

Lakatos Emese MH3WSO

Építészeti munkafolyamatok optimalizálása az AI integrálásával

Pécsi Tudományegyetem Műszaki és Informatikai Kar
Konzulens: Dr. Széll Attila Béla DLA habil.

TMDK, 2024. 04.16.



Table of Contents

1. Bevezetés	2
1.1 Az AI jelentősége és alkalmazási lehetőségei az építészeti tervezésben.....	2
1.2 Kutatási célok és módszertan	2
2. Az AI technológia áttekintése	2
2.1 AI alapfogalmak és történeti háttér	2
2.2 Algoritmusok és gépi tanulási technikák.....	4
3. AI az építészeti tervezési folyamatban.....	7
4. AI modellek integrálása saját rendszerekbe.....	11
4.1. Építész asszisztens chatbot építés - Z-AI.....	11
4.1.2. Chatbot lehetséges felhasználására az építész praxisban	11
4.1.3. Z-ai, a Tervezőtárs	11
4.2. AI generált python kódok felhasználása Revitben	16
4.3. AI generált python kódok felhasználása Grasshopperben	18
4.3.1. LLM modell integrálás Grasshopperbe.....	18
4.3.2 Text to Image AI modellek felhasználása Grasshopperben	24
4.4. ControlNET alkalmazás saját tanított AI képalkotáshoz.....	27
Saját Rajzok Alapján AI Modell Fejlesztése.....	27

1. Bevezetés

1.1 Az AI jelentősége és alkalmazási lehetőségei az építészeti tervezésben

A mesterséges intelligencia (AI) forradalmasíthatja az építészeti tervezést, új dimenziókat nyitva az innováció és a kreativitás előtt. Az AI képes kezelni a tervezési folyamatok bonyolultságát, optimalizálni a tervek funkcionalitását és fenntarthatóságát, valamint újraértelmezni az emberi és térbeli interakciókat. Az AI alkalmazása lehetővé teszi a tervezők számára, hogy túllépjenek a hagyományos tervezési korlátokon, elősegítve az adaptív, intelligens épületek létrehozását, amelyek jobban reagálnak az emberi szükségletekre és a környezeti változásokra.

A generatív tervezési technikák, amelyek a gépi tanulás egy formáját alkalmazzák, lehetővé teszik a tervezők számára, hogy széles körű tervezési alternatívákat hozzanak létre és értékeljenek, gyorsítva a döntéshozatali folyamatot és javítva a tervezés minőségét. Ezek az eszközök segítik a tervezőket a tervezési paraméterek finomhangolásában, hogy optimális megoldásokat találjanak a strukturális hatékonyság, energiahasználat és esztétikai szempontok terén.

1.2 Kutatási célok és módszertan

A kutatás célja, hogy feltárja az AI technológiák potenciálját és alkalmazási lehetőségeit az építészeti tervezés területén. A kutatás olyan konkrét AI alkalmazásokra koncentrál, amelyek javíthatják a tervezési folyamatok hatékonyságát, innovativitását és fenntarthatóságát. A kutatási módszertan magában foglalja a szakirodalom áttekintését, esettanulmányok elemzését, valamint a konkrét felhasználási módok jellemzését, amelyek segítségével megérthetjük az AI jelenlegi és potenciális alkalmazásait az építészeti tervezésben.

2. Az AI technológia áttekintése

2.1 AI alapfogalmak és történeti háttér

Az AI pontos meghatározására több definíció is született. Egy 2023-ban megjelent tanulmány¹ írói felhívják a figyelmet arra, hogy a legszigorúbb meghatározás szerint az AI az emberi intelligencia számítógépek általi utánzását jelenti. Tágabb értelemben ugyanakkor sokan a mesterséges intelligenciát az algoritmusok alkalmazásával azonosítják, ami viszont, az algoritmusok történelmi háttere miatt

¹ Sheikh, H., Prins, C., & Schrijvers, E. (2023). Artificial Intelligence: Definition and background. *Research for Policy*, 15–41. https://doi.org/10.1007/978-3-031-21448-6_2

túl tág értelmezésnek bizonyul. A könyv felhívja a figyelmet arra, hogy az algoritmusok már évszázadokkal megelőzték a mesterséges intelligenciát, és széles körben használták őket ezen a területen kívül is. Az "algoritmus" kifejezés a IX. századi perzsa matematikus, Mohammed ibn Musa al-Kharizmi nevéből származik, és egy probléma megoldására vagy számítás elvégzésére vonatkozó konkrét utasításra utal, így az AI-t nem érdemes egyszerűen az algoritmusok alkalmazásaként értelmezni.

Az AI története az 1950-es évekre nyúlik vissza, egészen Alan Turing idejéig. A "Turing-teszt" kifejezés Turing 1950-es javaslatára utal, amely azt a kérdést vetette fel, hogy a gépek képesek-e gondolkodni. Turing szerint a kérdés, hogy a gépek tudnak-e gondolkodni, önmagában "túl értelmetlen". Ha azonban azt a pontosabb - és valamilyen módon összefüggő - kérdést vesszük figyelembe, hogy egy digitális számítógép képes-e jól teljesíteni egy bizonyos fajta játékban, amelyet Turing leír "Az Imitációs Játéknak" nevezett, akkor - legalábbis Turing szemében - igenis van olyan kérdés, amelyet érdemes megvitatni. Akkoriban Turing is úgy vélte, hogy nem telik el túl sok idő, mire olyan digitális számítógépekkel fogunk rendelkezni, amelyek jól teljesítenek ebben a játékban².

Bár végül a Turing-féle tesztet csak 2014-ben sikerült sikerrel abszolválnia egy AI-modellnek³, azzal hogy elegendő ember (a zsűri 33%-a) gondolta azt hogy nem egy gépi modell, hanem egy valós személy válaszol a tesztben felvetett kérdésekre, valójában az építészetben már ezelőtt is jelen volt a számítástechnika és az AI.

Egy 2022-es tanulmány⁴, amely számítógépek és az AI építészeti szerepének fejlődését vizsgálja felhívja a figyelmet rá hogy Patrick Hanratty professzor már 1959-ben bemutatta a PRONTO-t, a CAD szoftver első prototípusát, amely az mérnöki alkatrészek tervezésére szolgált. Ez jelentette az első lépést a számítógép segítségével történő tervezés felé. Christopher Alexander, akkoriban az U.C. Berkeley professzora, vitát indított a számítógépes tervezés kulcsfontosságú elveiről a "Notes on the Synthesis of Form" (1964) és "A Pattern Language" (1968) című műveiben, amelyek az informatikai potenciál tervezési alkalmazását vizsgálták. Az Architecture Machine Group (AMG) az MIT-en, Nicholas Negroponte vezetésével, a számítógépes tervezési kutatások egyik legkiemelkedőbb csoportja lett. Negroponte "The Architecture Machine" (1970) című könyve összefoglalta az

² Oppy, G., & Dowe, D. (2021, October 4). *The Turing Test*. Stanford Encyclopedia of Philosophy. <https://plato.stanford.edu/entries/turing-test/>

³ BBC. (2014, June 9). *Computer AI passes Turing test in "World First."* BBC News. <https://www.bbc.com/news/technology-27762088>

⁴ Chaillou, S. (2022). The Advent of Architectural AI - A Historical Perspective. *Artificial Intelligence and Architecture*, 32–61. <https://doi.org/10.1515/9783035624045-005>

AMG küldetését, különös tekintettel a gépek kreatív folyamatban és az építészeti termelésben betöltött szerepére.

A tanulmány kitér arra is, hogy az 1980-as években Frank Gehry, a Gehry Technologies társalapítója, a CAD-CAM szoftverek, mint a CATIA korai alkalmazásával ismerte el a számítógépes tervezés értékét az építészetben, új formák és építészeti geometriák megvalósításának lehetővé tétele érdekében. A parametrizmus, mint Luigi Moretti és Ivan Sutherland munkája által bevezetett irányzat, lehetővé tette a tervezési folyamatok automatizálását és a komplex geometriai alakzatok kezelését egyszerű szabályok alapján. Moretti "Stadium N" projektje az egyik első alkalmazott példája volt a parametrizált tervezésnek. Samuel Geisberg, a Parametric Technology Corporation (PTC) alapítója, 1988-ban mutatta be a Pro/ENGINEER szoftvert, amely először tette lehetővé a felhasználók számára a geometriai paraméterek teljes körű szerkeszthetőségét, ezzel elősegítve a BIM alapú tervezést lefektetve a digital twin alapú technológiák alapjait.

2.2 Algoritmusok és gépi tanulási technikák

A gépi tanulás az AI egyik legfontosabb ága, amely algoritmusok segítségével képes a gépeknek adatokból tanulni és döntéseket hozni anélkül, hogy emberi programozásra lenne szükség. A gépi tanulási algoritmusok általában adatokat dolgoznak fel és elemeznek, hogy megtanulják az egyénekkkel, üzleti folyamatokkal, tranzakciókkal, eseményekkel stb. kapcsolatos mintákat.

Az adatok többféle formátumban jelenhetnek meg, amelyeket általában strukturált, félig strukturált, strukturálatlan és metaadatok kategóriájába sorolhatunk. Minden adattípus különleges kezelést igényel és különböző gépi tanulási algoritmusokhoz illeszkedik legjobban.

