti razumijevanje kako simulacijski alati ispunjavaju potrebe korisnika po pitanju kriterija kvalitete. Korištenje ovog modela za usporedbu SimPy i Arene može se pružiti više informacija o potencijalnoj uspješnosti ovih alata, čime se proširuju tradicionalni kriteriji usporedbe kao što su funkcionalnost, brzina i cijena. DeLone i McLeanov model uspješnosti IS (DeLone i McLean, 2003), predstavljen 1992., ključni je okvir za mjerenje uspjeha informacijskih sustava. Izvorni model sadržavao je šest dimenzija: kvalitetu sustava, kvalitetu informacija, korištenje, zadovoljstvo korisnika, individualni i organizacijski utjecaj. Godine 2003. model je ažuriran dodavanjem kvalitete usluge i namjere korištenja te spajanjem individualnog i organizacijskog utjecaja u neto koristi. Ovime je predložen okvir za ocjenu uspjeha informacijskog sustava kroz šest ključnih

dimenzija: kvaliteta sustava, kvaliteta informacija, kvaliteta usluge, korištenje, zadovoljstvo korisnika i neto koristi. DeLone i McLeanov model široko se koristi za procjenu raznih informacijskih sustava, za primjer se mogu navesti digitalne knjižnice i bolnički informacijski sustavi (Alzahrani et al., 2019; Ojo, 2017). Istraživanja pokazuju da faktori kvalitete značajno utječu na zadovoljstvo korisnika, namjeru ponašanja i stvarno korištenje sustava. Također, Rulinawaty i sur. (2024) istražili su primjenu modela na sustave za upravljanje učenjem (LMS) te pronašli pozitivne utjecaje na učinkovitost LMS-a. Slično tome, Awwad i Al-Mohammad (2010) primijenili su model za procjenu sustava za online registraciju, fokusirajući se na kvalitetu informacija, kvalitetu sustava, kvalitetu usluge, zadovoljstvo korisnika, neto koristi i namjeru korištenja.

Slika 1. DeLone i McLean model uspjeha informacijskih sustava



Izvor: DeLone i McLean (2003)

Međutim, važnost pojedinih čimbenika uspjeha može varirati ovisno o vrsti informacijskog sustav i kontekstu (Schaupp et al., 2009). Prilagodljivost modela omogućila je istraživačima da ispituju uspjeh informacijskih sustava u različitim kontekstima, što doprinosi dubljem razumijevanju čimbenika koji utječu na njihovu uspješnu implementaciju i korištenje. Brojni autori pokušali su obuhvatiti i neke druge varijable u model nastojeći pružiti sveobuhvatniji model uspjeha, kao što je to primjerice sukreacija u modelu mjerenja uspjeha digitalnih usluga u visokom obrazovanju (Mijač i sur. 2023). DeLone i McLeanov model uspjeha IS-a jedan je od najpoznatijih teorijskih okvira u literaturi o prihvaćanju/uspjehu informacijskih sustava, ali se uglavnom istražuje iz perspektive ispitanika, te objašnjava temeljem varijance u podacima što otvara prostor za drugačije mogućnosti njegove primjene (Jewer i Evermann, 2020). Tate i sur. (2014) naglašavaju ograničenja anketa u procjeni uspjeha informacijskih sustava (IS) jer je njihovo tumačenje često otežano raznim ograničenjima, poput nejasnoća u percepcijama kvalitete ili dvosmislenosti pojma "usluga". Naglašena je potreba za jasnim definiranjem sustava i dubljim razumijevanjem čimbenika koji oblikuju percepciju kvalitete. Primjena DeLone i McLean modela uspjeha informacijskih sustava omogućuje analizu SimPy-a i Arene kroz strukturirane dimenzije kvalitete. Svaka dimenzija modela pomaže razumjeti prednosti i slabosti oba sustava, čak i bez prikupljanja primarnih podataka, oslanjajući se na tehničku dokumentaciju, postojeće studije, te eksperimentiranje sa konkretnim simulacijskim scenarijem.

Pregled ključnih dimenzija kvalitete prema modelu DeLone i McLean koji se daje u nastavku temelji se na njihovoj reviziji iz 2003. godine, u kojoj su dimenzije dodatno precizirane i prilagođene suvremenim potrebama informacijskih sustava. Ovaj rad ne nudi iscrpan pregled svih empirijskih testiranja modela, iako je on često primjenjivan u različitim kontekstima. Fokus je na autorima čiji radovi imaju značaj zbog specifičnog konteksta istraživanja, primjerice Mijač i sur. (2023) u području digitalnih usluga u visokom obrazovanju, te Nelson i sur. (2005) za skladišta podataka, koja se kao i simulacijsko modeliranje koristi za potrebe podrške odlučivanju. Analizom dosadašnjih istraživanja dimenzija kvalitete informacijskih sustava, nije utvrđeno kako postoji neko slično istraživanje koje je obuhvatilo alate za simulacijsko modeliranje, poput SimPy biblioteke za Python ili Arena alata. Nadalje, u literaturi, pokazatelji kvalitete informacijskih sustava često su kategorizirani unutar različitih dimenzija ovisno o kontekstu istraživanja. Primjerice, sigurnost je ponekad klasificirana kao dio kvalitete sustava, dok je u drugim slučajevima svrstana pod kvalitetu informacija. Takva varijabilnost naglašava prilagodljivost modela istraživačkim potrebama i specifičnostima. U ovom radu, za svaku dimenziju odabrana je kategorizacija koja najbolje odgovara kontekstu ovog istraživanja. U tablici 1 prikazane su dimenzije kvalitete i pripadajući kriteriji koji su korišteni u kvalitativnoj analizi promatranih alata.

