

ЦИФРОВО СКУЛПТИРАНЕ КАТО ОСНОВЕН МЕТОД В ПРОЦЕСА НА АРХИТЕКТУРНОТО ГЕНЕРИРАНЕ НА ФОРМИ

Мартин Евлогиев, асистент-преподавател, магистър архитект, кат. Технология на Архитектурата,
Архитектурен факултет, Университет по Архитектура, Строителство и Геодезия, гр. София,
evlogiev_m_far@uacg.bg

DIGITAL SCULPTING AS A PRIMARY METHOD IN THE ARCHITECTURAL FORM-GENERATING PROCESS

Martin Evlogiev, Senior Assistant Professor, Master of Architecture, Dep. Technology of Architecture,
Faculty of Architecture, University of Architecture, Civil Engineering and Geodesy, Sofia city,
evlogiev_m_far@uacg.bg

Abstract:

Architectural design requires attention to form creation, which plays a key role in the process. This process depends on urban planning regulations, the environment, geographical context, and the orientation of the object.

In the past, architects used traditional techniques such as sketches and watercolors, but the advent of digital modeling and sculpting has changed the way they work today. Software products provide powerful tools for creating complex architectural forms, with digital sculpting enabling the creation and visualization of models directly on the computer. This process facilitates rapid exploration and experimentation with different models, giving architects precise control over the form generation process.

Implementing this new method requires training and integration into the design practice, as well as modern technology for software products. Meanwhile, the improvement of each new version of sculpting software programs and the expansion of their features and tools enable new approaches and possibilities in shaping and expressing architectural design.

Keywords:

Architectural design, Form creation, Digital modelling, Sculpting, Integration, Digitalization.

1. ВЪВЕДЕНИЕ:

Формообразуването е основополагаща част в архитектурното проектиране. Търсенията на архитектурната форма се основава на градоустройствените норми и ограничения, значението на строежа, околното пространство и застрояване, географските посоки и ориентацията на бъдещото местоположение на обекта – сграда, пространство и други.

Процесът на архитектурното генериране на форми традиционно се базира на физически модели и ръчни техники – скициране, акварел и т.н. Тези методи и до днес се ползват както в практиката, така и в обучението и подготовка на кадри във висшите учебни заведения. Въпреки това, появата на цифровото моделиране и скулптиране преобразява творческия

ритъм и методология, като предоставя на архитекта мощни инструменти за създаване на сложни и подробни форми. Тези софтуерни продукти могат да се разделят на два основни типа в зависимост от начина на създаване на тримерните модели – моделиране чрез инструменти и модификатори и моделиране чрез скулптиране на формата посредством рисуване и нанасяне на пластове.

Тази разработка има за цел да проучи ролята на цифровото скулптиране като основен метод в процеса на архитектурното генериране на форми. Чрез използване на софтуер като ZBrush¹ и Mudbox², архитектите днес могат да визуализират, да създават вариации и да усъвършенстват своите проекти във виртуална среда, като спестяват време и ресурси в сравнение с традиционните методи. В случая ще бъдат разгледани предимствата на цифровото скулптиране и неговото въздействие върху работните процеси в архитектурата.

2. ЦИФРОВТО СКУЛПТИРАНЕ В АРХИТЕКТУРАТА

Цифровото скулптиране в архитектурата се отнася до процеса на цифрово манипулиране на виртуални 3D модели с помощта на специализиран софтуер. За разлика от традиционните техники, които изискват физически материали и инструменти, цифровото скулптиране дава възможност на архитектите да създават, усъвършенстват и визуализират сложни архитектурни форми директно на компютър. Едно от ключовите предимства на този метод е неговата способност да улеснява и ускорява изследването и създаването на различни образци на архитектурни модели. Архитектите могат лесно да манипулират и експериментират с различни форми, пропорции и детайли, което им позволява бързо да усъвършенстват своите концепции.

В допълнение, цифровото скулптиране предоставя на специалистите точен контрол върху процеса на генериране на форми. Чрез интуитивни инструменти за скулптиране, архитектите могат да оформят и моделират виртуални модели, подобно на глина, като лесно и прецизно коригират детайлите.