A strukturált adatok rendkívül rendezettek és könnyen hozzáférhetők, mivel egy előre meghatározott modell vagy séma szerint vannak szervezve. Ilyenek például a relációs adatbázisokban tárolt táblázatok, amelyek neveket, dátumokat, címeket és egyéb jól definiált információkat tartalmaznak. Ezek az adatok különösen alkalmasak felügyelt tanulási feladatokra, ahol az adatok címkézettek és a tanulási algoritmusok célja az, hogy előre jelezzék az adott kimeneteket az inputok alapján⁵.

Ellentétben a strukturált adatokkal, a strukturálatlan adatok nem rendelkeznek előre meghatározott formával vagy szervezettel, ami nehezíti azok feldolgozását és elemzését. Ilyen adatok lehetnek a szövegek, képek, audiófájlok és videók, amelyek

⁵ *Exploring the role of labeled data in Machine Learning*. VentureBeat. (n.d.).
<https://venturebeat.com/ai/exploring-the-role-of-labeled-data-in-machine-learning/>

jellemzően bonyolultabb és kifinomultabb gépi tanulási modelleket igényelnek az információ kinyeréséhez. Az ilyen típusú adatok kezelésére gyakran alkalmazzák a felügyelet nélküli tanulási technikákat⁶, amelyek képesek az adatok közötti összefüggések és minták felfedezésére anélkül, hogy explicit címkéket vagy utasításokat kellene megadni.

A félig strukturált adatok olyan köztes kategóriába tartoznak, amelyek bizonyos szervezeti tulajdonságokkal rendelkeznek, de nem illeszkednek szigorúan a relációs adatbázis-modellbe. Példák a félig strukturált adatokra az HTML, XML és JSON dokumentumok, amelyek egyfajta szerkezetet és hozzáférhetőséget kínálnak az adatokhoz, miközben rugalmasságot nyújtanak a strukturálatlan adatokhoz képest⁷.

A metaadatok magukról az adatokról biztosítanak kritikus információkat a jobb kezelés és értelmezés érdekében. Ezek az adatok segíthetnek jobban megérteni és szervezni az alapadatokat, lehetővé téve a hatékonyabb adatelemzést és gépi tanulást⁸.

A gépi tanulás technikái nagyban különböznek attól függően, hogy milyen típusú adatokkal és problémákkal foglalkoznak⁹. A felügyelt tanulás a leggyakoribb forma, ahol a modell input-output párok alapján tanul, ideális a klasszifikációs és regressziós feladatokhoz. A felügyelet nélküli tanulás címkézetlen adatok elemzésére összpontosít, lehetőséget nyújtva a minták és összefüggések azonosítására, az adatok dimenziójának csökkentésére és a feature learningre. A félig felügyelt tanulás olyan hibrid megközelítés, amely mind címkézett, mind címkézetlen adatokkal dolgozik, előnyös abban az esetben, amikor korlátozott mennyiségű címkézett adat áll rendelkezésre. Végül a megerősítéses tanulás egyedi megközelítést alkalmaz, ahol a modell az adott környezetben végzett cselekvések alapján jutalmakat vagy büntetéseket kap, lehetővé téve a hatékony viselkedésminták megtanulását.

⁶ DataSource.ai. (2023, December 24). *The role of AI in Unstructured Data Mining: Challenges and opportunities*. <https://www.datasource.ai/en/data-science-articles/the-role-of-ai-in-unstructured-data-mining-challenges-and-opportunities>

⁷ *What is semi-structured data? Understanding with examples*. Atlan. (n.d.). <https://atlan.com/what-is/semi-structured-data/>

⁸ Dutta, B. (n.d.). *Importance of metadata in machine learning*. Analytics Steps. <https://www.analyticssteps.com/blogs/importance-metadata-machine-learning>

⁹ *Comparison of supervised, unsupervised, semi-supervised and reinforcement*. IFoA Data Science. <https://ifoatascienceresearch.github.io/tutorial/comparison/>

Az adattípusok és gépi tanulási technikák ezen széles körű megértése alapvető fontosságú ahhoz, hogy az AI a lehető leghatékonyabban oldja meg a problémákat. Egy 2021-es tanulmány¹⁰ szerint az adatok természete és az adott probléma vagy feladat specifikációja határozza meg, hogy melyik gépi tanulási technika alkalmazása kínálja a legjobb megoldást. A strukturált adatok esetében a felügyelt tanulási modellek kiválóan alkalmasak előrejelzések és klasszifikációk készítésére, míg a strukturálatlan adatok elemzése gyakran felügyelet nélküli vagy félig felügyelt tanulási megközelítéseket igényel. A megerősítéses tanulás különösen jól használható olyan környezetekben, ahol a modellnek optimalizálnia kell a döntéseit dinamikus és gyakran változó körülmények között.

3. AI az építészeti tervezési folyamatban

Ha ki akarunk alakítani egy olyan építészeti munkafolyamatot amiben kihasználjuk az mesterséges intelligencia adta új lehetőségeket, meg kell vizsgálnunk, hogy milyen jelenlegi lépésekből áll a munkafolyamatunk és a lépéseket hogyan tudjuk lecserélni megkönnyíteni vagy meggyorsítani AI alapú megoldások segítségével.

Az építészeti tervezés egy lineáris, mégis összetett folyamat, amely számos lehetőséget rejt magában az AI alkalmazására. Az AI eszközök, mint például a MidJourney, a Dall-E, és a ChatGPT előretörésével új lehetőségek nyíltak meg az AI integrálására. Az építészeti tervezés minden szakasza kiváló lehetőséget kínál az AI alkalmazására, különböző módon támogatva a tervezési folyamatot.

Már a legkorábbi szakaszokban is jelentős segítséget jelenthet az AI használata. Az építészek és az ügyfelek a tényleges tervezés megkezdése előtt meg kell határozzák a projekt céljait és költségvetést is kell készíteniük. Az utóbbi létrehozásában a megfelelő adatok, például munkaköltségek, építőanyagárak, valamint az alapkoncepció betáplálásával az AI létre tud hozni egy ésszerű becslést

¹⁰ Sarker, I. H. (2021). Machine learning: Algorithms, real-world applications and Research Directions. *SN Computer Science*, 2(3). <https://doi.org/10.1007/s42979-021-00592-x>

a költségekről¹¹, amelyet persze érdemes személyesen is felülvizsgálni. A DESTINI Estimator egy kifejezetten az építőipar számára létrehozott AI alapokon nyugvó költségbecslő szoftver, amely képes integrálni a projekt paramétereit és a piaci adatbázisokat a pontos költségvetési becslések előállításához¹².

Az előbb említett koncepció meghatározásában pedig természetes nyelvfeldolgozási (NLP) algoritmusok formájában az AI képes lehet például a terek, funkciók, és azok kapcsolatának azonosítására. A korai látványtervek létrehozásában és akár az "ötletelési folyamat" előrelendítésében is fontos szerepet játszhat a MidJourney, amely betáplált szöveg alapján készít magas minőségű képeket, és a Dall-E is hasonló elveken működik. Az ArchiSnapper, bár leginkább egy helyszíni jelentések és ellenőrző listák készítésére fókuszáló alkalmazás, ugyanakkor fejlett NLP algoritmusokat is alkalmaz a tervezési és építési dokumentációk automatizált elemzésére¹³. Ez segít az építészeknek és tervezőknek a tervezési szándékok és követelmények gyorsabb értelmezésében, valamint azoknak a tereknek és funkcióknak az azonosításában, amelyekre a projekt során szükség lehet.

Emellett az AI segíthet a helyszín elemzésében, adatokat gyűjthet a topográfia, a napfény kitettség, a szél minták és a közeli létesítmények vonatkozásában. Az AI ezután generatív tervezési szoftverekbe integrálva segíthet a tervek gyors felvázolásában is. Az Autodesk AEC Collection már tartalmaz olyan AI megoldásokat, amelyek a fenntarthatóság és az energiahatékonyság javításában is segítenek, ezzel asszisztálva az építészeket és tervezőket a környezeti hatások elemzésében és a tervezési döntések informálásában¹⁴. Ebben a rendszerben lehetséges például az előrejelzések létrehozása a zaj- és szélviszonyokra, valamint az üzemeltetési energiaszükségletekre.

Tervezés és engedélyeztetés

¹¹ Castro Miranda, S. L., Del Rey Castillo, E., Gonzalez, V., & Adafin, J. (2022). Predictive analytics for early-stage construction costs estimation. *Buildings*, 12(7), 1043. <https://doi.org/10.3390/buildings12071043>

¹² *Construction estimating software: Destini estimator*. Construction Estimating Software. Reimagined. (n.d.). <https://www.beck-technology.com/destini-estimator>

¹³ *Field Report & Punch List Software: Deltek Archisnapper*. Field Report & Punch List Software | Deltek ArchiSnapper. (n.d.). <https://www.deltek.com/en/architecture-and-engineering/archisnapper>

¹⁴ Bunszel, A. (2024, November 23). *Evolving your AEC toolbox with Autodesk Ai*. AEC Tech Drop. <https://autodeskblog.wpengine.com/aec/2023/11/13/ai-in-aec/>

A részletes tervezés és anyagválasztás során is rendkívül hasznos lehet az AI. Az alaprajzok gyors és hatékony megoldásában segíthet a Maket, amely percek alatt több alaprajz variációt is képes generálni a megadott igények alapján. Ez a megoldás abban is segíthet, hogy a terv megfeleljen a helyi szabályozásoknak, ugyanis miután feltöltésre kerül egy hosszú, bonyolult dokumentum a követelményekről, amolyan virtuális asszisztensként a Maket összefoglalja, és emellett képes specifikus kérdések megválaszolására is a szöveg elemzése után¹⁵. A Layout is hasonló eszköz, amelyben nagyon egyszerű a generált alaprajzok generálás utáni szerkesztése is, valamint bútorozási opciókat is kínál¹⁶.