Kvaliteta je mjera u kojoj je sustav tehnički ispravan i učinkovit (Gorla i sur., 2010). Delone i McLean (2003) u svrhu testiranja svog modela na primjeru jednog sustava e-trgovine kvalitetu sustava mjere kroz upotrebljivost, dostupnost, pouzdanost, prilagodljivost i vrijeme odziva (npr. vrijeme preuzimanja). Testiranjem instrumenta u različitim kontekstima došlo je do proširivanja, npr. u Sedera i Gable, (2004) ili sažimanja broja varijabli, npr. u Mijač i sur., (2023). Sedera i Gable razvili su sveobuhvatan instrument za ocjenu kvalitete sustava, koji je uključivao devet atributa: lakoća uporabe, lakoća učenja, zahtjevi korisnika, značajke sustava, točnost sustava, fleksibilnost, sofisticiranost, integracija i prilagodba, dok su Mijač i sur. (2023), utvrdili da su poddimenzije koje doprinose objašnjenju kvalitete sustava na primjeru digitalnih usluga u visokom obrazovanju sigurnost, pouzdanost i funkcionalnost. Nelson i sur. (2005) za kvalitetu sustava navode pet dimenzija: pristupačnost, pouzdanost, vrijeme odziva, fleksibilnost i integracija, pri čemu ove dimenzije pomažu u razumijevanju kako različiti faktori utječu na uspjeh i učinkovitost sustava za skladištenje podataka.

Tablica 1. Dimenzije kvalitete u mjerenju uspješnosti informacijskih sustava

Dimenzija kvalitete sustava	Izvor
Pristupačnost (stupanj u kojem se sustavu i informacijama koje sadrži može pristupiti s relativno malo truda).	Nelson i sur. (2005), Delone i McLean (2003), Sirsat i Sirsat (2016)
Pouzdanost (stupanj u kojem je sustav pouzdan, npr. tehnički dostupan tijekom vremena).	Nelson i sur. (2005), Delone i McLean (2003), Sedera i Gable, (2004), Mijač i sur. (2023)
Vrijeme odziva (stupanj u kojem nudi pravovremene odgovore na zahtjeve).	Nelson i sur. (2005), Delone i McLean (2003)
Fleksibilnost (stupanj u kojem se sustav može prilagoditi različitim korisničkim potrebama i promjenjivim uvjetima).	Nelson i sur. (2005), Delone i McLean (2003), Sedera i Gable, (2004), Sirsat i Sirsat (2016)

Dimenzija kvalitete sustava	Izvor
Integracija (olakšava kombinaciju informacija iz različitih izvora).	Nelson i sur. (2005), Sedera i Gable, (2004)
Dostupnost (operativan i dostupan korisnicima kada im je potreban).	Delone i McLean (2003)
Sofisticiranost (postojanja naprednih značajki).	Sedera i Gable, (2004)
Funkcionalnost (obavlja zadane zadatke prema specifičnim korisničkim zahtjevima).	Mijač i sur. (2023)
Sigurnost (zaštita od neovlaštenog pristupa, te osiguranje integriteta i povjerljivosti).	Sirsat i Sirsat (2016), Mijač i sur. (2023)
Dimenzija kvalitete informacija	
Točnost (stupanj u kojem je informacija točna, jednoznačna, značajna, vjerodostojna i dosljedna).	Nelson i sur. (2005), Sirsat i Sirsat (2016)
Potpunost (stupanj dostupnosti svih relevantnih informacija za korisnike).	Nelson i sur. (2005), Delone i McLean, (2003), Sirsat i Sirsat (2016)
Relevantnost (informacija je korisna i odgovara potrebama korisnika u određenom kontekstu).	Delone i McLean, (2003)
Aktualnost (informacija je ažurirana, odnosno precizno odražava trenutno stanje).	Nelson i sur. (2005), Mijač i sur. (2023)
Format, lakoća razumijevanja (informacija je predstavljena na način koji je razumljiv korisniku).	Nelson i sur. (2005), Delone i McLean, (2003), Sirsat i Sirsat (2016)
Personalizacija (prilagodba individualnim potrebama, preferencijama i interakcijama).	Delone i McLean, (2003)
Dimenzija kvalitete usluga	
Jamstvo (pružatelj usluge osigurava korisnicima povjerenje u kvalitetu i pouzdanost usluge).	Delone i McLean, 2003
Empatija (sposobnost pružatelja usluge da razumije i prilagodi se specifičnim potrebama i osjećajima korisnika).	Delone i McLean, 2003
Odziv (brzina i učinkovitost odgovora na korisničke zahtjeve).	Delone i McLean, 2003, Sirsat i Sirsat (2016)
Tehnička kompetencija (stručnost u tehničkim aspektima koji omogućuju kvalitetno pružanje podrške i usluga).	Mijač i sur., 2023
Upute za korištenje (jasnoća i korisnost informacija o tome kako koristiti uslugu ili sustav).	Mijač i sur., 2023

Izvor: Izrada autora

Kvaliteta informacija odnosi se na sadržaj IS, koji treba biti personaliziran, potpun, relevantan, lako razumljiv i siguran, kako bi se potaknulo korisnike na aktivnost i njeno ponavljanje. Ova dimenzija obuhvaća potpunost, lakoću razumijevanja, personalizaciju, relevantnost i sigurnost (Delone i McLean, 2003). Prema Mijač i sur., (2023) kvaliteta informacija uključuje pouzdanost, ažurnost i pravovremenost. Faktor pouzdanosti obuhvaća i stavke koje mjere točnost, jer pouzdanost uključuje i točnost. Nelson i sur. (2005) koristili su četiri dimenzije za procjenu kvalitete informacija: točnost, potpunost, aktualnost i format.

Kvaliteta usluge odnosi se na opću podršku koju pružatelj usluge nudi, bez obzira na to dolazi li ona od IT odjela ili druge organizacijske jedinice ili vanjskog davatelja usluga. Ova dimenzija je osobito važna jer loša korisnička podrška može dovesti do gubitka korisnika. Prema Delone i McLean (2003) kvaliteta usluge odnosi se na jamstvo, empatiju i odziv. Dodatno uobičajeni pokazatelji kvalitete digitalne usluge uključuju i tehničku kompetenciju te upute za korištenje (Mijač i sur., 2023).

3. Metodologija

Uz teorijski doprinos u vidu unaprjeđenja metodologije procjene simulacijskih alata, u radu će se predloženi kvalitativni i kvantitativni kriteriji prezentirati kroz studiju slučaja, odnosno simulaciju jednog obrazovnog procesa. Testiranje simulacijskih alata se temeljilo na kreiranju simulacijskih modela izlaska studenta na usmeni ispit u dva različita alata, SimPy i Arena. U studenom i prosincu 2024. godine provedena je kvantitativna analiza performansi alata, a zatim i kvalitativna analiza njihovih karakteristika, pri čemu treba naglasiti kako se rezultati predstavljeni u radu temelje na ekspertnom mišljenju. Ekspert u ovom istraživanju posjeduje značajno istraživačko i nastavno iskustvo, te stručnost u području simulacijskog modeliranja diskretnih događaja i prihvaćanja novih tehnologija. U analizi je primijenjen sustavan pristup za kvalitativnu i kvantitativnu procjenu alata, a rezultati su temeljeni na kombinaciji teorijskog znanja, praktičnog iskustva i analizi relevantne literature.