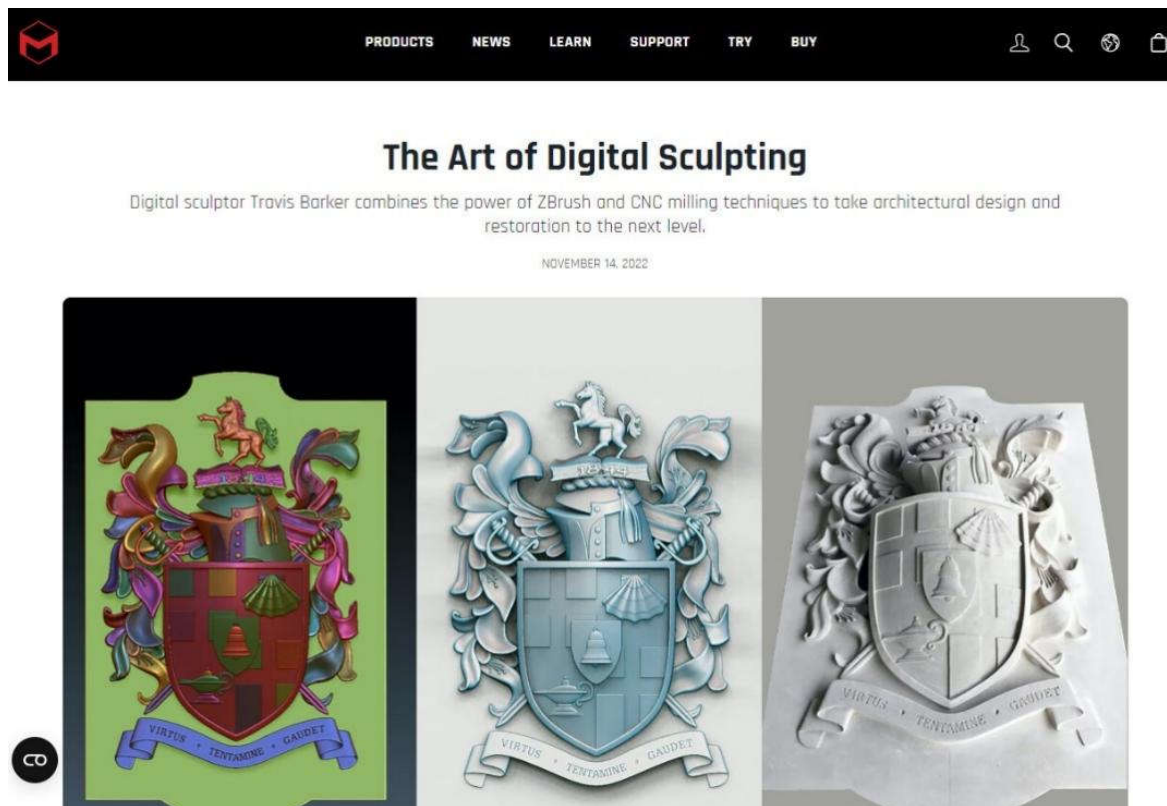
Този рисувателно-скулптурен метод позволява да се създават и визуализират по-ефективно сложни проектни форми. Чрез възможностите за визуализиране в реално време, в момента на работа е възможно проектите да се изобразят от различни ъгли, да се приложат разнообразни материали и характеристики на формите, да се подбере подходящо осветление, подсилващо архитектурното решение. Този процес на визуализация спомага за разбирането на пространствените взаимоотношения, връзките със средата, идентифицирането на пропуски във формата и формообразуването в проекта, както и комуникацията за целите на решението с инвеститорите, клиентите и други заинтересовани страни. В труда си „Evolution of drawing and sketching with the use of zbrush and the live boolean tool“ Алфонсо Елосуа, Майтане Агире и Давид Гарсия подкрепят това твърдение: „целта на тези техники и инструменти е да създават и търсят форми интуитивно, позволявайки на създателя да достигне бързо до напреднали фази на проектиране. Чрез този процес могат да се създават сложни модели и форми. В този смисъл тези системи могат да бъдат от голяма помощ в индустрии и сектори като архитектура и строителство, тъй като позволяват на потребителя да постигне реалистични и въздействащи резултати за представяне на проект пред възможни клиенти.“ [1]

От друга страна, дигиталният скулптор Травис Баркър използва инструментите на ZBrush с цел опазване на културното наследство. В статията си „ZBrush: The next evolution of CNC for architecture“ той посочва, че именно методът на цифровото скулптиране

¹ Pixologic Zbrush – софтуерен продукт за дигитално скулптиране и рисуване, наложил се като стандарт в графичните индустрии; вече част от продуктовата гама на Maxon.