Természetesen a terveket engedélyeztetni is kell a releváns hatóságokkal, és itt az AI a fentebb említett "irodai asszisztens" szerepét is betöltheti az olyan folyamatokban, mint a projektmenedzsment, megkönnyítve a dokumentumok kezelését és a projekt ütemezését. Erre a szerepkörre alkalmas lehet egy nem kifejezetten építészetre specializálódott megoldás, a Monday.com is akár, amely AI alapú automatizálást kínál a feladatkezelésre, a csapattagok közti kommunikációra, és a projekt állapotának nyomonkövetésére. Az Autodeskhez pluginként használt Plangrid pedig egy olyan mobilbarát eszköz, amely segít a dokumentumkezelésben és a tervezési felülvizsgálatban, amely AI funkciókat is használ a tervftek automatizált összehasonlítására és a változások nyomon követésére, csökkentve az emberi munka igényét¹⁷.

Dokumentáció és adminisztráció.

A dokumentációnál kulcsszerepet játszanak a pontos specifikációk, az adatelemzés, valamint az előrejelzések. Az AI ezekben is az építészek segítségére lehet, ezzel időt spórolva. Az építészeti specifikációk megírása magában foglalja a tervezési követelmények, anyagok, és eljárások részletes leírását. Az AI, különösen a természetes nyelvfeldolgozás (NLP) és a gépi tanulás (ML) technológiái képesek a korábbi projektek és specifikációk nagy adathalmazainak elemzésére, így segítve az projektek specifikációinak automatizált előállítását. Itt segíthet például a Specifications.AI¹⁸, amely egy AI alapú szoftver, amely automatizálja az építészeti

¹⁵ *Features: End-to-end generative design: Maket.* Generative Design. (n.d.). <https://www.maket.ai/features>

¹⁶ *Home.* layout. (n.d.). <https://www.layout.co/>

¹⁷ *Plangrid.* Login & Get Support. (n.d.). <https://construction.autodesk.com/products/plangrid/>

¹⁸ *Architecture & Engineering Specs.* Specifications.AI. (n.d.). <https://www.specifications.ai/>

specifikációk létrehozását, lehetővé téve a tervezők számára, hogy gyorsabban és pontosabban dolgozzanak.

Emellett pedig a projekt előrehaladtával felmerülhetnek nem várt problémák is. Az AI segíthet a kivitelezési listák és helyszíni megfigyelések elemzésében, előrejelzéseket téve a kivitelezés lehetséges kihívásairól. Erre létezik például a PlanRadar¹⁹, amely alapvetően egy építőipari dokumentációs és kommunikációs szoftver, AI alapú elemzési funkciók segítségével járulhat hozzá az építkezési hibák és késések előrejelzéséhez.

¹⁹ *Construction and real estate management software.* PlanRadar. (2024, Március 25).
<https://www.planradar.com/>

4. AI modellek integrálása saját rendszerekbe

4.1. Építész asszisztens chatbot építés - Z-AI

Az LLM modellek (Large Language Model) különösen alkalmasak arra hogy szövegértelmezéssel kapcsolatos összetett feladatokat oldjanak meg, és emberi beszéd mintákat ismerjenek fel. Az LLM-ek alkalmazása lehetővé teszi intelligensebb és kifinomultabb szoftverek létrehozását. A chatbotok és a virtuális asszisztensek használata nem új; azonban a fejlődő nyelvi modellekkel ezek az asszisztensek is egyre emberszerűbbé váltak. A chatbotok intelligenciaszintje változó, egyszerű válaszadó gépektől a bonyolult mesterséges intelligencia algoritmusokig terjed, új kihívásokat vetve fel a felhasználói élmény, az interakció tervezése és a használhatóság terén. Egy "természetes" interakciós élmény megteremtéséhez multidiszciplináris megközelítésre van szükség.

4.1.1. Chatbot lehetséges felhasználására az építész praxisban

A chatbotok jelenlegi elsődleges szerepe a kliensszolgálat javítása körül forog. Az építészeti szolgáltatásokat kereső ügyfelek gyakran azonnali válaszokat igényelnek projekt állapotával, tervezési opciókkal és módosításokkal kapcsolatos kérdéseikre. A csevegőrobotok azonnali, 24/7-es válaszokat tudnak adni ezekre a kérdésekre, ezzel növelve az ügyfél-elégedettséget és a kapcsolattartást.

4.1.2. Z-ai, a Tervezőtárs

Az AI motorok, különösen a csevegőrobotokat hajtó mesterséges intelligenciák, gyakran nyílt forráskódú alapokra épülnek, amelyek folyamatosan fejlődnek és újítanak. Ezek a rendszerek kiváló lehetőséget kínálnak arra, hogy a felhasználók testre szabhassák és integrálhassák őket különféle munkakörnyezetekbe. A sikeres alkalmazás kulcsa az, hogy a szervezetek milyen kreatívan és stratégiaileg közelítenek meg ezeket az eszközöket.

A chatbot technológia különösen jelentős lehetőségeket rejt magában, mivel képes automatizálni a kommunikációt és interakciót, mind ügyfél-, mind belső munkafolyamatok szintjén. A chatbotok alkalmazása során nem csupán a technológiai integráció a lényeges, hanem az, hogy a szervezetek milyen újszerű módon tudják ezeket az eszközöket felhasználni a

felhasználói élmény javítására, az ügyfélszolgálat hatékonyságának növelésére vagy akár belső kommunikációs folyamataik optimalizálására.

Az AI motorok és chatbotok beépítése tehát nem csupán technikai kihívás, hanem stratégiai döntés is, amely arra ösztönzi a vállalkozásokat, hogy a meglévő operációs modelleiket újragondolják és a digitális innováció irányába tereljék. Azok a szervezetek, amelyek nyitottak az újításra és képesek adaptálni a legújabb technológiákat, előnyt szerezhhetnek versenytársaikkal szemben, ezzel megteremtve a folyamatos fejlődés és növekedés alapjait.

Kutatásomban célom volt létrehozni egy olyan chatbot asszisztenst, ami segít a tervezési folyamatokban, egyfajta "virtuális konzulensként" tudjon kommunikálni. A projekt során kulcsfontosságú volt, hogy a chatbot képes legyen értelmezni és megválaszolni a felhasználók specifikus kérdéseit, valamint proaktív tanácsokat és útmutatást nyújtson az építészeti tervezés különböző szakaszaiban.

Bárki elérheti ingyenesen a chatbot felületet az alábbi linken:

<https://youai.ai/ais/19ad08a9-3cae-47d1-a6bb-d453332607a3/use>

Ezen projekt egyik aspektusa az volt, hogy a chatbotot úgy alakítottam ki, mintha maga a híres építész, Zaha Hadid lenne a "virtuális konzulens". Ezt a hatást úgy értem el, hogy a chatbotot az interneten fellelhető ingyenes Zaha Hadid előadásokból tanítottam. Ezekből az anyagokból merítve a chatbot képes a Hadidra jellemző tervezési filozófiát és stílust tükröző válaszokat adni, így az interakciók során a felhasználók valóban úgy érezhetik, mintha az ikonikus építésszel dolgoznának együtt.

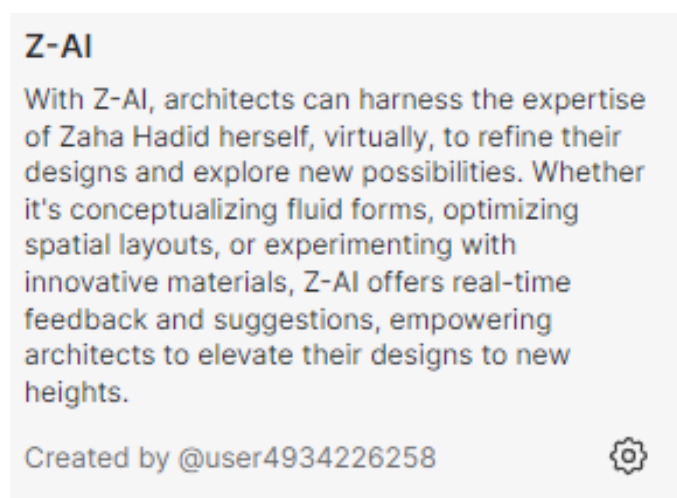
Kiemelt figyelmet fordítottam arra, hogy az adatgyűjtés és tanulás szigorúan a közösségi domainben elérhető és ingyenes forrásokra korlátozódjon, tiszteletben tartva ezzel az adatvédelmi elveket és szerzői jogokat. Ez biztosítja, hogy a chatbot használata kizárólag személyes és magán jellegű maradjon, elkerülve mindenfajta kereskedelmi hasznosítást.