U prvoj fazi analize definiran je simulacijski model. U modelu se pretpostavlja da su dolasci studenata stohastičke prirode (eksponencijalna distribucija s prosjekom od 5 minuta između dolazaka) i da je trajanje aktivnosti determinističko (konstanto od 10 min). Model je zatim izrađen u oba alata SimPy i Arena, što omogućava usporedbu njihove učinkovitosti. Prilikom izrade su analizirane i mogućnosti prilagodbe modela specifičnim obrazovnim zahtjevima, poput dodavanja novih aktivnosti. U drugoj fazi, mjereno je vrijeme izvršavanje za simulacije s različitim trajanjem i brojem replikacija. U trećoj fazi provedena je kvalitativna procjena softverskih alata pomoću kriterija korištenih u analiziranoj literaturi, te kriterija utemeljenih na dimenzijama kvalitete iz modela uspjeha informacijskih sustava. Primjena ovog teorijskog modela, uključuje kvalitativnu procjenu kvalitete sustava, kvalitete informacija, kvalitete usluga na temelju provedenih testiranja, pri čemu su kriteriji kvalitete dodatno razrađeni uz pomoć SWOT analize. U nastavku se u kratko daje osnovni opis analiziranih alata.

SimPy je biblioteka otvorenog koda za simulaciju diskretnih događaja (DES) napisana u programskom jeziku Python. Omogućava modeliranje i analizu kompleksnih (stohastičkih i dinamičnih) sustava kroz simulaciju interakcije različitih entiteta i resursa tijekom vremena. Python je moguće preuzeti sa službene stranice <https://www.python.org/downloads/>, te lokalno instalirati na računalu. Nakon toga potrebno je još samo kroz CMD terminal instalirati SimPy, čime je omogućeno njegovo korištenje kroz Python editor. Druga mogućnost je korištenje jedne od online platformi koje omogućavaju korištenje SimPy, primjerice Jupyter (<https://jupyter.org/try>).

Arena Simulation alat je s grafičkim korisničkim sučeljem koji omogućuje brzu izradu simulacijskih modela bez programiranja. Pogodna je za korisnike koji preferiraju vizualni pristup i standardizirane simulacijske procese, no manje je fleksibilna za prilagodbu izvan ugrađenih funkcionalnosti. Metodologija modeliranja u obliku dijagrama toka uključuje opsežnu biblioteku unaprijed definiranih blokova za modeliranje procesa bez potrebe za programiranjem.

Pruž a paletu statističkih distribucija za modeliranje stohastičkih procesa. Također, sadrži alate za statističku analizu i generiranje izvještaja, metrike performansi i nadzorne ploče, te nudi realistične 2D i 3D animacije za vizualizaciju rezultata (<https://www.rockwellautomation.com/>).

4. Rezultati i diskusija

4.1. Kvantitativna analiza

Predloženi simulacijski model simulira dolazak studenata na aktivnost usmeni ispit. U modelu se pretpostavlja da vremena između dolazaka studenata poprimaju oblik eksponencijalne distribucija s prosjekom od 5 minuta i da je trajanje aktivnosti od 10 minuta konstanto. Pokreće se više replikacija (100) kako bi se izračunao prosječan broj studenata koji završe aktivnost unutar zadanog simulacijskog vremena (100 minuta). Na kraju model ispisuje prosječan broj studenata koji su završili aktivnost za svaku pojedinačnu replikaciju, te prosjek za svih 100 replikacija. Simpy biblioteka za Python u ovom se eksperimentu pokreće u Jupyter online okruženju (<https://jupyter.org/try>) koje omogućava korisnicima da pokreću Python kod bez potrebe za lokalnom instalacijom. U JupyterLab ili Jupyter Notebook, otvara se novi Notebook, te se upisuje kod prikazan na slici 2.

Slika 2. Simulacijski model izrađen u Pythonu korištenjem SimPy biblioteke

```
%pip install simpy
import simpy
import random

# Parametri simulacije
INTER_ARRIVAL_TIME = 5 # (minuta)
ACTIVITY_DURATION = 10 # (minuta)
SIM_TIME = 100 # (minuta)

# Funkcija za jednu replikaciju
def run_simulation():
    completed_students = 0

    def student(env, name):
        nonlocal completed_students
        yield env.timeout(ACTIVITY_DURATION)
        if env.now <= SIM_TIME:
            completed_students += 1

    def student_generator(env):
        count = 0
        while True:
            yield env.timeout(random.expovariate(1 / INTER_ARRIVAL_TIME))
            count += 1
            env.process(student(env, f"Student-{count}"))

    env = simpy.Environment()
    env.process(student_generator(env))
    env.run(until=SIM_TIME)
    return completed_students

# Pokretanje 100 replikacija
replikacije = 100
rezultati = [run_simulation() for _ in range(replikacije)]

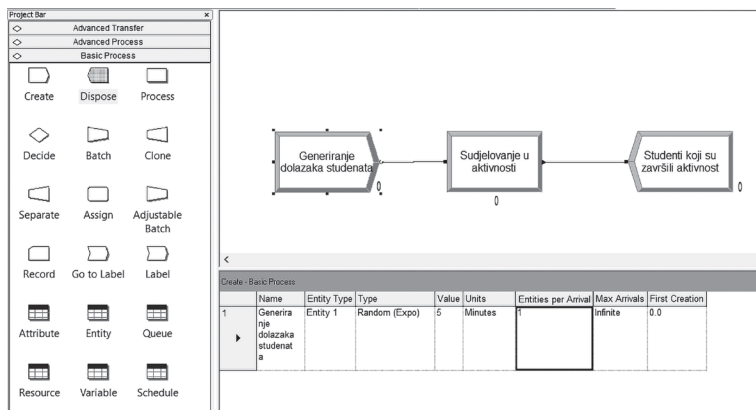
# Ispis rezultata za svih 100 replikacija
for i, rezultat in enumerate(rezultati, 1):
    print(f"Replikacija {i}: {rezultat} studenata je završilo aktivnost")

# Ispis prosječnog rezultata
prosjek = sum(rezultati) / replikacije
print(f"\nProsječan broj studenata koji su završili aktivnost u 100 replikacija: {prosjek:.2f}")
```

