



# Umělá inteligence (AI) v architektuře



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA ARCHITEKTURY

FACULTY OF ARCHITECTURE

## ÚSTAV EXPERIMENTÁLNÍ TVORBY

DEPARTMENT OF EXPERIMENTAL DESIGN

## UMĚLÁ INTELIGENCE (AI) V ARCHITEKTUŘE

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN ARCHITECTURE

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. František Rubáč

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

MArch Ing.arch. Ing. Jiří Vítek



## Zadání diplomové práce

Číslo práce: FA-DIP0046/2021  
Ústav: Ústav experimentální tvorby  
Student: **Bc. František Rubáč**  
Studijní program: Architektura a urbanismus  
Studijní obor: bez specializace  
Vedoucí práce: **MArch Ing.arch. Ing. Jiří Vítek**  
Akademický rok: 2021/22

### Název diplomové práce:

Umělá inteligence (AI ) v architektuře

### Zadání diplomové práce:

Umělá inteligence (AI ) ve stále větší míře proniká do současného světa. Ať již se jedná o řešení kdy algoritmy pomáhají v optimalizačních procesech a predikcích nebo pokročilejší metody které se soustředí na kreativní potenciál. Strojové učení umožňuje nový pohled na rozsáhlé spektrum témat a tak není divu , že tato metodika začíná penetrovat i architekturu. Diplomová práce se bude zabývat využitím AI v architektuře, se zaměřením na organickou architekturu, kde dříve komplikované hledání klíčových parametrů svádělo k užšímu vidění světa. Pomocí strojového učení dokážeme efektivnějším a účinnějším způsobem řešit komplexní problémy. Bude se jednat o teoretickou práci, ve které se budeme zprvu zabývat historií organické architektury a vytvořením vhodného datasetu. Následně rozebereme aktuální pohled na organické struktury a vytvořím základní metodiku pro použití AI v architektuře a budování nového architektonického narativu. V závěru práce aplikujeme metodiku a postavený digitální model na 3D objekty se soustředěním na technologické a výrobní metody za pomoci aditivních metod výroby (3D tisku ) .

### Rozsah grafických prací:

Prezentovat nové metody navrhování s využitím AI na organických strukturách a ukázat, jaké pozitiva a negativa tento způsob přináší. Aplikace metodiky v různých kontextech jak prostorových, geopolitických a měřítkových.

Výstupy:

Portfolio – teoretická část

Digitální model

Protoarchitektury

Aplikace na 3 základní kontexty prezentovaná v modelech v měřítku 1:20

## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem zadanou diplomovou práci zpracoval sám s přispěním vedoucího práce a konzultantů a používal jsem pouze literaturu v práci uvedenou. Dále prohlašuji, že nemám námitek k zveřejnění mé diplomové práce.

Dne: 9. 5. 2021

.....

# Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat MArch Ing.arch. Ing. Jiří Vítek a prof. Ing. arch. Monice Mitášové Ph.D. za konzultace a připomínky k mé diplomové práci. Zároveň bych chtěl poděkovat své rodině a přátelům za podporu v průběhu semestru.

# Anotace

Práce se primárně zabývá tématem AI a jejího využití v architektuře. V práci se zprvu zabývám AI v širším měřítku, poté uvedu jednotlivé možnosti využití AI v architektuře. Popisuji teoretické využití AI a tento popis doprovázím praktickými příklady. Poté se zaměřuji na organickou architekturu a na generování organických fasád a budov. Ke konci práce ukáži výsledky své práce na vygenerovaných výstupech a modelech.

# Annotation

The thesis primarily deals with the topic of AI and its use in architecture. In the thesis I first discuss AI in a broader context, then I present the different possibilities of using AI in architecture. I describe the theoretical use of AI and accompany this description with practical examples. I then focus on organic architecture and on generating organic facades and buildings. Towards the end of the thesis I will show the results of my work on the generated outputs and models.

# Klíčová slova

Umělá inteligence (AI), architektura, Strojové učení, CycleGAN, Pix2pix, dataset, Fasáda, kreativita AI, autorství AI

# Obsah

<b>ÚVOD</b>	<b>9</b>
<b>TEORETICKÁ ČÁST</b>	<b>11-51</b>
<b>Úvod k AI</b>	<b>11-24</b>
Machine learning	12
GAN	15
Příklad práce systému GAN	18
<b>Metody využití ai v architektuře</b>	<b>25-42</b>
Softwarové nástroje	26
GAN (příklady)	28
CGAN	28
CycleGAN	30
StyleGAN	33
GAN ve 3D	34
Open AI DALL-E 2	36
ArchiGAN	38
<b>AI a příroda</b>	<b>43</b>
Vybrané kapitoly z historie architektury	43
AI a navrhování organických struktur	49
<b>PRAKTICKÁ ČÁST</b>	<b>52-77</b>
<b>Aplikace AI v architektuře</b>	<b>52-69</b>
Generování fasád	52
Generování budov	58
Vyhodnocení praktické části	70
<b>Otázka kreativity a autorství AI</b>	<b>74-81</b>
<b>ZÁVĚR</b>	<b>82</b>
Budoucnost využití AI v architektuře	83
<b>Přílohy</b>	<b>84</b>
<b>Seznam literatury</b>	<b>85-89</b>
<b>Příklady vygenerovaných výstupů</b>	<b>90-158</b>

# Úvod

„Umělá inteligence (AI) je jedním z populárních témat současnosti. Přestože je tato technologie stále ve vývoji, její využití lze již nalézt v mnohých oborech. Běžně se s ní setkáváme v IT, na internetu, v marketingu, v bankovníctví, a dokonce i ve zdravotnictví. Umělá inteligence se bude nadále vyvíjet a ovlivní mnoho dalších oblastí. Je proto jen otázkou času, kdy se umělá inteligence ve větší míře objeví i v architektuře.“ (1)

Již dnes AI ovlivňuje naše životy, i když si to většina z nás možná ani neuvědomuje. Není se ani čemu divit, jelikož pod pojmem AI bychom si měli představit jakýsi algoritmus a ten bývá před uživateli skrytý. Bývá zakomponován do uživatelského rozhraní, kde jej uživatelé využívají. Velmi často bývá AI součástí moderních aplikací. Jako příklad bych uvedl textové editory, které využívají autokorekci. To je algoritmus spadající do kategorie deep learning, který dokáže opravovat gramatické chyby v textu. Dalším příkladem jsou například navigační systémy, které dokáží určit nejrychlejší cestu k danému cíli a mají k dispozici informace o dopravním provozu. AI se dnes využívá i v online překladačích, například za pomoci DeepL překladače jsem v této práci přeložil většinu citací z angličtiny do češtiny. (2)

AI je tématem, které je celkem kontroverzní, zejména ve spojení s uměním či architekturou. Jelikož AI nabízí zjednodušení práce. Může dojít až k takovému zjednodušení, že se vytratí samostatný tvůrčí proces. Stále se jedná o nástroj, který se bude nadále vyvíjet a vylepšovat a bude třeba se s tímto nástrojem seznámit tak, jako se lidé sžili s telefony nebo s počítači. Rád bych zde uvedl citát, který kontroverzi dobře vystihuje:

„S rozvojem strojové inteligence si dokážeme představit, že někteří umělci, kteří s ní pracují, se dočkají stejné kritiky jako první fotografové. Nenápadný kritik by je mohl obvinít z podvodu nebo prohlásit, že umění vytvořené pomocí těchto technologií není skutečným uměním. Mírnější (ale stále antitechnologický) kritik by mohl umění strojové inteligence odmítnout jako kýč. Stejně jako v případě umění v jakémkoli médiu bude nepochybně některé z nich kýčem – příklady jsme již viděli, ale některé budou krásné, provokativní, děsivé, strhující, znepokojivé, objevené a všechno ostatní, čím může dobré umění být.“(3)

V této diplomové práci se snažím najít potenciální využití AI v architektuře. Domnívám se, že AI může práci architektů výrazně usnadnit. Architekti by mohli AI využívat ve svých tvůrčích procesech a mohli by se jí dokonce do jisté míry i inspirovat. Na druhou stranu je otázkou, nakolik může AI ovlivnit tvůrčí procesy a zda se z architektonického navrhování nevytratí jeho kouzlo. Tyto úvahy budu podrobněji rozebírat v následujících částech diplomové práce. (4)

Diplomová práce bude rozdělena na dvě části: teoretickou a popis řešení.

V teoretické části vysvětlím, co je to vlastně AI. Popíši různé typy AI a budu se zabývat jednotlivými metodami, jakými je možné AI využít. Stěžejní částí bude uplatnění AI v generování fasád. Následně toto aplikuji na daném příkladě a ke generování využiji nástroje jako jsou Pix2pix, CycleGAN, Spacemaker a další.

V praktické části pak popíši postup mé práce. Přesněji budu demonstrovat, jak jednotlivé algoritmy, které ve své práci využívám. Popíši vytváření a schraňování dat a úskalí tvorby datasetů, které jsou v práci nezbytné. Součástí mé práce budou také fyzické modely fasád vyrobených za pomoci 3D tisku. Na závěr vyhodnotím výsledky své práce budu se věnovat tématu AI a kreativitě, AI a autorství a nastíním jak by mohla AI vypadat v budoucnu.

## Zdroje k úvodu:

1- RUBÁČ, František a Jiří HONZÁK. Architecture hallucination. 11. ledna 2022. Fakulta architektury VUT, 2022. strana 7

Originální znění: Artificial intelligence (AI) is one of the popular topics of today. Although this technology is still in development, its use can be found in more than one field. It is commonly found in IT, on the Internet, in marketing, even in healthcare. Artificial intelligence is likely to continue evolving and will influence many other fields. It is only a matter of time before AI starts to be used in architecture as well.

2- DeepL překladač [online]. [cit. 2022-04-30]. Dostupné z: <https://www.deepl.com/translator>

3- Architecture in the Age of Artificial Intelligence: An Introduction to AI for Architects. Bloomsbury Visual Arts: Bloomsbury Publishing, 2022. ISBN 9781350165519. Strany 67-68

Originální zdroj dle knihy Bruce Sterling, Refik Anadol at Artechouse in New York Cit, Wired, 30OCTOBER 2019

Originální znění: As machine intelligence develop, we imagine that some artists who work with it will draw the same critique levelled at early photographers. An unsubtle critic might accuse them of cheating or claim that art produced with these technologies is not real art. A subtler (but still antitechnological) critic might dismiss machine intelligence art wholesale as kitsch. As with art in any medium, some of it undoubtedly will be kitsch - we have already seen examples - but some will be beautiful, provocative, frightening, enthralling, unsettling, revelatory and everything else that good art can be.

4- RUBÁČ, František a Jiří HONZÁK. Architecture hallucination. 11. ledna 2022. Fakulta architektury VUT, 2022. strana 7

# Úvod do AI

Na začátek své práce bych chtěl čtenářům přiblížit, co to vlastně AI (umělá inteligence) je a upřesnit jakými specifickými druhy AI se ve své práci zabývám.

Zjednodušeně by se dalo říct, že umělá inteligence je simulace lidské inteligence na počítačových systémech. Vývojem AI se snažíme, aby počítačový systém získal jakousi vlastní inteligenci. Inteligence je podle Cambridge univerzity definována následovně: „Inteligence je schopnost učit se, chápat a vytvářet si úsudky nebo názory, které jsou založeny na rozumu.“ (1) Je zřejmé, že lidská inteligence se úplně nedá srovnávat s inteligencí umělou. Stroje a počítačové programy se dokáží za pomoci sofistikovaných algoritmů učit a vytvářet, nečiní tak ale na základě rozumu, ale na základě předdefinovaných algoritmů, které jsme jim zadali. (Již nyní se spekuluje, že by AI mohla opravdu samostatně uvažovat a někteří lidé věří, že bychom se tohoto momentu měli obávat.)

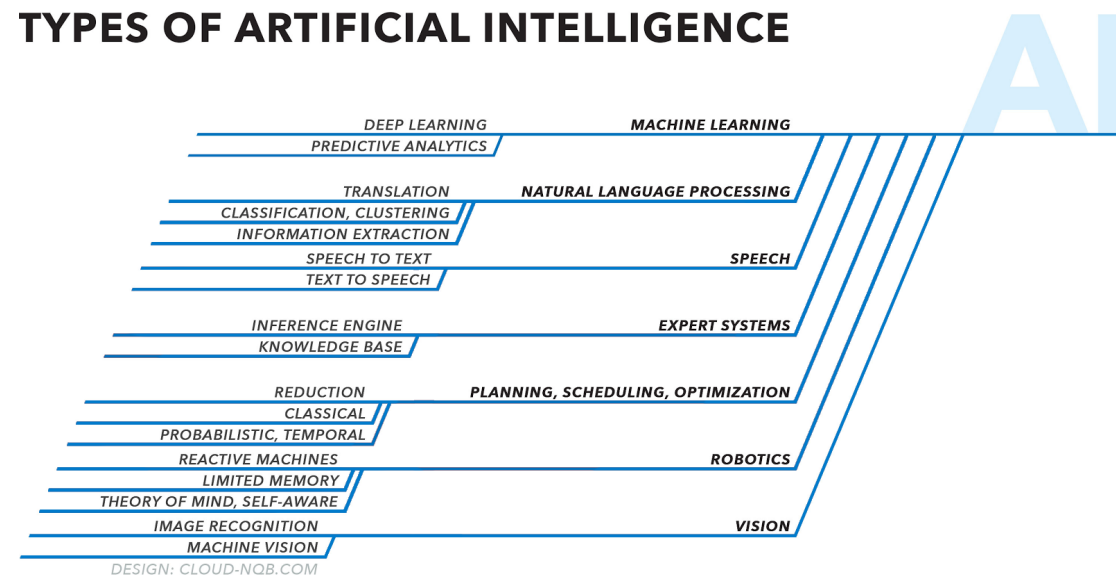
Je sice pravda, že AI není zatím inteligentní tak jako člověk, přesto však může být AI člověku velmi prospěšná. Procesy využívající umělou inteligenci můžeme naučit různým předdefinovaným úkonům. Tyto programy pak budou vykonávat tyto úkony samostatně, velmi rychle a efektivně. Tím si můžeme velmi usnadnit výpočetně náročné a rutinní práce.

Systémy umělé inteligence fungují následovně: Zpočátku program využívající AI obdrží velké množství tréninkových dat. Poté program analyzuje data a použije poznatky z nich získané na vytvoření určitých vzorů. Tyto vzory program následně využívá k předpovídání budoucích stavů, nebo generování výstupů. (2)

Umělé inteligence se v zásadě zaměřuje na tři kognitivní dovednosti: učení, uvažování a sebe korekci. AI se učí ze vstupních dat, která analyzuje na základě určitého algoritmu. Proces uvažování využívá algoritmus, na základě kterého dokáže program generovat výstupy. Pod procesem sebe korekce si můžeme představit proces sebezdokonalování, aby program poskytoval co nejlepší data.

Umělou inteligenci můžeme dělit podle různých kritérií. Velmi používané je dělení na základě využití. (viz. obrázek)

## TYPES OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE



obr. 1 - typy umělé inteligence

Z obrázku je zřejmé, že AI může být využito pro mnoho různých účelů od robotiky až po práci s jazyky. Ve své diplomové práci se ovšem zabývám specificky pouze jedním druhem AI a tím je machine learning neboli strojové učení.

## Strojové učení (machine learning)

Strojové učení, je specifický druh AI, který se umí automaticky zlepšovat na základě vstupních dat. (3) AI a strojové učení jsou pojmy, které se používají současně a často se zaměňují, i když se jedná o dva rozdílné pojmy. Důležitým rozdílem je, že strojové učení spadá pod umělou inteligenci, ne všechny programy umělé inteligence můžeme definovat jako programy strojového učení, jak je popsáno v předchozí části. (4)

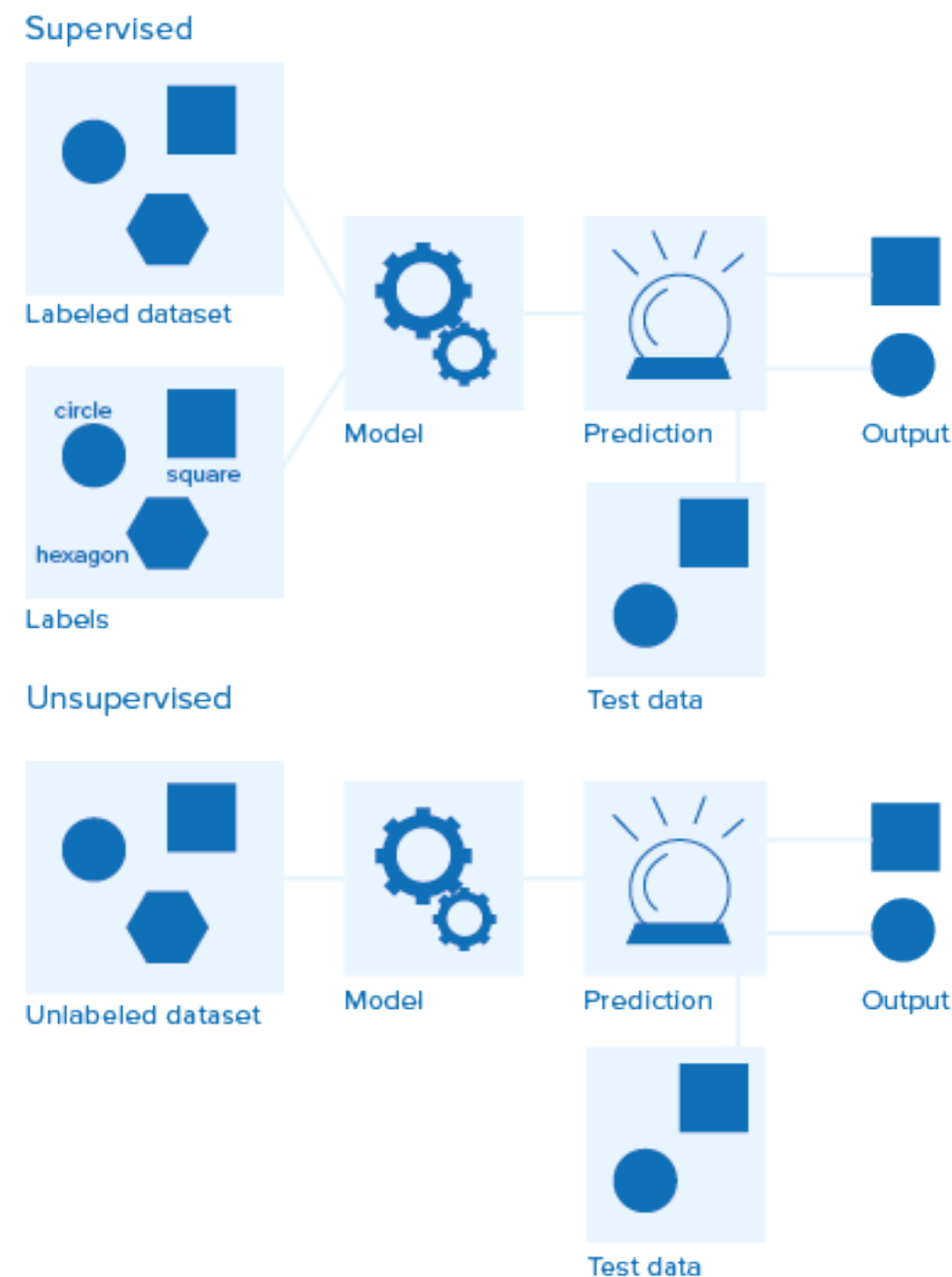
Strojové učení můžeme dále dělit na učení pod dohledem (supervised) a učení bez dohledu (unsupervised)

### Učení pod dohledem

„Učení pod dohledem pracuje s daty rozdělených do tříd. Díky tomu můžeme přibližně očekávat, jak bude vypadat výstup algoritmu. Výstupní data budou také ovlivněna modelem, který používáme.“ (5)

### Učení bez dohledu

„Učení bez dohledu neurčuje, jak má vypadat výsledek procesu. Je to zcela neřízený přístup k učení. Neříkáme algoritmu, jaké vzory by měl hledat v souborech dat. Místo toho necháme algoritmus, aby si sám vytvořil vzory na základě vstupních dat.“ (6)



obr. 2 - učení pod dohledem versus bez dohledu

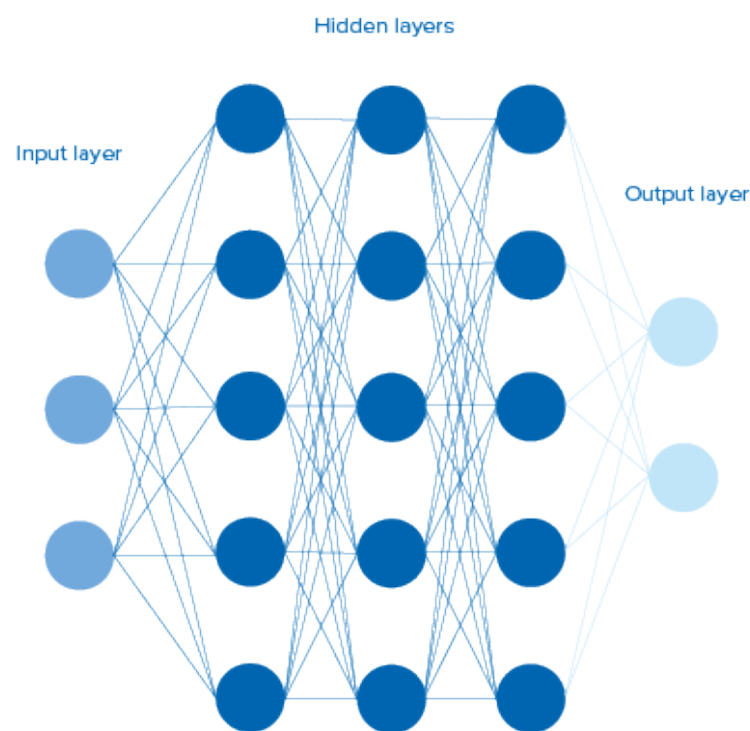


Ve své práci jdu ještě trochu více do hloubky strojového učení a využívám takzvaných neuronových sítí. Ty spadají do speciální kategorie strojového učení, kterým je deep learning (hluboké učení).

## Neuronové sítě

Název neuronové sítě, někdy také nazývané umělé neuronové sítě (artificial neural network), jsou inspirované neurony v lidském mozku. Neurony jsou propojeny nervovými spoji (synapsemi), které dovolují posílat signály do ostatních částí těla. Obdobně fungují i neuronové sítě, které jsou složeny z jednotlivých uzlů, které jsou provázané a zasílají data do dalších uzlů.

„Umělé neuronové sítě se skládají z vrstev uzlů, které obsahují vstupní vrstvu, jednu nebo více vrstev skrytých a výstupní vrstvu. Každý uzel (umělý neuron) je spojen s dalšími uzly a má svou přiřazenou hodnotu a práh. Pokud je hodnota výstupu kteréhokoli jednotlivého uzlu vyšší než zadaná prahová hodnota, je tento uzel aktivován a odešle data do další vrstvy sítě. V opačném případě nejsou odeslána žádná data. Neuronové sítě se učí na základě tréninkových dat a postupem času zlepšují svou přesnost. Po vyladění jsou však tyto učící se algoritmy efektivními nástroji v informatice a umělé inteligenci a umožňují nám klasifikovat a shlukovat data vysokou rychlostí.“(7)



obr. 3 - struktura neuronové sítě

## GAN

Algoritmy používané v této diplomové práci jsou speciálním případem neuronových sítí a nazývají se Generativní sítě, neboli GAN (Generative Adversarial Network). GAN spadají do kategorie AI hlubokého učení. Jedná se o framework (software), který dokáže generovat různé výstupy a učí se metodou bez dozoru. Ve své práci využívám více frameworků vycházejících právě z GAN, specificky pro generování obrázkových výstupů. (8)

Pro práci s GAN vždy potřebujeme nejprve vytvořit sadu trénovacích dat, podle kterých se bude program učit generovat výstupy. V mém případě se bude vždy jednat o sadu obrázků. Navíc potřebujeme jako vstup sadu dat nazývanou náhodný šum (random noise), mohou to být například náhodné obrázky.

GAN se skládají ze dvou důležitých modulů (každý z nich obsahuje vlastní neuronovou síť), a to z generátoru a diskriminátoru.

### Generátor

Hlavní funkcí modulu generátoru je generování obrázků. Na základě vstupního náhodného šumu (random noise) vytvoří umělý výstup (obrázek).

„Model generátoru přijímá jako vstup náhodný vektor pevné délky a generuje vzorek. Vektor je získán náhodně z Gaussova rozdělení a je použit k nasazení generativního procesu. Po tréninku budou body v tomto vícedimenzionálním vektorovém prostoru odpovídat bodům v problémové doméně a budou tvořit komprimovanou reprezentaci rozdělení dat. Výhodou tohoto procesu je, že výstupy generátoru mohou být zpětně použity jako nové vstupy“. (9)

### Diskriminátor

Diskriminátor bere jako vstup umělý obrázek vygenerovaný generátorem a trénovací sadu obrázků, kterou jsme mu poskytli. Hlavní funkce diskriminátoru je vyhodnocovat, zdali byl obrázek na vstupu vygenerovaný, nebo pravý. Výstupem diskriminátoru je pak pravděpodobnost, s jakou si algoritmus myslí, že je obrázek pravý, anebo umělý.



