

## Упоредна анализа софтвера за израду архитектонских рендера на примерима ентеријера

### *Comparative Analysis of Architectural Rendering Engines Using Examples of Interior Scenes*

Ирена Бабић, Марко Јовановић, Факултет техничких наука, Нови Сад

#### Студијски програм – АРХИТЕКТУРА

**Кратак садржај** – Истраживање се базира на упоредној анализи два софтвера за израду архитектонских приказа, Анрил Енџина (енг. *Unreal Engine*) и Ви-реја (енг. *V-ray*). Поређење се темељи на примерима сцена из ентеријера, у циљу процене рада у програмима и крајњег степена реалистичности приказа.

**Кључне речи:** рендеровање, фотореализам, софтвер, осветљење, текстура

**Abstract** – *The research is based on the analysis of two rendering engines used for creating architectural visualization, Unreal Engine, and V-ray. The comparison is accomplished through examples of interior scenes in order to determine the relation between the program workflows and the realism of the end results.*

**Keywords:** *rendering, photorealism, software, lighting, texture*

**НАПОМЕНА:** Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је био др Марко Јовановић, ванред. проф.

#### 1. УВОД

Архитектонска визуелизација представља „процес трансформације апстрактних геометријских модела и концептуалних скица у визуелне репрезентације које омогућавају антиципацију перцептивних и функционалних квалитета будућег грађевинског објекта“ [1]. У складу са тим, стилизоване презентације користе се у сврху дочаравања концептуалних квалитета, попут жељене атмосфере или планиране намене, док би реалистични прикази, требало да поседују цео скуп информације о тачном крајњем изгледу пројекта. Како употреба фотореалистичних садржаја, тј. генерисаних медија који се визуелно скоро па не разликују од стварних фотографија, омогућава тачнију перцепцију будућег објекта, у пракси је тренутно већа потражња за усавршењем ових приказа. Кроз употребу и интегрисање рачунарске графике у процес стварања визуелних материјала, постаје могуће креирати рендере који симулирају елементе попут осветљења и материјала у дигиталном

окужењу, на исти начин на који се они понашају у природи.

Архитектонски рендер јесте приказ, који настаје рачунарским процесом генерисања растерских слика из тродимензионалне геометријске сцене, кроз различите приступе прорачуна кретања светлости. Уз употребу рендера, у контексту визуелизације ентеријера, могуће је реплицирати било које својство амбијента, било да су то текстура или боја материјала, осветљеност простора, присуство рефлексија или амбијентални ефекти. Из овог разлога, данас и купци који се не баве архитектуром и не умеју да читају друге планове, могу бити подједнако информисани о томе како ће будући изграђени простор да изгледа, што поспешује разумевањем пројекта од стране свих странки. Тиме се знатно олакшава комуникација између пројектанта, клијента и извођача, смањујући неспоразуме и ризик од настајања грешака у фази реализације објекта.

Ову чињеницу потврђују и емпиријски подаци из индустрије, који указују да употреба реалистичних рендера у презентацијама некретнина повећава учесталост куповине за 27%, док употреба интерактивне визуелизације скраћују време ревизије пројекта за 35% [2]. Тиме се наглашава улога рендера као кључног фактора у доношењу одлука о просторном доживљају.

#### 1.1. Област истраживања

Један од проблема који се јавља у оквиру ових студија, јесте време које је потребно за креирање самих приказа. Како реалистични рендери убрзавају процес комуникације, очекује се да се нађе и најбржа и најфикаснија техника за њихово генерисање, како би цео радни ток био брз и учинковит, а у исто време и крајњи резултат био на задовољавајућем нивоу.