² Autodesk Mudbox – софтуерен продукт за дигитално скулптиране и рисуване, наложил се като стандарт в графичните индустрии; разработен от Autodesk.

„позволява запазване и възстановяване на елементи по сгради културно наследство, чрез тримерно сканиране на дефектирани обекти или такива в риск. Това позволява запазването на различни обекти, давайки възможността те да бъдат възстановени или заменени.“ [2] Работата му се оценява високо предвид интервюто с него, публикувано в сайта на Махон (новият собственик на софтуера). В него той посочва, че „ако хората не могат да забележат разликата между оригинала и моето изделие, то аз съм свършил работата си.“ [3]



Фигура 1. Екранна снимка от интернет страницата на Махон за цитираното интервю на Травис Баркър

Цифровото скулптиране има и своите недостатъци, някои от които са:

- Необходимост от обучение на кадри работещи на специфични софтуерни продукти, които не се използват широко в проектантската практика и набират популярност.
- Интегриране на този нов метод в работата на архитектите и проектантските фирми и организации.
- Необходимост от рисувателни умения, които трябва да са силно застъпени в професионалната подготовка на всеки архитект.
- Необходимост от модерна техника за софтуерните продукти – компютър и графичен таблет³.

³ Графичен таблет – периферно устройство, представляващо дъска с писалка (стилук), върху което се рисува. Той може да е класически или дисплей таблет.

3. ОБЗОР НА ZBRUSH И MUDBOX – ПРЕДСТАВЯНЕ НА ПРОГРАМНИ ПРОДУКТИ ЗА ДИГИТАЛНО СКУЛПТИРАНЕ.

За целите на настоящата разработката ще бъдат разгледани два водещи софтуерни продукта, наложили се като стандарт в други индустрии използващи и създаващи дигитални тримерни модели: ZBrush и Mudbox. Към момента те набират популярност и в архитектурната професия. Причината тези софтуери да бъдат предпочитан избор е тяхната характерна особеност да боравят спокойно с високо-полигонални модели, като в тях могат да се създават различни обекти - твърди⁴ и меки повърхности⁵, без това да изисква изключително високи хардуерни възможности и характеристики на използваните компютри. Процесът по създаване на форми в този тип софтуерни продукти се осъществява чрез добавяне и отнемане на „материал“ върху примитива, чрез инструменти наречени „четки“. Четките имат различни свойства, като програмите позволяват създаването на собствени и добавянето на нови библиотеки. Именно този подход на създадените дигитални модели изисква от архитектите високи рисувателни умения особено при по-сложни органични форми и орнаменти.

ZBrush предлага изчерпателен набор от функции, включително динамично подразделяне, инструменти за скулптиране и напредни възможности за визуализиране. Той позволява да се скулптират подробности, да се създават органични форми и да се постигнат реалистични материални представяния. Възможността за динамично подразделяне на ZBrush позволява да се работи с високо-полигонални модели, като запазват гладка производителност, което позволява създаването на подробности дори на сложни геометрични форми.

От друга страна, Mudbox се отличава с мощни инструменти за текстуриране и рисуване. Архитектите могат да използват този софтуер за прилагане на текстури, цветове и завършващи шрихи върху своите 3D модели, което подобрява визуалното представяне и точността на дигиталните модели. Подобно на Zbrush, Mudbox също предлага широк спектър от четки и опции за рисуване, които позволяват на архитектите да прилагат текстури и цветове с прецизност и контрол. Те могат да симулират различни материали като дърво, метал, камък или плат, за да са сигурни, че визуалното представяне на формите съответства на търсената естетика и материалност. Възможността да се рисува директно върху повърхността на модела подобрява нивото на детайлите и реализма в архитектурните презентации и визуализации. Освен това, инструментите за ретопология на Mudbox позволяват на архитектите да оптимизират топологията⁶ на своите модели.