## Vyhodnocovací funkce

Jedná se o funkci, která zajišťuje, že se program poučí ze svých chyb. Tato funkce přijímá predikci z diskriminátoru a porovnává, jak moc se odchytil diskriminátor od reality (tj. přiřadil-li vysokou pravděpodobnost vzorovým obrázkům a nízkou generovaným) a předá tuto informaci jak generátoru, tak i diskriminátoru. Generátor se na základě této informace snaží zlepšit svůj proces generování obrázků a diskriminátor zpřesňuje své predikce.

## Trénovací proces

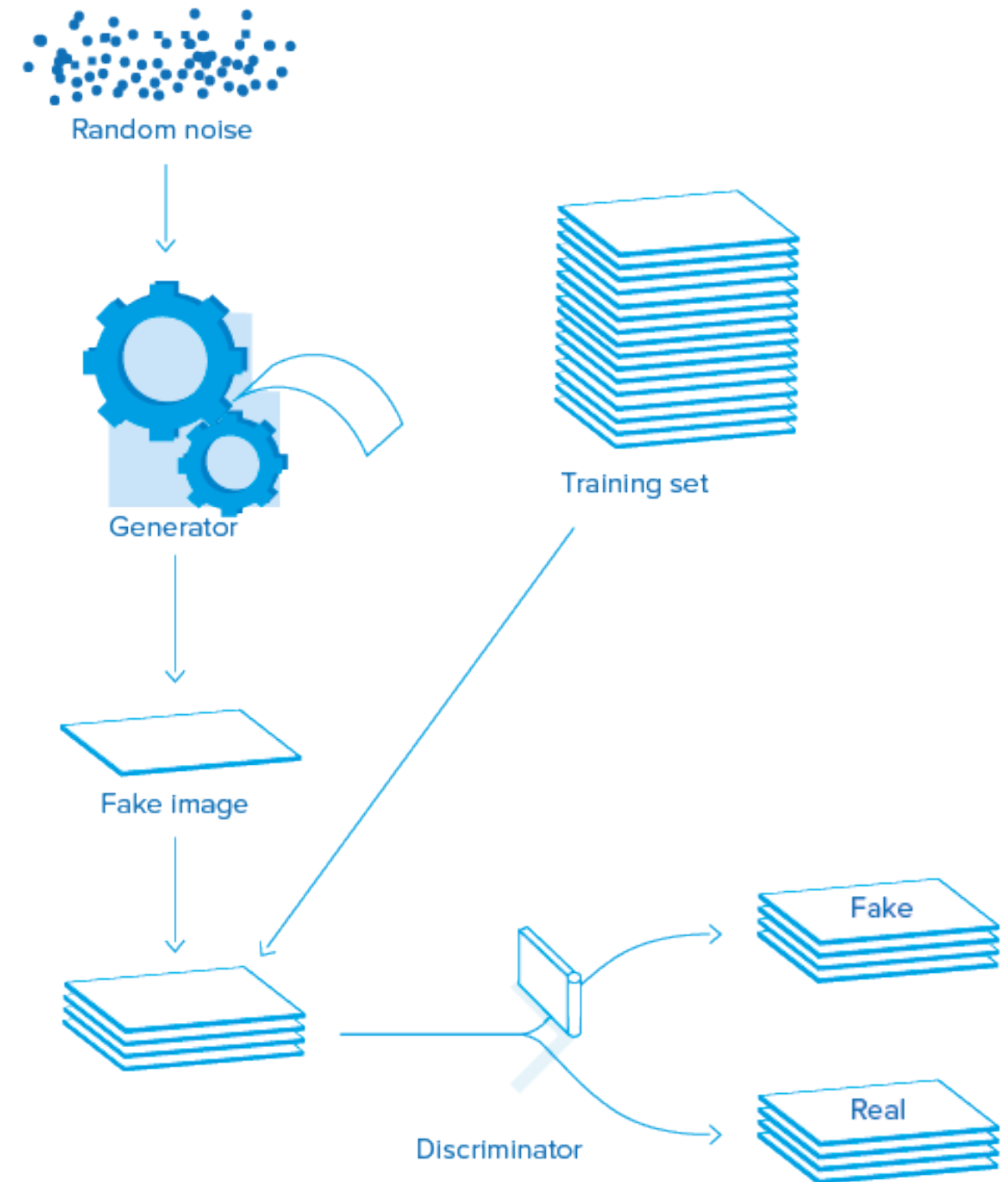
Moduly generátoru a diskriminátoru jsou společně trénovány na sadě vstupních obrázků, což znamená, že se obě sítě musí naučit, jak vykonávat svou funkci:

- Generátor zprvu generuje náhodné obrázky.
- Diskriminátor nedokáže rozeznat, zdali je vstupní obrázek vygenerovaný anebo opravdový.

Postupně se oba moduly učí ze svých chyb, tj. aktualizují parametry svých neuronových sítí tak, aby diskriminátor co nejlépe rozlišil generované a vzorové obrázky. Generátor se oproti tomu snaží upravit parametry své sítě tak, aby mohl generovat věrohodnější obrázky na základě toho, jak dobře se generátoru podařilo ošálit diskriminátor svými výstupy.

Oba tak jakoby hrají proti sobě min-max hru, kdy se oba snaží ze svého pohledu optimalizovat výsledek souboje o to, jestli diskriminátor rozpozná generované obrázky. Generátor se snaží minimalizovat zjištěné rozdíly pravděpodobnosti a diskriminátor zase maximalizovat.

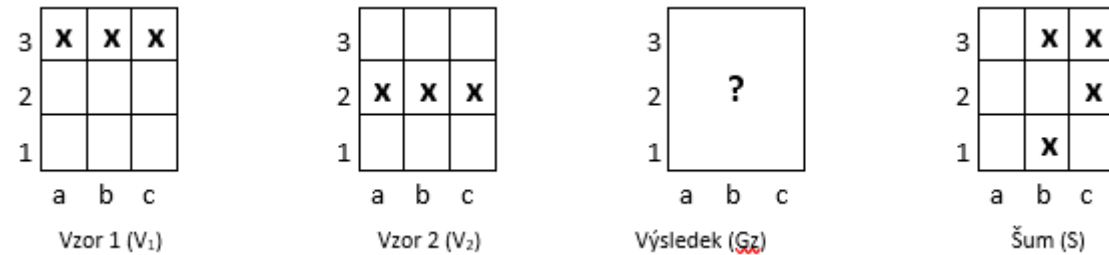
Učící proces pokračuje do té doby, dokud diskriminátor dokáže správně rozeznávat vstupy. Jakmile ale přestane diskriminátor rozeznávat vygenerované obrázky od reálných, učící proces je ukončen a diskriminátor není potřeba. V tomto okamžiku už je využíván pouze generátor, který by nám měl generovat dobré výstupy. (10)



obr. 4 - ukázka jak generátor funguje

## Příklad práce systému GAN

Abychom si práci systému GAN lépe představili, namodelujeme si ji na jednoduchém příkladu známého z IQ testů, kdy na vstupu je tato sada vzorových (trénovacích) dat a systém má najít zbývající variantu:



### Pravděpodobnostní funkce

Pravděpodobnostní funkce definuje pravděpodobnosti, jakých mohou nabývat konkrétní diskrétní hodnoty – např. hodnoty od 0 do 10. Takovouto pravděpodobnostní funkci označme P(n) a udává s jakou pravděpodobností bude vybrána hodnota n.

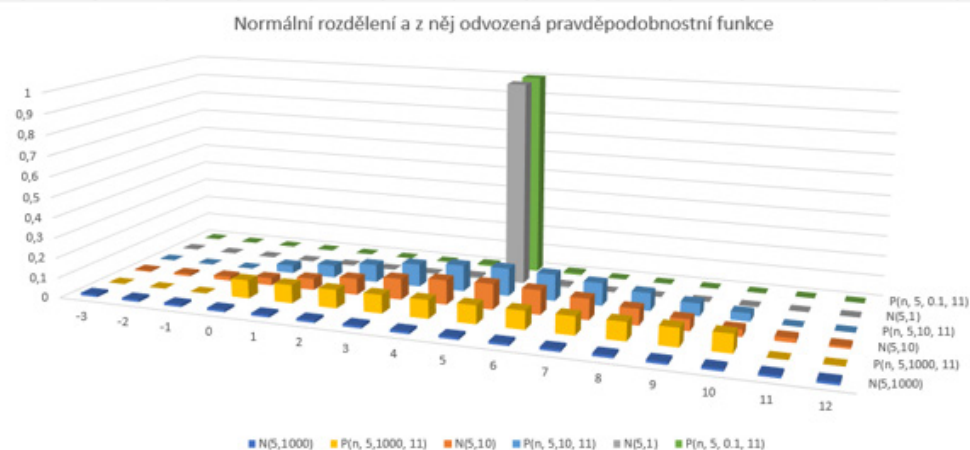
Abychom zachovali fakt, že generování v GAN metodách vychází z normálního rozdělení N(μ,σ<sup>2</sup>), kde μ je střední hodnota a σ<sup>2</sup> je rozptyl. Hustota pravděpodobnosti takového rozdělení je:

$$f(x, \mu, \sigma^2) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (11)$$

a pravděpodobnostní funkci pro χ diskrétních hodnot lze definovat pro hodnotu n jako:

$$P(n, \mu, \sigma^2, \chi) = \frac{f(n, \mu, \sigma^2)}{\sum_{i=1}^{\chi} f(i, \mu, \sigma^2)}$$

Výhodou tohoto pojetí je, že při velkých hodnotách rozptylu [např. σ<sup>2</sup>=1000] je rozdělení prakticky rovnoměrné a při malých hodnotách [např. σ<sup>2</sup>=0,1], dokáže vybírat i jen jednu hodnotu. Z tohoto důvodu je vhodné pro parametrizaci neuronových sítí.



### Funkce generátoru

Jednou ze tří složek GAN architektury je vhodný návrh neuronové sítě pro parametrické generování požadovaných obrázků. Tato síť musí řešit významy čar, ploch, otáčení, posouvání, symetrie a řadu dalších topologických úloh. V našem případě si však úlohu velmi zjednodušíme a budeme generovat pouze jednoduché ortogonální (vodorovně nebo horizontálně lomené) čáry(cesty) na základě následujících parametrů řízených pravděpodobnostní funkcí, a to pro lepší srozumitelnost procedurálně (nikoliv paralelně jak je u sítí zvykem):

c = [1..5] – Počet cest (více se jich do obrázku 3x3 body nevejde – P(n, 3, 1000, 5)

Pro každou cestu poté definujeme trojici:

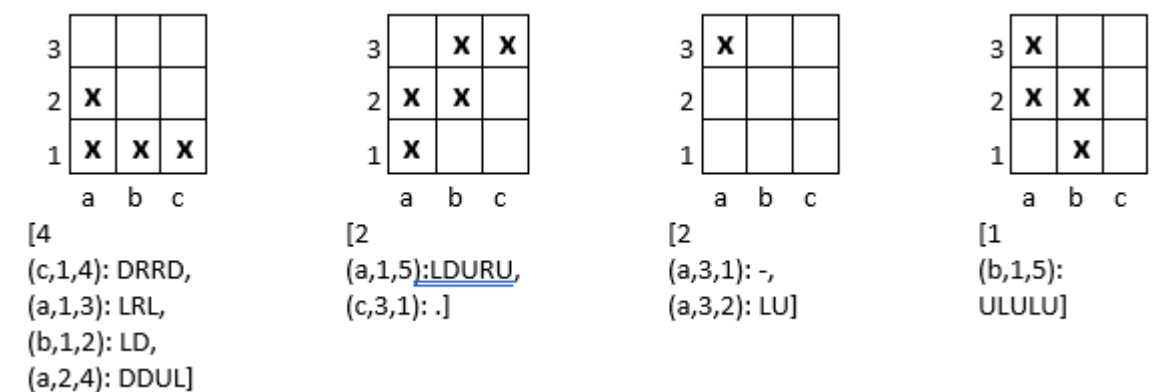
x = {a, b, c} – Počáteční sloupec cesty s mapováním na {1,2,3} a s P(n, 2, 1000, 3)  
 y = {1, 2, 3} – Počáteční řádek cesty s P(n, 2, 1000, 3)  
 d = [1..5] – Délka cesty určená počtem kroků s P(n, 3, 1000, 5)

Pro každý krok je pak třeba definovat směr (pokud by vedl mimo obrázek, tak se neprovede):

s = {U, D, L, R} – Směr kroku s významy Up, Down, Left, Right s P(n, 2,5, 1000, 4). Tato hodnota může být také ovlivněna např. pomocí obrázku vstupního šumu např. takto P(“U“)=0,335; P(“D“)=0,220; P(“L“)=0,110; P(“R“)=0,335. Není to však významné.

Výsledek generování je pak uložen v podobě matice:  $V = \begin{pmatrix} v_{a,3} & v_{b,3} & v_{c,3} \\ v_{a,2} & v_{b,2} & v_{c,2} \\ v_{a,1} & v_{b,1} & v_{c,1} \end{pmatrix}$ .

Provedl jsem tedy generování čtyř příkladů (G1 až G4) podle uvedeného algoritmu:



## Funkce diskriminátoru

Nyní přichází na řadu diskriminátor, který má za úkol vyjádřit pravděpodobnost, s jakou se vyhodnocovaný obrázek svými vlastnostmi shoduje se vzorovými (tréninkovými) obrázky. Za tím účelem vstupuje do hry druhá ze složek GAN architektury a tou je neuronová síť diskriminátoru, která na základě postupně upravovaných parametrů v jednotlivých učících cyklech zpřesňuje své odhady pravděpodobnosti. Zde však stejně jako v případě generátoru použijeme zjednodušení v podobě lineární funkce obsazení bodů a jeho sousedů.

Diskriminační funkci tedy definujeme pro matici V takto:

$$DS(V) = \sum_{x=\{a,b,c\}, y=\{1,2,3\}} v_{x,y} * (\alpha * x * y + \beta * (v_{x-1,y} + v_{x+1,y}) + \gamma * (v_{x,y-1} + v_{x,y+1}))$$

kde  $\alpha$  je váha obsazení bodu na souřadnicích (x,y);  $\beta$  je váha jeho vodorovných sousedů a  $\gamma$  váha horizontálních sousedů. Hodnoty  $v_{xy}$ , kde x nebo y je menší než 1 nebo větší než 3, jsou považovány za nulové. Za etalon vzorových dat definujeme hodnotu  $DE = (DS(V1)+DS(V2))/2$  coby průměr hodnot ze všech vzorových obrázků. Pravděpodobnost pravosti obrázku V pak odhadneme na základě funkce diskriminátoru D(V) při počátečních hodnotách parametrů  $\alpha=\beta=\gamma=1$  takto:

$$D(V) = \frac{1}{1 + ABS\left(DS(V) - \frac{(DS(V1) + DS(V2))}{2}\right)}$$

Pro jednotlivé obrázky hodnoty těchto funkcí vychází následovně:

V=	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	G <sub>1</sub>	G <sub>2</sub>	G <sub>3</sub>	G <sub>4</sub>
DS <sub>F</sub> (V)	4	4	24	44	0	42
D <sub>F</sub> (V)	1	1	0,05	0,02	0,2	0,03

## Vyhodnocení účinnosti a výuka diskriminátoru

Aby bylo možno vyhodnotit efektivitu generování a jeho vyhodnocování, je třeba definovat vyhodnocovací funkce, které se pokouší odhadnout s jakou pravděpodobností se diskriminátor trefuje v odhadu, jde-li o vzorový obrázek, nebo o obrázek generovaný, a kterou se bude snažit v průběhu učení generátor minimalizovat a diskriminátor maximalizovat:

$$\min_G \max_D V(G, D) = e^{\ln(\sum_{i=1,2} D(V_i)/2) + \ln(1 - \sum_{i=1,4} D(G)/2)} \quad (12)$$

Hodnota této funkce v našem příkladu po první iteraci je:

$$V(G1, D1) = \text{EXP}(\text{LN}((0,25+0,25)/2) + \text{LN}(1 - (0,17+0,08+0,06+0,33)/4)) = 0,21.$$

Tedy efektivita diskriminátoru je asi 21%.

To pro diskriminátor není dobrá zpráva musí se s tím pokusit něco udělat změnou svých parametrů  $\alpha$ ,  $\beta$  a  $\gamma$ . Je-li prostor všech parametrů lineární a konvexní bez inflexí ve všech jeho parciálních derivacích podle jednotlivých parametrů, lze pro optimalizaci jednotlivých parametrů použít jednoduché numerické metody (půlení intervalů, metodu tečen atp.). Což v praxi znamená, že zkusíme s jednotlivými parametry pohnout v jednom či v druhém směru a když to pomůže, měníme je tak dlouho, dokud se V(G,D) zlepšuje a takto to děláme se všemi parametry, dokud nedosáhneme kýženého maxima.

Tedy diskriminátor bude postupně měnit hodnoty svých parametrů, aby po několika iteracích zjistil, že hodnota  $\alpha$  zvětšuje rozdíl DS(V1) mezi DS(V2), a tak k maximalizaci V(G,D) je nejvhodnější hodnota  $\alpha=0$ . V tomto případě pak ale vychází D(V1)=D(G4) a systém snadno pozná, že je potřeba zvýšit hodnotu  $\gamma$  např. na  $\gamma=10$ . Parametr  $\beta$  lze ponechat. Označme tuto konfiguraci jak DF (finální) a přepočteme pravděpodobnosti jednotlivých obrázků:

V=	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	G <sub>1</sub>	G <sub>2</sub>	G <sub>3</sub>	G <sub>4</sub>
DS <sub>F</sub> (V)	4	4	24	44	0	42
D <sub>F</sub> (V)	1	1	0,05	0,02	0,2	0,03

Přepočteme-li vyhodnocovací funkci pro DF, tak diskriminátor může slavit:  $V(G1, DF) = \text{EXP}(\text{LN}((1+1)/2) + \text{LN}(1 - (0,05+0,02+0,2+0,03)/4)) = 0,92$

Ve skutečných příkladech se však nepodaří takováto optimalizace ihned jako finální a je ji třeba upravovat po každé optimalizaci ze strany generátoru, neboť hrubé rozlišení již nemusí stačit.

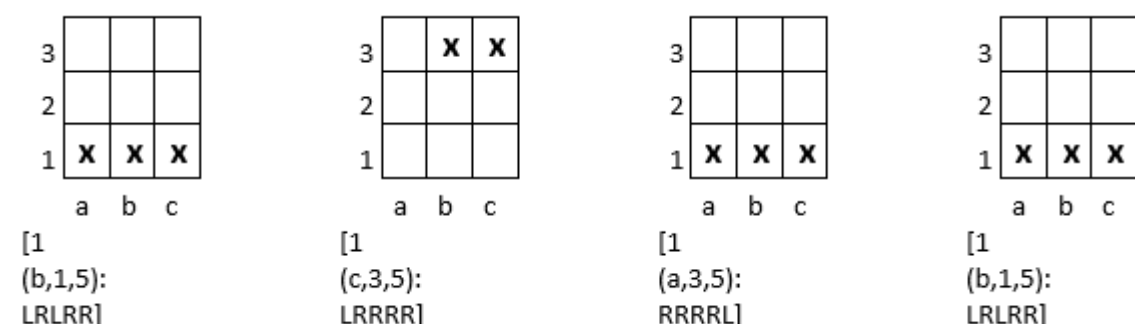
## Výuka generátoru

Tento výsledek však nepotěšil generátor a bude s tím muset něco udělat – aneb upravit své parametry tak, aby výsledné obrázky byly skoro k nerozeznání od těch vzorových, což je samozřejmě cílem celého GAN algoritmu. V tomto případě (a zejména v těch komplexnějších v praxi) již nejde o krásně hladký prostor, což znamená, že nejde použít jednoduché numerické metody a je třeba nasadit těžký kalibr výpočetní síly v podobě neuronových sítí, které inflexní body parciálních derivací (tedy změny konvexity), stejně jako konkávnost celého prostoru, mohou řešit díky paralelismu všech lokálních bodů během velkého množství iterací [jakoby metodou monte-carlo] s poměrně dobrou efektivitou.

Proto i zde tyto iterace nahradíme úvahou, která povede k obdobnému cíli:

- Díky parametru  $\gamma=10$ , se ukazuje nevhodné, aby byly obsazeny body nad sebou, to vede k tomu, že parametr  $s$  může nabývat jen dvou hodnot, a to pouze  $P("L")=P("R")=0,5$  a současně není žádoucí větší počet čar, a tak parametr  $c$  bude mít  $P(1)=1$ .
- Abychom dosáhli co největší hodnoty parametru  $\beta$ , je žádoucí co nejvíce natáhnout počet kroků, a tak nastavíme u parametru  $d$  pravděpodobnostní funkci na  $P(5)=1$ .
- Parametry  $x$  a  $y$  ponecháme jak byly, ač výhodnější je zahájení čáry v krajním sloupci (tedy hodilo by se  $P("a")=P("c")=0,5$ , ale protože v bodě "b" je inflexní bod, a tak jej pomocí normálního rozdělení náš jednoduchý algoritmus neumí nastavit)

a pustíme se do nového generování pomocí generátoru ve verzi GF: obrázků G5 až G8:



a výsledky předložíme diskriminátoru:

V=	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	G <sub>5</sub>	G <sub>6</sub>	G <sub>7</sub>	G <sub>8</sub>
DS <sub>f</sub> (V)	4	4	4	2	4	4
D <sub>f</sub> (V)	1	1	1	0,33	1	1

Přepočteme-li vyhodnocovací funkci pro GF na základě predikcí z DF, tak se generátor může radovat. Diskriminátor však již nemusí být smutný, protože ví, že jeho metoda je v rámci možností ta nejlepší, a tak se již dalších úprav neúčastní:

$$V(GF,DF)=EXP(LN((1+1)/2)+LN(1-(1+0,33+1+1)/4))=0,16.$$

Tedy navržený GAN algoritmus obstál v jednom ze základních IQ testů na výbornou.

## Zdroje Úvod do AI:

- 1- Cambridge Dictionary [online]. [cit. 2022-04-21]. Dostupné z: <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/intelligence>  
Originální znění: the ability to learn, understand, and make judgments or have opinions that are based on reason
- 2- RUBÁČ, František a Jiří HONZÁK. Architecture hallucination. 11. ledna 2022. Fakulta architektury VUT, 2022. strana-14
- 3- Machine learning. Wikipedia [online]. [cit. 2022-04-21]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Machine\\_learning](https://en.wikipedia.org/wiki/Machine_learning)
- 4- RUBÁČ, František a Jiří HONZÁK. Architecture hallucination. 11. ledna 2022. Fakulta architektury VUT, 2022. strana-18
- 6- RUBÁČ, František a Jiří HONZÁK. Architecture hallucination. 11. ledna 2022. Fakulta architektury VUT, 2022. strana-18  
Originální znění: Supervised learning works with data divided into classes, often labeled. This allows us to roughly expect what the output of the algorithm will look like. The output data will be also influenced by the model we use.
- 5- RUBÁČ, František a Jiří HONZÁK. Architecture hallucination. 11. ledna 2022. Fakulta architektury VUT, 2022. strana-18  
Originální znění: Unsupervised learning does not dictate what the outcome of the process should look like. It is a completely unsupervised learning approach. We do not tell the algorithm what patterns it should look for in the datasets. Instead, we let the algorithm create its patterns based on the input data.
- 7- RUBÁČ, František a Jiří HONZÁK. Architecture hallucination. 11. ledna 2022. Fakulta architektury VUT, 2022. strana-21  
Originální znění: Artificial neural networks consist of layers of nodes that contain an input layer, one or more hidden layers, and an output layer. Each node (artificial neuron) connects to another and has an associated weight and threshold. If the output of any individual node is above a specified threshold, that node is activated and sends data to the next layer of the network. Otherwise, no data is transferred. Neural networks rely on training data to learn and improve their accuracy over time. However, once tuned, these learning algorithms are powerful tools in computer science and artificial intelligence, allowing us to classify and cluster data at high speed. Speech recognition or image recognition tasks can take a few seconds instead of minutes or hours



8- GOODFELLOW, Ian J., Jean POUGET-ABADIE, Mehdi MIRZA, Bing XU, David WARDE-FARLEY, Sherjil OZAI, Aaron COURVILLE a Yoshua BENGIO. Generative Adversarial Nets [online]. Montreal, QC H3C 3J7, Universite de Montréal, 2014 [cit. 2022-04-04]. Dostupné z: <https://arxiv.org/pdf/1406.2661.pdf>. Vědecká. Universite de Montréal.