У циљу постизања високог степена фотореализма, архитектонски бирои опредељују се за професионалне офлајн софтвере попут Ви-реја (енг. *V-ray*), који захтевају знатну количину времена за достављање финалних садржаја. Овај програм представља тренутни индустријски стандард за физички засновано рендеровање (енг. *physically based rendering, PBR*), што је метод симулирања кретања светлости у стварном свету, за постизање визуелно реалистичних приказа материјала и површи. У контексту ентеријера, Ви-реј

омогућава проверену верност у рекреирању различитих рефлективних, храпавих и прозирних материјала, као и додатних детаља прљавштине и оштећења. Међутим, у пракси је познато да рендеровање сцене у адекватној резолуцији, са одговарајућим подешавањима за жељене резултате може трајати од неколико сати до чак неколико дана. Насупрот томе, постоје и програми за рендеровање у реалном времену који користе напредне технике како би умањили ово време и омогућили тренутни приказ резултата. Водећи међу њима, тренутно је софтвер Анрил Енџин 5 (енг. Unreal Engine 5), са својственим напредним системима осветљења и прорачуна полигона геометрије. Ове технике омогућавају примену интерактивног дизајна, где се промене у диспозицији намештаја, интензитету светлости или материјалима виде тренутно. Још једна могућност Анрил Енџина јесте креирање имерзивних искустава, тј. доживљаја који стварају осећај присуства и активног учествовања у дигиталном окружењу, попут виртуелних шетњи, презентација виртуелне реалности или преклапања проширене реалности на постојеће просторе. Овде је, како год, фокус на знатном повећању брзине генерисања резултата, коју овај програм нуди.

С обзиром на ове чињенице, поставља се питање методолошког и техничког избора. Да ли је за креирање висококвалитетних рендера ентеријера ефикасније усвојити Ви-реј као професионални рендеринг систем унутар Аутодеск 3дс Мах платформе, који нуди загарантоване резултате, или се окренути могућностима Анрил Енџина за рендер у реалном времену, који нуди брзину и нове начине приказивања? Ова дилема отвара нову тему у склопу архитектонске репрезентације простора, унутар које се проучава прелазак са статичког ка динамичком и од пасивног ка интерактивном приказу.

## 1.2. Стање у области

Упоредивање перформанси и квалитета између ова два софтвера представља значајну дискусију у савременим истраживањима из области рачунарске графике, визуелизације и интерактивних медија.

Када се прави технички избор, битно је фокусирати се на цео систем рада, као и начине на које се креирају крајњи резултати. Један од главних аспеката процеса генерисања рендера јесу методе симулирања кретања тј. понашања светлости. Прва тренутно релевантна техника у архитектонској пракси, јесте реј-трејсинг (енг. ray-tracing), који прати кретање сваког појединачног зрака, послатог из камере, кроз пикселе на екрану. Када зрак наиђе на објекат, софтвер прорачунава на који начин би се он одбијао, преламао, апсорбовао или прошао кроз постојеће површи, а затим га прати назад до извора. На основу овог поступка, даљим напретком развили су се пет-трејсинг (енг. path-tracing) и Лумен (енг. Lumen) технике које користи Анрил Енџин. Пет-трејсинг је напредна метода реј-трејсинга, која додаје и принципе глобалне илуминације, чиме се генерише и индиректно осветљење и боје које се преносе између објеката, насумичним одбијањем сваког зрака, више пута. Лумен је креиран као динамички систем глобалног

осветљења, који омогућава промене у реалном времену, уз коришћење поједностављених површи, које апроксимирају геометрију, с којом интерагује зрак. Унутар Ви-реја примарни систем такође ради на принципу пет-трејсинга, са тим да се бира између Брут Форсе (енг. Brute Force) и Лајт Кејш (енг. Light Cache) метода. Брут Форсе за сваку тачку у сцени рачуна осветљење без интерполације између узорака, док Лајт Кејш чува информације о осветљењу сваке тачке с којом интерагује и прави мапе осветљења које се касније интерполирају у једну слику. Лајт Кејш је бржи, али прави грешке, док је Брут Форсе прави тачне прорачуне, али захтева више времена [3].

Како напредују ови системи, битна тема постају и могућности рачунара, да испрате нове захтеве. Са методама које врше физички тачне прорачуне, процес рендеровања, постаје захтевнији, тако да је битно изабрати их у складу са могућностима графичког процесора (ГПУ, енг. Graphics Processing Unit) односно централног процесора (ЦПУ, енг. Central Processing Unit) рачунара. На оптерећеност ЦПУ-а и ГПУ-а утичу и различити фактори, од којих првенствено сложеност геометрије, односно мешева (енг. mesh). Појам меш, односи се на омотач геометријског тела која се састоји од темена, ивица и површи, где се те површи називају још и полигони. Што је већи број полигона, дуже траје рендеровање. Други фактори се тичу сложености материјала, подешавања за степен шума (енг. noise) на рендеру, као и жељеног броја семплова (енг. samples). Смањивањем броја семплова, тј. броја светлосних зракова, чије се кретање рачуна за сваки пиксел, може се постићи већа брзина, али мања тачност финалног резултата. На сличан начин повећање шума на слици повећава се неправилност и тачкасти ефекат осветљења, али смањује рендеринг време. На основу ових података, закључује се да треба обратити пажњу и о односу перформанси и жељеног фотореализма приказа.