Двата софтуера са анализирани и сравнени в статията на сайта Geeksforgeeks, като са представени предимствата и недостатъците на всеки от тях., като Статията не дава конкретно становище кой от двата продукта е по-подходящ за работа. Това, което се констатира от нея е че ZBrush разполага с повече функционалности по отношение на инструментите и управлението на топологията на обектите. [4]

Топологията и топологизирането на обектите, като процес включва създаването на чиста и ефективна мрежова структура, подходяща за визуализиране и анимация. Архитектите могат да гарантират оптимален брой полигони, правилно разпределение на ръбовете и гладки преходи на повърхността. Чрез изпълнение на ретопология, проектантите могат да постигнат по-добра производителност, подобро визуално качество и по-точно - по-добро представяне на формите.

⁴ Твърди повърхности – hard surface modelling – техника за моделиране използвана за създаването на сгради, коли, машини и други.

⁵ Меки повърхности – soft surface modelling – техника за моделиране използвана основно за създаването на хора, животни и органика. Може да се приложи за декоративни архитектурни обекти.

⁶ Топология – начин на структуриране на формата от обекти на основата на полигоналната структура.

Още една важна функция на този тип програмни продукти е възможността им за скулптиране на органични модели. Архитектите могат да създават подробни органични форми като вълнообразни земни и природни форми или криволинейни архитектурни елементи.

4. ПРИЛОЖЕНИЯ НА ZBRUSH В АРХИТЕКТУРНИЯ ПРОЦЕС:

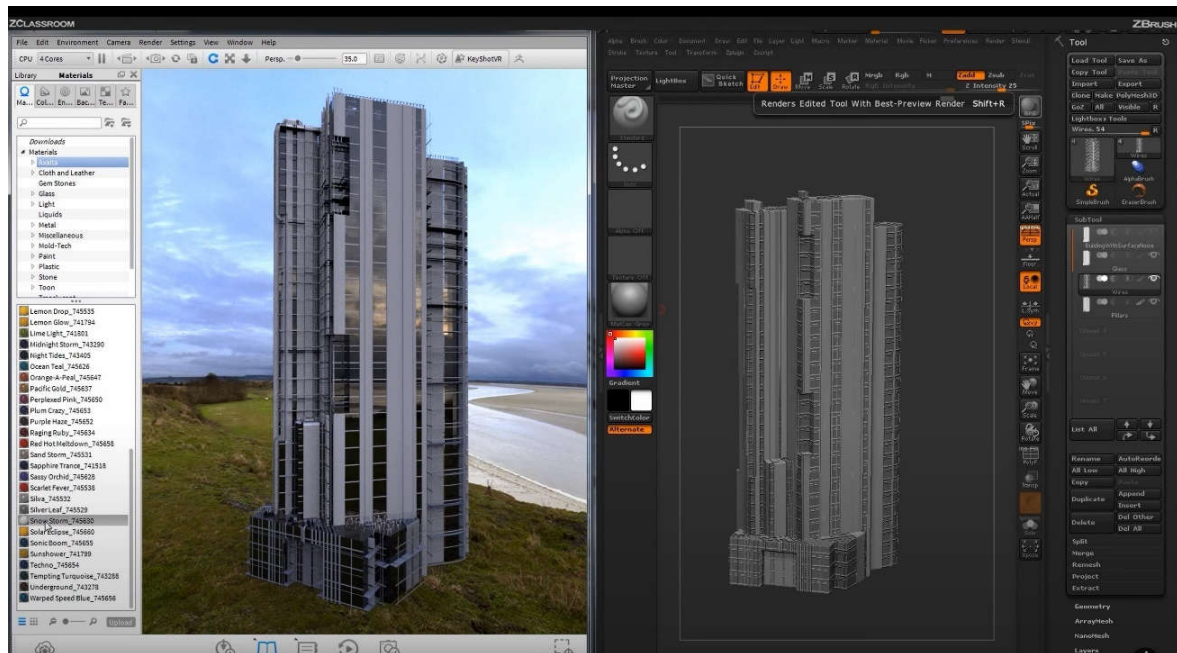
ZBrush намира множество приложения в архитектурния процес, позволявайки на архитектите да създават сложни форми и структури. Пример за това може да са формообразуването и проектирането на сложни фасадни обвивки. Динамичното разделяне в софтуера позволява на проектанта да добавя сложни детайли на повърхността. Чрез тях геометрията се изяснява с лекота, именно заради възможността на Zbrush да борави с високо полигонални модели. Това позволява да се извайват сложни модели, орнаментални мотиви и елементи и органични текстури директно върху дигиталния модел. След като е създаден базовият модел, архитектите могат да експериментират с различни варианти на визията на проекта, изследвайки разнообразни естетически подходи и оценявайки визуалния ефект на своите варианти в проектното решение. Това може да се осъществи в един файл, върху един и същ базов модел на формата. Това спестява много време, сложно наименоване на файловете, както и оптимизация на виртуално пространство на устройствата. За да може това да се осъществи се използва функцията “Layer”, която от своя страна може да контролира стойностите на варианта. Дава възможност също така да се комбинират няколко подобни варианта, стига топологията да го позволява – трябва и вариациите да имат еднакъв брой полигони.