9- RUBÁČ, František a Jiří HONZÁK. Architecture hallucination. 11. ledna 2022. Fakulta architektury VUT, 2022. strana-22

Originální znění: The Generator model takes a fixed-length random vector as input and generates a sample. The vector is obtained randomly from a Gaussian distribution and used to deploy the generative process. After training, the points in this multidimensional vector space will correspond to the points in the problem domain and form a compressed representation of the data distribution. The advantage is that the outputs of the generator can be used backward as inputs

10- RUBÁČ, František a Jiří HONZÁK. Architecture hallucination. 11. ledna 2022. Fakulta architektury VUT, 2022. strana-25

11- Normální rozdělení. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2022-04-30]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Norm%C3%A1ln%C3%AD\\_rozd%C4%9Blen%C3%AD](https://cs.wikipedia.org/wiki/Norm%C3%A1ln%C3%AD_rozd%C4%9Blen%C3%AD)

12- GOODFELLOW, Ian J., Jean POUGET-ABADIE, Mehdi MIRZA, Bing XU, David WARDE-FARLEY, Sherjil OZAI, Aaron COURVILLE a Yoshua BENGIO. Generative Adversarial Nets [online]. Montreal, QC H3C 3J7, Universite de Montréal, 2014 [cit. 2022-04-04]. Dostupné z: <https://arxiv.org/pdf/1406.2661.pdf>. Vědecká. Universite de Montréal.

### Obrázky:

Obr 1. - Types of artificial intelligence. In: Medium.com [online]. [cit. 2022-04-21]. Dostupné z: <https://medium.datadriveninvestor.com/a-breakdown-of-artificial-intelligence-9207960cadff>

Obr 2.(modifikovaný) - RUBÁČ, František a Jiří HONZÁK. Architecture hallucination. 11. ledna 2022. Fakulta architektury VUT, 2022. strana-19

Obr 3.(modifikovaný) - RUBÁČ, František a Jiří HONZÁK. Architecture hallucination. 11. ledna 2022. Fakulta architektury VUT, 2022. strana-20

Obr 4.(modifikovaný) - RUBÁČ, František a Jiří HONZÁK. Architecture hallucination. 11. ledna 2022. Fakulta architektury VUT, 2022. strana-23

## Metody využití AI v architektuře

V této kapitole bych rád uvedl několik různých metod a nástrojů, které by mohly architekti začít ve větší míře využívat. Ve své práci jsem se především zabýval nástroji využívající algoritmy GAN (Generative Adversarial Network), což je jedna z metod ze skupiny AI hlubokého učení. Proto větší na příklady a vybraných nástrojů bude zaměřena na využití těchto sítí, a to i na případech, které jsem řešil v rámci diplomové a před diplomové práce. Nejprve se však zmíním o trendech a nástrojích, které nesouvisí s GAN, ale obecně s AI a jejím vlivem na architekturu.

### Od skutečné k virtuální realitě

Počítače jsou v dnešní době již nezbytnou pomůckou v řadě profesí. Počítačové programy jsou velmi rychlé a efektivní s mnohem menší chybou při rutinních činnostech. Proto je vhodné využít počítače především pro výpočetní a repetitivní úkoly, které dokáží výrazně ulehčit práci uživatelů. Již dnes se ve velké míře využívají CAD softwary, existují roboti, kteří pomáhají na stavbách nebo dokáží rovnou vytisknout celý dům z betonu. Samozřejmě tito roboti nyní pracují pouze s určitými materiály a typy konstrukcí. V budoucnu by se ovšem na stavbách mohly objevit i stavební drony, které by byly výrazně flexibilnější a umožňovaly by přesun tvárnice a dalších stavebních hmot. (1)

Virtuální realita se začíná rozvíjet a již dnes je možné za pomoci virtuální reality promítnout digitální modely pro jejich vizualizaci do tohoto virtuálního prostředí, aniž by bylo potřeba tyto modely tisknout. V budoucnu by tak mohla umělá inteligence pomoci například nejen s návrhem, ale i s podstatnou částí konstrukcí celých budov.

Umělá inteligence je nepochybně spjatá také s moderním tématem Smart Cities. Za pomoci digitálních technologií by bylo možné zlepšit infrastrukturu měst a také snížit jejich spotřebu energií.

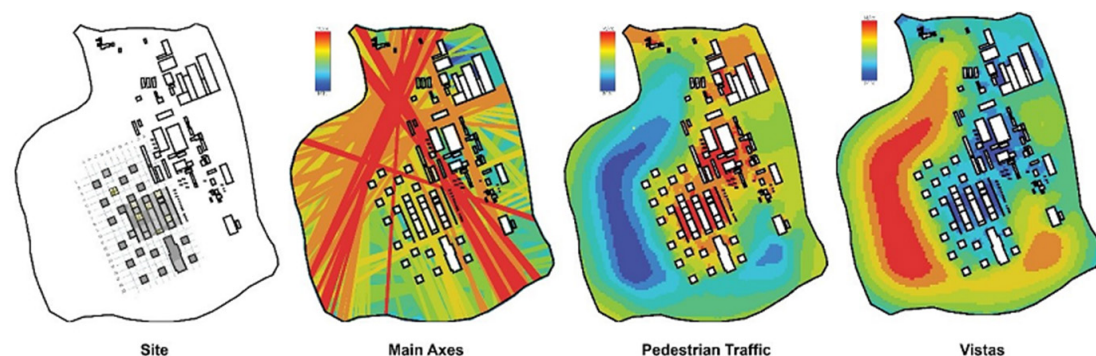
AI systémy je také možné zakomponovat do budov za účelem bezpečnosti a digitalizace domu. Díky tomuto systému by pak mohl uživatel pouze nastavovat požadované optimální parametry domu (např. teplotu, osvětlení, zabezpečení) a způsob jejich zajištění by pak ponechal na AI, která by jejich hodnoty udržovala velmi efektivně s ohledem na spotřebu energie. (2)

## Softwarové nástroje v architektuře

V současnosti již existuje několik softwarových nástrojů pro architekty, jež využívají umělou inteligenci. Většinou se jedná o architektům relativně neznámé produkty, u kterých jsou vyvinuty pouze první verze a nemají tolik funkcí oproti ustáleným CAD systémům. I přesto mnohé z nich stojí za pozornost, a tak zde uvádím pár příkladů těchto nástrojů, jelikož by se mohly v budoucnu dostat do hledáček nemála architektů.

### DepthmapX

DepthmapX je software, který dokáže analyzovat půdorysné plány z různých úhlů pohledu. (3) „Software funguje v různých měřítkách od budov přes malé městské části až po celá města nebo státy. V každém měřítku je cílem softwaru vytvořit mapu prvků volného prostoru, propojit je nějakým vztahem (například vzájemnou viditelností nebo překrýváním) a poté provést grafickou analýzu výsledné sítě. Cílem analýzy je odvodit proměnné, které mohou mít sociální význam.“ (4)



obr. 1 - analýza pozemku softwarem DepthmapX

### EcoDesigner Star

Jedná se o doplňkový software od společnosti Graphisoft, který se zaměřuje na podrobné vyhodnocení energetické náročnosti budov. Dokáže generovat grafy a informace o energetickém hodnocení, spotřebě a úspoře energií. Dokáže také posoudit stavbu z hlediska tepelných mostů. Jedná se o plugin, který je specificky navržený pro program archiCAD, ale existují i podobné pluginy pro další CAD systémy. (5)

### Spacemaker AI

Spacemaker AI je moderní nástroj, který vznikl díky vzájemné kooperaci architekta Håvarda Haukelanda, počítačovému inženýrovi Carlu Christensenovi a finančnímu analytikovi Andersovi Kvale v roce 2016 v Norsku. Postupem let produkt získával na popularitě, až ho v roce 2020 odkoupila firma Autodesk za částku 240 milionů dolarů.

Primárním účelem softwaru je využití plného potenciálu stavebních pozemků. V dnešní době je relativně náročné designovat nové budovy v městském prostředí. Spacemaker AI by měl v tomto ohledu architektům napomoci díky propracovanému AI enginu, který generuje, optimalizuje a analyzuje stavby na základě různých vstupních dat definovaných uživatelem. (6) Software se také díky AI snaží zvýšit uživatelskou přívětivost, neboť řadu předpokládaných činností vykonává samostatně na pozadí. AI se tak stává jakýmsi neviditelným pomocníkem při navrhování.

Slovy zakladatele Håvarda Haukelanda : „Společnost Spacemaker vytváří první komerční platformu na světě, která využívá umělou inteligenci (AI) a pomáhá architektům, urbanistům a developerům rychleji přijímat lepší rozhodnutí.“ (7)

Software se snaží prolomit v řadách architektů a urbanistů. Zakladatelé společnosti věří, že se AI brzy stane nezbytnou součástí navrhování budov. Maria Dantz, vedoucí komunikace a marketingu ve společnosti Spacemaker, tvrdí: „ Jsme platforma s umělou inteligencí, ale chceme našim uživatelům poskytnout více možností. Nevěříme tedy, že AI něco nahradí. Ale pevně věříme, že na pracovišti budoucnosti architekti využívající AI nahradí architekty, kteří ji nevyužívají.“ (8)



obr. 2 - ilustrační obrázek z Spacemaker AI



## XKool technology

Společnost byla založená v roce 2016 dvěma architekty Wanyu He a Xiaodi Yang. Obdobně jako u Spacemaker AI se jedná o nástroj cílený na architektu, urbanisty a developery. Software pomáhá při designování a analyzování interiérů i městského navrhování. Na rozdíl od Spacemaker AI XKool využívá deep learning, big data a GAN. Díky tomu dokáže XKool generovat velké množství řešení pro daný problém, některá z těchto řešení mohou být považována za inovativní. XKool je nyní dostupný pouze v Číně, v budoucnu se snad dostane i do západních zemí. (9)

## GAN

Jak jsem již popsal v předešlé kapitole, GAN (Generative Network) je označení pro algoritmy založené na neuronových sítích (Generativních sítích), které dokáží generovat obrázky na základě vstupních dat. Ve své práci jsem se snažil tyto sítě různě kombinovat, abych docílil kýženého výsledku. V této sekci proto na příkladech různých řešení a knihoven stručně popíši, jak tyto sítě fungují a jakých výsledků za jejich pomoci lze dosáhnout.

### CGAN (pix2pix)

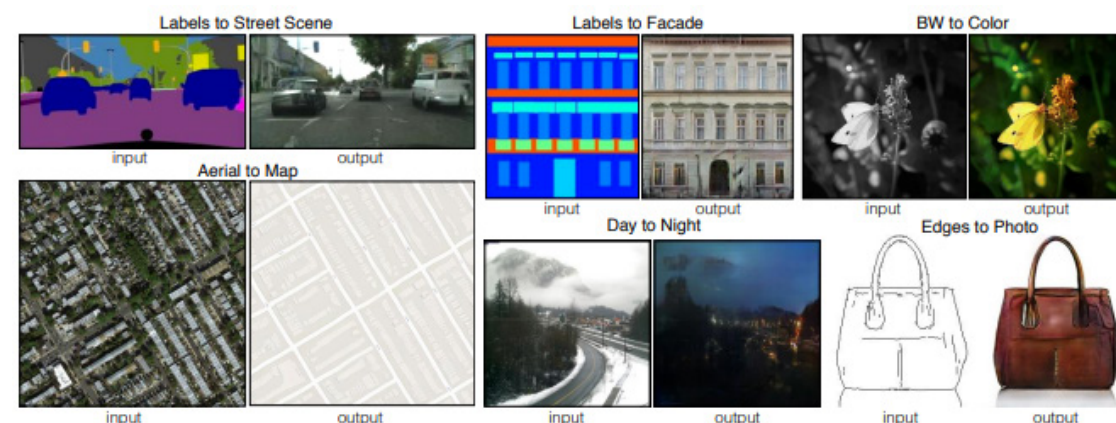
Pix2pix je software, který umožňuje řízenou konverzi vstupního obrázku na obrázek vygenerovaný. Oproti klasickým GAN Pix2pix využívá CGAN (conditional GAN neboli podmíněný GAN). CGAN poskytuje jistou kontrolu nad generovanými výstupy, tím se výstup nestává absolutně náhodným a dosahuje kvalitnějších výsledků oproti klasickým GAN. (10)

Velkou výhodou využívání GAN je, že pro generování obrázků využíváme stejný algoritmus. Algoritmus není striktně zaměřený na generování určitých obrázků. Dokáže se naučit na jakékoli sadě obrázků, pokud splňují jistá kritéria. Dobře je toto shrnuto v práci Image-to-Image Translation with Conditional Adversarial Networks:

„Mnoho problémů v oblasti zpracování obrazu, grafiky a vidění zahrnuje převod vstupního obrazu na odpovídající výstupní obraz. Tyto problémy se často řeší pomocí algoritmů specifických pro danou aplikaci, i když zadání je vždy stejné: mapovat pixely na pixely. GAN jsou univerzálním řešením, které se zdá být dobře funkční pro širokou škálu těchto problémů. V každém případě používáme stejnou architekturu a cíl a jednoduše trénujeme na různých datech.“ (11)

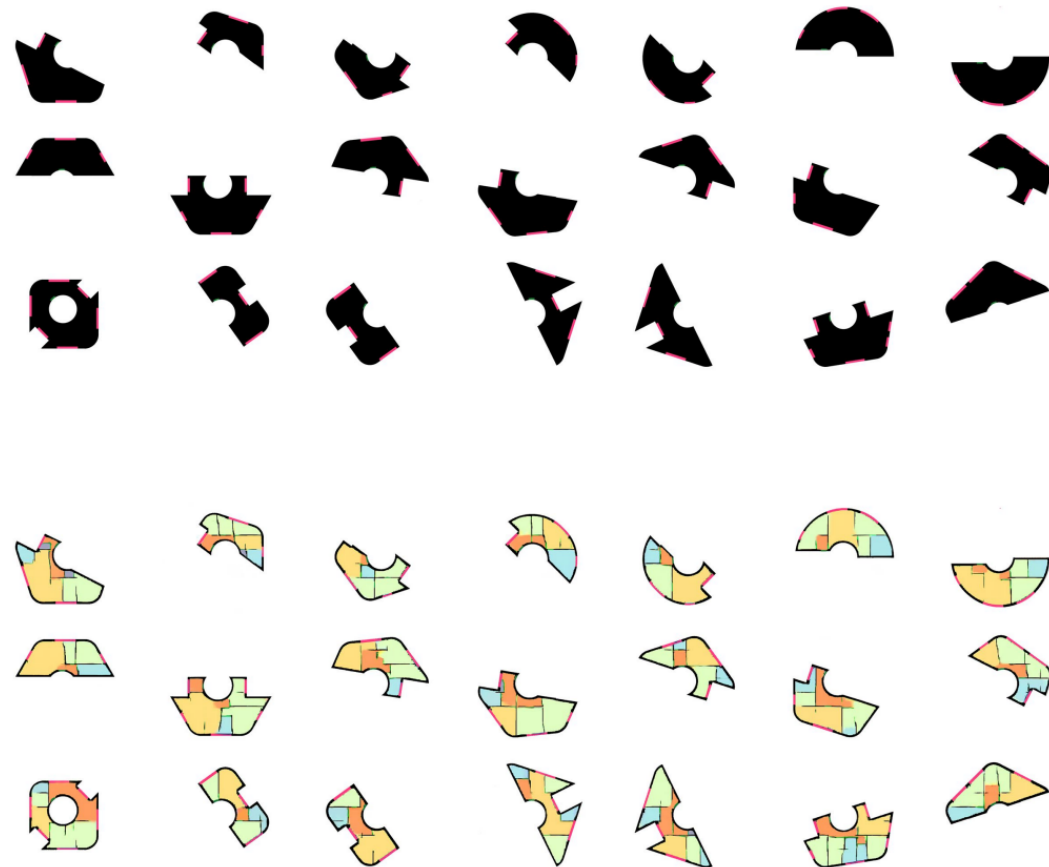
Další výhodou tohoto přístupu je, že ji mohou využívat i lidé, kteří nejsou vyškolení IT specialisté, jelikož se s parametry algoritmu nemusí téměř hýbat. Stačí si pouze připravit vhodné sady testovacích obrázků a program na nich spustit. Ty ovšem není jednoduché vytvořit, jelikož pro lepší výsledek musí být sady obrázků značně obsáhlé a zároveň musí být obrázky párové. Což znamená, že se musí navzájem částečně podobat (pixelově mezi sebou musí souviset). K tomuto tématu se podrobněji dostanu v části práce s názvem tvorba datasetů.

Rád bych zde uvedl několik příkladů, na kterých je vhodné využití právě Pix2pix, které byly demonstrovány v právě již zmiňované práci Image-to-Image Translation with Conditional Adversarial Networks. (12) Můžeme generovat například z jednoduché skici detailní obrázek, převést černobílý obrázek na barevný a nebo vytvořit z letecké mapy mapu jednoduchou.



obr. 3 - příklady použití Pix2pix

Dále bych chtěl demonstrovat několik ukázek z předdiplomové práce, kterou jsem dělal ve spolupráci s Jiřím Honzákem. V práci jsme se snažili převést obrázek bytu z jednoduchých labelů na výkres půdorysu bytu s příčkami a se zónováním. V práci jsme také využívali Pix2pix pro generování prostorového kontextu urbanistických plánů. (viz 13)



obr. 4 - generování půdorysů s rozdělením na zóny na základě jednoduchého půdorysu s okny a dveřmi

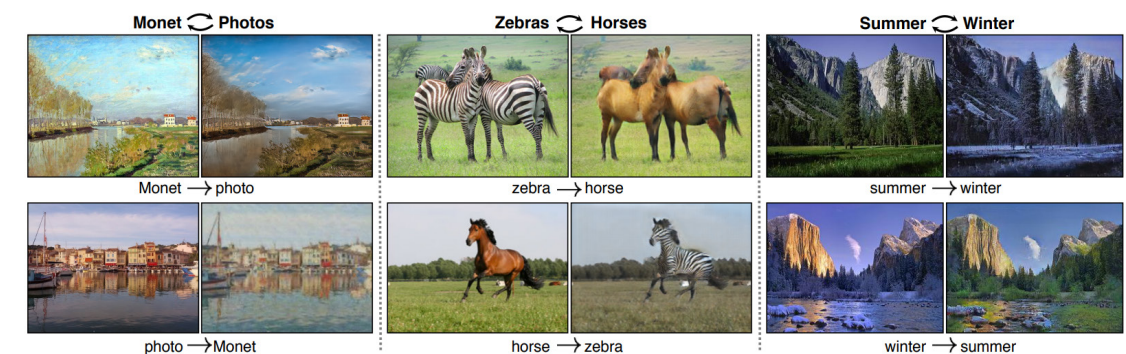
## CycleGAN

Jedná se opět o program, který má za úkol převádět vstupní obrázky na jiné. Oproti Pix2pix CycleGAN nevyžaduje, aby dané sety vstupů byly párové. To je velká výhoda, jelikož tvorba párového datasetu je velmi časově náročná. Přesto je vhodné, aby sety obrázků měly částečnou podobnost, jinak může být výsledek velmi abstraktní.

CycleGAN je rozšíření architektury GAN, které zahrnuje současný trénink dvou modelů generátoru a dvou modelů diskriminátoru. Pracuje tedy se dvěma GANy najednou (na rozdíl od klasických GANů, kde je zapotřebí pouze jednoho generátoru a diskriminátoru). Tyto GAN jsou vzájemně provázané, respektive jsou zacyklené, a proto vzniklo označení CycleGAN. CycleGAN funguje následovně: Jeden generátor bere obrázky z první domény jako vstupní a generuje obrázky pro druhou doménu. Druhý generátor bere obrázky z druhé domény jako vstup a generuje obrázky pro první doménu. Modely diskriminátoru se pak použijí k určení, jak věrohodné jsou vygenerované obrázky, a podle toho aktualizují modely generátoru.

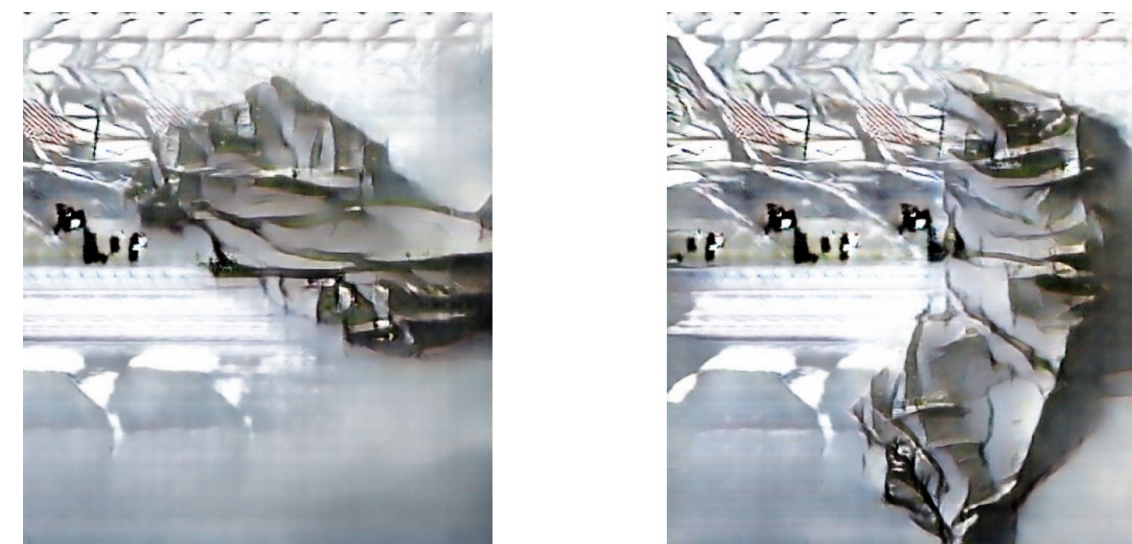
Navíc CycleGAN používá další rozšíření architektury s názvem konzistence cyklu. To znamená, že obrazový výstup z prvního generátoru by mohl být použit jako vstup do druhého generátoru a výstup druhého generátoru by měl odpovídat původnímu obrazu. Platí to i naopak: výstup z druhého generátoru může být převeden jako vstup do prvního generátoru a výsledek by taktéž měl odpovídat vstupu do druhého generátoru. (14)

Pomocí tohoto programu můžeme například převést fotografii na malovaný obraz, převedení zimního obrazu na letní nebo převedení zebry na koně. (15)



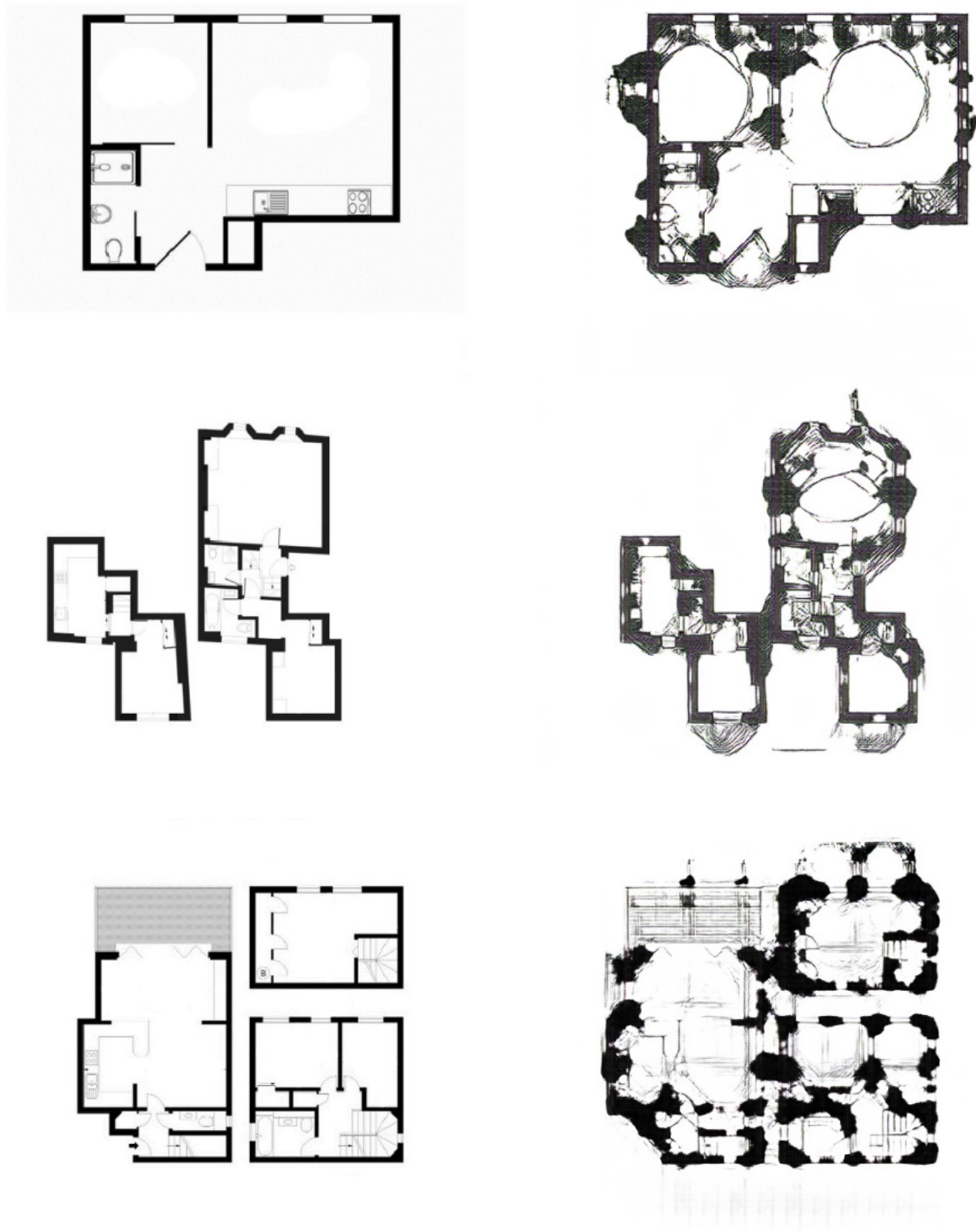
obr. 5 - příklady použití CycleGANu

V předdiplomové práci se nám pomocí nástroje CycleGAN podařilo například změnit styl půdorysných výkresu bytů nebo přetvořit moderní půdorysy na barokní. Dále jsme zkoušeli kombinovat obrázky moderních budov s obrázky oblečení a dalších běžných předmětů. Výsledkem byly velmi abstraktní struktury.



obr. 6 - Výsledky z ClothGANu - obrázky jsou kombinací moderní architektury a všedních věcí. (viz předdiplomová práce.)





obr. 7a,b,c - Změna stylu půdorysu na barokní půdorys. Nalevo je původní obrázek, napravo vygenerovaný.