Истраживања спроведена у пракси указују на знатно већу брзину рендеровања Анрил Енџина и већи степен перципираног фотореализма на Ви-реј рендерима. Стога, се поставља питање да ли Анрил Енџин, може достићи адекватан ниво фотореализма, који би омогућио бржи рендеринг процес у будућности.

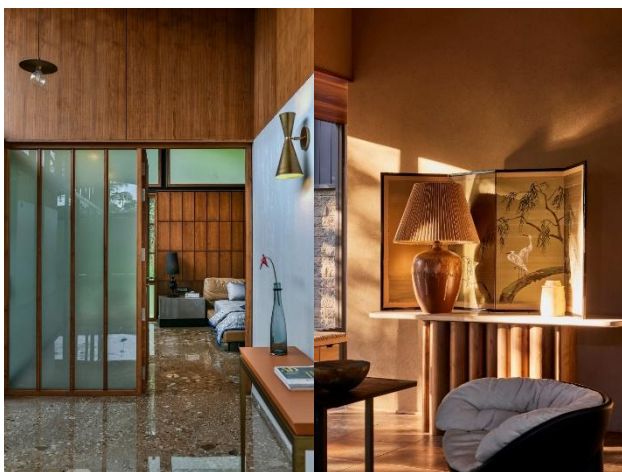
## 1.3. Циљ и критеријуми истраживања

У складу са овим проблемима, фокус рада биће на поређењу процеса креирања и перципираног крајњег квалитета приказа, измоделованих на основу примера ентеријерских сцена. Истраживање ће се односити и на откривања ефикаснијег и бољег одабира софтвера за учење за нове кориснике. Како Анреал Енџине има могућности симулације интерактивних визуелизација и видео приказа, цео процес рада био би знатно убрзан и поједностављен, када би се примарно генерисање статичних рендера, одвијало такође у овом програму. Главни циљ рада јесте, дакле, отворити тему о могућности употребе Анрил Енџина као јединог софтвера и за статичне и за динамичне имплементације, како би се омогућио један радни ток и учење само једног процеса. Битан фактор у решавању овог питања представљаће очување адекватне реалистичности приказа, за време које не умањује

ефикасност рада на пројекту. Треба открити који метод даје боље резултате, и у којој мери се они разликују, што ће бити праћено бележењем времена рендеровања и спровођењем анкете о веродостојности. Детаљно ће бити упоређен процес постављања сцене у оба програма, опције и методе подешавања, као и друге релевантне могућности.

## 2. МЕТОДЕ ИСТРАЖИВАЊА

Ради испитивања изводљивости остварења датог циља, у оквиру истраживања креирани су рендери у оба програма на основу две референтне ентеријерске сцене изграђеног архитектонског простора, тачније њихових фотографија. Референтне фотографије одабране су у складу са циљем рада, тако да тестирају другачију поставку камере, различите текстуре, својеврсну примену рефлексије и материјала који пропуштају светло, као и употребу различитих конфигурација осветљења. Као први пример, изабран је улаз испред спаваће собе Скју (енг. Skew) куће у Керали у Индији (Слика 1а) и део дневне собе Глас Риџ (енг. Glass Ridge) куће у Ла Канада Флинтриџу (енг. La Cañada Flintridge) у Северној Америци. (Слика 1б)



Слика 1. Фотографија из Скју куће (лево) и фотографија из Глас Риџ куће (десно) [1]