Фигура 2. 3D модел моделиран чрез ZBrush - Oseram - Designed by Alex Zapata for Horizon: Zero Dawn [5]

ZBrush, подобно на останалите софтуерни продукти за тримерно моделиране, предлага и възможности за визуализиране, което позволява на архитектите да изобразят своите проекти по реалистичен начин. Чрез материали и функции за осветление, архитектите могат да симулират различни повърхностни обработки, текстури и условия за осветление. Това позволява да се оценят визуалният ефект на създадените архитектурни форми,

взаимодействието между светлина и сянка и да се вземат решения относно избора на материали. В случай, че се търси повече реализъм във финалното изображение, като допълнителна програма за създаване на фотореалистично изображение основно се използва KeyShot⁷ [6]



Фигура 3. Екранна снимка от обучително видео за генериране на архитектурни модели чрез функционалностите на Zbrush

Същевременно архитектите могат да използват ZBrush за генериране на параметрични архитектурни елементи, като колони, арки или сводове. Тази гъвкавост позволява на проектантите да експериментират с различни възможности за визуални решения, да променят параметрите на зададени характеристики в реално време, като по този начин да изследват широка гама архитектурни изразни средства за своите проекти.

5. ПРИЛОЖЕНИЯ НА MUDBOX В АРХИТЕКТУРНИЯ ПРОЦЕС:

Mudbox е разработка на наложилия се софтуерен гигант Autodesk. Тъй като Autodesk имат широка гама от софтуерни продукти, които се допълват взаимно, това предполага плавното преминаване на дигиталните модели от една програма в друга от продуктите на компанията. Mudbox се отличава с предоставянето на инструменти за рисуване, създаващи материалност и органично моделиране. Те са особено полезни в процеса на създаване на детайлни архитектурни елементи като скулптури, орнаменти и интериорни детайли, които да са части от цялостната архитектурна визия на обекта. Архитектите могат да използват инструментите за текстурно рисуване на Mudbox, чрез които да добавят реалистични материали, текстuri и финални штрихи към своите обекти, подобрявайки визуално естетичността и точността на моделите.

⁷ KeyShot – софтуерен продукт за рендер процеси. Импортира се готов тримерен обект и в програмата се добавят осветление, материали и ефекти. Програмата има голяма библиотека от текстuri и позволява създаването на нови.



Фигура 4. 3D модел моделиран чрез Mudbox - Santa Maria Della Pace, David Sibbe [7]

Подобно на Zbrush, Mudbox предлага широка гама от четки и опции за рисуване, които позволяват да се прилагат текстури и цветове с прецизност и контрол. В случая функциите за скулптиране на форми са доста ограничени, тъй като софтуерът в някои свои функции се доближава до други продукти от гамата на производителя – Autodesk Maya и Autodesk 3ds Max. Това, което определено различава Mudbox от Zbrush е широката гама от библиотечни алфа маски за симулация на различни материали като дърво, метал, камък или текстил. Това създава условия визуалното представяне на проектите решения да съответства на търсената им естетика и материалност. Възможността да се рисува директно върху повърхността на модела повишава многократно нивото на детайлност и реализъм в архитектурните презентации и визуализации.