Izvor: izrada autora

Arena je preuzeta u evaluacijskom/edukacijskom modu što osigurava sve funkcionalnosti ali s ograničenom veličinom modela, što ne utječe na rezultate kvantitativne i kvalitativne analize prezentirane u ovom radu. Simulacijski model izrađen u Areni prikazan je na slici 3. Proces je prikazan u 2D prikazu uz pomoć korištenja samo tri objekta/modula alata (Create, Process, Dispose). Parametri su zadani na sljedeći način: Create: Interarrival Time = EXPO(5); Process: Name: " Sudjelovanje u aktivnosti", Action: Delay Constant(10), Dispose: Studenti koji su završili aktivnost.

Slika 3. Prikaz simulacijskog modela izrađenog u Arena alatu



Izvor: izrada autora

Za izradu simulacijskog modela SimPy je zahtijevao kodiranje pomoću Python skripte, dok Arena nudi grafičko sučelje i rad na principu povuci i ispusti. Trajanje aktivnosti u SimPy-u definirano je pomoću funkcije timeout, dok se u Arena alatu postavlja unutar modula Process. Generiranje dolazaka u SimPy-u koristi eksponencijalnu distribuciju definiranu funkcijom expovariate, dok Arena za ovu svrhu koristi Create modul s opcijom EXPO(). Kad je riječ o izlaznim podacima, SimPy generira tekstualne logove, dok Arena nudi grafičke prikaze i izvještaje. Ova usporedba naglašava poprilično različite pristupe u izradi simulacijskog modela i analizi rezultata. Za potrebe kvantitativne analize uspoređene su ključne metrike u simulacijskom procesu koristeći SimPy i Arenu. Prilikom korištenja SimPy izvršavanje traje manje od 1 sekunde za jedno pokretanje 100 replikacija. U Areni izvršavanje traje približno 30 sekundi za izvođenje 100 replikacija s animacijom, a približno 5 sekundi bez animacije. Iako se u jednom istraživanju (Castillo, 2006) navodi kako kod velikih modela SimPy ima sporije vrijeme izvođenja što može smanjiti prednosti korištenja interpreterskog programskog jezika na kojem je baziran, treba se naglasiti kako u ovom istraživanju pri testiranju prezentiranog modela na osobnom računalu prosječnih performansi SimPy značajno nadmašuje Arenu po pitanju brzine izvođenja. Vrijeme potrebno za razvoj modela varira ovisno o iskustvu korisnika, ali generalno se može zaključiti kako je Arena alat prikladniji za početno modeliranje zahvaljujući grafičkom sučelju, dok SimPy zahtijeva više vremena zbog potrebe za programiranjem. Analiza rezultata dobivenih u 100 replikacija (izvođenja) modela za oba alata prikazana je u tablici 2.

Tablica 2. Rezultati simulacijskog modela za 100 izvođenja (replikacija) simulacije

Alati	N	Aritm. sredina	Std. Devijacija	Std. pogreška
SimPy	100	17.62	4.588	0.459
Arena	100	18.93	4.193	0.419

Izvor: izračun autora

Rezultati provedenog t-testa ukazuju da postoji statistički značajna razlika između SimPy-a i Arene u pogledu broja studenata koji završavaju aktivnost, uz razliku u aritmetičkoj sredini 100 replikacija od -1.31, te statističku značajnost od $p=0.037$. S obzirom na to da su u simulacijskim modelima u SimPy i Areni ulazi stohastičke prirode, izlazi za svaku od 100 replikacija svakog izvođenja simulacije mogu varirati. Stoga je bilo nužno dodatno testirati i usporediti izlaze unutar istog alata kako bi se isključili mogući utjecaji varijacija u rezultatima. Uspoređeni su rezultati dva izvođenja simulacije u alatu SimPy, te je analiza pokazala da razlika između dva izvođenja 100 replikacija nije statistički značajna, budući da je p-vrijednost iznosila 0.851. Potrebno je istaknuti da ovdje prezentirani simulacijski modeli omogućuju eksperimentiranje i iterativno testiranje različitih scenarija, što pruža neograničene mogućnosti za analizu sustava. U ove simulacijske modele prema potrebi je moguće dodavati i nove varijable, drugačije parametre i uvjete, čime se omogućuje detaljno istraživanje ponašanja sustava u raznim okolnostima. Međutim, za potrebe ovog rada prezentiran je ograničen broj ključnih statističkih pokazatelja i rezultata kako bi se omogućila jasna i objektivna procjena performansi i karakteristika dvaju alata.

4.2. Kvalitativna analiza

Kriteriji za usporedbu SimPy i Arene prikazani u tablici 3 prilagođeni su i dorađeni na temelju istraživanja kojeg su proveli Jadrić i sur. (2014) za alate Arena i ExtendSim. Dopolnjeni su za kriterij zajednice, te kriterij cijene i licenciranja.

Tablica 3. Kriteriji za procjenu i komparaciju alata za simulaciju diskretnih događaja

Kategorija	Kriterij	SimPy	Arena
Proces modeliranja	Korištenje alata	Zahtijeva programerske vještine	Jednostavan za početnike, grafičko sučelje
	Izgradnja modela	Programiranje	Povuci i ispusti
	Učenje	Zahtjevno	Brzo
	Verifikacija modela	Nema vizualne verifikacije	Integrirani alati za verifikaciju
	Uvoz podataka	Putem koda	Kroz sučelje
	Dodavanje i uređivanje modela	Potrebno kodiranje	Kroz sučelje