## StyleGAN

StyleGAN je oproti předchozím sítím značným pokrokem, jelikož dokáže velmi dobře kombinovat vstupní obrázky. StyleGAN již nepřeměňuje jeden obrázek na druhý, místo toho kombinuje obrázky a vytváří z nich nový inovativní výstup. StyleGAN přináší velké změny v algoritmu generátoru, včetně použití mapovací sítě k mapování bodů a využití šumu jako zdroje variací v každém bodě modulu generátoru. Výsledný modul je schopen nejen generovat působivě fotorealistické vysoce kvalitní fotografie tváří, ale také nabízí kontrolu nad stylem generovaného obrazu na různých úrovních podrobností prostřednictvím změny stylů vektorů a šumu. (16)

Tak jako předešlé GANy, tak i StyleGAN využívá moduly diskriminátoru a generátoru. Tyto moduly jsou ale značně modifikované. Mnoho vylepšení architektury GAN bylo dosaženo prostřednictvím vylepšení modelu diskriminátoru. Tyto změny jsou motivovány myšlenkou, že lepší diskriminační model následně povede ke generování realističtějších syntetických obrazů. (17)

StyleGAN můžeme naučit generovat téměř cokoli. Vstupní obrázky musí mít ovšem podobnou tematiku. Pokud bychom síť učili na změnách různých obrázků, program by generoval velmi abstraktní obrázky. V architektuře je praktické použití StyleGANu neskutečně těžké. Program nám nicméně může generovat například sadu nových obrázků, které mohou sloužit jako inspirace.



obr. 8. Využití StyleGAN pro generování tváří. Program vytváří nové tváře na základě kombinace reálných tváří.



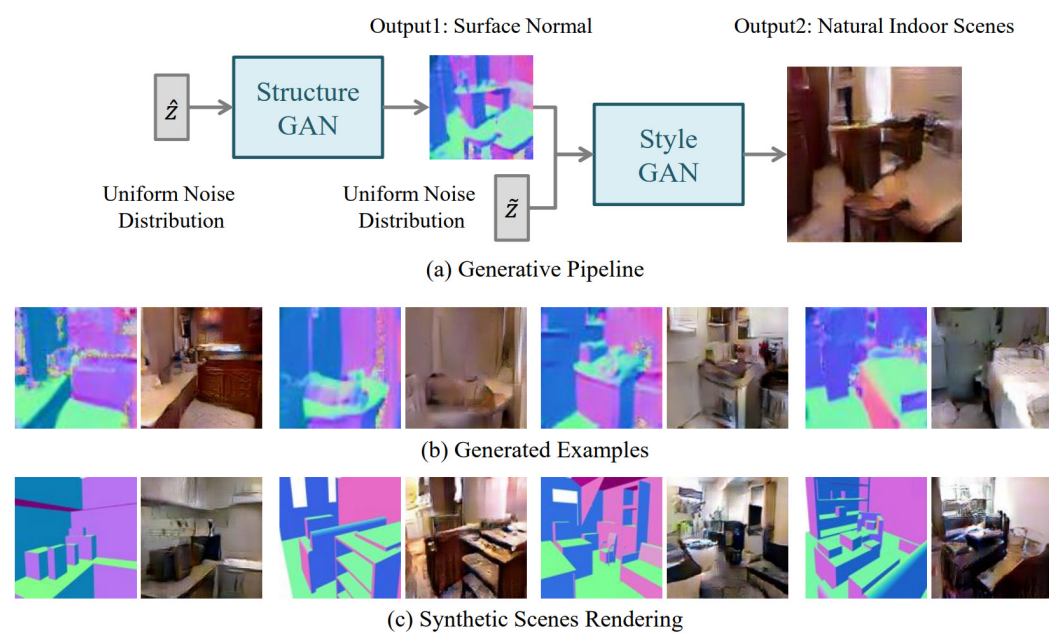
## GAN ve 3D

V předchozích případech jsme se zabývali 2D generováním obrázků. Ovšem architekti pracují s prostorem. Proto bych zde rád ukázal 2 příklady využití GANu ve 3D.

### Style and structure GAN (S2-GAN)

Tento algoritmus využívá dva typy sítí. Tento způsob generování umožňuje vytvořit obraz interiéru na základě geometrie (například voxelové reprezentace) a textury, kterou přidáme této geometrii. Zde vycházím z práce Generative Image Modeling using Style and Structure Adversarial Networks, kde svou práci shrnují následovně:

„Současné generativní frameworky využívají komplexní učení a generují obrazy vzorkováním z rovnoměrného rozložení šumu. Tyto přístupy však ignorují nejjednodušší princip tvorby obrazu: obrazy jsou produktem: (a) struktury: základního 3D modelu a (b) stylu: textury mapované na strukturu. Proto pomocí S2-GAN faktorizujeme obraz a navrhujeme GAN pro styl a strukturu (S2-GAN). Naše S2-GAN má dvě složky: StructureGAN generuje normálovou mapu povrchu; StyleGAN přebírá normálovou mapu povrchu jako vstup a generuje 2D obraz. Obě sítě GAN jsou nejprve trénovány nezávisle a poté jsou sloučeny pomocí společného učení. Ukazujeme, že naše S2-GAN model je interpretovatelný, generuje realističtější obrazy a může se použít k učení neřízených reprezentací RGBD.“ (18)



obr. 9 - Architektura S2-GAN s příklady.

## PyTorch 3D and PIFuHD

Druhým příkladem je knihovna PyTorch 3D (19), která se specializuje na práci s 3D daty v rámci hlubokého učení. Za pomoci této knihovny lze například vygenerovat digitální model na základě obrázků daného objektu. Pro generování potřebujeme sadu fotografií objektu, které chceme převést na digitální model. Poté, co vložíme fotografie do programu, se snaží program predikovat objekt na základě siluet fotografií. Program dokonce dokáže predikovat texturu objektu. (20)

Nadstavbou k předchozímu programu je program PIFuHD (21), který se specializuje na 3D rekonstrukci lidí z fotografií. Programu stačí pouze jedna fotografie celého člověka, aby z ní dokázal vytvořit detailní digitální model. Díky tomuto programu je možné jednoduše vytvořit velké množství modelů lidí, které poté mohou například architekti využít ve svých digitálních modelech pro vizualizaci. V budoucnu možná bude existovat program, který dokáže z fotografie budovy, vytvořit takovýto podobný digitální 3D model. Což bude možné pouze pro budovy, které mají ze všech stran stejnou fasádu. Pro nepravidelné fasády by program nedokázal správně odhadnout zadní stranu.



obr. 10 - Ukázka generování modelu na základě fotky postavy.

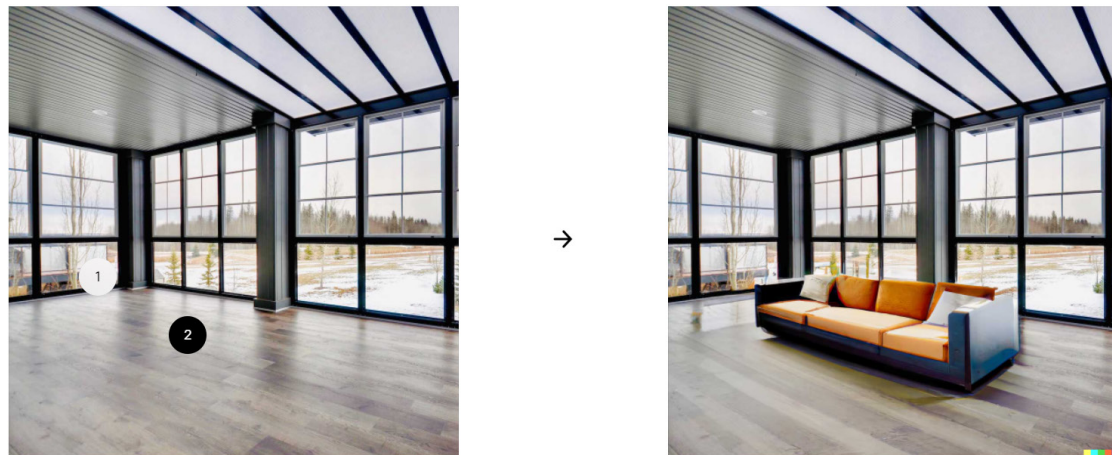


## OPEN AI DALL-E 2

DALL-E 2 je software, který vychází ze starší verze DALL-E, jehož název je kombinací slavného Salvadora Dalího a filmu Wall-e. Jedná se o jeden z nejnovějších AI generovaných softwarů současnosti a je to určitě znát na výstupech z tohoto programu.(22)

Tento program dokáže generovat obrázky na základě pouhého textu. Obsahuje dva základní moduly, decodér GPT-3, který dokáže rozpoznat text a dekodovat ho tak, aby mu počítač porozuměl. Druhým hlavním modulem je CLIP (Contrastive Language-image Pre-training). Účelem tohoto modulu je předtrénování modelu mluvené řeči a modelu klasifikujícího obrázky zároveň. CLIP systém se učí s enormního množství obrázků na internetu. Tyto obrázky jsou popsány (labeled). CLIP systém si vezme určitý obrázek a dokáže ho popsat tak, aby tomu popisu lidé rozuměli. Vývojáři pak víceméně obrátili tento proces, nyní popisují obrázky lidí a DALL-E 2 dokáže na základě toho popisu obrázky generovat. (23)

Vygenerované obrázky vypadají velmi realisticky a program dokáže obrázky bravurně prolínat, jak je zřetelné z tohoto příkladu.



obr. 11 - Ukázka toho jak excelentně dokáže program prolínat obrázky.

Program má ovšem stále své mezery a je zřejmé, že se musí nadále vyvíjet. V budoucnu možná bude program na základě psaného vstupu schopen vygenerovat realistické video a v dalších letech možná dokonce i celý film.



obr. 12 - Ukázka toho, jak program není stále dokonalý. S některými texty si evidentně nedokáže poradit. Vstupem pro tyto obrázky byl text: „Cedule s názvem deep learning“

I přes jisté chyby dokáže systém vygenerovat velmi věrohodné obrázky budov či interiéru pouze na základě textu, který je specifikuje. Zde ještě ukáží poslední sadu obrázků na základě specifického textu.



obr. 13 - Vstupem pro tyto obrázky byl text: „Pohled na dlaň, ze které vyrůstají listy“



## ArchiGAN

Na závěr bych zde chtěl uvést Harvardskou práci AI + Architecture, jejímž autorem je Stanislas Chaillou, která pro mne byla významnou inspirací (24). V práci Chaillou využívá síť CGAN pro generování velmi působivých půdorysů bytů i budov. Půdorysy jsou dokonce plně interiérově vybavené a interiér se dokáže měnit na základě tvaru půdorysu. Program dokáže generovat i velmi atypické půdorysy bytů, které by nebylo jednoduché kreslit ručně.



obr. 14 - Půdorys vygenerovaných bytů.

## Zdroje pro metody využití AI v architektuře:

1- DONOVAN, Alexander. 5 Ways Artificial Intelligence Is Changing Architecture. In: Interesting engineering [online]. Jun 23, 2020 [cit. 2022-04-15]. Dostupné z: <https://interestingengineering.com/5-ways-artificial-intelligence-is-changing-architecture>

2- OBERSTE-UFER, Kai. 7 Ways Artificial Intelligence Is Revolutionizing Architecture. In: Dormakaba [online]. 02 . 09 . 2019n. I. [cit. 2022-04-15]. Dostupné z: <https://blog.dormakaba.com/7-ways-artificial-intelligence-is-revolutionizing-architecture/>

3- BEQIRI, Rron. A.I. Architecture Intelligence: Architecture and Urban Planning in the age of Artificial Intelligence in an article by Rron Beqiri. In: Future architecture [online]. 4 MAY 2016n. I. [cit. 2022-04-15]. Dostupné z: <https://futurearchitectureplatform.org/news/28/ai-architecture-intelligence/>

4- DepthMapX: depthMapX [online]. 2022 [cit. 2022-04-15]. Dostupné z: <https://www.spacesyntax.online/software-and-manuals/depthmap/>  
Originální znění: It works at a variety of scales from building through small urban to whole cities or states. At each scale, the aim of the software is to produce a map of open space elements, connect them via some relationship (for example, intervisibility or overlap) and then perform graph analysis of the resulting network. The objective of the analysis is to derive variables which may have social or experiential significance.

5- EcoDesigner STAR – podrobné vyhodnocení energetické náročnosti archicadových projektů. In: Tzbinfo [online]. 2016 [cit. 2022-04-15]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/bim-informacni-model-budovy/14842-ecodesigner-star-podrobne-vyhodnoceni-energeticke-narocnosti-archicadovych-projektu>

6 – Architecture in the Age of Artificial Intelligence: An Introduction to AI for Architects. Bloomsbury Visual Arts: Bloomsbury Publishing, 2022. ISBN 9781350165519. strany -119 -120

7- Spacemaker AI. In: Hub [online]. [cit. 2022-04-17]. Dostupné z: <https://thehub.io/startups/spacemaker-a>

8- Architecture in the Age of Artificial Intelligence: An Introduction to AI for Architects. Bloomsbury Visual Arts: Bloomsbury Publishing, 2022. ISBN 9781350165519. strana -124

9 - Architecture in the Age of Artificial Intelligence: An Introduction to AI for Architects. Bloomsbury Visual Arts: Bloomsbury Publishing, 2022. ISBN 9781350165519. strana



10- RUBÁČ, František a Jiří HONZÁK. Architecture hallucination. 11. ledna 2022. Fakulta architektury VUT, 2022. strana 26

11- ISOLA, Phillip, Jun-Yan ZHU, Tinghui ZHOU a Alexei A. EFROS. Image-to-Image Translation with Conditional Adversarial Networks [online]. Berkeley AI Research (BAIR) Laboratory: UC Berkeley, 26 listopadu 2018n. I. [cit. 2022-09-05]. Dostupné z: <https://arxiv.org/pdf/1611.07004.pdf>. Vědecká práce. Berkeley AI Research (BAIR) Laboratory.

Originální znění: Many problems in image processing, graphics, and vision involve translating an input image into a corresponding output image. These problems are often treated with application-specific algorithms, even though the setting is always the same: map pixels to pixels. Conditional adversarial nets are a general-purpose solution that appears to work well on a wide variety of these problems. In each case we use the same architecture and objective, and simply train on different data.

12- ISOLA, Phillip, Jun-Yan ZHU, Tinghui ZHOU a Alexei A. EFROS. Image-to-Image Translation with Conditional Adversarial Networks [online]. Berkeley AI Research (BAIR) Laboratory: UC Berkeley, 26 listopadu 2018n. I. [cit. 2022-09-05]. Dostupné z: <https://arxiv.org/pdf/1611.07004.pdf>. Vědecká. Berkeley AI Research (BAIR) Laboratory.

13- RUBÁČ, František a Jiří HONZÁK. Architecture hallucination. 11. ledna 2022. Fakulta architektury VUT, 2022. strany 34-65

14 - RUBÁČ, František a Jiří HONZÁK. Architecture hallucination. 11. ledna 2022. Fakulta architektury VUT, 2022. strany 29

15- ZHU, Jun-Yan, Taesung PARK, Phillip ISOLA a Alexei A. EFROS. Unpaired Image-to-Image Translation using Cycle-Consistent Adversarial Networks [online]. Berkeley AI Research (BAIR) laboratory, UC Berkeley, 24 srpen 2020n. I. [cit. 2022-04-04]. Dostupné z: <https://arxiv.org/pdf/1703.10593.pdf>. Vědecká. UC Berkeley.

16 - A Gentle Introduction to StyleGAN the Style Generative Adversarial Network. In: Machinelearningmastery [online]. [cit. 2022-04-18]. Dostupné z: <https://machinelearningmastery.com/introduction-to-style-generative-adversarial-network-stylegan/>

17 - KARRAS, Tero, Samuli LAINE a Timo AILA. A Style-Based Generator Architecture for Generative Adversarial Networks [online]. 29 březen 2019n. I. Dostupné také z: <https://arxiv.org/pdf/1812.04948.pdf>

18- WANG, Xiaolong a Abhinav GUPTA. Generative Image Modeling using Style and Structure Adversarial Networks [online]. Robotics Institute, Carnegie Mellon University, 26 července 2016n. I. [cit. 2022-04-04]. Dostupné z: <https://arxiv.org/pdf/1603.05631.pdf>. Vědecká. Carnegie Mellon University.

Originální znění: Current generative frameworks use end-to-end learning and generate images by sampling from uniform noise distribution. However, these approaches ignore the most basic principle of image formation: im-

Our S 2 -GAN has two components: the Structure-GAN generates a surface normal map; the Style-GAN takes the surface normal map as input and generates the 2D image. The two GANs are first trained independently, and then merged together via joint learning. We show our S 2 -GAN model is interpretable, generates more realistic images and can be used to learn unsupervised RGBD representations.

19- PyTorch3D [online]. [cit. 2022-04-19]. Dostupné z: <https://pytorch3d.org/>

20- Fit a mesh via rendering. In: PyTorch3D [online]. [cit. 2022-04-19]. Dostupné z: [https://pytorch3d.org/tutorials/fit\\_textured\\_mesh](https://pytorch3d.org/tutorials/fit_textured_mesh)

21- SAITO, Shunsuke, Tomas SIMON, Jason SARAGIH a Hanbyul JOO. PIFuHD: Multi-Level Pixel-Aligned Implicit Function for High-Resolution 3D Human Digitization [online]. University of Southern California, Apr 2020 [cit. 2022-04-19]. Dostupné z: <https://arxiv.org/pdf/2004.00452.pdf>. University of Southern California.

22- Dall-e 2. Openai [online]. [cit. 2022-04-25]. Dostupné z: <https://openai.com/dall-e-2/#demos>

23- How This A.I. Draws Anything You Describe [DALL-E 2]. In: Youtube [online]. [cit. 2022-04-25]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=U1cF9QCu1rQ>

24- CHAILLOU, Stanislas. Ai + Architecture: Towards a New Approach [online]. Harvard GSD, 2019 [cit. 2022-09-05]. Dostupné z: <http://stanislaschaillo.com/articles.html>. Harvard GSD.

### Obrázky:

obr. 1- BEQIRI, Rron. A.I. Architecture Intelligence: Architecture and Urban Planning in the age of Artificial Intelligence in an article by Rron Beqiri. In: Future architecture [online]. 4 MAY 2016n. I. [cit. 2022-04-15]. Dostupné z: <https://futurearchitectureplatform.org/news/28/ai-architecture-intelligence/>

obr. 2- Spacemaker AI [online]. [cit. 2022-05-01]. Dostupné z: <https://www.spacemakerai.com/>

obr. 3- ISOLA, Phillip, Jun-Yan ZHU, Tinghui ZHOU a Alexei A. EFROS. Image-to-Image Translation with Conditional Adversarial Networks [online]. Berkeley AI Research (BAIR) Laboratory: UC Berkeley, 26 listopadu 2018n. I. [cit. 2022-09-05]. Dostupné z: <https://arxiv.org/pdf/1611.07004.pdf>. Vědecká. Berkeley AI Research (BAIR) Laboratory.

obr. 4- RUBÁČ, František a Jiří HONZÁK. Architecture hallucination. 11. ledna 2022. Fakulta architektury VUT, 2022. strany 46

obr. 5- ZHU, Jun-Yan, Taesung PARK, Phillip ISOLA a Alexei A. EFROS. Unpaired Image-to-Image Translation using Cycle-Consistent Adversarial Networks [online]. Berkeley AI Research (BAIR) laboratory, UC Berkeley, 24 srpen 2020n. I. [cit. 2022-04-04]. Dostupné z: <https://arxiv.org/pdf/1703.10593.pdf>. Vědecká. UC Berkeley.

obr. 6- RUBÁČ, František a Jiří HONZÁK. Architecture hallucination. 11. ledna 2022. Fakulta architektury VUT, 2022. strana 74

obr. 7.a, 7.b, 7.c. - RUBÁČ, František a Jiří HONZÁK. Architecture hallucination. 11. ledna 2022. Fakulta architektury VUT, 2022. nepublikováno

obr. 8.- KARRAS, Tero, Samuli LAINE a Timo AILA. A Style-Based Generator Architecture for Generative Adversarial Networks [online]. 29 březen 2019n. I. Dostupné také z: <https://arxiv.org/pdf/1812.04948.pdf>

obr. 9.- WANG, Xiaolong a Abhinav GUPTA. Generative Image Modeling using Style and Structure Adversarial Networks [online]. Robotics Institute, Carnegie Mellon University, 26 července 2016n. I. [cit. 2022-04-04]. Dostupné z: <https://arxiv.org/pdf/1603.05631.pdf>. Vědecká. Carnegie Mellon University.

obr. 10.- SAITO, Shunsuke, Tomas SIMON, Jason SARAGIH a Hanbyul JOO. PIFuHD: Multi-Level Pixel-Aligned Implicit Function for High-Resolution 3D Human Digitization [online]. University of Southern California, Apr 2020 [cit. 2022-04-19]. Dostupné z: <https://arxiv.org/pdf/2004.00452.pdf>. University of Southern California.

obr. 11.- Dall-e 2. Openai [online]. [cit. 2022-04-25]. Dostupné z: <https://openai.com/dall-e-2/#demos>

obr. 12. a 13.- RAMESH, Aditya, Prafulla DHARIWAL, Alex NICHOL, Casey CHU a Mark CHEN. Hierarchical Text-Conditional Image Generation with CLIP Latents. In: Arxiv [online]. Cornell University, 13 Apr 2022n. I. [cit. 2022-04-25]. Dostupné z: <https://arxiv.org/pdf/2204.06125.pdf>

obr. 14. - CHAILLOU, Stanislas. Ai + Architecture: Towards a New Approach [online]. Harvard GSD, 2019 [cit. 2022-09-05]. Dostupné z: <http://stanislaschailou.com/articles.html>. Harvard GSD. strana 69

# AI a příroda

## Vybrané kapitoly z historie architektury

Platí snad již od počátku lidské civilizace, že architekti či stavaři, se nechali inspirovat svým okolím. Inspirací mohlo být cokoli: budova, osoba, myšlenka, věc anebo příroda. Mnozí architekti nacházeli inspiraci právě v přírodě.

Již starověké civilizace se inspirovaly přírodními tvary, které se především promítly do dekoru staveb. Jako příklad zde mohu uvést Egyptské hlavice sloupů, které měly vycházet z listů papyru a nebo korintské sloupy z Římské říše, jejichž hlavice měla také podobu listů.



obr. 1 - Korintské hlavice

Přírodní motivy nebyly nikdy středem pozornosti u středověkých a starověkých staveb. Větší roli hrála spiritualita a utilitarita budov. Až do 20. století byla přírodní symbolika součástí interiérového či exteriérového dekoru staveb, jakými jsou zámky či kostely. Nikdy ale rostlinná symbolika nedefinovala vzhled budovy, jednalo se pouze o podpůrnou složku.

Na přelomu 19. a 20. století se jedním z mezinárodních a uměleckých stylů stala secese. Secese je silně ornamentálním slohem, který využívá škálu nových materiálů, které získávají na přelomu 19. a 20. století na popularitě. Secese se odklání od historických slohů a čerpá inspiraci právě z přírodních tvarů (včetně listů, květů a zvířat). Ornamentální se objevuje nejen na fasádách staveb, ale často i v jejich interiérech.



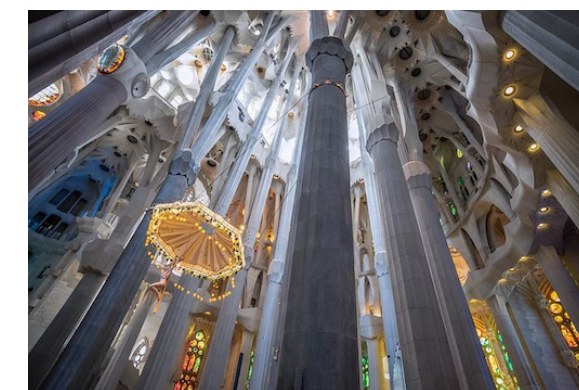


obr. 2.- Rostlinná fasáda hotelu Garni (dnes Meran) od Aloise Dryáka na Václavském náměstí v Praze

Jedním z nevlivnějších secesních architektů byl Antoni Gaudí. Jeho stavby se výrazně liší vzezřením od tvorby ostatních architektů. Jeho stavby vynikají svou strukturalitou. Fasády jeho staveb jsou zdeformované do nepřirozených tvarů, které na mě působí silným organickým dojmem, zejména kvůli své nepravidelnosti, a jsou tak významnou inspirací i pro tuto práci. Platí to zejména pro jednu z jeho nejznámější staveb Casa Batlló.