Друго преимущество на Mudbox са добре разработените инструментите за ретопология на тримерни обекти. Това позволява топологията на моделите да се оптимизира до голяма степен автоматизирано. Този процес включва създаване на чиста и ефективна мрежова структура, подходяща за по-добро моделиране, визуализиране или анимация. Тези функции спестяват много време, което може да се ползва в търсене на архитектурната форма и визия. Същевременно може да се гарантира, че моделите имат оптимален брой полигони, правилно ориентирани и гладки преходи на повърхността. Чрез усъвършенстване на топологията се постига по-добра производителност, подобро визуално качество и по-точно представяне на архитектурните решения.

Още една характерна функционалност на Mudbox е възможността му за органично моделиране в скулптурния капацитет на програмата. Чрез нея архитектите могат да създават детайлни органични форми, като неравни пейзажи например, природни структури или криволинейни архитектурни елементи, което да доближи крайната визия на проекта до действителността. Чрез използването на инструментите за скулптиране на Mudbox, могат да се добавят естествени несъвършенства, неравности и органични модели, което би внесло реализъм в представянето чрез изображение или анимация на бъдещия проект. Тази гъвкавост в моделирането поддържа интеграцията на биометрични принципи във формите

и формообразуването, позволяваща на архитектите да се вдъхновяват от природата и да създават хармонични и иновативни архитектурни решения за своите проекти. Именно затова от 2010 г. той е част от обучението за студентите по Архитектура в Yale University. [8]

5. БЪДЕЩИ ТЕНДЕНЦИИ:

Областта на цифровото скулптиране в архитектурата продължава да се развива с бързи темпове, въпреки трудната ѝ приложимост към днешна дата - изискват се познания за множество софтуерни продукти. Последните подобрения в компютърните програми като ZBrush и Mudbox въвеждат нови функции и подобряват работния процес, както и разнообразяват подходите и начините на изразяване в архитектурата. Така например, заради високата функционалност в генерирането на форми, актуализациите в ZBrush се фокусират върху подобряването на възможностите му за визуализиране, позволявайки на архитектите да постигат изключително реалистични изображения на архитектурните форми, без необходимостта от допълнителни софтуерни приложения. Тези модернизации включват подобрения в материалите, осветлението и алгоритмите за визуализиране, което води до по-точни и завладяващи представяния на архитектурни обекти и пространства. Това твърдение е подкрепено и от направено допитване за нуждите на труда „Virtual reality in art studies: digital sculpting in VR“ на К. Вукович, Н. Дамжанов, Вл. Петкович. Съгласно анализа им, Zbrush е много по-използван от конкурентния му софтуер Mudbox в различните индустрии – 70%. [9]

Интеграцията на виртуална реалност (VR)⁸ и добавена реалност (AR)⁹ като технологии и използването им с инструментите за цифрово скулптиране отваря вълнуващи възможности за интерактивни преживявания в дигиталната архитектурна среда. Архитектите използват тези технологии, за да изследват своите проекти в пространствен контекст, което дава възможността да се правят промени в реално време и да придобият по-дълбоко разбиране и усещане за архитектурното пространство. VR и AR предоставят ново ниво на разбиране и сътрудничество, позволявайки на архитекти, клиенти и заинтересовани страни да изживеят и взаимодействат с архитектурните проектни решения по по-интуитивен и реалистичен начин.

Предвид темповете на развитие и напредък на дигиталните технологии за формообразуване и светоусещане, се очаква, че софтуерът за цифрово скулптиране ще продължи да напредва, като се въвеждат функции, които подобряват ефективността, реализма и употребата на инструментите, с които разполага. Този напредък може да включва подобрени алгоритми за скулптиране, по-добра динамика на инструментариума от функции и разширени библиотеки с материали.