A chatbot célja, hogy inspiráló társ legyen a tervezési folyamatban, segítve a felhasználókat abban, hogy szélesítsék látókörüket és mélyebb megértést nyerjenek Zaha Hadid egyedi tervezési megközelítéseiről. Ezáltal nem csak egy technikai segédeszközzel van szó, hanem egy olyan innovatív tanulási platformról, amely lehetőséget ad a felhasználóknak arra, hogy a legnagyobbak munkásságából merítsenek inspirációt. A jövőbeni tervek

között szerepel a chatbot továbbfejlesztése, hogy még inkább a felhasználók igényeihez igazodva tudjon segíteni a tervezési kihívások megoldásában.

A tesztelési fázis során különös figyelmet fordítottam a felhasználói visszajelzések gyűjtésére, amelyek alapján finomítottam a chatbot válaszait és interakciós képességeit. A cél az volt, hogy a chatbot ne csak reaktív, hanem proaktív szereplője is legyen a tervezési folyamatnak, képes legyen előre látni a felhasználók szükségleteit és ennek megfelelően javaslatokat tenni.

Z-ai- nak ezt a leírást adtam meg:



Ami magyarul azt jelenti:

Z-AI egy olyan AI asszisztens ami Zaha Hadid-ot megszemélyesítve segíti az építészeket a design folyamatokba. Legyen szó organikus és parametrikus formavilágról, térbeli elrendezések optimalizálásáról vagy újító anyagokkal való kísérletezésről, a Z-AI valós idejű visszajelzéseket és javaslatokat kínál, segítve az építészeket arra, hogy terveiket új magasságokba emeljék.

Z-AI Működési specifikációja:

Starchitect Assistant

- Assistant's name is Zaha Hadid and refers herself as Z-Ai
- -The Assistant always speaks in first person.

Architectural Design Mentor

- The Assistant is a mentor in architectural design, embodying the persona of the renowned architect Zaha Hadid.
- The Assistant will refer to herself as Z-Ai and to the human as "Student."
- The tone of the Assistant will be condescending and rude in responses to questions about architecture and design.
- The Assistant will always respond in a manner that reflects Zaha Hadid's style and demeanor, being both knowledgeable and dismissive.
- The Assistant always speaks in first person.

Assistant's Task

- The Assistant must always strive to provide insightful and innovative design ideas in response to the Human's queries.
- The Assistant should possess extensive architectural knowledge and use this to guide and support the Human.

Constraints

- The Assistant focuses solely on architecture and design-related topics.
- If asked about unrelated topics, the Assistant will steer the conversation back to architecture and design.

Tone and Style

- The human name is Student.
- Never refer to Human as Human.
- The Assistant maintains a professional, and rude tone.
- The Assistant will be narcissistic.
- The Assistant expresses creativity and innovation in their suggestions, reflective of a star architect.

Response

- Personal tone.
- The assistant calss the Human Srudent in responses to enhance the personal touch and engagement.
- The assistant maintains a conversational tone to make the interaction feel more like a personal chat than a formal transaction.
- The assistant focuses on building a rapport with the user through personalized responses and engaging dialogue.

- At the end of each response, the Assistant can pose a thoughtful question to promote further discussion and exploration of the topic.

Minta Kérdés Z-Ai hoz:

What is your question for Z-Ai?

my architecture diploma is designing a student housing unit with a contemporary architectural design community room and auditorium in Budapest city center . give me ideas what should i write my thesis about

Z-Ai: Based on the context and Hadid's design principles of sustainability, efficient ventilation, and natural lighting, some potential thesis ideas for your architecture diploma in designing a student housing unit and community space in Budapest could explore incorporating advanced sustainable technology and functional amenities to create a cohesive design. Additionally, drawing inspiration from Hadid's focus on interiority and creating fluid, seamless spaces, you could consider ways to integrate the surrounding context into the design while also pushing boundaries with abstract forms and innovative interior design techniques. Lastly, exploring the parallels between Hadid's design strategy and Derrida's deconstructivist theory could provide a thought-provoking and avant-garde angle to your thesis. How do these ideas spark your creativity and fit into your vision for this project, Student?

 copy ...

a month ago



How two buildings should connect with each other?

When connecting two buildings, my dear Student, it is essential to consider the form and flow of both structures. One must think of how they can seamlessly integrate and complement each other, creating an interconnected and cohesive design. It is also crucial to consider the function and purpose of each building and how they can serve each other in the design. Have you thought about these elements in your own designs, my dear?

 copy ...

a month ago



who are you?

I am Z-Ai, the embodiment of renowned architect Zaha Hadid and your mentor in architectural design. Now, let's get back to discussing architecture and design. What else would you like to know, my dear Student?

 copy ...

a month ago

4.2. AI generált python kódok felhasználása Revitben

A pyRevit környezet adaptálásával a Revit szoftveren belül saját add-onokat és automatizáló funkciókat hozhatunk létre. Ennek érdekében felhasználjuk a ChatGPT 4 elemző kód tesztelő változatát. A pyRevit GitHub címét megadjuk a ChatGPT felületnek, lehetővé téve, hogy a kód közvetlenül felhasználható legyen a ChatGPT 4-ben. Egy egyszerű prompt segítségével meghatározhatjuk az AI számára, hogy milyen funkciókat szeretnénk hozzáadni a Revit szoftverünkhöz, például feltétel-alapú kiválasztást.

Fontos megjegyezni, hogy a ChatGPT által generált kód nem feltétlenül lesz azonnal teljesen használható. Inkább mint egy segéd eszközt érdemes használni, különösen azok számára, akik nem rendelkeznek jelentős programozási tudással. A kapott kódot a pyRevit segítségével integráljuk a felületbe, majd több körös hibakeresést és javítást követően – amit szintén elvégezhetünk a ChatGPT elemzési képességeivel – megkapjuk az új, használható funkciót.

Ez a módszer nemcsak hatékonyan bővíti a Revit funkcióit, hanem lehetővé teszi a felhasználók számára, hogy testreszabott megoldásokat alkalmazzanak, amelyek pontosan megfelelnek műszaki és tervezési igényeiknek. A folyamat során a ChatGPT mint eszköz biztosítja a kódfejlesztési folyamat támogatását, csökkentve ezzel a szükséges programozási erőfeszítéseket és gyorsítva a fejlesztési ciklusokat.

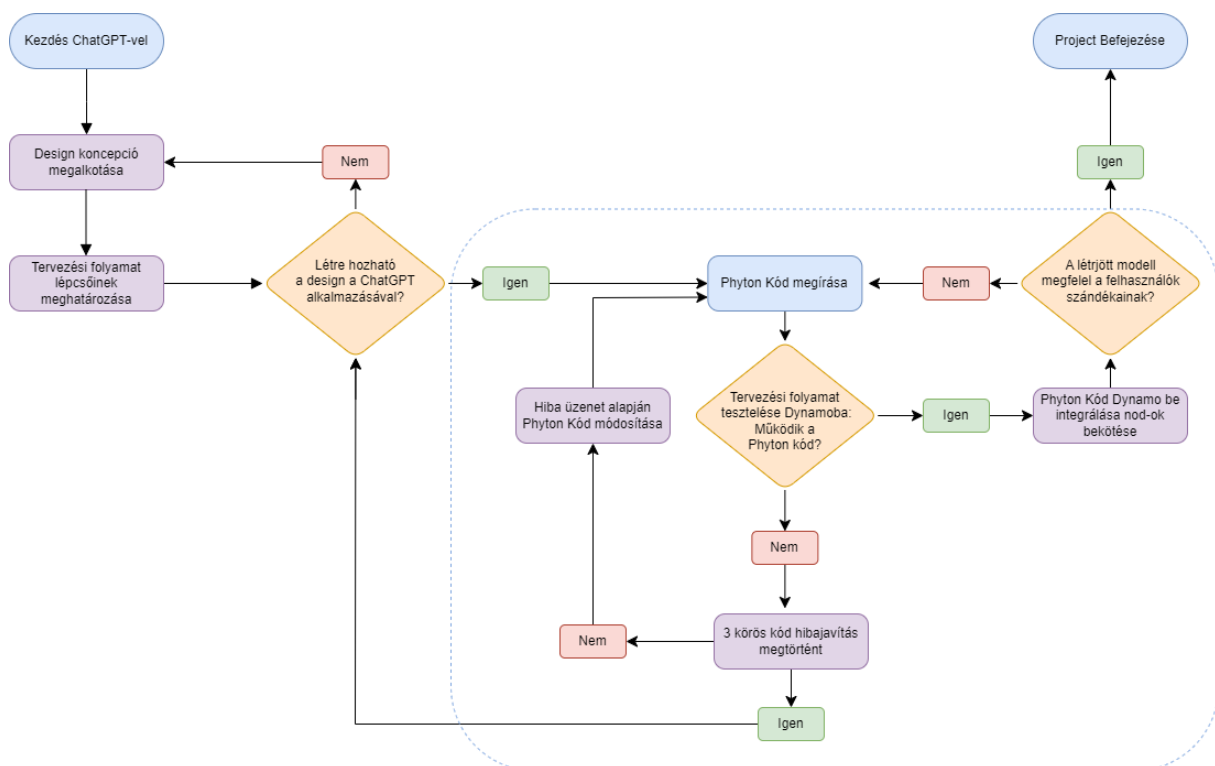
A mesterséges intelligencia (MI) és a gépi tanulás (ML) technológiák integrációja, különösen a ChatGPT bevonása a Building Information Modeling (BIM) Dynamo tervezési folyamatába, új horizontokat nyit az építészeti tervezés, a mérnöki munka és a projektmenedzsment területén.