Kategorija	Kriterij	SimPy	Arena
Podrška u modeliranju	Predlošci	Manje predložaka	Širok broj predložaka
	Razina detalja tijekom modeliranja	Visoka, ali zahtijeva programerske vještine	Prilagodljivo, ali s ograničenjima
	Intuitivnost objekata	Nema gotovih objekata, zahtijeva kodiranje	Visoka intuitivnost objekata u grafičkom sučelju
	Praćenje performansi modela	Potrebno dodatno kodiranje	Ugrađeni alati za automatsko praćenje
	Praćenje eksperimenata	Potrebno dodatno kodiranje	Jednostavno praćenje
	Online pomoć	Dokumentacija i zajednica	Službena online pomoć i dokumentacija
	Zajednica	Velika Python zajednica, mnoštvo resursa (forum, GitHub)	Profesionalna podrška, manja zajednica
Simulacija	Prikaz performansi (resursa/vrijeme)	Ovisno o implementaciji modela	Snažan prikaz resursa i kvalitete simulacije
	Distribucije vjerojatnosti	Dostupno uz dodatne biblioteke	Integrirani alati za distribucije vjerojatnosti
	Animacija modela	Ograničena animacija, dodatne biblioteke	Napredna animacija modela u realnom vremenu (2D/3D)
	Prilagodljivost modela	Visoka prilagodljivost, ali zahtijeva kodiranje	Lakša prilagodba uz grafičko sučelje
	Brzina izvršavanja simulacije	Brza	Nešto sporija zbog animacija
	Dinamički objekti modela	Ograničeni dinamički objekti	Bogatstvo dinamičkih objekata u sučelju
	Dinamičke statistike	Potrebne dodatne biblioteke	Jednostavno dinamičko prikazivanje statistike
Analiza izlaza	Format izvještaja	Potrebno dodatno kodiranje	Standardizirani format izvještaja
	Razumijevanje izvještaja	Potrebno programiranje za analizu	Jednostavno razumijevanje i izvještavanje
	Statistička analiza izlaza	Potrebne dodatne biblioteke	Ugrađeni alati za statističku analizu izlaza
Cijena i licenciranje		Besplatan, otvoren kod	Komercijalni alat, dostupna edukacijska licenca

Izvor: izrada autora

SimPy i Arena nude različite pristupe u simulaciji diskretnih događaja. SimPy, kao biblioteka koja se temelji na Pythonu, pruža veću fleksibilnost, ali zahtijeva vještine programiranja. Prema Zinovievu (2024), SimPy omogućuje jednostavno modeliranje diskretnih događaja, čineći ovaj proces lakšim zahvaljujući svojoj jednostavnoj integraciji s Python-om i intuitivnoj sintaksi. Omogućuje detaljnu kontrolu nad modeliranjem i simulacijom, no korisnici moraju samostalno programirati mnoge aspekte, uključujući uvoz podataka i generiranje izvještaja. S druge strane, Arena nudi grafičko korisničko sučelje koje korisnicima omogućuje brže modeliranje s gotovim predlošcima i alatima za automatsko praćenje performansi. Na učinkovitost Arene pri simulaciji jednostavnih procesa ukazalo je i istraživanje u kojem se uspoređivala Areni i ExtendSim (Jadrić i sur., 2014). Iako je Arena jednostavnija za početnike, njena fleksibilnost u odnosu na specifične zahtjeve simulacije je manja nego u SimPy. Kategorija analize izlaza pokazuje prednost Arene u standardiziranim izvještajima i integriranoj statističkoj analizi, dok je u SimPy potrebno koristiti dodatne biblioteke za napredniju analizu izlaza. SimPy i Arena se također razlikuju u pogledu cijene i licenciranja, što može značajno utjecati na izbor alata. SimPy je besplatan i otvorenog koda, što ga čini vrlo privlačnim za akademska istraživanja. S obzirom na to da je besplatan, omogućuje potpunu slobodu u prilagodbi i korištenju, ali zahtijeva višu razinu tehničkog znanja i programiranja. Nasuprot tome, Arena je prije svega komercijalni alat koji naplaćuje licence, pri čemu nudi obrazovne licence koje su primjerenije za primjenu u nastavnom procesu, a manje za istraživačke svrhe.

4.3. Dimenzije kvalitete modela uspjeha i SWOT analiza

U analizi SimPy-a i Arene, prema dimenzijama kvalitete Delone i McLean modela uspjeha IS, korišten je SWOT pristup kako bi se identificirale ključne prednosti, slabosti, prilike i prijetnje oba alata. Tablica 4 sažima rezultate SWOT analize za svaku od tri dimenzije kvalitete, naglašavajući specifične snage i slabosti, kao i potencijalne prilike za poboljšanje i prijetnje za oba alata.

Tablica 4. SWOT analiza dimenzija kvaliteta za SimPY i Arenu

SWOT	SimPy	Arena
Kvaliteta sustava		
Snage	- Fleksibilnost: omogućuje prilagodbu i proširenje pomoću Pythona. - Integracija: lako integrira s Python bibliotekama poput NumPy, Pandas. - Pristupačnost: besplatan, otvorenog koda.	- Pouzdanost: korisnička podrška. - Sofisticiranost: alat s brojnim unaprijed konfiguriranim funkcijama.
Slabosti	- Pouzdanost: bez službene podrške. - Sofisticiranost: zahtijeva poznavanje Pythona za napredne funkcionalnosti.	- Fleksibilnost: manje fleksibilan od SimPy-a, ograničen unaprijed definiranim funkcijama.