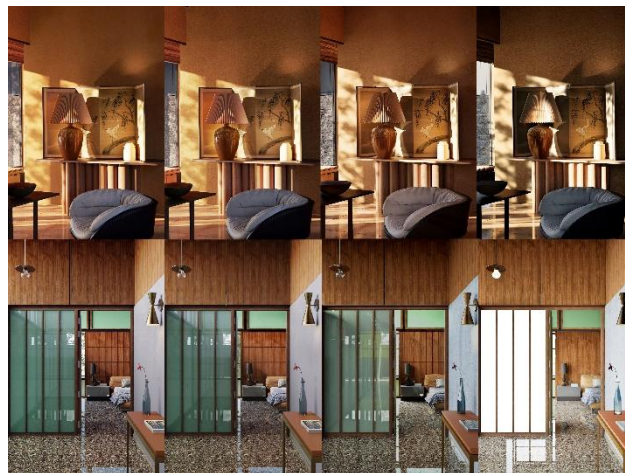
За оба приказа креиран је што веродостојнији тродимензионални геометријски модел, а затим су му била додељена својства попут текстура и боја. После тога, генерисани су рендери, са праћењем и тестирањем различитих принципа, који могу дати резултате, као што су опције ГПУ и ЦПУ рендеровања унутар Ви-реја и опције Лумена и пет-трејса у Анрил Енцину. Главно поређење вођено је између ГПУ приказа унутар Ви-реја који користи Брут Форс системе и приказа добијеног употребом пет-трејса у Анрил Енцину, како су ове методе најсличније у оба програма. Тестирало се и да ли други принципи дају погодније слике. Крајњи резултати упоређени су у односу на реалистичност, оцењену кроз анкету. Наспрам тога, мерило се време потребно за реализацију, а у процену је ушао и процес припреме сцене у оба софтвера. Посматрана су подешавања појединачних аспеката, а крајњи резултат добијен је

синтетисањем свих релевантних својстава, који су део истраживања.

Унутар овог рада анализирана је свака појединачна фаза у оквиру рекреирања сцене, која се састоји од постављања и моделовања геометрије, постављања камере, намештања параметара за рендеровање, подешавање осветљења, додавање материјала и текстура и техника пост-продукције.

### 2.1. Припрема сцене

Комбиновањем претходно наведених метода генерисања, а у циљу детаљнијег испитивања резултата, креирано је осам различитих рендера на основу примера ентеријера. За обе слике рекреирана су два приказа у Ви-реју са употребом Брут Форса, али један који користи ГПУ, а други ЦПУ, као и две слике из Анрил Енцина, где су тестиране пат-трејсинг и Лумен методе (Слика 2). За сваки је забележено време извршења сваког претходно споменутог корака, а даље је реалистичност тестирана кроз анкету.



Слика 2. Приказ свих рендера из Ви-реја и Анрил Енцина [2]

### 2.2. Анкета

Практични део анкете састојао се од питања базираних на упоређивању два визуала. Обухватио је шест парова, од којих су неки поредили два рендера, а други рендер са референтном фотографијом. За сваки пар постављено је питање: "Изаберите који од датих приказа сматрате да је фотографија реалног простора." са опцијама:

- Приказ лево је фотографија.
- Приказ десно је фотографија.
- Оба приказа су фотографије.
- Ниједан приказ није фотографија.

Уколико је испитаник одабрао опцију "Ниједан приказ није фотографија" постављено је потпитање за исти пример: "Изаберите који од датих приказа сматрате да је више реалистичан.", са одговорима:

- Приказ лево је реалистичнији.
- Приказ десно је реалистичнији.

Анкета је спроведена са циљем да се провери да ли су одређени рендери довољно реалистични да буду оцењени као фотографије реалног простора, као и да се

утврди релативна реалистичност међу различитим техникама.

### 3. РЕЗУЛТАТИ

На основу припремљених сцена, време рендеровања је у случају примене АНрил Енцин увек било краће од Ви-реја што је за очекивати, док резултати нису били толико видљиви. Један пример је време рендеровања, које је за Скју Хаус у случају Ви-реја применом ГПУ било 108 минута, насупротом 7 минута колико је било потребно за АНрил Енцин пат-трејсинг приступ, што је око 15 пута брже. За другу сцену је разлика још драстичнија, јер је време рендеровања око 30 пута брже, при чему се рендер у АНрил Енцину добија за око један минут.