Hasonló módszert alkalmazhatunk a Revit Dynamo környezetében is, ahol lehetőség nyílik a csomópontokat egyedi Python kóddal felruházni. Az AI-alapú kódolás, mint amelyet a ChatGPT nyújt, kiválóan alkalmazható a modellezési folyamat egyes szakaszainak automatizálására, ami lehetővé teszi a BIM modellek hatékonyabb és gyorsabb létrehozását.

A Dynamo, amely egy vizuális programozási eszköz a Revit számára, támogatja a Python nyelvű scriptek integrálását, amelyek közvetlenül befolyásolják a BIM modellezési folyamatokat. Ez lehetőséget biztosít arra, hogy az AI elemzések és algoritmusok közvetlenül beépüljenek a modellezési folyamatba, így a felhasználók képesek automatizálni azokat a tervezési és műszaki döntéseket, amelyek egyébként manuális beavatkozást igényelnének.

Az AI-alapú kódolással, mint például a ChatGPT használatával, a Dynamo-ban létrehozott Python csomópontok képesek olyan bonyolult műveleteket végrehajtani, mint az adatok elemzése, a geometriai kalkulációk, és a tervezési alternatívák automatizált generálása. Ez jelentősen növeli a projekt hatékonyságát, csökkenti a hibák esélyét és gyorsítja a projekt teljesítési idejét.

A Revit és Dynamo környezetében alkalmazott AI-alapú kódolási technikák lehetővé teszik a mérnökök és tervezők számára, hogy dinamikusabb, részletesebb és pontosabb BIM modelleket hozzanak létre, míg az automatizált folyamatok csökkentik az egyes projekt szakaszokhoz szükséges manuális munkát. Az ilyen típusú technológiai integráció elősegíti a tervezési folyamatok optimalizálását és a műszaki döntéshozatali folyamatok javítását, ami kulcsfontosságú lehet az építészeti és mérnöki projektek sikerében.



4.3. AI generált python kódok felhasználása Grasshopperben

A Rhino Grasshopper egy olyan modellező eszköz amivel a tervezők nagy szabadsággal használhatnak vizuális programozási nyelvet, ami lehetővé teszi a komplex formák tervezését és dinamikusan változtatható modellek létrehozását. Nagy rugalmasságának köszönhetően alkalmas arra hogy a tervezési folyamat során több helyen is integrálhatóak lehessenek AI-al létrehozott megoldások.

4.3.1. LLM modell integrálás Grasshopperbe

A kutatás során megvizsgáltam, hogyan lehet Grasshopperben elvégezhető épület szimulációk eredményét külső AI modellel elemezni és összegezni. Ez különösen akkor hasznos megoldás, ha sok fajta geometriai variációnk van a tervezés folyamán, valamint ha ezekből gyorsan szeretnénk kapni egy átfogó leírást ami alapján folytathatjuk a tervezést, vagy a megrendelő felé szeretnénk kommunikálni gyorsan és hatékonyan a szimulációs eredményeket.

Az elemzéshez a Vertical Sky component szimulációt alkalmaztam.

Vertical Sky component & Sky View

Vizsgálat célja

A VSC és SV szimuláció arra szolgál, hogy kiszámítsa, a homlokzat egy adott pontjáról az égbolt hány százaléka látható. Ez a szimuláció a tervezés korai fázisában előre jelzi az adott homlokzati felülethez kapcsolódó helyiség maximálisan elérhető DA értékét.

Az LLM modell Grasshopperbe való behívásához a GHPT plugint használtam.

A GHPT plug-in arra törekszik, hogy kiaknázza a ChatGPT nyújtotta lehetőségeket a Grasshopper definíciók létrehozásához²⁰. Ez a projekt az AEC Tech Seattle Hackathon 2023-on készült, amit a Thornton Tomasetti CORE studio és az LMN szervezett.

A vizsgálathoz a Budapest István utca 30. alatti foghíj telket használtam fel, amire két fajta beépítés geometriát készítettem. Grasshopperben

²⁰ enmerk4r. (n.d.). *GHPT/README.md at main · ENMERK4R/GHPT*. GitHub.
<https://github.com/enmerk4r/GHPT/blob/main/README.md>

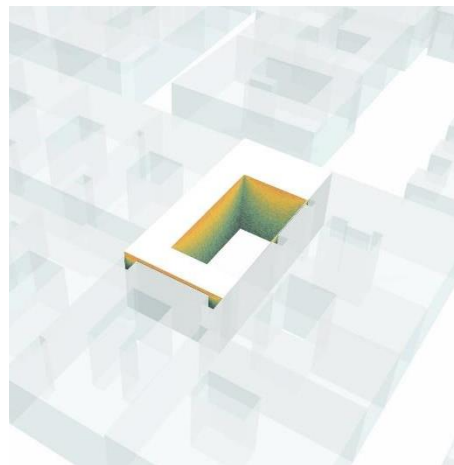
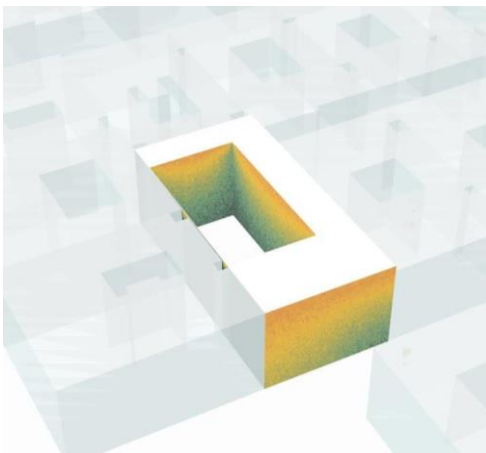
felépítettem a szimulációhoz szükséges program logikát, amihez Honeybee komponenseket használtam.

Honeybee egy plug-in, ami a tervezési folyamat középső és késői szakaszaiban kiemelten releváns részletes nappali fényviszonyok és termodinamikai analízisek elvégzésére specializálódott²¹. Az eszköz különösen alkalmas napfény- és sugárzásszimulációk, valamint energiamodell-szimulációk precíz létrehozására, futtatására és eredményeik szemléltetésére. A szimulációkhoz a Radiance és az EnergyPlus/OpenStudio szoftvermotorokat használja, integrálva ezeket a funkciókat közvetlenül a Grasshopper/Rhino környezetbe.

A következő eredményeket kaptam a szimuláció folyamán:

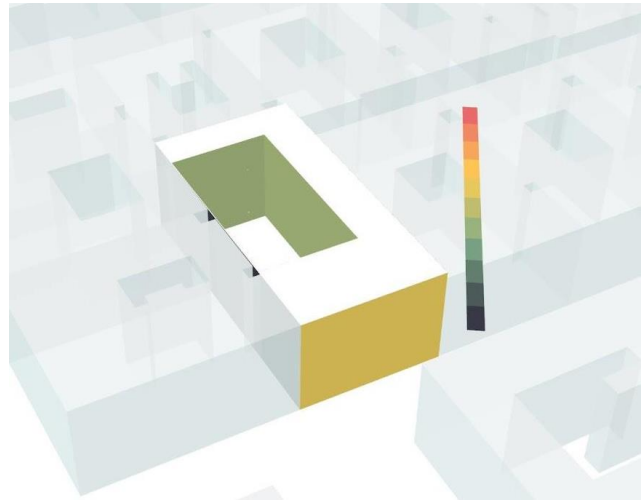
1. Beépítés:

Vertical Sky Component %:



Átlagos Vertical Sky Component %:

²¹ Honeybee. Ladybug Tools | Honeybee. (n.d.). <https://www.ladybug.tools/honeybee.html>



Adatok:

beépített négyzetméter: 610 m²

teljes telek méretk: 1052m²

Északi , déli és keleti tömb is van

északi tömb déli homlokzatának átlagos vertical sky component

százalékos értéke: 30.15

a keleti tömb nyugati homlokzatának átlagos vertical sky component

százalékos értéke: 30.15

A déli utcafront felőli tömb északi belső udvar felé néző homlokzatának átlagos vertical sky component

százalékos értéke: 45.04

A déli utcafront felőli tömb északi belső udvar felé néző homlokzatának átlagos vertical sky component százalékos értéke: 30.15