Kvaliteta sustava		
Prilike	- Razvoj integracija: mogućnost proširenja i prilagodbe pomoću drugih Python biblioteka.	- Funkcionalnost: daljnje proširenje modula za specifične industrijske aplikacije.
Prijetnje	- Konkurencija: komercijalni alati poput Arene mogu privući korisnike zbog lakšeg korištenja. - Sigurnost: moguće sigurnosne ranjivosti zbog ovisnosti o korisničkoj implementaciji.	- Fleksibilnost konkurencije: besplatni alati poput SimPy-a nude veću prilagodljivost i fleksibilnost. - Visoki troškovi: licenciranje može biti prepreka za korisnike s manjim budžetom.
Kvaliteta informacija		
Snage	- Relevantnost: potpuna prilagodba simulacija specifičnim potrebama. - Personalizacija: visoka prilagodljivost.	- Format: intuitivno grafičko sučelje olakšava razumijevanje modela. - Aktualnost: redovita ažuriranja.
Slabosti	- Aktualnost: ovisi o ažurnosti Python biblioteka i korisničkoj implementaciji. - Format: nedostatak vizualizacije može otežati razumijevanje simulacija.	- Personalizacija: ograničena prilagodljivost izvan unaprijed definiranih mogućnosti.
Prilike	- Aktualnost: rast Python ekosustava osigurava pristup sve dostupnijim bibliotekama. - Personalizacija: razvoj dodatnih alata za personalizaciju unutar Pythona.	- Relevantnost: razvoj industrijskih aplikacija za specifične zadatke. - Format: daljnje unapređenje vizualizacija (2D/3D).
Prijetnje	- Format: komercijalni alati poput Arene imaju intuitivnija sučelja. - Aktualnost: nedostatak centralizirane podrške.	- Personalizacija: besplatni alati poput SimPy-a omogućuju veću fleksibilnost. - Aktualnost: Rizik od zaostajanja iza alata otvorenog koda.
Kvaliteta usluge		
Snage	- Upute za korištenje: dokumentacija i brojni online resursi (npr. vodiči, forumi).	- Jamstvo: službena podrška s redovitim ažuriranjima softvera. - Odziv: brza tehnička podrška - Empatija: prilagodba korisnicima s različitim tehničkim vještinama. - Upute za korištenje: dokumentacija i brojni online resursi (npr. vodiči, forumi).

Kvaliteta usluge		
Prilike	- Empatija: razvoj dodatnih resursa prilagođenih početnicima. - Odaziv: mogućnost stvaranja organizirane zajednice za brže odgovore na korisničke upite.	- Tehnička kompetencija: daljnje širenje modula za specifične industrije. - Jamstvo: unapređenje jamstva kako bi se dodatno povećalo povjerenje korisnika.
Prijetnje	- Jamstvo: komercijalni alati poput Arene nude veće povjerenje kroz formalnu podršku i jamstvo. - Empatija: nedostatak jednostavnog sučelja može odbiti korisnike koji traže intuitivne alate.	- Odziv: brži razvoj alata otvorenog koda poput SimPy-a mogao bi smanjiti interes za komercijalne alate. - Cijena: trošak licence može ograničiti pristup korisnicima.

Izvor: izrada autora

SimPy ima prednost u kvaliteti sustava zbog fleksibilnosti i integracije s Python bibliotekama, dok Arena osigurava pouzdanost i sofisticiranost unaprijed konfiguriranim funkcijama. Ipak, u kategoriji kvaliteta sustava može se dati prednost SimPy zbog mogućnosti integracije s Python bibliotekama, što omogućuje veću prilagodbu korisnicima dok Arena u ovoj kategoriji blago zaostaje zbog manje fleksibilnosti. U dimenziji kvalitete informacija, Arena prednjači intuitivnim grafičkim sučeljem, no SimPy omogućuje veću prilagodbu simulacija specifičnim potrebama. Kod kvalitete usluge, Arena ima prednost jer nudi formalnu podršku i jamstvo, dok SimPy iako bogat resursima, ovisi o zajednici i nema formalno jamstvo.

Ovo istraživanje je pokazalo da izbor alata za simulaciju diskretnih događaja, poput SimPy i Arene, uvelike ovisi o specifičnostima primjene i potrebama korisnika, što navode i drugi autori. Na prednosti korištenja SimPy-a u modeliranju složenih sustava, ukazao je Zinoviev (2024) kroz niz praktičnih primjera pri čemu se naglašava jednostavnost izgradnje, analize i vizualizacije simulacijskog modela. Primjenjivost SimPy-a u različitim područjima istraživali su brojni autori. Primjerice, Guerrero i sur. (2022) koriste SimPy za optimizaciju proizvodnih linija u automobilskoj industriji, dok drugi autori predlažu okvir za simulaciju mrežnih aplikacija (Shivram i Prasad, 2018) ili modeliraju dinamičku alokaciju kanala u bežičnim mrežama (Cao i Ro, 2012). Također, Pinho i sur., (2016) navode kako SimPy omogućava učinkovito modeliranje i simulaciju opskrbnih lanaca, uključujući stohastičke varijable poput vremena obrade i kašnjenja strojeva. Autori naglašavaju upravo fleksibilnost SimPy-a u simulaciji različitih scenarija što ga čini korisnim za analizu, optimizaciju i predviđanje ponašanja u opskrbnim lancima. S druge strane Arena je simulacijski softver koji se široko primjenjuje za simulaciju diskretnih događaja, te procjenu i optimizaciju različitih sustava. Arena zahvaljujući svom korisničkom sučelju, omogućuje korisnicima jednostavno kreiranje simulacijskih modela složenih sustava i izvođenje različitih modifikacija i eksperimenata (Hashemi i Sattarvand, 2015). Arena također, ima široku primjenjivost u različitim industrijskim i logističkim kontekstima. U industrijskom okruženju omogućuje kvantitativnu procjenu poboljšanja u modelu, poput smanjenja čekanja, zaliha i povećanja proizvodnje, čime se zapravo optimiziraju proizvodni procesi (Dias i sur., 2022). U drugom primjeru Arena je uspješno primijenjena

u sektoru sigurnosne provjere prtljage za simulaciju i unaprjeđenje sustava tijekom gužvi, smanjujući maksimalno vrijeme čekanja (AlKheder i sur., 2020). Arena omogućuje brzo razvijanje modela, prilagođavanje procesima te integraciju općih logičkih blokova i globalnih varijabli, što je čini fleksibilnim alatom za različite primjene, uključujući proizvodnu logistiku (Lang i sur., 2021).

5. Zaključak

Prema spoznajama autora, temeljem pretražene literature i analize velikog broja kriterija za procjenu simulacijskih alata, dosada nisu korištene dimenzije Delone i McLean modela uspjeha IS (Delone i McLean, 2003) za procjenu i komparaciju simulacijskih alata. Također, iako su prethodne studije kombinirale kvantitativne i kvalitativne pristupe u svojim analizama, u ovom se radu predlaže specifično promatranje kvalitativnih kriterija i njihova dodatna analiza kroz prizmu SWOT analize. Uvođenjem dimenzija kvalitete iz modela uspjeha IS unaprjeđuje se metodologiju procjene alata, omogućujući cjelovitiji uvid u njihove prednosti i nedostatke. Kvaliteta sustava, informacija i usluga pruža okvir za dublju analizu performansi alata, dok SWOT analiza dodatno pomaže u razumijevanju potencijala i ograničenja u njihovoj primjeni. Ovaj pristup procjeni nudi smjernice za korisnike, omogućujući im donošenje odluka koje mogu povećati uspješnost implementacije simulacijskih alata u različitim kontekstima.