První dvě patra na mě působí jako krápníková jeskyně. Mozaiková fasáda vrchních pater připomíná barevný déšť, ve kterém se pohybují listy, které tvoří balkóny stavby. Celou stavbu pak překrývá střecha, která vypadá jako mořská vlna a nebo kůže ryby. Každý ovšem může tuto stavbu interpretovat jinak, jelikož fasáda je silně abstraktní.

Zřetelně inspirovaný přírodou je také interiér katedrály Sagrada Familia, kde sloupy katedrály působí jako kmeny stromů a strop imituje korunu stromů.



obr. 3. a 4. - interiér Sagrada Familia (nahore )

obr. 5. pohled na Casa Batlló (napravo)





## Organická architektura

Hlavním zastáncem organické architektury byl známý americký architekt Frank Lloyd Wright. Nejednalo se nikdy o samostatně uznávaný architektonický styl, spíše se jedná o filozofii architektury. Tato filozofie pojednává o spojení mezi přírodou a architekturou za pomoci přírodních materiálů a vhodného návrhu stavby.

„Wrightovo uctívání přírody se projevuje dominantními horizontálními liniemi, organickým propojením stavby a jejího okolí. Budovy jako by vyrůstaly ze země, s přírodou je spojují terasy, kryté zahradní zidky, květinové záhony a ozdobné nádoby (urny). Wright krásně propojuje architekturu a přírodu, organické a geometrické hmoty, přírodní kámen a beton, interiér s exteriérem a přírodu s prostorem. Pro mnohé je Wright skutečným otcem organické architektury a skutečně inspiroval celé generace mladších architektů.“ (1)

Tento filozofický přístup k architektuře se udržel až do současnosti, kdy začíná být populárnější i přesto, že se přetvořil do trochu jiné podoby. V dnešní době se vzbuzuje čím dál větší zájem o takzvanou udržitelnou architekturu. Budovy, které jsou udržitelné, používají obnovitelné stavební materiály. Jedná se o stavby, které mají minimální dopad na své okolí, minimalizují energetickou náročnost díky využívání obnovitelných zdrojů, šetří se zdroji a zajišťují zdravé prostředí pro uživatele.

S tímto tématem je spjaté další populární téma a tím jsou tzv. zelené stavby. Tyto stavby se také snaží nezatežovat životní prostředí a velmi často jsou jejich součástí zelené střechy a nebo zelené fasády. Zelené střechy a fasády jsou takové plochy, které jsou porostlé rostlinami, většinou nízkého vzrůstu. Tyto stavby se snaží působit organicky, tím že jsou do jejich návrhu zakomponovány samotné rostliny, a nebo tím že jsou často postaveny z přírodních materiálů.



obr. 6.- Ukázka zelené střechy

## Organické struktury s pomocí matematiky a geometrie

Organické struktury a tvary, které nalezneme v přírodě, jsou silně spjaty s matematikou a geometrií. Jelikož tyto struktury se v přírodě opakují a bývají symetrické. Na základě matematických pravidel můžeme takto některé tvary popsat a zjednodušit. Již starověké civilizace hledaly inspiraci v přírodě a z ní si dokázaly odvodit jednoduché tvary jako jsou čtverce, trojúhelníky kruhy atd. Ne nadarmo je matematika jednou z přírodních věd.

Přístup, kdy organické struktury na základě matematiky přišly do popředí při designování budov, se začal uplatňovat především ve 20. a 21. století. Začaly se vyvíjet nové technologie a programy podporující navrhování na základě parametrů, které umožňují vytvářet organické struktury na základě matematiky. Dnes je navrhování na základě parametrů považováno za nový přístup k architektuře nazývaný parametrismus. Idea parametrismu vznikla již v šedesátých letech 20. století. Do popředí se začala dostávat až na konci 20. století.

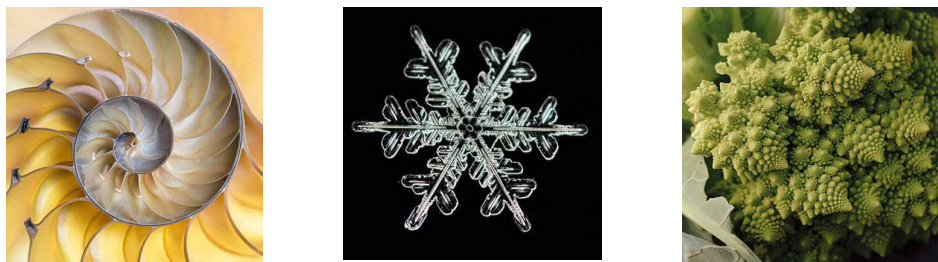
Jedni z nejprominentnějších architektů, kteří zpopularizovali parametrismus jsou Zaha Hadid a Patrick Schumacher. Návrhy od Zaha Hadid jsou velmi nepravidelné, elegantní a svým tvarem evokují organičnost.



obr. 7.- Centrum Hejdara Alijeva v Baku (Zaha Hadid)

## Fraktály v přírodě a architektuře

Fraktály jsou geometrické útvary, které bývají tvořeny opakujícím se jednoduchým vzorem, který se dá matematicky popsat. Vzor je specifický tím, že se může do nekonečna opakovat a také tím, že i když si fraktál přiblížíme nebo oddálíme, vždy z něj dokážeme určit počáteční vzor. Zajímavé je, že fraktály můžeme pozorovat i v přírodě např.: sněhová vločka, kapradí, strom a nebo šnečí ulita. (2)



obr. 8-10.- Ukázky fraktálů

Fraktály lze nalézt také v architektuře. V historii byly používány, aniž by lidé věděli, co to fraktály jsou. Můžeme je najít zejména v Asii nebo v klášterní architektuře. (3) Fraktály jsou používány (dnes již záměrně) v dnešní architektuře zejména jako dekor budov. Fraktálové dekory jsou impozantní svou symetričností a řádem. I přes to, že ve své práci s fraktály pouze ve vizualizaci, chtěl jsem je zde zmínit, jako další spojení s přírodou a matematikou.



obr. 11.- Ukázky použití fraktálů v architektuře - kaple s fraktálovými sloupy

## AI a navrhování organických struktur

Umělá inteligence a strojové učení je dnes populární téma, které se stále rozvíjí. AI v budoucnu bude opravdu schopná vygenerovat cokoli a bude schopna nahradit mnoho rutinních činností. Již dnes je AI vhodná k navrhování organických struktur. Jak jsem již zmínil, mnoho organických struktur je pravidelných, symetrických a v přírodě se tyto struktury často opakují. AI se dobře učí z jednoduchých vzorů, a proto jsou přírodní vzory pro AI relativně snadno naučitelné.

Některé vzory lze snadno matematicky vyjádřit, jako je například větvení stromů. Kdy se větve vždy rozdělí na dvě a takto se dělí dále. Nebo listy stromů mají vždy stejnou strukturu a většinou i velikost. Tyto vzory pak lze aplikovat na architektonický návrh. Ve své práci použiji takovýto vzor na fasádu jako dekor. Ovšem věřím, že by bylo možné vytvořit i nosnou konstrukci, která by vycházela z organických struktur. Například mycelium hub by mohlo sloužit jako vhodný vzor pro nosné konstrukce staveb.

### Myšlenka ke generování fasád

V této práci využívám a představuji využití AI především na fasádách. Zvolil jsem si tuto formu aplikace ze dvou důvodů.

První důvod je čistě praktický. Pokud si vezmeme fasádu čistě z praktického hlediska. Jde o jakýsi 2D obal, který dodává výraz budovy. S AI se mnohem lépe pracuje, pokud s ní generujeme výstupy právě ve 2D prostoru. Jakmile přidáme třetí rozměr, práce s AI se výrazně zkomplikuje. Architektura algoritmu musí být výrazně složitější pro generování 3D výstupů. V dnešní době existuje několik nástrojů, které generují 3D výstupy. Jejich generování bývá omezené a specializované. Bohužel nyní neexistuje 3D program, který by se čistě zaměřoval na generování budov za pomoci AI. Věřím ovšem, že se takový program v budoucnu objeví. Nástroj určený pro architekty by bylo možné vytvořit. Vývoj by byl ale velmi časově i pracově náročný.



Druhý důvod je hlavně estetický. Zejména v druhé polovině 20. století v České republice převládal socialistický realismus. Především z bytových budov se staly jakési krabice na bydlení. Budovy se staly čistě utilitárními bez jakéhokoli dekoru. Tento trend ovšem přišel dříve s nástupem moderny. I dnešní moderní fasády často spoléhají na čistotu a jednoduchost. Samozřejmě ne všechny, existují novodobé silně ornamentální stavby. Nemyslím si ovšem, že jsou tyto stavby časté. Důvodů pro recesi ornamentalismu v architektuře je pravděpodobně několik. Jsou zde samozřejmě estetické důvody, kdy čistota fasády převládne nad ornamentem, ale podle mého názoru zde převládají ekonomické důvody. Ornament zkrátka není nezbytný pro stavbu, proto již v dnešní době není tolik vyhledávaný.

Bytové stavby z druhé poloviny 20. století bývají ortogonálního půdorysu s nevýraznou plochou fasádou. Tyto staré fasády by bylo možné oživit za pomoci nových vzorů (v mém případě organických vzorů vygenerovaných AI). Tyto vzory by se pak daly aplikovat formou barevného nátěru a nebo v nákladnějším případě v podobě dřevěných či ocelových konstrukcí.

Tuto podobu návrhu fasády budu dále prezentovat v praktické části své diplomové práce, kde ukáži způsob, jakým by se generování fasády dalo dosáhnout a vyhodnotím, zdali se metoda, kterou jsem pro generování fasád použil opravdu vyplatí.

## Zdroje AI a Příroda:

1.- Zbasnik-Senegacnik, Martina & Kuzman, Manja. (2014). Interpretations of organic architecture. *Prostor*. 22. 290-301. Dostupné z : [https://www.researchgate.net/publication/290245856\\_Interpretations\\_of\\_organic\\_architecture](https://www.researchgate.net/publication/290245856_Interpretations_of_organic_architecture)

Originální znění: Wright's worship of nature is expressed through his dominant horizontal lines rising from the starting point - the plains of the prairie landscape; through the organic connection between the building and its surroundings - the buildings seem to grow from the ground, connected with nature by terraces, covered garden walls, flower beds and decorative containers (urns). Wright beautifully connects architecture and nature, matters organic and geometric, natural stone and concrete, the interior with the exterior, and nature with space. For many, Wright is the true father of organic architecture and indeed, he inspired entire generations of younger architects.

2.- Fraktály [online]. [cit. 2022-05-02]. Dostupné z: <https://www.fraktaly.cz/>

3.- SALA, N. Fractal geometry and architecture: some interesting connections. *Eco-Architecture: Harmonisation between Architecture and Nature* [online]. 1. WIT Press, 2006, s. 163-173 [cit. 2022-05-02]. ISBN 1743-3509. Dostupné z: <https://www.witpress.com/Secure/elibrary/papers/ARC06/ARC06017FU1.pdf>

obr. 1- VI. Chránová architektura 5: chrámy klasického a helénistického období. In: *Řecká architektura* [online]. [cit. 2022-04-24]. Dostupné z: <https://www.recka-architektura.cz/index.php?stranka=chramovaarchitektura5>

obr. 2- Secese. Wikipedie [online]. [cit. 2022-04-24]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Secese>

obr. 3 a 4- Skvost Barcelony, překrásný chrám La Sagrada Família. Průvodce Barcelonou [online]. [cit. 2022-04-24]. Dostupné z: <https://mesto-barcelona.cz/antoni-gaudi/sagrada-familia>

obr. 5- Casa Batlló. Wikipedia [online]. [cit. 2022-04-24]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Casa\\_Batll%C3%B3](https://cs.wikipedia.org/wiki/Casa_Batll%C3%B3)

obr. 6- Zelená střecha. Geomall [online]. [cit. 2022-04-24]. Dostupné z: <https://www.geomall.cz/stavba/zelena-strecha>

obr. 7- Nejzajímavější moderní stavby. České stavby [online]. [cit. 2022-05-02]. Dostupné z: <https://www.ceskestavby.cz/clanky-foto/inspirujte-se-nejzajimavejsi-moderni-budovy-na-svete-27966.html?photo=4>

obr. 8-10.- Fraktály [online]. [cit. 2022-05-02]. Dostupné z: <https://www.fraktaly.cz/>

obr. 11- Fractal Chapel: Tree-Inspired Columns Branch Out to Open Up Interior Space [online]. [cit. 2022-05-02]. Dostupné z: <https://weburbanist.com/2018/01/21/fractal-chapel-tree-inspired-columns-branch-out-to-open-up-interior-space/#>



# Aplikace AI v architektuře

V této části diplomové práce bych rád demonstroval využití AI v architektuře na dvou konkrétních případech:

Prvním je generování dekoru fasád za pomoci AI. Zde podrobně rozeberu postup své práce a jaká úskalí mě potkala.

V druhé části se budu věnovat využití některých nástrojů pro vygenerování bytových domů pro dané území, které jsem definoval v předchozích částech práce. Zejména se budu věnovat kombinaci generování půdorysů a fasád s použitím programu Spacemaker.

## Generování fasád

### Nastavení pracovního prostředí

Pokud chceme ve svém projektu používat nástroje jako je Pix2pix a další, je důležité se především seznámit s programovacím jazykem, ve kterém jsou tyto algoritmy napsané. Při generování fasád jsem využíval především nástroje Pix2pix a CycleGAN. Oby tyto nástroje jsou napsané v programovacím jazyce Python (1) a využívají pro spuštění několik dodatečných knihoven. Nejdůležitějším rozšířením je knihovna TensorFlow(2), která umožňuje snazší implementaci programu využívající strojové učení (machine learning) a poskytuje mnoho přednastavených funkcí sloužících k tomuto účelu. TensorFlow poskytuje i řadu tutoriálů pro implementaci takovýchto programů včetně implementace pro Pix2pix (3) a CycleGAN (4), ze kterých jsem ve své práci čerpal. Díky těmto tutoriálům se může kdokoli se znalostí programovacího jazyka python pustit do generování svých vlastních výstupů.

### Příprava sady obrázků (datasetu)

Vhodná příprava datasetu je pravděpodobně nejdůležitější a časově nejnáročnější část celého procesu generování výstupů. Je to také jeden z mála způsobů, jak ovlivnit závěrečný výstup.

Časově je práce náročná především kvůli tomu, že dataset by měl být relativně rozsáhlý. Minimální množství obrázků v jednom datasetu by se mělo pohybovat kolem 200, i když ideální množství pro pix2pix je kolem 500 obrázků. Pro CycleGAN se množství obrázků může pohybovat i v řádech tisíců a pro StyleGAN spíše v řádech 10 000, pokud chceme nejlepší výsledky.

Obrázky musí být také ve stejném rozlišení, musí mít stejnou barevnost, stejnou bitovou hloubku a samozřejmě i stejný formát. Naštěstí tohoto sjednocení obrázků se dá lehce dosáhnout pomocí skriptů, které jedním klikem dokáží sjednotit všechny parametry obrázků najednou.

### Učení sítě

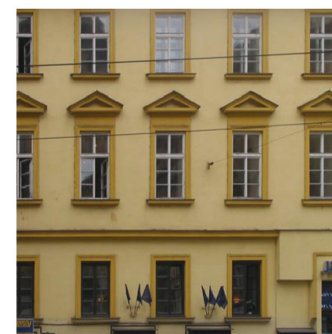
Poté, co vložíme obrázky do programu, můžeme spustit učící proces. Ten je velmi ovlivněn množstvím obrázků, který do programu vkládáme, a také hardwarem počítače. Ideální je využívat výkonné grafické karty (GPU), které proces výrazně urychlí. Učení jedné sítě se pak pohybuje v řádech dnů. Pokud ovšem k učení využijete počítač se slabším hardwarem a učíte síť na procesoru počítače (CPU), či slabých integrovaných grafických kartách, učící proces může trvat i řadu týdnů.

### Dosažení kýženého výsledku

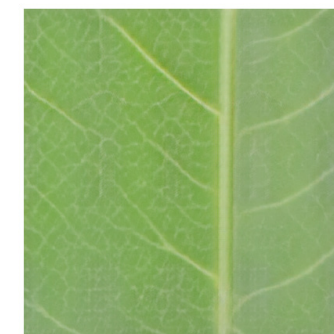
Těžištěm mé práce je vygenerování organických vzorů, které by dokázaly ozvláštnit fasádu. AI je dle mého názoru vhodná pomůcka, jelikož dokáže vyčíst vzory z poskytnutých datasetů a na základě těchto vzorů pak vygenerovat nové výstupy.

### CycleGAN

Mou prvotní myšlenkou bylo vytvořit si dataset fasád a dataset listů (jelikož na listech lze dobře pozorovat žilnatina, která vytváří zajímavé vzory) a tyto obrázky zkombinovat za pomoci CycleGANu. CycleGAN dokáže kombinovat i nepárové sady obrázků a dokáže převést styl jednoho obrázku na druhý. Při svém experimentu jsem doufal, že algoritmus vytvoří listový patern na základě dané fasády. Ve výsledku tomu ovšem tak nebylo. Oba datasety jsou totiž od sebe výrazně odlišné a algoritmus proto nedokázal najít takové vzory z fasády, aby je převedl do obrázku listů. Obrázky fasád jsou velmi detailní oproti obrázkům listů, které jsou naopak velmi jednoduché. Proto když jsem program spustil na testovacím obrázku, výstupy z programu nebraly absolutně v potaz testovací obrázek fasády a vygenerovaly obyčejný list z datasetu.(viz. obrázek)



Vstupní (testovací)obrázek



Výstupní obrázek

Poté jsem zkusil vyměnit set obrázků klasických fasád za set fasád moderních. Moderní fasády jsou výrazně jednodušší a také se v nich obvykle objevuje jakýsi vzor. Výsledky proto začaly být o stupeň lepší a reflektovaly (alespoň částečně) vzor fasády.



Opět jsem s vygenerovanými vzory nebyl úplně spokojený, jelikož se stále velmi podobaly trénovací sadě listů. Proto jsem se rozhodl vyzkoušet pro generování fasád jiný framework a tím byl Pix2pix.

Před tím než jsem ale přešel na tento nástroj, snažil jsem se za pomoci CycleGAN kombinovat vzory listů a tím jsem získal relativně nové vzory, které jsem využil později při generování fasád:

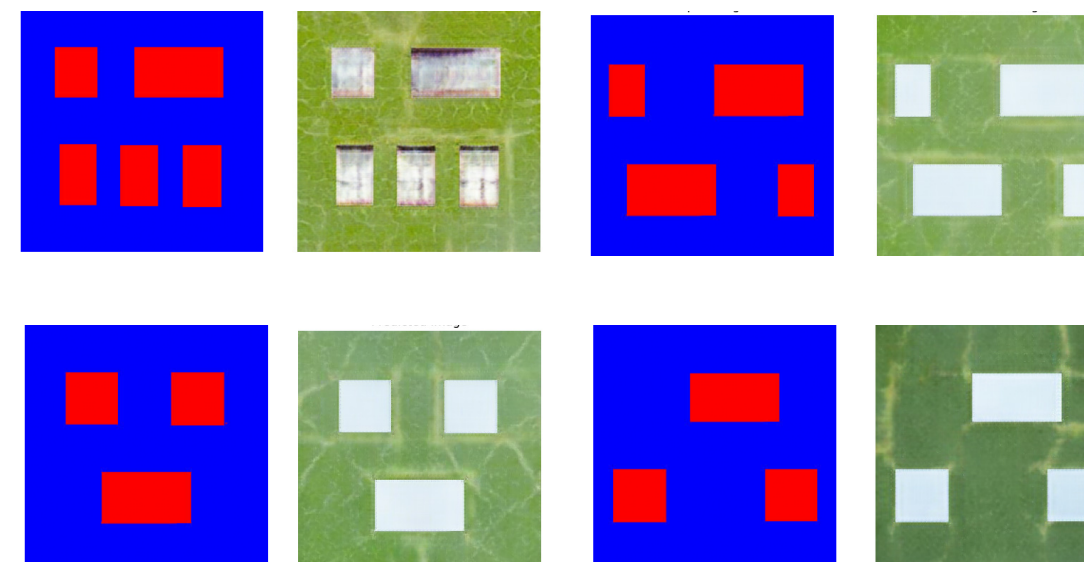


### Pix2pix (CGAN)

Pix2pix se osvědčil jako lepší nástroj pro generování organických fasád. Vytvoření datasetu bylo výrazně komplikovanější, práce se ovšem ve výsledku vyplatila. Místo datasetu fasád jsem použil pouze jednoduchý červeno-modrý dataset, ve kterém modrá představuje zeď a červená otvory – respektive okna a dveře. Dataset listů jsem také upravil, jelikož datasety musí navzájem korespondovat, vložil jsem do datasetu fasád okna. Díky této úpravě nyní algoritmus generuje fasádu včetně oken. Navíc můžeme algoritmus testovat na velmi jednoduchých obrázcích, ze kterých získáme detailnější obrázek s přírodním vzorem.



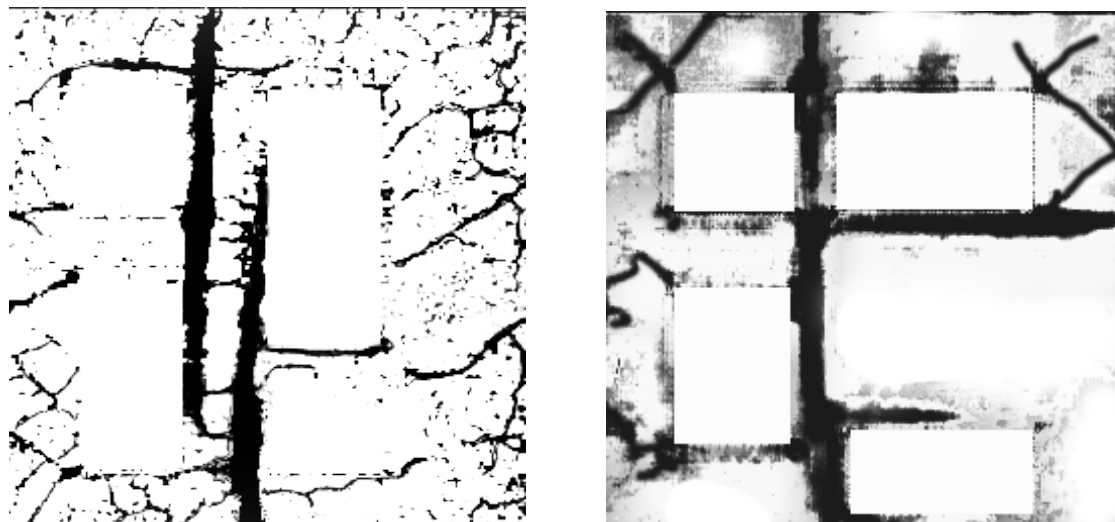
Výsledek je o něco zajímavější, jelikož se již tolik nepodobá původnímu listu. Přesto jsem se však snažil dataset listů vylepšit a vytvořil jsem nový dataset s upravenými okny. Okna jsem designoval tak, aby byla obklopena žilnatinou listů. Doufal jsem, že pak i samotný výsledek bude podobně vypadat. A opravdu žilnatina listů začala alespoň částečně přiléhat k oknům.



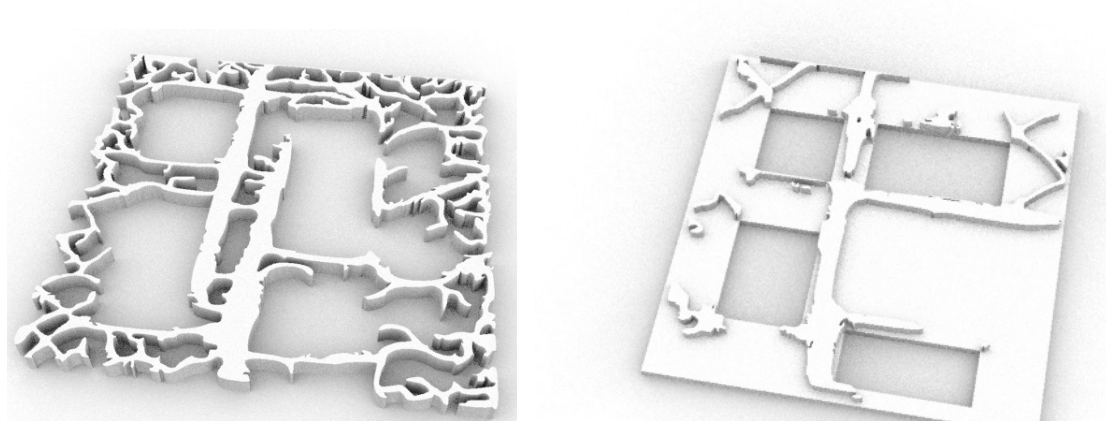
### Převod výsledku do modelu

Poslední částí procesu návrhu fasád je konverze 2D obrázku do 3D digitálního modelu. Tento krok je vcelku jednoduchý, stačí obrázek převést do libovolného grafického editoru a vybrat vzor fasády. Poté tento obrázek vložíme do 3D editoru a vytáhneme vzor.