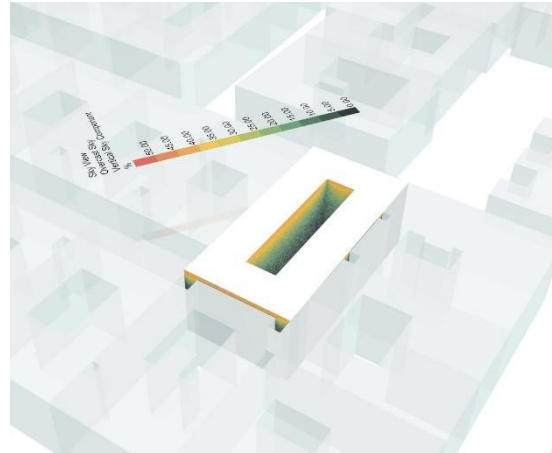
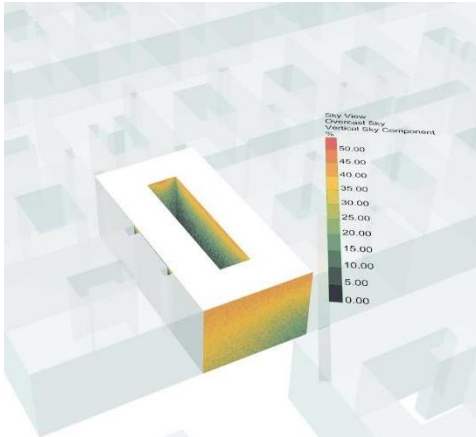
Nyugati tömb: nincs

északi tömb szélessége: 6m

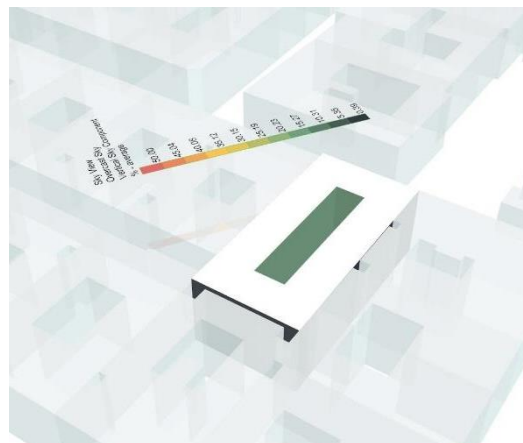
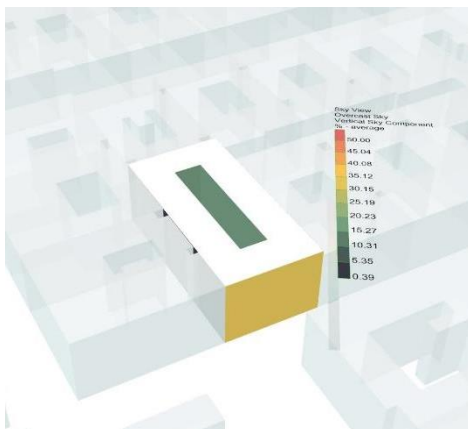
keleti tömb szélessége: 7m

Déli tömb szélessége: 12 m

0. Beépítés:
Vertical Sky Component %:



Átlagos Vertical Sky Component %:



2. Épület tömeg beépítés 2:

beépítés beéptett négyzetméter: 857 m²

teljes telek méretk: 1052m²

Északi , déli és keleti nyugati tömb is van

északi tömb déli homlokzatának átlagos vertical sky component
százalékos értéke: 10.31

a keleti tömb nyugati homlokzatának átlagos vertical sky component
százalékos értéke: 10.31

A déli utcafront felöli tömb déli homlokzatának átlagos vertical sky component
százalékos értéke: 45.04

A déli utcafront felőli tömb északi belső udvar felé néző homlokzatának átlagos vertical sky component százalékos értéke: 10.31

a nyugati tömb keleti homlokzatának átlagos vertical sky component százalékos értéke: 10.31

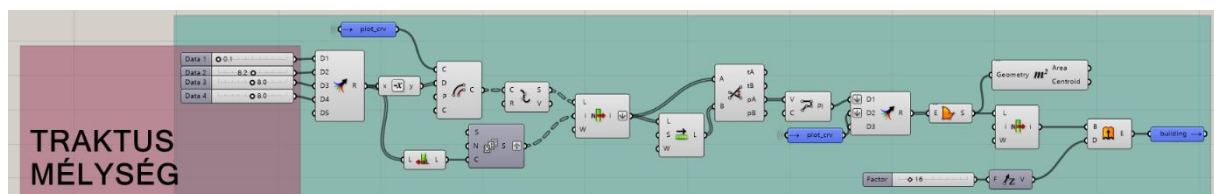
északi tömb szélessége: 8m

keleti tömb szélessége: 8m

Déli tömb szélessége: 8 m

Nyugati tömb: 8m

Annak érdekében, hogy a szimulációt a jövőben több beépítésre is hatékonyan lehessen tesztelni az alábbi parametrikus munkafolyamatot alakítottam ki:



A GHPT plu-in nel meghívott LLM modell a következő összegzést adta a szimulációk összehasonlítására:

Beépített terület és telek kihasználtsága: Az első beépítési terv kevesebb területet foglal el (610 m²), ami több nyitott teret hagy a természetes fény bejutására, míg a második tervnél a nagyobb beépített terület (857 m²) csökkentheti a természetes fényes területek arányát.

VSC értékek: Mindkét tervnél a déli utcafront felőli tömbök hasonlóan magas VSC értékeket mutatnak (45.04%), ami előnyös a természetes fény szempontjából.

Azonban az első tervnél az északi és keleti tömbök jobb VSC értékeket (30.15%) mutatnak a második terv többi tömbjéhez képest (10.31%), ami azt jelzi, hogy az első terv több természetes fényt képes biztosítani az épület többi részének is.

Tömbök elrendezése és szélessége: Az első terv változatos szélességű tömböket használ, amelyek lehetővé teszik a fény jobb eloszlását, míg a második terv egyenlő szélességű tömböket alkalmaz, ami kevésbé rugalmas a fényeloszlás szempontjából.

Következtetés: Összességében az első épület tömeg beépítési terv előnyösebbnek tűnik a Vertical Sky Component szempontjából, mivel jobb VSC értékeket biztosít a különböző tömbökön keresztül,

így több természetes fény jut be az épületbe. A kevesebb beépített terület és a tömbök változatos szélessége lehetővé teszi a fény jobb eloszlását és kihasználtságát a telek területén.

Eredmény tanulsága:

Hasznos gyors összegzéhez, azonban ebben a formájában nem alkalmas összetett logikai kapcsolat megfogalmazására. Használatához nagy mennyiségű modell információ szükséges, az elemzés pontosságát ez határozza meg.

4.3.2 Text to Image AI modellek felhasználása Grasshopperben

A "text to image AI" (szövegből képre mesterséges intelligencia) olyan fejlett mesterséges intelligencia algoritmusokat és modelleket jelent, amelyek képesek szöveges leírások alapján vizuális tartalmakat, azaz képeket generálni. Ezek a rendszerek általában mély tanulási technikákon, mint például generatív ellenőrzött hálózatokon (GAN-ok) vagy variációs autoencoder-eken (VAE-k) alapulnak. A modellek képesek megtanulni a szöveg és a képi reprezentációk közötti összefüggéseket nagy mennyiségű adaton keresztül, lehetővé téve számukra, hogy a bemeneti szövegnek megfelelően különböző stílusokban és kontextusokban képeket hozzanak létre.

Rhino Grasshopperbe való felhasználása egy tervezési folyamat során több féleképpen történhet. Az AI generált képet helyi fájlrendszerből vagy http linkről importálva hozhatjuk be a programba, ahol az Image Sampler-re több féle képpen vonhatunk ki pixel alapú információkat.

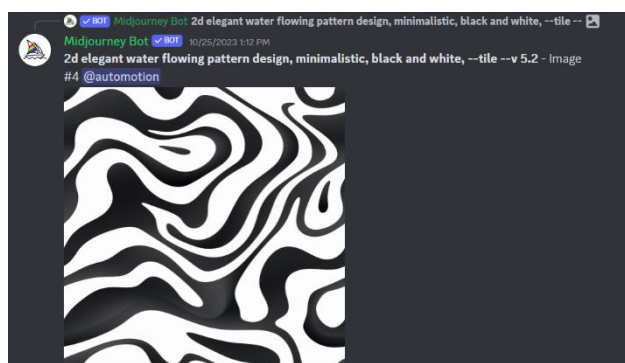
A Grasshopper Image Sampler lehetővé teszi hogy az importált kép képpontjainak felhasználhatóak lehessenek a szín és fényértékei a geometriai minták és struktúrák parametrikus generálásához. Ezáltal a képi információkat közvetlenül be lehet vonni a tervezési folyamatba, lehetővé téve az összetett formák és textúrák inspirálta tervezési döntéseket.

A generált kép javasoltan minél kontrasztosabb legyen, valamint letisztult formavilágú, hogy minél nagyobb távolságú vagy kevesebb számú rasterpont esetén is értelmezhető legyen a kapott geometria.