Трябва да се отбележи и големият скок в разработките, ползващи изкуствен интелект¹⁰ и машинно обучение¹¹, от които се очаква да играят значителна роля в бъдещето на цифровото скулптиране в архитектурата. Тези технологии имат потенциала да

⁸ Виртуална реалност – Virtual reality (VR) – използването на компютърно моделиране и симулация, което позволява на човек да взаимодейства с изкуствена тримерна (3D) визуална или друга сензорна среда.

⁹ Добавена реалност – Augmented reality (AR) – интерактивно изживяване, което засилва реалния свят с компютърно генерирана информация. С използването на софтуер, приложения и технически устройства като очила за добавена реалност, се насладва цифрово съдържание върху реални околни среди и обекти.

¹⁰ Изкуствен интелект – Artificial intelligence (AI) – Теорията и разработката на компютърни системи, способни да изпълняват задачи, които обикновено изискват човешки интелигентност, като визуално възприятие, разпознаване на реч, вземане на решения и превод между различни езици.

¹¹ Машинно обучение – Machine learning – Използването и развитието на компютърни системи, които могат да учат и се приспособяват, без да следват ясни инструкции, като използват алгоритми и статистически модели за анализ и извличане на изводи от шаблони в данните.

автоматизират определени аспекти от процеса на скулптиране, като създаването на сложни модели, оптимизирането на проектните решения за структурна цялостност или предлагането на алтернативни варианти на форми, базирани на предварително зададени параметри. Това вече може да бъде видяно в последната разработка на Adobe - Photoshop 2023¹² - бета версия от октомври 2022 г., но за двумерни изображения. Чрез използването на силата на изкуствен интелект и машинното обучение, архитектите могат да оптимизират работния процес, да намалят повтарящите се задачи, което ще позволи задълбочаване в архитектурната проблематика и ще даде надежда за повишаване на архитектурните качества на бъдещите проектни решения.

Освен това, интеграцията на инструментите за цифрово скулптиране със софтуер за Строителни информационни модели (BIM¹³) е още една обещаваща тенденция. BIM позволява на архитектите да създават интелигентни 3D модели, които съдържат полезна информация за компонентите, материалите и системите на сградата. Чрез свързването на софтуери за цифрово скулптиране като ZBrush и Mudbox с BIM платформите, архитектите могат да трансферират и интегрират своите скулптирани форми в общия модел на информацията за сградата. Тази интеграция улеснява процеса на формообразуване, при който скулптираните архитектурни елементи могат да бъдат точно координирани с другите системи на сградата или да послужат за основа за разполагането на пространствата. Тези процеси водят до по-добра комуникация и сътрудничество в проектантския екип.

Достъпността на инструментите за цифрово скулптиране също се очаква да се увеличава в следващите години. С развитието на технологиите, опростяването на функционалностите и интерфейса позволява по-лесното използване на софтуер. Това дава възможност на архитекти с различни нива на техническа подготовка и познания да използват мощните инструменти на цифровото скулптиране в своите процеси на проектиране. Овлаждането на инструментите ще даде възможност на по-широк кръг от професионалисти да изследват и изразяват своите идеи за формата в тримерния пространствен контекст, насърчавайки креативността и иновациите в областта на архитектурата.

Въпреки това, е важно да разгледаме потенциалните предизвикателства и ограничения. Въпреки че цифровото скулптиране предоставя на архитектите мощни инструменти, то изисква определено ниво на техническа подготовка и запознатост със софтуера. В допълнение архитектурната професия предполага познания по рисуване, но това не е задължително условие и може да създаде трудности и предпоставки за отказ от използването на този тип софтуерни продукти. Тези особености може да наложат на архитектите и проектантите да инвестират време и ресурси в обучението и развитие на умения си, за да използват пълния потенциал на софтуерния инструментариум. В допълнение, зависимостта от цифрови инструменти въвежда опасения относно сигурността на данните, съвместимостта на файловете и необходимостта от надеждна хардуерна инфраструктура. Тези възможни усложнения трябва да се вземат предвид заради плавността на архитектурния процес и осъществяването на инвестиционното намерение. При включването на подобен тип софтуерни продукти е важно да се обърне внимание на изграждането на навици и правила при работата – записване периодично на работата, копиране, архивиране и управление на данни, за да може да се защитят цифровите активи – структуриране, оптимизация и защита на съхраняваната файловата информация. Причината за това е нестабилността на програмите, които в процеса на работа е възможно

¹² Adobe Photoshop – софтуерен продукт, част от гамата на дигиталния гигант Adobe. Софтуерът се използва за рисуване и обработка на растерни изображения.