Druhou možností, která je snazší, je převést si obrázek do černobílé podoby. A poté v 3D editoru vytáhnout plochy na základě barvy. Se vzorem pak může každý naložit podle svého uvážení. Vzor lze použít v jeho základní podobě, a nebo lze dále editovat



Vizualizace modelů fasád

Takto připravený 3D vzor je pak možné poměrně snadno vytisknout na 3D tiskárně a použít jako „obklad“ fasády příslušného domu. Buď jako jednorázovou dlaždici, nebo jako periodicky se opakující vzor, nebo sada vzorů u větších budov s klasickými fasádami. Samozřejmě s měřítkem vzoru si lze různě hrát a dá se ve výsledku měnit dle potřeby, Vzor by se tedy dal aplikovat i na celou stranu fasády (po modifikacích).

## Zlepšení výsledků

Generování obrázků za pomoci AI (přesněji GAN) je z pohledu přípravy časově náročné a proces je velmi experimentální, jelikož výsledek není nikdy jistý. Na druhou stranu jakmile máte připravené datasety a naučené sítě, je generování velmi rychlé a nenáročné. Pokud zjistíte, že výsledek není ideální, pak stačí vytvořit nový dataset a naučit generovat obrázky na novém datasetu.

Lepších výsledků můžeme dosáhnout více způsoby:

Jedním ze způsobů je změna datasetu, jak jsem již zmiňoval, jelikož program generuje obrázky právě na základě těchto dvou datasetů.

Kvalita výstupu dále závisí na délce učení neuronové sítě příslušného programu. Čím déle necháme síť se učit, tím lepší bude generovat výsledky. Síť se ovšem nemůže učit nekonečně dlouhou dobu. Platí, že zprvu se učí program velmi rychle a postupně se program v učení zpomaluje. V určité chvíli se program již téměř nezlepšuje. Pak lze tvrdit, že program je již naučený a lze ho používat. Tato chvíle se samozřejmě špatně odhaduje a k tomu slouží nástroj TensorBoard, který vizualizuje průběh učení programu. (5)

Dále lze zlepšit kvalitu výstupů tak, že zvětšíme počet vstupních obrázků datasetu. Program bude mít pak více obrázků, ze kterých se bude moci učit, a proto jeho výstupy budou různorodější.

Poslední možností, kterou můžeme ovlivnit generování, je zlepšit samotný program. To ovšem vyžaduje značné znalosti v oblasti matematiky a informatiky.

## Idea aplikace pro navrhování fasád

Celý proces navrhování organických vzorů, který jsem zde popsal, by se dal zakomponovat do jednoduché aplikace, která by běžela na počítači a nebo i na cloudu. Měla by k dispozici databázi listů (nebo jiných obdobných vzorů) a sadu již před-učených sítí. Uživatel by si nakreslil rozvržení své fasády a aplikace by mu vygenerovala jeho požadovaný výsledek, zároveň by mu také vygenerovala černobílou verzi, kterou by mohl využít k tvorbě 3D modelu. Uživatel by si pak výsledek stáhnul a mohl by si například zvolit generování na základě jiného datasetu.



## Generování bytových domů

Pro využití výsledků generování fasád jsem se rozhodl aplikovat vygenerované vzory na fasádu nově navrhované budovy. Zvolil jsem si tedy jeden z bývalých Brněnských brownfieldů v lokalitě Brno-Komárov u ulice Tuháčkova



obr. 1. Ortofoto vyznačující daný brownfield

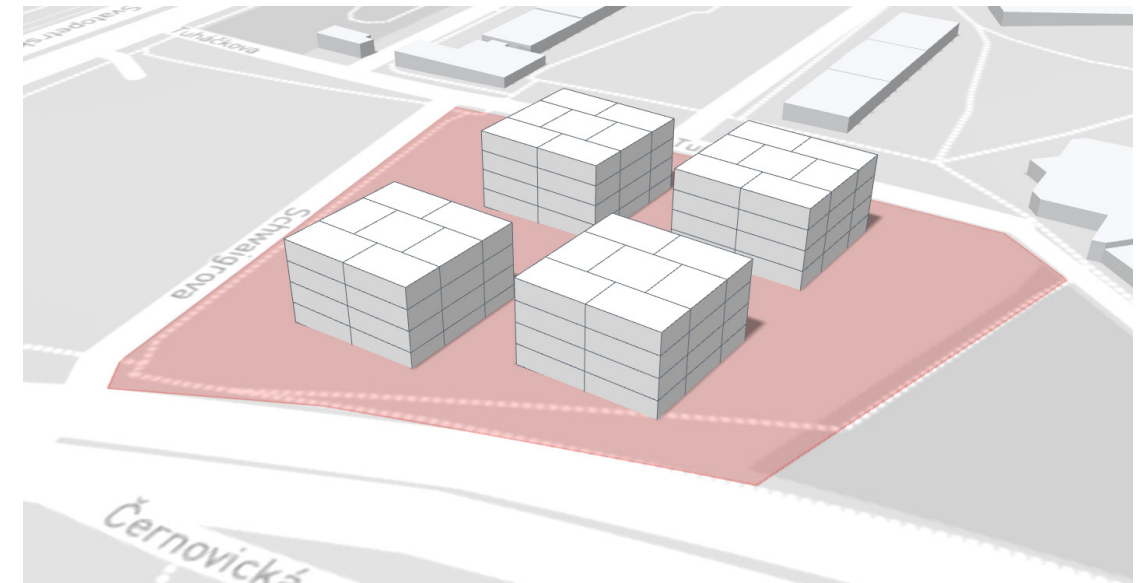


obr. 2. Pohled na brownfield

## Spacemaker AI

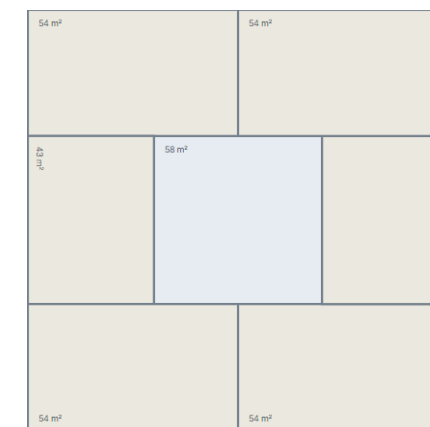
Pro návrh nové budovy jsem zvolil další z nástrojů pro architekty, který využívá AI a tím je Spacemaker AI (6). Tento program dokáže generovat budovy na základě parametrů dané lokality. (příklady strany 140-146) Dokáže vyhodnotit budovy na základě oslnění, teploty, větru a dalších faktorů.

Spacemaker AI mi na základě své databáze vygeneroval následující seskupení 4 bytových budov, které pak mohu dle svého uvážení editovat. Ve své práci jsem řešení needitoval a zvolil si jednu z možností Spacemakeru AI. Program také udává základní rozměry budovy a jednotlivých bytů.

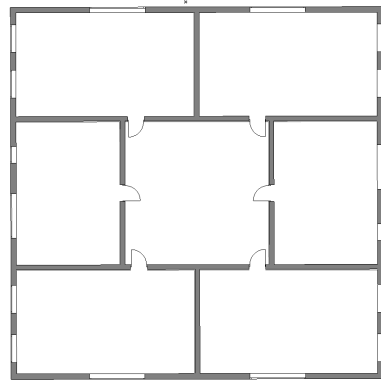


Výstup vygenerovaný spacemakerem AI, ukazující jak dokáže program generovat budovy na základě stavebního pozemku.

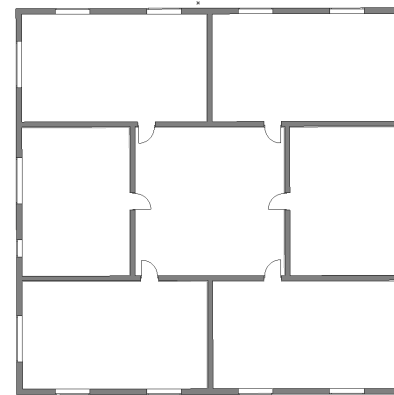
Program dokáže vygenerovat pouze hrubou kostru budovy bez členění bytů, oken, dveří, tlušťky stěn a dalších stěžejních detailů.



Rozdělení bytů - vygenerováno Spacemakerem AI



Rozvržení okna a dveří 2 a 4.NP

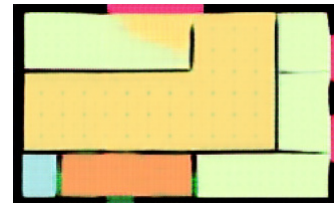


Rozvržení okna a dveří 3.NP

Proto jsem se rozhodl okna a dveře do projektu doplnit. Na rozvržení jednotlivých bytů jsem využil síť Pix2pix, kterou jsem používal již ve své před-diplomové práci.(7) Síť Pix2pix umožňuje na základě jednoduchého obrázku půdorysu vygenerovat půdorys s příčkami a se zónami:



Vstup pro Pix2pix s okny a dveřma

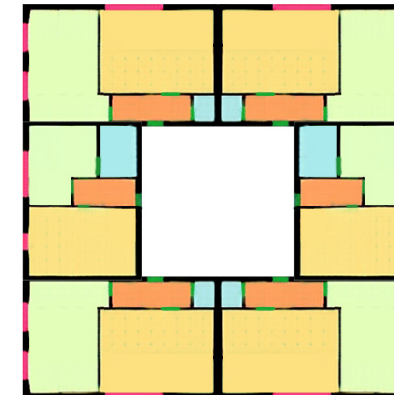


Výstup z Pix2pix - půdorys rozdělený na zóny

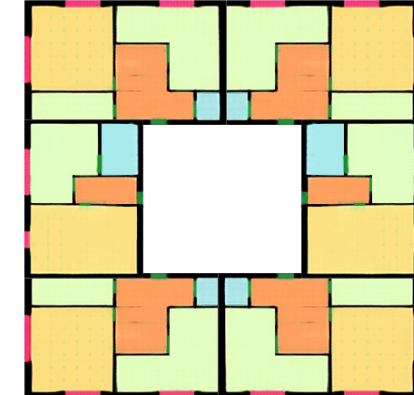
### Čtení výstupů:

- černá- zeď
- růžová- okno
- tmavě zelená- dveře
- světle zelená- pokoj
- světle oranžová- obývací pokoj
- tmavě oranžová- chodba
- modrá- koupelna

Půdorys bytů jsem generoval jednotlivě a poté jsem je ručně spojil do celkového půdorysu podlaží. Výsledky jsou vcelku dobře vygenerované po stránce vizuální. Mají ovšem malé chyby např. příčky nejsou vygenerované až ke zdi, někdy příčky zasahují do oken. Rozdělení bytů také někdy nedává smysl. Proto jsem musel všechny vygenerované výstupy poupravit v grafickém editoru. Dalším důvodem pro tuto úpravu bylo, že jsem dále používal výstupy z programu jako vstup pro další síť. Kdyby tento vstup byl špatný, pak by byl samozřejmě výstup z další sítě ještě horší. Naštěstí úpravy těchto výstupů nebyly náročné.

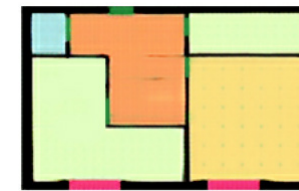


Vygenerované, upravené a spojené půdorysy bytů 2 a 4.NP

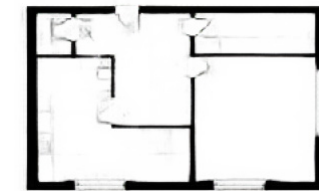


Vygenerované, upravené a spojené půdorysy bytů 3.NP

Dále jsem na základě těchto výstupů generoval korektnějšími půdorysy s interiérem, dveřmi a okny. Opět jsem musel výstupy upravovat pro další použití.

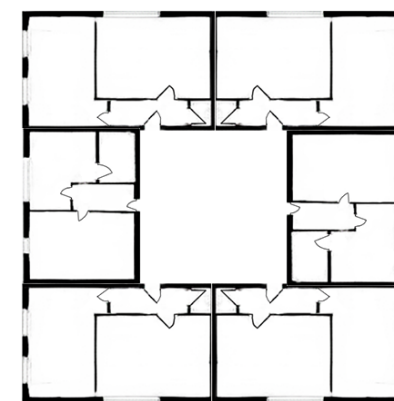


Vstup pro Pix2pix rozdělený na zony

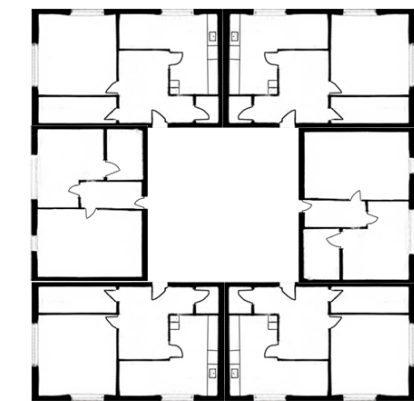


Výstup z Pix2pix - půdorys černobílý s interiérem.

Program generoval dveře celkem obstojně, s interiérem si ovšem nedokázal poradit. Proto jsem většinu interiéru z výstupů smazal, jelikož bych si musel při úpravě vymýšlet.



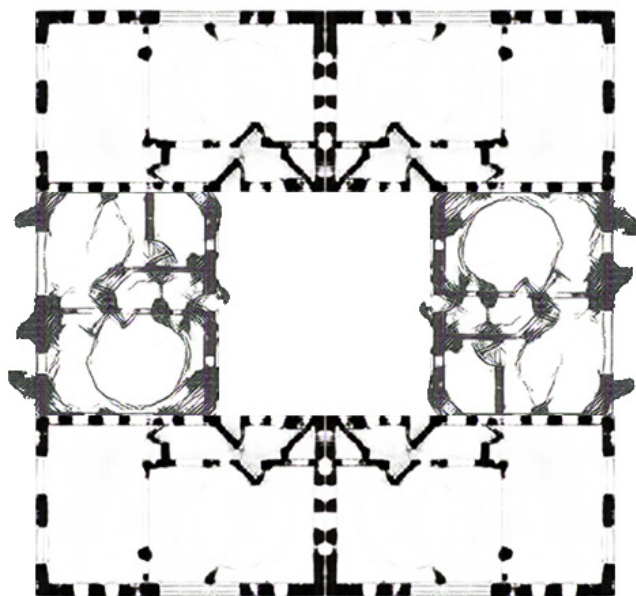
Vygenerované, upravené a spojené půdorysy bytů 2 a 4.NP



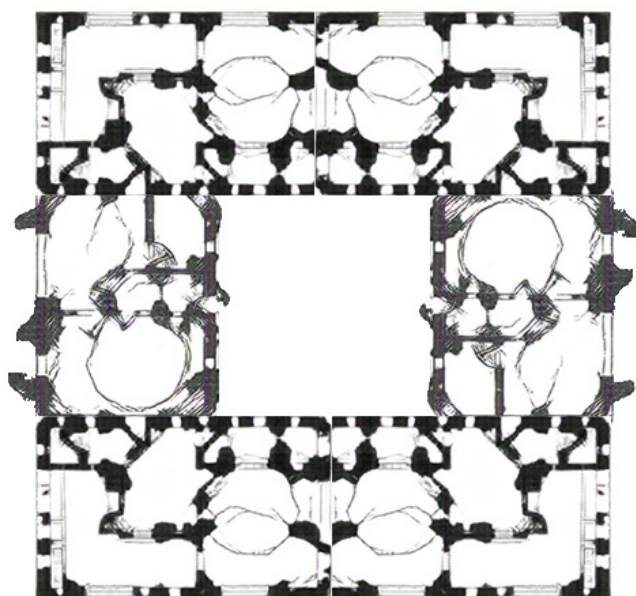
Vygenerované, upravené a spojené půdorysy bytů 3.NP



Na závěr jsem využil CycleGAN pro změnu stylu půdorysů. Díky tomuto procesu se mi podařilo změnit styl půdorysů na barokní. Barokní půdorysy jsou dynamické, a proto jsem doufal, že vygenerované výstupy budou mít dynamickou fasádu, která by se promítla do modelu. Bohužel se dynamičnost promítla hlavně do interiéru, proto jsem nakonec tyto výstupy nevyužil při tvorbě modelů. I přesto jsou ale výstupy zajímavé a proto je zde také uvádím.



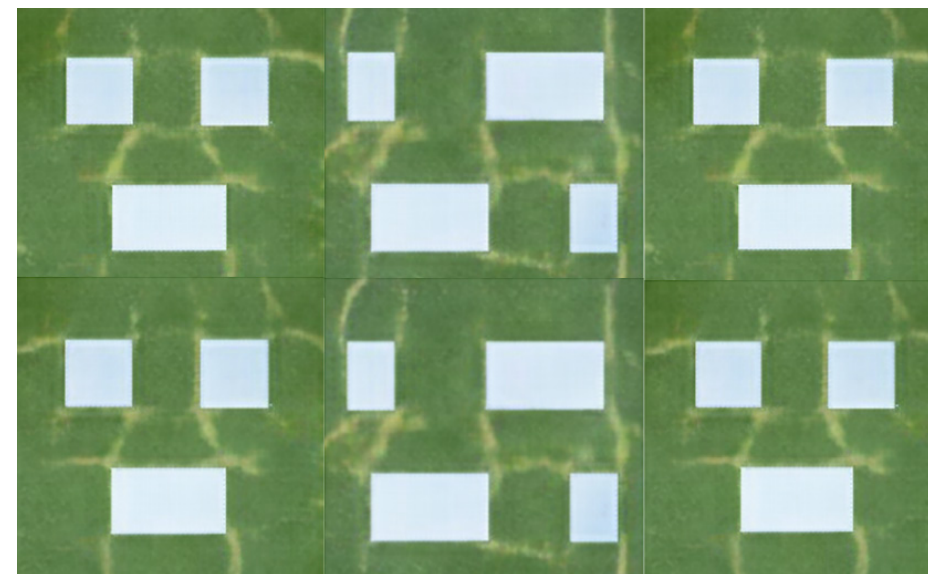
Vygenerované a spojené půdorysy bytů 2 a 4.NP



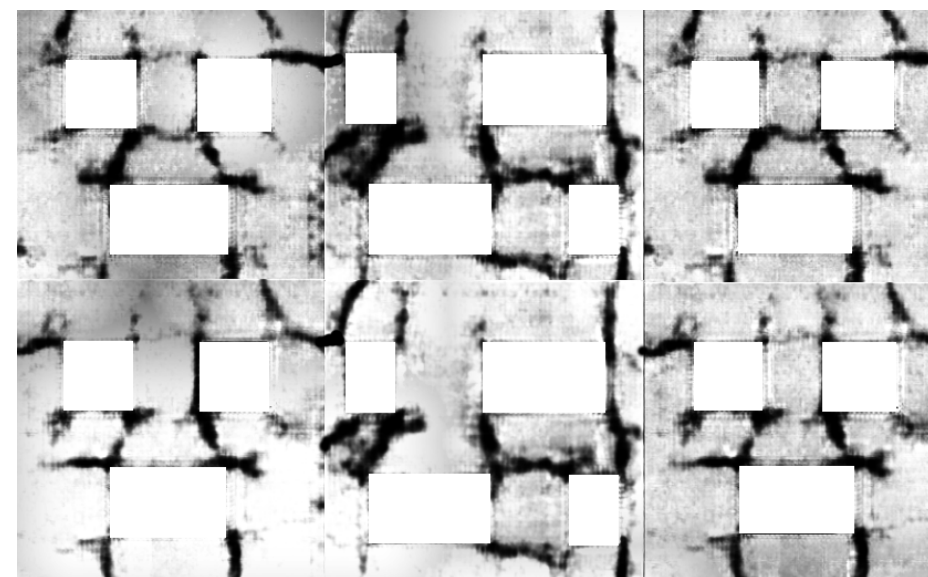
Vygenerované a spojené půdorysy bytů 3.NP

### Tvorba 3D modelu

Poté, co jsem měl vygenerované půdorysy, mohl jsem pokračovat s generováním fasády. Zde jsem postupoval stejně, jako jsem již popisoval výše v této kapitole, pouze s tím rozdílem, že jsem si fasádu rozdělil na části a teprve posléze jsem generoval výstupy. Jednotlivé výstupy jsem pak zpětně spojil, převedl do černobílé barvy a nakonec jsem vytvořil 3D model.

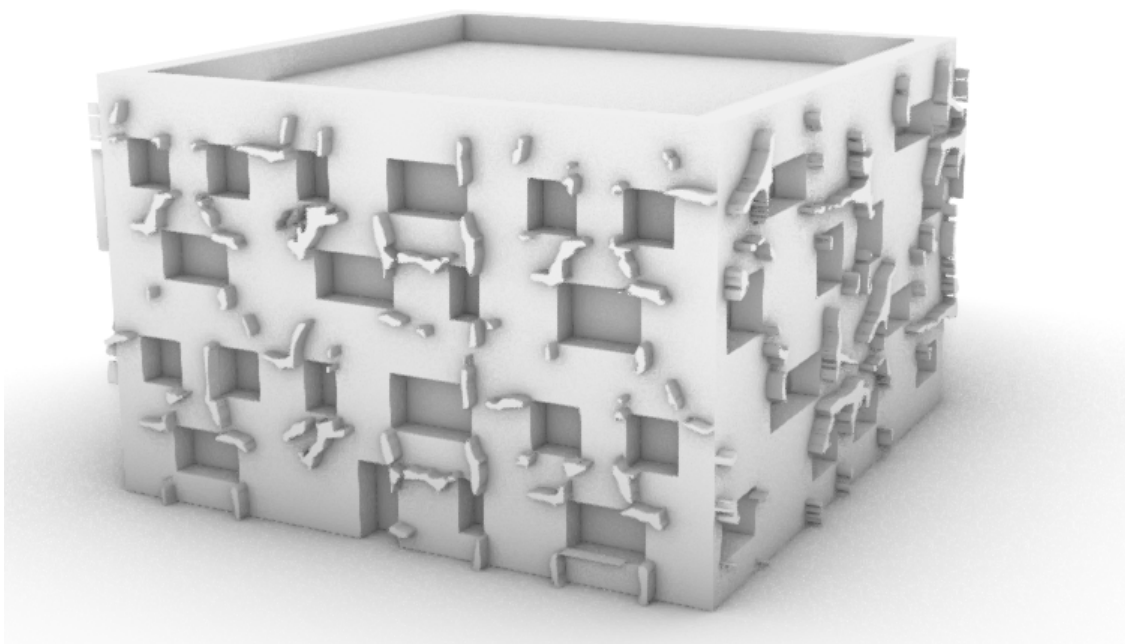
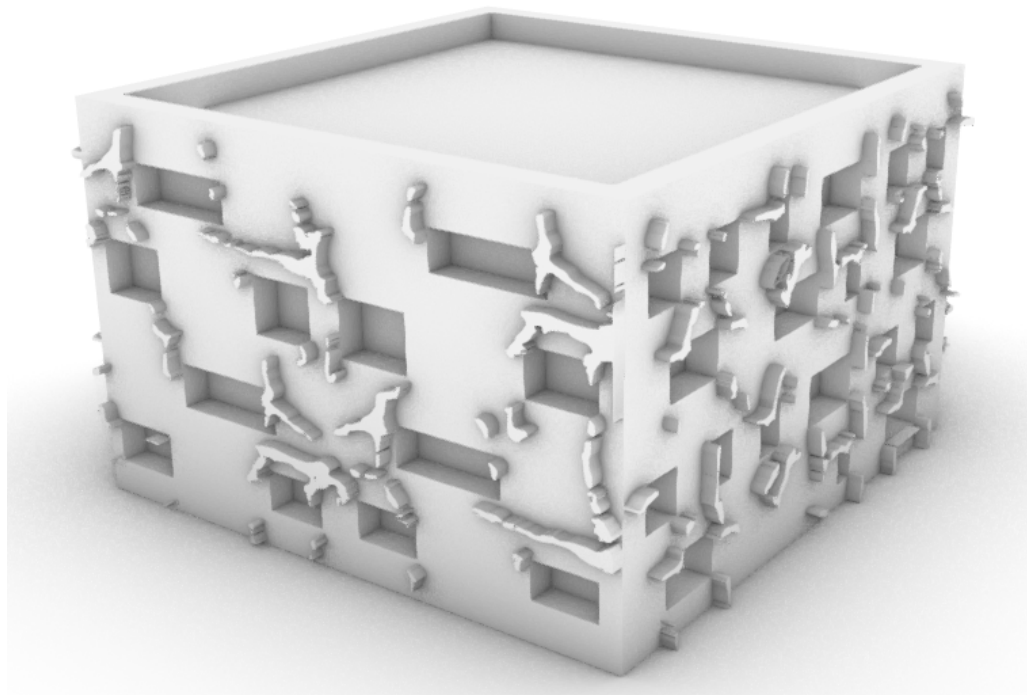