SimPy se ističe svojom fleksibilnošću i mogućnostima prilagodbe, dok Arena omogućuje brže modeliranje i jednostavnije postavljanje simulacija, što je korisno u situacijama gdje je ključna učinkovitost. Kombinacija ovih karakteristika naglašava važnost pažljivog odabira alata prema specifičnim ciljevima simulacijskog modeliranja. Cilj ovog istraživanja nije bio usmjeren na određivanje „boljeg“ od dva analizirana alata, već ukazati na nužnost sustavne analize temeljem kvalitativnih i kvantitativnih kriterija. Korištenjem obje perspektive, istraživanje omogućuje sveobuhvatan uvid u prednosti i ograničenja oba alata, SimPy-a i Arene. Ovakav pristup omogućava korisnicima da na temelju specifičnih potreba odaberu alat koji najbolje odgovara njihovim ciljevima, primjerice bilo da je riječ o fleksibilnosti i prilagodbi (SimPy) ili jednostavnosti korištenja i tehničkoj podršci (Arena).

Preporuke za buduća istraživanja proizlaze iz ograničenja istraživanja prezentiranog u ovom radu. Naime, rezultati studije slučaja obično se ne mogu generalizirati na širu populaciju, ali pružaju dubinske uvide koji mogu biti temelj za daljnja istraživanja. Ograničenja ovog istraživanja proizlaze iz nekoliko ključnih faktora koji utječu na valjanost rezultata. Ekspertna analiza kvantitativnih i kvalitativnih kriterija provedena je temeljem studije slučaja, odnosno simulacija jednog obrazovnog procesa. Ovaj pristup može rezultirati subjektivnim tumačenjima i ograničenjem u pogledu generalizacije na širu populaciju. S obzirom na specifičnost istraživanja i ograničenu primjenu Arene i SimPy-a u obrazovnom okruženju i gospodarstvu u Hrvatskoj, istraživanje u ovoj fazi nije obuhvatilo širu bazu korisnika. Ova specifičnost i mala zastupljenost alata u stvarnom okruženju predstavlja izazov za buduća istraživanja te validaciju prvenstveno kvalitativnih kriterija na većem uzorku krajnjih korisnika. Preporuka za buduća istraživanja je validacija kriterija s više stručnjaka koji primjenjuju simulacijske alate u različitim okruženjima (obrazovanje i gospodarstvo). U teorijskom pogledu za cjelovito

razumijevanje uspjeha u korištenju alata za simulaciju diskretnih događaja trebalo bi se u budućim istraživanjima uključiti sve dimenzije DeLone i McLean modela. Analiza bi se trebala proširiti na korisničku i organizacijsku perspektivu. Korisnička perspektiva koja vrednuje konstrukte namjere korištenja, stvarne uporabe i zadovoljstva, pružile bi uvid u to koliko alati zadovoljavaju potrebe korisnika i podržavaju njihovu svakodnevnu primjenu. Organizacijska perspektiva mjeri neto koristi, što omogućava procjenu utjecaja alata na organizacijsku učinkovitost, produktivnost i sl. Istraživanje se može proširiti i na druge domene osim obrazovne, ali i testiranje nekih drugih alata za simulacijsko modeliranje diskretnih događaja.

LITERATURA

1. AlKheder, H., Alomair, A., & Aladwani, B. (2020). Hold baggage security screening system in Kuwait International Airport using Arena software. *Ain Shams Engineering Journal*, 11(3), 687–696.
2. Alomair, Y., Ahmad, I., & Alghamdi, A.S. (2015). A Review of Evaluation Methods and Techniques for Simulation Packages. *International Conference on Soft Computing and Software Engineering*, 62, 249 – 256.
3. Alzahrani, A.I., Mahmud, I., Ramayah, T., Alfarraj, O., & Alalwan, N. (2019). Modelling digital library success using the DeLone and McLean information system success model. *Journal of Librarianship and Information Science*, 51, 291 - 306.
4. Awwad, M.S., & Al-Mohammad, S.M. (2010). Assessing Online Registration System's (ORS) Success: An Application of Delone and Mclean's Model of Information Systems Success. *Studies in Business and Economics*, 15, 5-23.
5. Azadeh, M.A., & Shirkouhi, S.N. (2009). Evaluating simulation software using fuzzy analytical hierarchy process. *Spring Simulation Multiconference*.
6. Bosilj-Vukšić, V., Čerić, V. & Hlupić, V., (2007). Criteria for the evaluation of business process simulation tools. *Interdisciplinary Journal of Information, Knowledge, and Management*, 2, 73–88.
7. Cao, Y., & Ro, C.W. (2012). Dynamic Channel Allocation Control with thresholds in Wireless Cellular Networks using Simpy. *International Journal of Contents*, 8, 19-22.
8. Castillo, V. (2006). Parallel Simulations of Manufacturing Processing using Simpy, a Python-Based Discrete Event Simulation Tool. *Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference*, 2294-2294.
9. Dias, A.S.M., Antunes, R.M.G., Abreu, A., Anes, V., Navas, H.V.G., Morgado, T., & Calado, J.M.F. (2022). Utilization of the Arena simulation software and Lean improvements in the management of metal surface treatment processes. *Procedia Computer Science*, 204, 140–147.
10. Gorla, N., Somers, T.M., & Wong, B. (2010). Organizational impact of system quality, information quality, and service quality. *J. Strateg. Inf. Syst.*, 19, 207-228.
11. Guerrero, R., Serrano-Hernandez, A., Pascual, J., & Faulin, J. (2022). Simulation Model for Wire Harness Design in the Car Production Line Optimization Using the SimPy Library. *Sustainability*, 14(12), 7212.