¹³ BIM – Building Information Model – СИМ – Сграден информационен модел – дигитален модел съдържащ информация за всеки елемент от сградата по време на проектирането и експлоатацията ѝ.

да дадат грешка, поради работата с голям набор от полигони и свръх оптимизирането на софтуера, за да бъде той съвместим и с по-слаби машини в хардуерно отношение.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение, цифровото скулптиране с ZBrush и Mudbox като водещи софтуерни инструменти, революционизира процеса на създаване на архитектурни форми. Възможността за манипулиране на виртуални 3D модели, изследване на сложни форми и визуализиране на архитектурните решения по реалистичен начин е възможност за значително подобрене на работния процес на архитектурния процес. С продължаващото развитие и интеграцията на новите технологии, цифровото скулптиране е готово да определи раздел в бъдещето на архитектурата, като дава възможност на архитектите да надскочат границите на ординарната методология и да създават сгради с облик, който да съчетава изкуство и функционалностъа. Различните приложения, възможности и бъдещи тенденции, разгледани в тази разработка, подчертават големия трансформационен потенциал на цифровото скулптиране в архитектурното проектиране и методология на работа.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Alfonso Berroya Elosua, Maitane Echevarria Aguirre, David Artegoitia Garcia, “Evolution of drawing and sketching with the use of zbrush and the live boolean tool” [Accessed: 03-Oct-2023].
- [2] T. Barker, “ZBrush: The next evolution of CNC for architecture,” LinkedIn.com, 1582631725000. [Online]. Available: <https://www.linkedin.com/pulse/zbrush-next-evolution-cnc-architecture-travis-barker/?fbclid=IwAR30aETQFVYV7S-31DbHL1J-cRAK0jHtPQ5VoJybMhJQnsolmxoM71u1WEI>. [Accessed: 29-Sep-2023].
- [3] “The art of digital sculpting,” Maxon. [Online]. Available: https://www.maxon.net/en/article/the-art-of-digital-sculpting?fbclid=IwAR16tlNEASrYZMrdUIXLWEImHFfKv3bNNFV4ESCBGnlzWg7I_qsFiUgoVKs. [Accessed: 02-Oct-2023].
- [4] L. Follow, “Mudbox vs ZBrush,” GeeksforGeeks, 07-Jun-2022. [Online]. Available: https://www.geeksforgeeks.org/mudbox-vs-zbrush/?fbclid=IwAR2hHybbxVv5wiZ7V3JpF5i_E6yIDVdpFgEIPJ_6GYziY-_LU7wED760SZY. [Accessed: 02-Oct-2023].
- [5] V. Latour, “A Beginner’s Guide to ZBrush!,” School of Motion, 01-Dec-2022. [Online]. Available: <https://www.schoolofmotion.com/blog/beginner-guide-to-zbrush>. [Accessed: 03-Oct-2023].
- [6] P. ZBrush, “ZBrush Architectural Design - Part 6,” 24-Jun-2015. [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=zsESJ5rYvrY>. [Accessed: 02-Oct-2023].
- [7] *Artstation.com*. [Online]. Available: <https://www.artstation.com/artwork/6BB6r>. [Accessed: 03-Oct-2023].
- [8] Autodesk, “Yale architecture students dig into Autodesk Mudbox - AU 2010 special report,” 07-Dec-2010. [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=3S1ac5Hdvuo>. [Accessed: 03-Oct-2023].
- [9] K. Kaplarski Vuković, “Virtual reality in art studies: Digital sculpting in vr,” *Contraart.com*. [Online]. Available: https://contraart.com/portfolio/wp-content/uploads/2021/11/eLearning_2021_Kaplarski_Damjanov_Petkovic_Final-1.pdf. [Accessed: 03-Oct-2023].