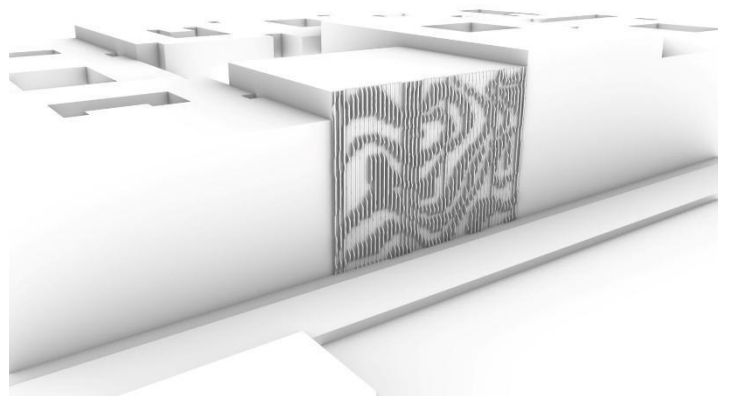
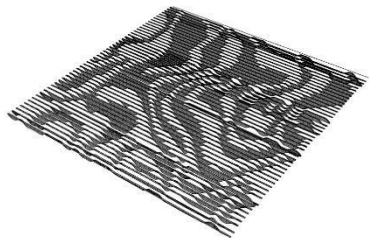
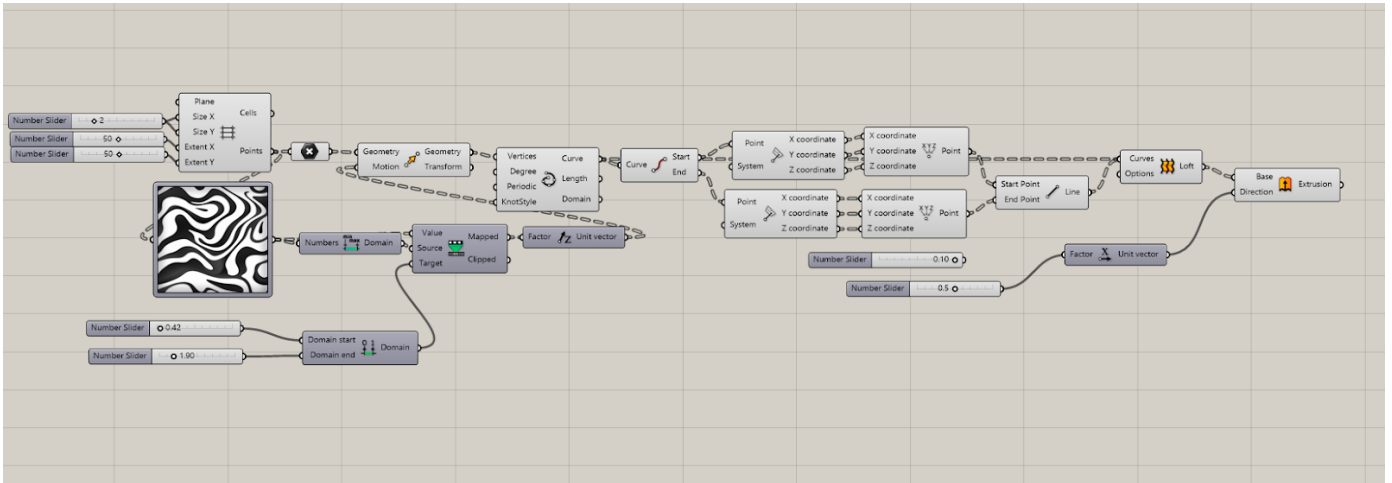
Példa:

Mindjourney által generált 2d pattern lamellává alakítása

propt: 2d elegant waterflowing design, minimalistic, black and white, tile, v5.2

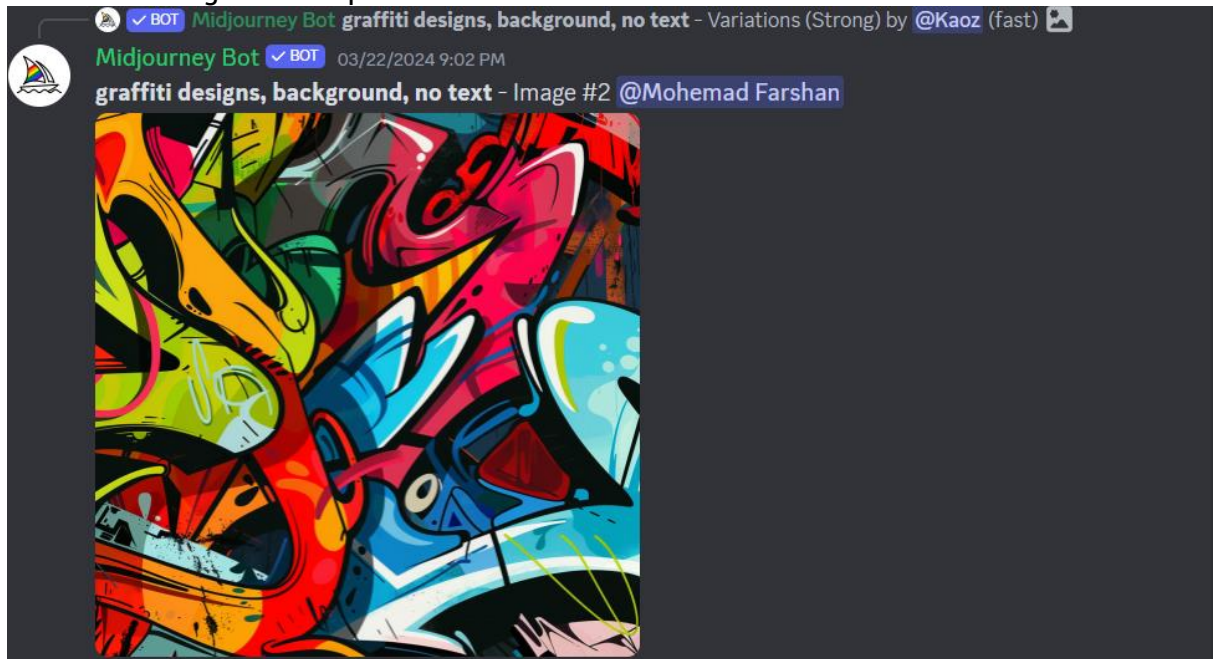


Grasshopperbe a következő workflowt alkalmaztam:
A generált kép képpontjainak vizsgálatával, a sötétebb és világosabb régiók különböző értékeket kapnak, ami alapján rajzolódik ki a lamellarendszer geometriája. A kapott lamella:



Példa alacsony kontrasztos, összetett geometriára

Felhasznált AI generált kép:



Kép alapján generált lamella:



4.4. ControlNET alkalmazás saját tanított AI képalkotáshoz

A Stabil Diffuson modellek és a ControlNet architecture integrálása lehetőséget kínál arra, hogy a művészek és fejlesztők egyedi vizuális környezetet alakítsanak ki, egy specifikus feladatra specializálódott AI modelleket hozzanak létre.

A Stabil Diffúziós Modellek és a ControlNet Alapjai

A Stabil Diffúziós modellek a generatív mesterséges intelligencia legújabb generációját képviselik, amelyek szöveges leírások alapján képesek képi tartalmat előállítani. Ezek a modellek a mélytanulás és a generatív adversarial networks (GAN) elveire épülnek, lehetővé téve a modellek számára, hogy megtanulják a képek különböző stílusait és struktúráit, majd ezeket az ismereteket felhasználva új képeket hozzanak létre.

A ControlNet egy innovatív architektúra, amely további szabályozást biztosít a generatív modellek felett, lehetővé téve a felhasználók számára, hogy pontosabban irányítsák a képgenerálás folyamatát. Ezáltal a fejlesztők finomabban szabályozhatják, hogy a modell milyen típusú képeket hozzon létre, így jobban megőrizve a művészeti stílus sajátosságait.

Saját Rajzok Alapján AI Modell Fejlesztése

1. Adathalmaz Összeállítása

A folyamat első lépésként egy adathalmaz összeállítását igényli, amely kizárólag a fejlesztő saját műveit tartalmazza. Ez az adathalmaz kell, hogy alapul szolgáljon a modell betanításához, ezért fontos, hogy változatos és reprezentatív legyen a művész stílusát illetően.

2. Adatok Előkészítése

A képek előkészítése magában foglalja a méretezést, vágást és esetleges színkorrekciót, hogy a modell számára egységes bemeneti adatformátumot biztosítsunk. Ez a lépés kulcsfontosságú a modell hatékonyságának és pontosságának maximalizálása érdekében.

3. Modell Architektúra és ControlNet Integrálása

A választott Stabil Diffúziós modell finomhangolása során integrálni kell a ControlNet architektúrát, amely lehetővé teszi a fejlesztő számára, hogy meghatározott kontrollpontokat adjon meg. Ez a lépés biztosítja, hogy a generált képek jobban tükrözzék a művészeti stílus egyedi jellemzőit.

4. Betanítás és Finomhangolás

A modell betanítása a saját adathalmazzal történik, amely során a modell megtanulja a művészeti stílus specifikus jellemzőit. A betanítási folyamat során folyamatosan monitorozni és finomhangolni kell a modellt, hogy a lehető legjobban megközelítse a kívánt művészeti kifejezést.

5. Értékelés és Iteráció

A betanítási folyamat után az eredmények értékelése következik. Itt az AI által generált képeket összehasonlítjuk az eredeti művekkel, értékelve a hasonlóságokat és eltéréseket. Ez alapján további iterációkra lehet szükség a modell finomítása érdekében.