12. Gupta, A., Singh, K. & Verma, R., (2010). A critical study and comparison of manufacturing simulation softwares using analytic hierarchy process. *Journal of Engineering Science and Technology*, 5(1), 108–129.
13. Gupta, A., Singh, K., & Verma, R. (2010). A critical study and comparison of manufacturing simulation softwares using analytic hierarchy process, *Journal of Engineering Science and Technology*, 5 (1), 108 – 129.
14. Hashemi, A.S., Sattarvand, J. (2015). Application of ARENA Simulation Software for Evaluation of Open Pit Mining Transportation Systems – A Case Study. In: Niemann-Delius, C. (eds) Proceedings of the 12th International Symposium Continuous Surface Mining - Aachen 2014. *Lecture Notes in Production Engineering*. Springer, Cham.
15. Jadrić, M., Ćukušić, M., & Bralić, A. (2014). Comparison of discrete event simulation tools in an academic environment. *Croatian Operational Research Review*, 5(2), 203–219.
16. Jewer, J., & Evermann, J. (2020). A Systems Model of IS Success Using Agent-Based Simulation, *Workshop on Information Technology Adoption and Diffusion (DIGIT)*, Munich, Germany, December 15, 2019.
17. Lang, S., Reggelin, T., Müller, M., & Nahhas, A. (2021). Open-source discrete-event simulation software for applications in production and logistics: An alternative to commercial tools? *Procedia Computer Science*, 180, 978–987.
18. Mijač, T., Jadrić, M., & Ćukušić, M. (2023). The role of user experience and co-creation in measuring the success of digital services in higher education. *Behaviour & Information Technology*, 43(6), 1219–1240.
19. Nelson, R.R., Todd, P.A., Wixom, B., R., & Nelson, R.H. (2005). Antecedents of Information and System Quality: An Empirical Examination Within the Context of Data Warehousing. *Journal of Management Information Systems*, 21, 199 - 235.
20. Nikakhtar, A., Wong, K., Zarei, M.H., & Memari, A. (2011). Comparison of Two Simulation Software for Modeling a Construction Process. *2011 Third International Conference on Computational Intelligence, Modelling & Simulation*, 200-205.
21. Ojo, A. (2017). Validation of the DeLone and McLean Information Systems Success Model. *Healthcare Informatics Research*, 23, 60 - 66.
22. Oujezský, V., & Horváth, T. (2016). Case study and comparison of SimPy 3 and OMNeT++ Simulation. *39th International Conference on Telecommunications and Signal Processing (TSP)*, 15-19.
23. Pinho, T.M., Coelho, J.P., & Boaventura-Cunha, J. (2016). Forest-based supply chain modelling using the SimPy simulation framework. *IFAC-PapersOnLine*, 49(2), 90–95.
24. Rulinawaty, Samboteng, L., Purwanto, A.J., Kuncoro, S., Jasrial, Tahlili, M.H., Efendi, Y., & Karyana, A. (2024). Investigating the influence of the updated DeLone and McLean information system (IS) success model on the effectiveness of learning management system (LMS) implementation. *Cogent Education*.
25. Schaupp, L.C., Bélanger, F., & Fan, W. (2009). Examining the Success of Websites beyond E-Commerce: An Extension of the is Success Model. *Journal of Computer Information Systems*, 49, 42 - 52.

26. Sedera, D., & Gable, G. (2004). A factor and structural equation analysis of the enterprise systems success measurement model. U: L. Appelgate, R. Galliers, & J. I. DeGross (Eds.), *Proceedings of the Twenty-Fifth International Conference on Information Systems* (p. 449). Association for Information Systems.
27. Shaaban, K., & Kim, I. (2015). Comparison of SimTraffic and VISSIM Microscopic Traffic Simulation Tools in Modeling Roundabouts, ANT/SEIT, *Procedia Computer Science*, 52, 43 – 50.
28. Shivram, R., & Prasad, B.G. (2018). Agile Network Simulator Framework. 2018 *International Conference on Networking, Embedded and Wireless Systems (ICNEWS)*, 1-4.
29. Sirsat, S., & Sirsat, M.S. (2016). A Validation of The Delone And Mclean Model On The Educational Information System Of The Maharashtra State (India). *International Journal of Education*, 01.
30. Tate, M., Sedera, D., McLean, E.R., & Burton-Jones, A. (2014). Information Systems Success Research: The "20-Year Update?" *Panel Report from PACIS, 2011*. Commun. Assoc. Inf. Syst., 34, 63.
31. William H. Delone, & Ephraim R. McLean. (2003). The DeLone and McLean Model of Information Systems Success: A Ten-Year Update. *Journal of Management Information Systems*, 19(4), 9–30.
32. Zenina, N., & Merkurjevs, J. (2009). Analysis of Simulation Input and Output to Compare Simulation Tools. *Mechanics Transport Communication*, 3, 4-9.
33. Zinoviev, D. (2024). Discrete Event Simulation: It's Easy with SimPy! *ArXiv*,

Summary

Quantitative and Qualitative Approaches in the Evaluation of Discrete Event Simulation Tools

In this research, SimPy, a Python library for discrete event simulation, and the Arena tool were analyzed with the aim of evaluating and comparing their performance and characteristics in the context of discrete event simulation. The paper proposes expanding the number and types of criteria for evaluating and comparing discrete event simulation tools, with a methodological enhancement of qualitative assessment through the application of SWOT analysis. A comparative quantitative analysis was conducted based on the simulation of a simple educational process, while the qualitative assessment was based on an expanded set of evaluation criteria. In addition to the usual evaluation criteria, the qualitative research also introduced evaluation dimensions from the DeLone and McLean Information Systems Success Model. This model was used to evaluate the tools according to key quality dimensions: system quality, information quality, and service quality. Although the study presents a quantitative assessment, the main focus is on the qualitative analysis. A SWOT analysis was applied to the assessed quality dimensions to provide a deeper understanding of the strengths, weaknesses, opportunities, and threats in the application of the analyzed simulation tools. The results indicate that both tools have specific advantages, depending on the nature of the project and user needs. While SimPy offers greater flexibility and customization, Arena has proven to be more efficient for faster modeling. The conclusion of the study indicates that the choice of simulation tool is conditioned by the specifics of the project, and that the introduction of quality dimensions from the DeLone and McLean model can significantly improve the decision-making process when selecting a simulation tool. This approach enables a more accurate evaluation of the tools, which can lead to greater success in their application.

Keywords: Discrete Event Simulation; DeLone and McLean Information Systems Success Model; SimPy, Arena.



This work is licensed under a **Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License**.