Strana fasády seskládaná z vygenerovaných výstupů - vzor vychází z listu javoru



Převedení do černobílé

Samostatný model vygenerované budovy s vygenerovanou fasádou vypadá následovně:



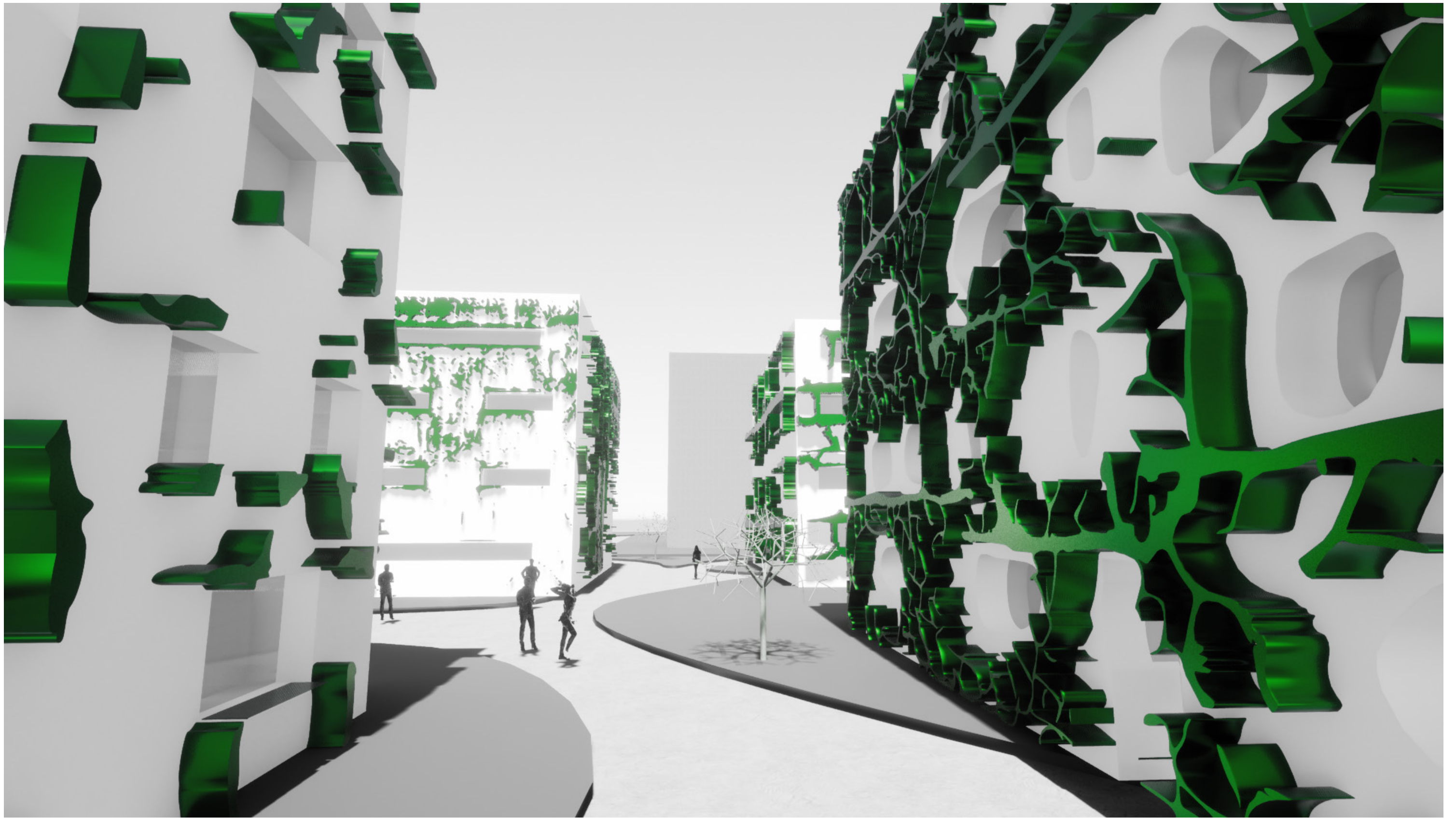
Model vytvořený 3D tiskem

### Vizualizace

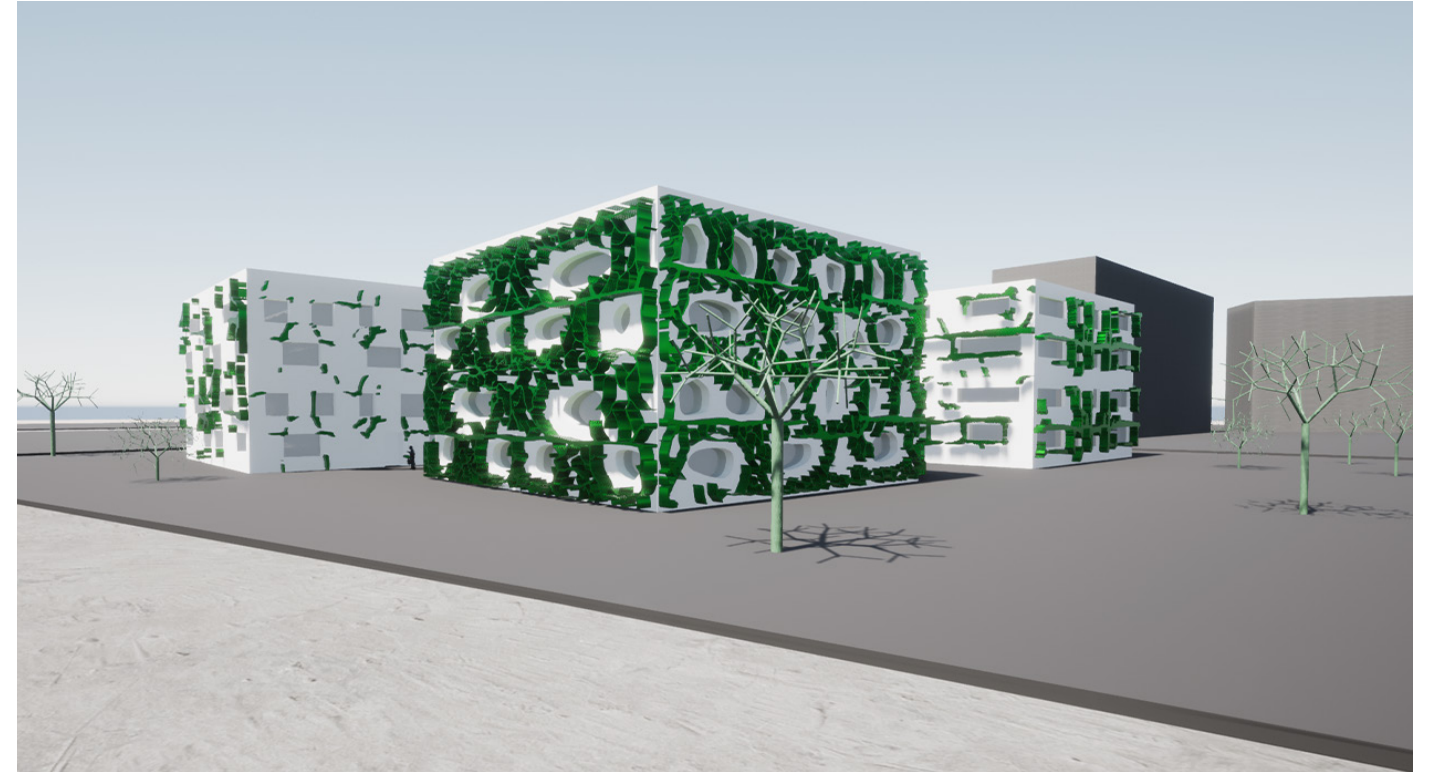
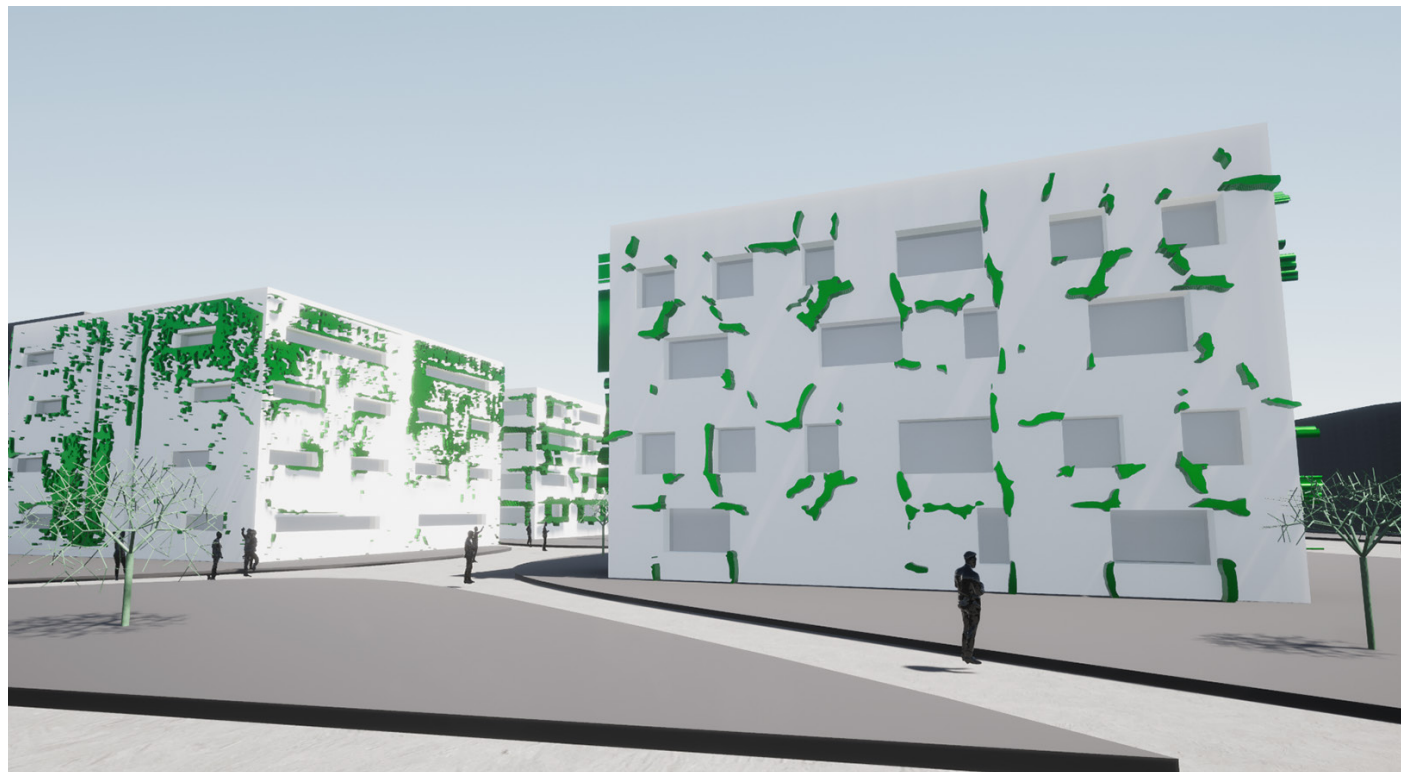
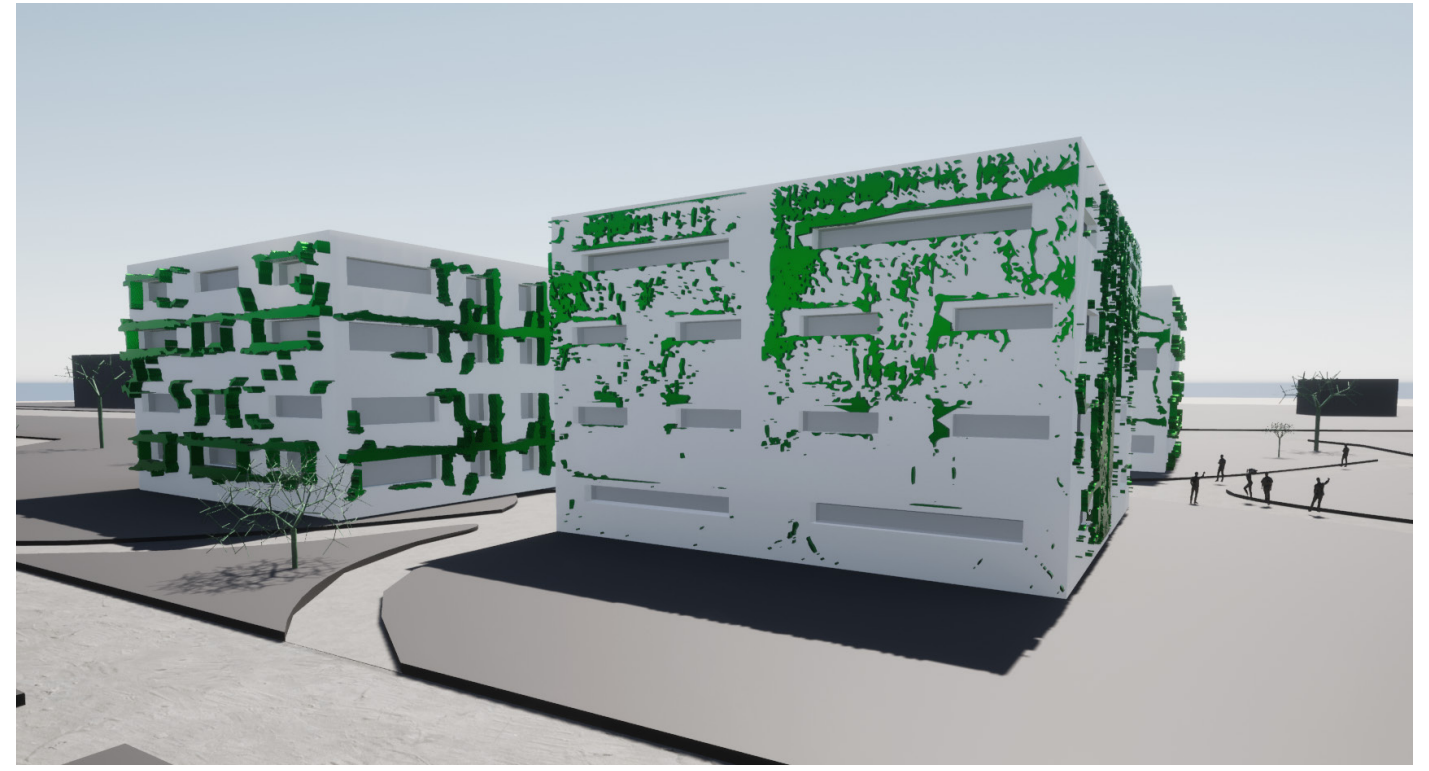
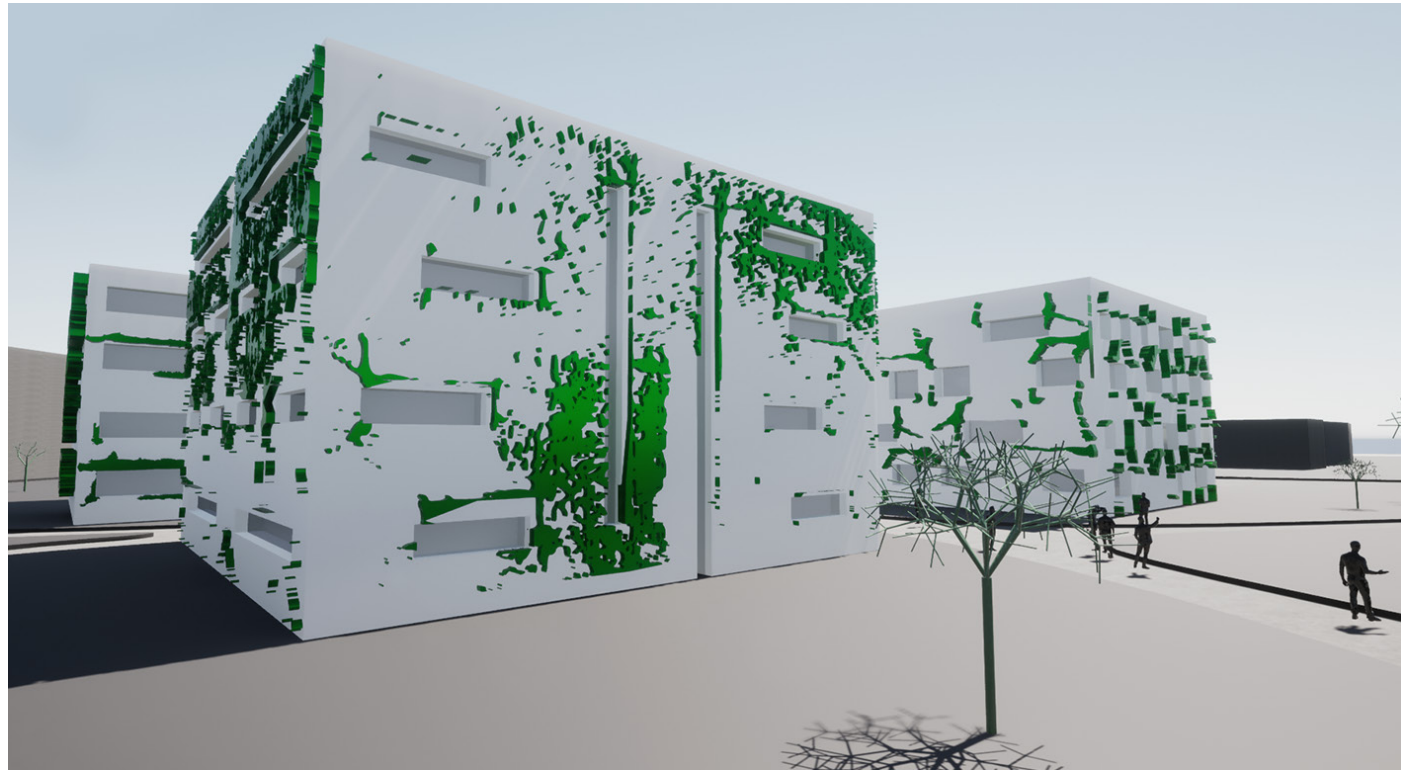
Poté jsem obdobným způsobem vygeneroval zbylé 3 budovy. U každé z nich jsem použil na fasádu jiný vstupní dataset s jiným vzorem. Dohromady jsem využil 4 datasety, dataset listů javoru, manga, kombinace javoru a manga a poslední dataset byl složen z různých obrázků listů. Díky této variabilitě se výrazně změnil vzhled jednotlivých, jinak stejně vypadajících, budov. (výstupy zbylých fasád viz strana 118-149)

Výstupy pro tyto tři zbylé budovy jsem zařadil na konec práce s ostatními vygenerovanými výstupy. Místo toho bych zde ukázal vizualizace celého komplexu obytných budov. Vizualizace jsem se snažil vést v abstraktním duchu za pomoci fraktálových stromů a kladl jsem důraz na vzory fasád. Na konec bych zde chtěl vypíchnout maličkost, že modely lidí byly vygenerovány z fotografií softwarem PIFuHD. (8) (viz strana 156)









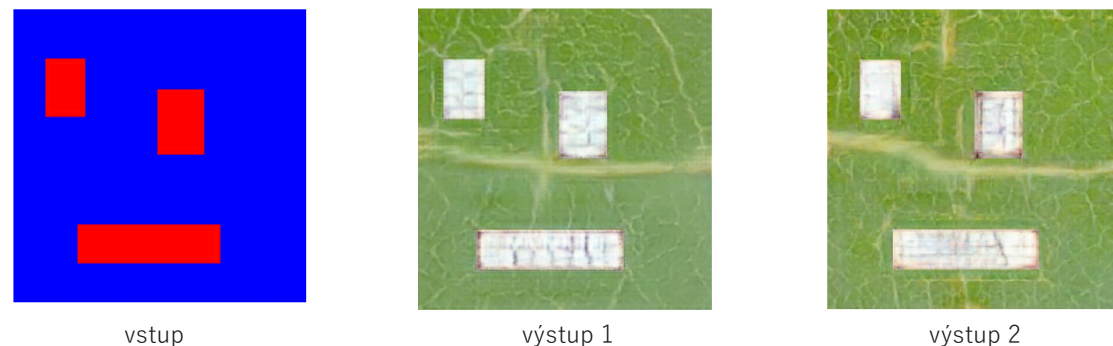


## Vyhodnocení praktické části

Jak jsem již popsal v předchozí části, generování obrázků za pomoci softwaru Pix2Pix a CycleGAN je poměrně zdlouhavý proces, jehož výsledek je navíc relativně nevyzpytatelný. Poté, co je program připraven s „naučenými vzorovými daty“, je samostatné generování obrázků již velmi rychlé a efektivní. Kvalita výstupu ovšem nemusí dosahovat očekávání.

Výstupy jsou ovlivněny několika kritérii, zejména kvalitou vstupů, dobou trénování softwaru, počtem obrázků v datasetu a také optimalizací softwaru. Všechny body jsou důležité a se všemi jde do jisté míry experimentovat. V praktické části jsem experimentoval zejména s různými datasety, díky kterým se mi povedlo dosáhnout různé kvality výstupů. Jakmile jsem vypiloval vstupy, dobu trénování a ideální množství obrázků, neměl jsem již možnosti, jak výstup dále zdokonalit. Optimalizace výpočtu by totiž vyžadovala přímé úpravy jednotlivých softwarových knihoven AI jejich autory, nebo vývoj nových neuronových sítí.

Výhodou použitého řešení je, že mohu generovat výstupy kolikrát chci. Pak si mohu z velkého výběru obrázků vybrat ty, které budu chtít použít. Bohužel je zde jeden velký zádrhel a tím je, že program generuje obrázky se stejnou předlohou velmi podobně. Což znamená, že si mohu vygenerovat dle předlohy řadu obrázků, ale jednotlivé obrázky se od sebe budou lišit jen minimálně.



Nyní tedy vyvstává otázka, jak by se dalo generování fasád opravdu zlepšit. Pravděpodobně by byla potřeba úprava softwarů, které jsem využíval, směrem ke specializaci neuronových sítí a jejich parametrů na tento typ úloh např. o možnost učení pod dohledem.

Softwary využívající GAN mají jednu velkou výhodu, která je zároveň jejich nevýhodou. A tou je, že se dají aplikovat na cokoli. Programy Pix2pix a CycleGAN můžu naučit generovat obrázky králíků, tak jako obrázky kosmických těles. Program nerozpoznává, co je na obrázcích vyobrazeno. Pouze generuje výstupy na základě barevnosti pixelů a matematických algoritmů. Když jsem se proto snažil za pomoci Pix2pix generovat půdorysy, program mi opravdu vygeneroval výstupy na základě mé předlohy.



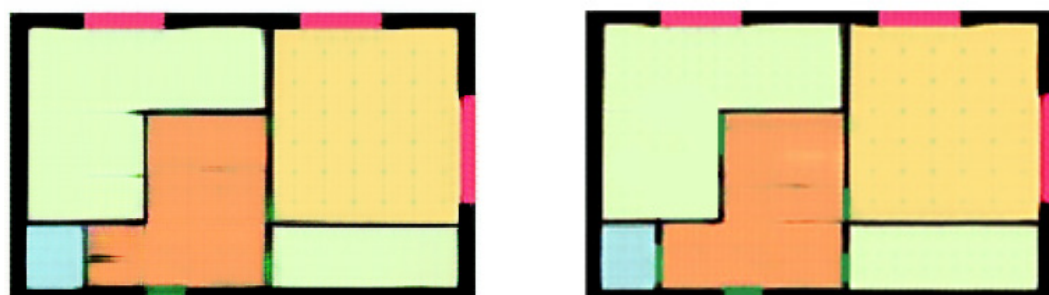
Program ovšem nedbal žádných architektonických pravidel při navrhování. Pouze navrhl půdorys tak, jak se to naučil. Byt sice má okna dveře a základní místnosti. Koupelnu ovšem vytvořil extrémně malou a ložnici i obývací pokoj vytvaroval do atypického tvaru „L“. Tyto vzory samozřejmě pochytily z trénovacího datasetu a v jiné aplikaci by možná byly správně použité. V tomto kontextu jsou ale rozhodně využité nevhodně.

Problém mohl být v tomto případě způsoben nedostatečně velkým datasetem, přidáním dalších 200 obrázků, by možná v generování půdorysů pomohlo. Stále by to ovšem nevyřešilo zásadní problém, že by program Pix2pix stále generoval obrázky bez kontextu.

Kdyby měl program Pix2pix k dispozici navíc sadu architektonických pravidel (generování pod dohledem), která by jistým způsobem dokázala potlačit nevhodné výstupy, mohl by generovat takové výstupy, které by se již daly přímo použít. Program by pak měl takováto pravidla pro generování půdorysů a jiná pro generování fasád.

Tento upgrade programu, kde by bylo možno formulovat například pravidla typu: „toaleta nemá být v ložnici“, by však znamenal významné rozšíření parametrů neuronové sítě a také dobré znalosti architektonického navrhování. Zásadním rozdílem je totiž potřeba, aby specializované neuronové sítě do jisté míry „rozuměly“ tomu, co jednotlivá pravidla znamenají a jak mají být interpretována na obrázku. Nelze se proto divit, že takovýto program zatím neexistuje v komerční verzi. Spacemaker dokáže vygenerovat budovy a dokáže je rozdělit na byty. Ovšem neumí již vygenerovat okna ani příčky. Mnou navržená aplikace využívající Pix2pix má problém s vygenerováním velmi jednoduchého půdorysu. Mnohem více však program bojuje s nepravděpodobnými půdorysy. S vývojem AI věřím, že podobné programy budou v budoucnu postupně vznikat a umožní architektům například jen na základě pouhé skici vygenerovat prezentovatelný výstup.