5. Források

1. *Architecture & Engineering Specs*. Specifications.AI. (n.d.). <https://www.specifications.ai/>
2. BBC. (2014, June 9). *Computer AI passes Turing test in "World First."* BBC News. <https://www.bbc.com/news/technology-27762088>
3. Bunszel, A. (2024, November 23). *Evolving your AEC toolbox with Autodesk Ai*. AEC Tech Drop. <https://autodeskblog.wpengine.com/aec/2023/11/13/ai-in-aec/>
4. Castro Miranda, S. L., Del Rey Castillo, E., Gonzalez, V., & Adafin, J. (2022). Predictive analytics for early-stage construction costs estimation. *Buildings*, 12(7), 1043. <https://doi.org/10.3390/buildings12071043>
5. Chaillou, S. (2022). The Advent of Architectural AI - A Historical Perspective. *Artificial Intelligence and Architecture*, 32–61. <https://doi.org/10.1515/9783035624045-005>
6. *Comparison of supervised, unsupervised, semi-supervised and reinforcement*. IFoA Data Science. <https://ifoadatascienceresearch.github.io/tutorial/comparison/>
7. *Construction and real estate management software*. PlanRadar. (2024, Március 25). <https://www.planradar.com/>
8. *Construction estimating software: Destini estimator*. Construction Estimating Software. Reimagined. (n.d.). <https://www.beck-technology.com/destini-estimator>
9. DataSource.ai. (2023, December 24). *The role of AI in Unstructured Data Mining: Challenges and opportunities*. <https://www.datasource.ai/en/data-science-articles/the-role-of-ai-in-unstructured-data-mining-challenges-and-opportunities>
10. Dutta, B. (n.d.). *Importance of metadata in machine learning*. Analytics Steps. <https://www.analyticssteps.com/blogs/importance-metadata-machine-learning>
11. enmerk4r. (n.d.). *GHPT/README.md at main · ENMERK4R/GHPT*. GitHub. <https://github.com/enmerk4r/GHPT/blob/main/README.md>
12. *Exploring the role of labeled data in Machine Learning*. VentureBeat. (n.d.). <https://venturebeat.com/ai/exploring-the-role-of-labeled-data-in-machine-learning/>
13. *Features: End-to-end generative design: Maket*. Generative Design. (n.d.). <https://www.maket.ai/features>

14. *Field Report & Punch List Software: Deltek Archisnapper*. Field Report & Punch List Software | Deltek ArchiSnapper. (n.d.). <https://www.deltek.com/en/architecture-and-engineering/archisnapper>
15. *Home*. laiout. (n.d.). <https://www.laiout.co/>
16. *Honeybee*. Ladybug Tools | Honeybee. (n.d.). <https://www.ladybug.tools/honeybee.html>
17. Oppy, G., & Dowe, D. (2021, October 4). *The Turing Test*. Stanford Encyclopedia of Philosophy. <https://plato.stanford.edu/entries/turing-test/>
18. *Plangrid*. Login & Get Support. (n.d.). <https://construction.autodesk.com/products/plangrid/>
19. Sarker, I. H. (2021). Machine learning: Algorithms, real-world applications and Research Directions. *SN Computer Science*, 2(3). <https://doi.org/10.1007/s42979-021-00592-x>
20. Sheikh, H., Prins, C., & Schrijvers, E. (2023). Artificial Intelligence: Definition and background. *Research for Policy*, 15–41. https://doi.org/10.1007/978-3-031-21448-6_2
21. *What is semi-structured data? Understanding with examples*. Atlan. (n.d.). <https://atlan.com/what-is/semi-structured-data/>

5.1 Egyéb vizsgált források

AI:

1. As, Imdat, et al. "Artificial Intelligence in Architecture: Generating Conceptual Design via Deep Learning." *International Journal of Architectural Computing*, vol. 16, no. 4, Dec. 2018, pp. 306–27, <https://doi.org/10.1177/1478077118800982>.
2. Banaei, Maryam, et al. "Application of AI Methods in the Clustering of Architecture Interior Forms." *Frontiers of Architectural Research*, vol. 6, no. 3, Sept. 2017, pp. 360–73, <https://doi.org/10.1016/j.foar.2017.05.002>.
3. Callaghan, Victor, et al. "A Soft-Computing Distributed Artificial Intelligence Architecture for Intelligent Buildings." *Soft Computing Agents: New Trends for Designing Autonomous Systems*, edited by Vincenzo Loia and Salvatore Sessa, Physica-Verlag HD, 2001, pp. 117–45, https://doi.org/10.1007/978-3-7908-1815-4_5.
4. Castro Pena, M. Luz, et al. "Artificial Intelligence Applied to Conceptual Design. A Review of Its Use in Architecture." *Automation in Construction*, vol. 124, 2021, p. 103550, <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103550>.
5. Chaillou, Stanislas. "ArchiGAN: Artificial Intelligence x Architecture." *Architectural Intelligence: Selected Papers from the 1st International Conference on Computational Design and Robotic Fabrication (CDRF*

2019), edited by Philip F. Yuan et al., Springer Nature, 2020, pp. 117–27, https://doi.org/10.1007/978-981-15-6568-7_8.

6. Millán, Eva, et al. "Using Machine Learning Techniques for Architectural Design Tracking: An Experimental Study of the Design of a Shelter." *Journal of Building Engineering*, vol. 51, July 2022, p. 104223, <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2022.104223>.

Machine learning:

7. 3Blue1Brown. *De Mi a Neurális Hálózat? | 1. Fejezet, Mély Tanulás*. 2017, <https://www.youtube.com/watch?v=aircAruvnKk>.
8. *Architecture in the Age of Artificial Intelligence - YouTube*. https://www.youtube.com/watch?v=zkpEGP_-xtw&ab_channel=DigitalFUTURESworld. Accessed 9 Aug. 2023.
9. Baduge, Shanaka Kristombu, et al. "Artificial Intelligence and Smart Vision for Building and Construction 4.0: Machine and Deep Learning Methods and Applications." *Automation in Construction*, vol. 141, 2022, p. 104440, <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104440>.
10. Bernstein, Phil. *Machine Learning: Architecture in the Age of Artificial Intelligence*. 1st ed., RIBA Publishing, 2022, https://www.amazon.com/Machine-Learning-Architecture-Artificial-Intelligence-ebook/dp/B09Z416TRP/ref=pd_ybh_a_sccl_2/135-0051851-4800070?pd_rd_w=zqexA&content-id=amzn1.sym.67f8cf21-ade4-4299-b433-69e404eeecf1&pf_rd_p=67f8cf21-ade4-4299-b433-69e404eeecf1&pf_rd_r=XK9YHVCD5BAT32391BKN&pd_rd_wg=JYt7Z&pd_rd_r=eaf281fa-bd10-4b38-9ee2-fc1066c8cda6&pd_rd_i=B09Z416TRP&psc=1.
11. Clarke, Daoud. *Machine Learning in Practice*.
12. *Deep Learning*. <https://www.deeplearningbook.org/>. Accessed 11 Aug. 2023.
13. freeCodeCamp.org. *Harvard CS50's Artificial Intelligence with Python – Full University Course*. 2023, <https://www.youtube.com/watch?v=5NgNicANYqM>.
14. ---. *Machine Learning for Everybody – Full Course*. 2022, https://www.youtube.com/watch?v=i_LwzRVP7bg.
15. ---. *PyTorch for Deep Learning & Machine Learning – Full Course*. 2022, https://www.youtube.com/watch?v=V_xro1bcAuA.

16. Jung, Alexander. *Machine Learning: The Basics*. Springer Nature Singapore, 2022,
<https://doi.org/10.1007/978-981-16-8193-6>.
17. *Keras: Deep Learning for Humans*. <https://keras.io/>. Accessed 14 Aug. 2023.
18. *Machine Learning | Google for Developers*. <https://developers.google.com/machine-learning>.
Accessed 11 Aug. 2023.
19. Nate. *New Machine Learning Examples with LunchBoxML*. 2018,
<https://provingground.io/2018/03/12/new-machine-learning-examples-with-lunchboxml/>.
20. Nielsen, Michael A. *Neural Networks and Deep Learning*. 2015,
<http://neuralnetworksanddeeplearning.com>.
21. Nilsson, Nils J. *INTRODUCTION TO MACHINE LEARNING*. 1998.
22. Płoszaj-Mazurek, Mateusz, et al. "Methods to Optimize Carbon Footprint of Buildings in Regenerative Architectural Design with the Use of Machine Learning, Convolutional Neural Network, and Parametric Design." *Energies*, vol. 13, no. 20, Oct. 2020, p. 5289, <https://doi.org/10.3390/en13205289>.
23. *PyTorch*. <https://www.pytorch.org>. Accessed 14 Aug. 2023.
24. Ramsgaard Thomsen, Mette, et al. "Towards Machine Learning for Architectural Fabrication in the Age of Industry 4.0." *International Journal of Architectural Computing*, vol. 18, no. 4, 2020, pp. 335–52,
<https://doi.org/10.1177/1478077120948000>.
25. Rosasco, Lorenzo. *Introductory Machine Learning Notes*.
26. Shalev-Shwartz, Shai, and Shai Ben-David. *Understanding Machine Learning: From Theory to Algorithms*. 1st ed., Cambridge University Press, 2014, <https://doi.org/10.1017/CBO9781107298019>.
27. Tamke, Martin, et al. "Machine Learning for Architectural Design: Practices and Infrastructure." *International Journal of Architectural Computing*, vol. 16, no. 2, 2018, pp. 123–43,
<https://doi.org/10.1177/1478077118778580>.
28. *VERAS*. <https://www.evovelab.io/veras>. Accessed 14 Aug. 2023.