Анкету је попунило 166 испитаника, од којих је 109 имало искуства у областима архитектуре и 3Д уметности, попут анимације и визуелизације, док 57 није имало додира са овим областима. Ово је битно, јер проверава у којој мери се разликују мишљења стручњака, од потенцијалних клијената који нису у истој бранши.

У оквиру анкете, оцењиван је квалитет приказа, на два начина. Први је био кроз тестирање, да ли ће испитаници помислити за неки од рендера да је реална фотографија изграђеног простора. Сваки пут када су перципирани као фотографије, прикази су добили по један бод, осим у случају када је слика упоређивана два пута, тада је прихваћена средња вредност резултата. Други начин је био за испитанике који су интерпретирали оба рендера, као рендере, али оценили један као реалистичнији. Сваки пут када је оцењен као реалистичнији, рендер је добио бод по истом принципу.

По том систему бодовања, на првом примеру Глас Риц куће, највише бодова је добио приказ из АНрил Енцина рађен пат-трејсингом у обе категорије, са 84.5 бода за потпуну фотореалистичност и 32 бода за већи степен реалистичности. Рендер из Ви-реја на ГПУ и ЦПУ имали су сличан број гласова, са 58 и 13, и са 56 и 18. На примеру Скју куће најбоље је оцењен приказ из Ви-реја на ЦПУ са 70 и 76 бодова, док је АНрил Енцин рендер са 61 и 36.5 гласова.

### 4. ЗАКЉУЧАК

На основу датих резултата, може се закључити да АНрил Енцин може у великој мери заменити Ви-реј у процесу генерисања рендера и постићи сличан степен реализма, уз употребу пет-трејсинг система за прорачуне осветљења. На ово даље указују одговори из првог дела анкете, где је АНрил Енцин био боље оцењен, од Ви-реја, што се може приписати и знатно бржим повратним информацијама, али и квалитету који пружа у материјализацији и осветљењу. Како је време рендеровања само неколико минута, лако се добије представа о крајњем резултату приказа, па је олакшан и корак исправљања потенцијалних грешака. У другом делу, Ви-реј сцена је оцењена као реалистичнија, али са малом разликом у гласовима у односу на пет-трејсинг сцену из АНрил Енцина. Ово указује на предност Ви-реја у тачном прорачуну

рефлективних површина, које су присутне на приказу. Ипак с обзиром на разлику у резултатима, та предност није знатна.

Упоредна анализа процеса постављања сцене указује на мању практичност АНрил Енцина у погледу креирања и измене геометрије, те је погоднији за случајеве где се увозе готови 3Д модели са интернета или измоделовани у другом софтверу. Поред тога, систем креирања материјала је мало комплекснији. Ипак, смањење времена за израду рендера са неколико сати на неколико минута, са сличним резултатима, оправдава временски, ове додатне кораке. Подешавања осветљења функционишу на сличном принципу.

Целокупан закључак указује на то да АНрил Енцине има велики потенцијал, да преузме улогу и рендеринг софтвера за статичне приказе и тиме олакша и интегрише цео радни ток креирања са интерактивним и динамичким визуелизацијама. Овим поступком био би поједностављен и процес учења програма, а знатно би било смањено и време рендеровања појединачних приказа.

Интеграција комплетног процеса унутар софтвера који је базиран на иновативним методама приказа, попут презентација виртуелних реалности, интерактивних сцена и преклапања са проширеном реалношћу, може усмерити архитекте на учесталију употребу ових напредних медија. То би представљало битан корак у разматрању свих могућности архитектонске репрезентације, као и помак даље у ефикасности целог система комуникације између пројектаната, клијената и извођача.

### 5. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Y.E. Kalay, "Architecture's New Media", Cambridge, Massachusetts, MIT Press, Мај 2004.
- [2] Autodesk, "State of Design & Make Report", San Francisco, California, Autodesk Inc., Октобар 2022.
- [3] M. Pharr, W. Jakob, G. Humphreys, "Physically Based Rendering: From Theory to Implementation", Burlington, Massachusetts, Morgan Kaufmann Publishers, Март 2023.

#### Кратка биографија:



**Ирена Бабић** рођена је у Сремској Митровици 1999. год. Мастер рад на Факултету техничких наука из области Архитектура – Архитектонска визуелизација и симулације одбранила је 2025.год.  
**Контакт:** irena.babic36@gmail.com