Další otázkou je použitelnost výstupu. Výsledky fasád a půdorysů program generuje v hrubé podobě, spíše jen coby inspiraci. Pro skutečné použití je proto potřeba je téměř vždy ještě upravit. Například okna fasád stejně jako jednotlivé půdorysy jsem musel v některých místech očistit o nežádoucí šумы. Obrázky fasád jsem následně převedl do černobílé podoby, kterou jsem pak i nadále upravoval.



Vygenerovaný obrázek

Upravený obrázek

Z obrázků je jasné, že i po vygenerování je s výstupy práce. Výstupy z AI pro generování obecných obrázků (nikoliv např. specializovaných půdorysů) nejsou dokonalé. Přípravné práce jsou zdouhavé, výstupy se i po vygenerování musí upravovat a samostatné učení AI trvá dlouhou dobu a vyžaduje většinu výkonu počítače. Vyplatí se tedy využívat AI v architektuře? Momentálně je těžké najít praktické uplatnění těchto výstupů. Lepší výstupy by se daly vytvořit v CAD programech v mnohem kratší době. Myslím si, že je možné využít tyto výstupy jako jistou inspiraci. Díky výtvarům z Pix2pix a ze CycleGANu může člověk získat jiný pohled na věc, který by ho třeba jinak nenapadl. Navíc se dá s těmito programy dobře experimentovat. Prolínat různé tvary, které budou vyvolávat abstraktní dojem a z něj čerpat nové nápady.

Myslím si, že AI bude pronikat do architektury a dalších oblastí pozvolna s novými nástroji, které budou zprvu více specializované a budou tak umožňovat lepší kvalitu přímo použitelných generovaných výstupů (např. jako nadstavby konkrétních komerčních CAD nástrojů). Pix2pix, CycleGAN i další programy, které jsem tu zmiňoval jsou sice freewary, ale jejich samotné zprovoznění vyžaduje alespoň minimální znalost programování, což jejich použití značně komplikuje. Komerční podoba s příjemným uživatelským rozhraním a snadnou integrací s dalšími nástroji vznikne v okamžiku, když kvalita výstupu bude pro uživatele přínosem: ušetří jim čas prací na rutinních činnostech a nebo poslouží jako inspirace.

Na závěr této kapitoly bych chtěl říct, že kdyby se vylepšené digitální modely Pix2pix nebo CycleGANu začlenily do uceleného programu, který by dokázal převést vygenerované obrázky do 3D modelu, (respektive by dokázal na základě vygenerovaných obrázků fasád a půdorysů vygenerovat odpovídající 3D model, a to nejlépe ve formátu pro 3D tis) mohl by pomoci jak k rychlé vizualizaci, tak v případě fasád i přímo k výrobě prefabrikovaných obkladů fasád.

### Zdroje aplikace AI v architektuře:

- 1.- Python [online]. [cit. 2022-04-22]. Dostupné z: <https://www.python.org/>
  - 2.- TensorFlow [online]. [cit. 2022-04-22]. Dostupné z: <https://www.tensorflow.org/>
  - 3.- Pix2pix: Image-to-image translation with a conditional GAN. TensorFlow [online]. [cit. 2022-04-22]. Dostupné z: <https://www.tensorflow.org/tutorials/generative/pix2pix>
  - 4.- CycleGAN. TensorFlow [online]. [cit. 2022-04-22]. Dostupné z: <https://www.tensorflow.org/tutorials/generative/cyclegan>
  - 5.- TensorBoard: TensorFlow's visualization toolkit. TensorFlow [online]. [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: <https://www.tensorflow.org/tensorboard>
  - 6.- Spacemaker AI. In: Hub [online]. [cit. 2022-04-17]. Dostupné z: <https://thehub.io/startups/spacemaker-ai>
  - 7.- RUBÁČ, František a Jiří HONZÁK. Architecture hallucination. 11. ledna 2022. Fakulta architektury VUT, 2022. strana-18
  - 8.- SAITO, Shunsuke, Tomas SIMON, Jason SARAGIH a Hanbyul JOO. PIFuHD: Multi-Level Pixel-Aligned Implicit Function for High-Resolution 3D Human Digitization [online]. University of Southern California, Apr 2020 [cit. 2022-04-19]. Dostupné z: <https://arxiv.org/pdf/2004.00452.pdf>. University of Southern California.
- obr. 1. a 2.- Google maps. Google [online]. [cit. 2022-05-03]. Dostupné z: <https://www.google.cz/maps/@49.1768144,16.6246336,17.5z?hl=cs&authuser=0>

# Otázka Autorství AI a kreativity AI

AI bude pravděpodobně v následujících letech čím dál tím více pronikat do mnohých oborů a odvětví, až se stane neodmyslitelnou součástí našich životů. Tak jako jiné vynálezy v minulosti: například telefon anebo automobil. AI pravděpodobně ovlivní i budoucnost. Není jisté přímo jak nás AI ovlivní anebo kdy tak se to stane, ale nejspíše k tomu bude postupně docházet. S touto změnou se začnou řešit dle mého názoru dvě důležité otázky. První otázka se týká autorství produktu vygenerovaného AI a druhá otázka se týká především AI a kreativity.

Otázka autorství AI je velmi komplikovaná a v následujících letech se jí budou muset jednotlivé státy zabývat. Některé státy již začaly tento problém řešit – například Čína, Amerika, Velká Británie, Nový Zéland nebo Irsko. Například Irská legislativa definuje počítačově vygenerované výstupy následovně:

„vytvořený počítačem ve vztahu k dílu znamená, že dílo je vytvořeno počítačem za okolností, kdy autorem díla není osoba.“ Irský zákon dále definuje jako autora v případě díla, které je vytvořeno počítačem následovně: „Osoba, která provedla opatření nezbytná pro vytvoření díla“. (1)

Tato definice je relativně krkolomná a není jednoduchá na pochopení. Já si to vykládám tak, že autory děl jsou ti, kteří se podíleli na procesu generování (ten kdo zadal vstup programu a možná i autor programu). Ovšem z první definice by vyplývalo, že vygenerovaná díla nemají jedinečného autora. Muselo by se tedy jednat o spoluautorství a nebo by dílo nemělo podle Copyrightu svého právoplatného autora. Podle článku, který řeší AI a autorství, není autorem vygenerovaných děl právně nikdo, jelikož díla vygenerovaná počítačem se nepovažují za originální.(2) Toto je samozřejmě jeden z úhlů pohledu, který je vcelku logický, ovšem mohl by poškodit umělce, kteří využívají AI pro generování svých výtvorů.

Na problém se můžeme také dívat trochu jinak. Autorem by mohl být ten, kdo AI využívá, přeci jenom se jedná o nástroj. Pokud bychom použili analogii s CAD softwary, tak výstupy z těchto CAD softwarů jsou jasným výtvořem svého tvůrce. AI nástroje se ale nedají dobře porovnávat s CAD nástroji. Opět bych tento rozdíl mohl vysvětlit na analogii. Já vidím CAD nástroje jako pravítka a AI programy jako kalkulačku. Pravítka mi ulehčují práci, díky němu mohu rýsovat rovné čáry a je jednoduché na používání. Kalkulačka je také jednoduchá na používání. Zadáme do ní určitá čísla, zvolíme danou operaci, či operace a kalkulačka mi ukáže výsledek.

Kalkulačka na rozdíl od pravítka udělá těžkou práci za mě. Mně stačí, abych jí zadal čísla, abych rozuměl tomu, co do kalkulačky zadávám a trochu rozuměl, jak kalkulačka počítá výsledky. Díky této analogii je, doufám, jasnější, že tyto nástroje fungují velmi odlišně. Proto je také velmi těžké, označit za autora toho, kdo program využívá. Vypočítal jsem opravdu příklad, když jej za mě vypočítala kalkulačka? Vytvořil jsem obrázek, i když ho za mě vlastně vygenerovala AI?

Není se proto čemu divit, že Irsko nebo Velká Británie vygenerovaná díla považují za bez autorská. Na předchozí otázku existují podle mého názoru tři úhly pohledu.

1. Úhel pohledu: Někdo si přeci musel dát práci s vytvořením vstupu, který je unikátní a jedná se o jasný autorský výtvor. AI pak na základě toho vstupu vytvoří unikátní výstup. Pokud vložíme jiný vstup, pak se na jeho základě změní i výstup. Výstup a vstup jsou tudíž určitým algoritmem propojeny. Vstup jasně ovlivňuje výstup.

Mohli bychom se tedy domnívat, že pokud je vstup výtvořem autora a na tomto výtvoře záleží i výsledek algoritmu, pak bude i výstup výtvořem tohoto autora.

Přeci jenom bez prvotního autorského impulzu by nevznikl výsledek. K tomuto úhlu pohledu bych se přikláněl u algoritmů využívajícím GAN architekturu. Jelikož tvorba datasetů je velmi časově náročná a vstupní datasety mohou mít uměleckou hodnotu a vyžadují jistý tvůrčí proces.

2. Úhel pohledu: Druhý úhel pohledu, je spjatý s otázkou již zmiňovaného tvůrčího procesu. Tento proces může úplně chybět při používání AI. Přeci jenom AI program bude fungovat, i když mu poskytnu jakákoli vstupní data. Můžu programu dát náhodná data a on mi stejně vygeneruje výsledek. Jakýkoli tvůrčí proces se pak v průběhu práce vytratí. Spoléhám pouze na to, jak dobře umí AI generovat výstupy. Toto bych mohl demonstrovat na programu Dall-e 2, který dokáže vygenerovat výstup pouze na základě rychlého popisu. Tento popis máte hotový za 10 sekund a Dall-e 2 vám podle něho vygeneruje velmi věrohodný výstup. Můžete se opravdu považovat za autora takového výstupu? Bylo by etické na takovémto výtvoře zkusit zbohatnou, i přesto že jste napsali pouze jednu větu? V tomto případě bych se raději přikláněl k tomu, že tvůrcem není nikdo.

Nadruhou stranu pokud by v některých případech výstupů AI nebyl autorem nikdo a výstupy by byly špatné a nebo by v nich byla chyba, autor by se pak mohl odvolávat na fakt, že právně autorem není nikdo a že to byla chyba AI a ne jeho. Pokud bychom se na problém dívali takto, tak by bylo vždy důležité, aby nějaký autor existoval i přesto, že jeho tvůrčí přínos mohl být minimální.



3. Úhel pohledu: Poslední možností by byl kompromis mezi prvními dvěma možnostmi. A tím by bylo vytvoření spoluautorství AI a autora. Autorem by byl tedy tvůrce vstupu a kredit za výstupy by získal i tvůrce AI nebo AI samotná, i když to je spíše otázka budoucnosti.

Není jisté, který z těchto pohledů je univerzálně správný, to pravděpodobně ukáže pouze čas. Jisté je, že na tuto otázku není momentálně žádná dobrá odpověď. Není se čemu divit, jelikož autorství AI je spjato s dalším kontroverzním tématem a tím je umělá kreativita.

### **Kreativita AI**

Pokud chceme vytvořit něco nového musíme k tomu vynaložit jistou dávku kreativity. AI je nástrojem pro tvorbu nových výstupů, můžeme tedy AI považovat za kreativní?

Slovo kreativita vychází z latinského slova *creo*, v překladu znamená tvořím nebo plodím. (3) Podle Cambridge slovníku je kreativita definovaná následovně: „schopnost vytvářet nebo používat originální a neobvyklé nápady.“ (4) Dalším příkladem definice kreativity může být tato: „schopnost překonávat tradiční myšlenky, pravidla, vzorce, vztahy apod. a vytvářet nové smysluplné myšlenky, formy, metody, interpretace atd.; podobné pojmy: originalita, progresivita nebo představivost“ (5) nebo se dá jednoduše interpretovat jako „schopnost tvořit“ (6).

Je zřejmé, že pojem kreativity není jednoduché uchopit. Proto je složité říci, zdali může být AI kreativní. AI opravdu dokáže tvořit nové výtvořky. Některé z těchto výtvořů by se daly považovat za inovativní, či kreativní.

Jedním z velkých momentů AI byl zápas v tradiční stolní hře Go. Tento moment vzešel z druhé hry mezi profesionálním Go hráčem Lee Sedolem a programem AlphaGo v roce 2016. Tento program samozřejmě využívá AI. AlphaGo se učí hrát velmi specifickým způsobem. Učí se tak, že hraje obrovské množství zápasů sám se sebou a tím se zlepšuje. Dalo by se říct, že se učí hrát hru podobně jako lidé z vlastní zkušenosti. Hra Go je velmi komplikovaná, někteří hráči proto předpokládali, že programy nebudou schopny porazit profesionální hráče, na rozdíl od hry šachu, kdy šampion Garry Kasparov prohrál proti programu Deep blue. Opak byl ale pravdou, AlphaGo dokázala porazit Leeho za pomoci nevšedních tahů. (7)

Z tohoto příkladu je patrné že výtvořky AI mohou být originální a mohou nám dokonce ukázat nové způsoby uvažování nad danou problematikou. V budoucnu nás možná bude AI učit novým poznatkům, na které bychom bez AI nepřišli. Již dnes se například šachový hráči učí hrát šachy na základě šachových algoritmů. Šachové algoritmy totiž výrazně předčili člověka, dnes se ani nejlepší šachový hráči nemohou rovnat s novodobými algoritmy. V budoucnu možná AI předčí člověka v dalších činnostech, možná i v navrhování staveb.

Uvedl bych zde trochu opačný pohled na věc. I přes to, že AI opravdu vytváří nové výtvořky, nemůže je vytvářet na základě vlastních pohnutek. AI se nemůže rozhodnout, že něco vytvoří. Musí nejdříve dostat nějaký impulz od člověka. V případě Dall-e 2 je tímto impulzem stručný popis, v případě pix2pix jsou to například obrázky. Kreativita AI je závislá na algoritmech, které programy AI používají. Skoro by se dalo říct, že kreativita AI je závislá na kreativě jejího tvůrce.

V dané oblasti může být AI kreativnější než lidé, jak jsem uvedl na předchozím příkladu. AI je ovšem omezeno ve sféře svého působení, tudíž jeho kreativita je značně omezená. Tak jako AlphaGO nezačne přes noc generovat obrázky, tak nebude Pix2pix skládat básně. Na to ani jeden z programů nebyl navržen.

Na závěr bych uvedl shrnutí této kapitoly. AI může vykazovat známky kreativity. Dokonce může otevřít člověku nový pohled na věc. Tato kreativita je ovšem omezená sférou působení programu a také je určitým způsobem závislá na vstupu, který je daný člověkem. Zatím AI nedosáhla takové kreativity, jakou můžeme pozorovat u člověka, jelikož AI nedokáže samostatně uvažovat. Pokud AI v budoucnu získá schopnost samostatně uvažovat, konat a stane se inteligentnější než člověk, pak pravděpodobně překoná člověka i v jeho kreativě.

Na závěr úvah o kreativitě zde uvedu několik výstupů od umělců vygenerovaných za pomoci AI a nechám na uvážení čtenářů, zdali vykazují výstupy známky kreativity AI, aneboza kreativitou těchto děl stojí spíše umělec.

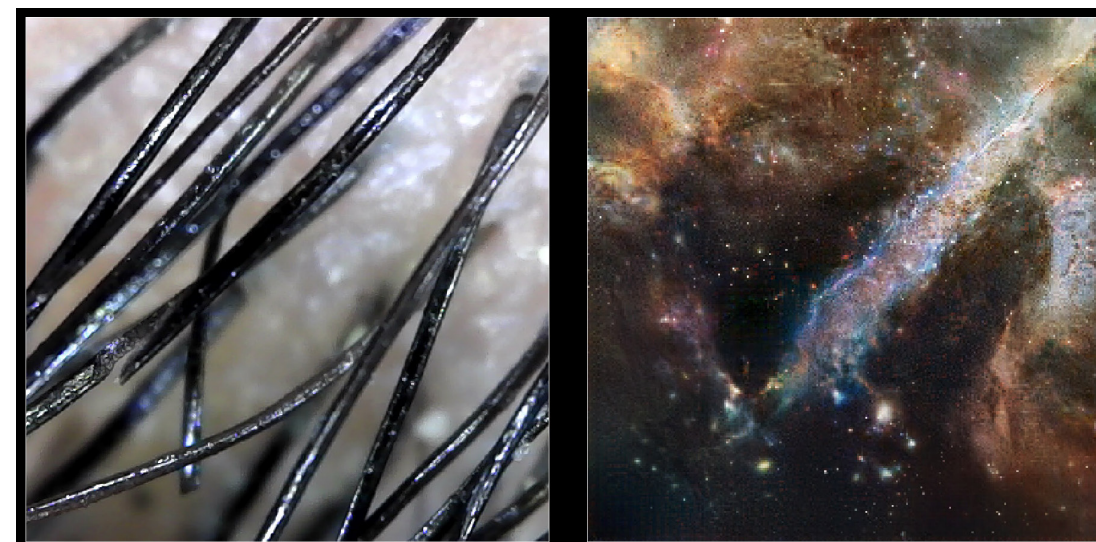


obr. 1.

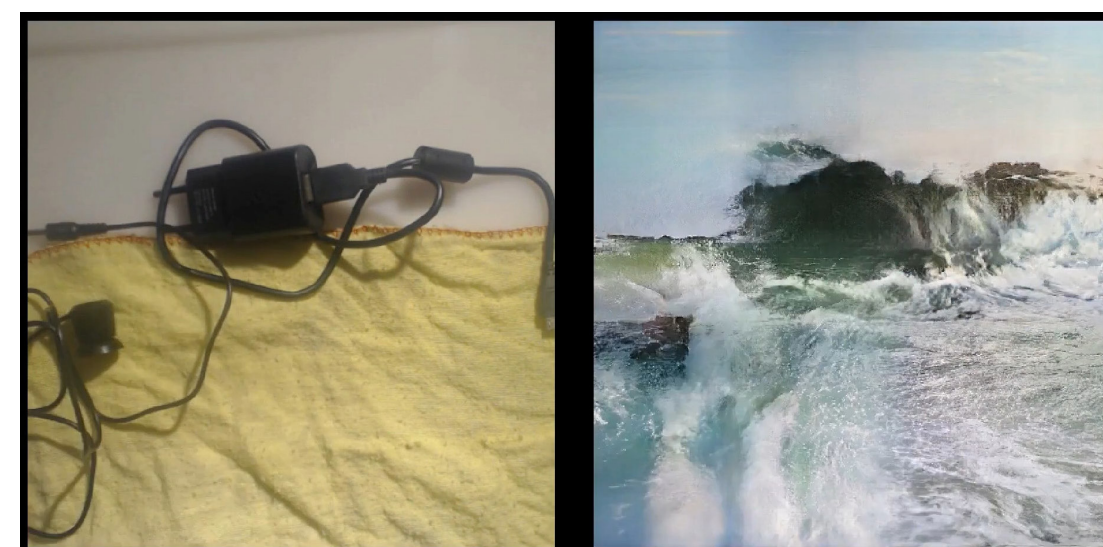
Sofia Crespo vytvořila v její sérii Neural Zoo několik vygenerovaných obrazů, které vycházejí z přírodních vzorů. Neuronové sítě, které využívala při generování dokázaly vyčíst z trénovacích setů důležité znaky a zkombinovat je do abstraktních výstupů, které ale jasně připomínají některé známé živočichy či rostliny.



obr. 2.



Memo Akten ve své práci také využívá GAN. Na těchto ukázkách přeměňuje jednoduché fotky předmětů na výstupy vesmíru a oceánu. O obdobné výstupy jsem se pokoušel ve své před-diplomové práci. (9)





## Zdroje autorství a kreativita v AI:

1.- Hugenholtz, P.B., Quintais, J.P. Copyright and Artificial Creation: Does EU Copyright Law Protect AI-Assisted Output?. IIC 52, 1190–1216 (2021). <https://doi.org/10.1007/s40319-021-01115-0>

Originální znění - “computer-generated”, in relation to a work, as meaning “that the work is generated by computer in circumstances where the author of the work is not an individual”. The Irish Act proceeds to define as “author”, “in the case of a work which is computer-generated, the person by whom the arrangements necessary for the creation of the work are undertaken”

2.- Hugenholtz, P.B., Quintais, J.P. Copyright and Artificial Creation: Does EU Copyright Law Protect AI-Assisted Output?. IIC 52, 1190–1216 (2021). <https://doi.org/10.1007/s40319-021-01115-0>

3.- SNOPEK, Mojmir. Pedagogická psychologie: Tvořivost (kreativita) a její rozvíjení. In: Informační systém Masarykovy univerzity: Prezentace publikovaná online [online]. Jaro 2008 [cit. 2022-04-28]. Dostupné z: [https://is.muni.cz/el/1441/jaro2009/PVCKC\\_PDPS/um/Tvorivost\\_\\_kreativita\\_.pdf](https://is.muni.cz/el/1441/jaro2009/PVCKC_PDPS/um/Tvorivost__kreativita_.pdf)

4.- Creativity. In: Cambridge Dictionary [online]. [cit. 2022-04-28]. Dostupné z: <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/creativity>

Originální znění - the ability to produce or use original and unusual ideas.

5.- Creativity. Dictionary [online]. [cit. 2022-04-28]. Dostupné z: <https://www.dictionary.com/browse/creativity>

Originální znění - the ability to transcend traditional ideas, rules, patterns, relationships, or the like, and to create meaningful new ideas, forms, methods, interpretations, etc.; originality, progressiveness, or imagination

6.- Creativity. Merriam-webster [online]. [cit. 2022-04-28]. Dostupné z: <https://www.merriam-webster.com/dictionary/creativity>

Originální znění - the ability to create

7.- Architecture in the Age of Artificial Intelligence: An Introduction to AI for Architects. Bloomsbury Visual Arts: Bloomsbury Publishing, 2022. ISBN 9781350165519. strany 48-56

8.- Architecture in the Age of Artificial Intelligence: An Introduction to AI for Architects. Bloomsbury Visual Arts: Bloomsbury Publishing, 2022. ISBN 9781350165519. strana 54

Originální znění - At move 37, AlphaGO plays an unexpected move, what is called a shoulder hit on the upper right side of the board. This move in this position is unseen in professional games, but its cleverness is immediately apparent. Go player Fan Huy would later say: I have never seen a human play this move, so beautiful. What this move challenges is the very nature of creativity. Moreover, it has also served to fundamentally change our understanding of the game of GO, by introducing a number of previously unknown moves.

9.- RUBÁČ, František a Jiří HONZÁK. Architecture hallucination. 11. ledna 2022. Fakulta architektury VUT, 2022. strana-74

Obr.1 a 2 - CRESPO, Sofia. Selected Works: Neural Zoo. Sofia Crespo: Neural Artist [online]. [cit. 2022-04-28]. Dostupné z: [https://drive.google.com/file/d/1ljhMkE2Fy0IZd\\_Bk5Z\\_D017QIKfAByb1/view](https://drive.google.com/file/d/1ljhMkE2Fy0IZd_Bk5Z_D017QIKfAByb1/view)

Obr 3. a 4. AKTEN, Memo. AI work. In: Memo [online]. [cit. 2022-04-28]. Dostupné z: <https://www.memo.tv/works/#ai-perception-cognition>

# Závěr

Ve své práci jsem se snažil architektům přiblížit AI a její možné využití v architektuře. Popsal jsem zjednodušeně, jak fungují GAN programy. Uvedl jsem několik možných konceptů, kde by se využití AI dalo uplatnit. Uvedl jsem několik nástrojů, které využívají AI a dají se využít při designování architektury. Načrtl jsem, proč by zrovna AI mohla být využita ke generování organických struktur a proč je výhodné AI využívat všeobecně. Na závěr jsem aplikoval kombinaci různých AI nástrojů pro generování výstupů na konkrétním případu obytné budovy.

Práce s AI může být relativně náročná na přípravu. Pro programy Pix2pix a CycleGAN je důležité mít základní programovací znalosti a je třeba si připravit trénovací datasety, podle kterých budou programy generovat výstupy. Jakmile je toto připraveno a síť je naučená, dokáže AI výrazně pomoci při navrhování, jelikož generuje výstupy velmi rychle a ve velkém množství. Výstupy ovšem nemusí být vždy kvalitní. Kvalita výstupů je ovlivněna trénovacími daty a optimalizací programu samotného. Ve své práci jsem proto musel výstupy částečně doupřipravit do prezentovatelné podoby.

Primárním cílem mé práce bylo dostat AI do povědomí architektů. A doufám, že na základě poznatků, které jsem v průběhu práce nashromáždil, si ji budou moci architekti také vyzkoušet. Nemyslím si ovšem, že je momentálně možné designovat architektonické návrhy pouze za pomoci AI, jak jsem demonstroval na svém příkladu generování bytových staveb. (I v tomto případě jsem ovšem musel výsledky různě transformovat). Ale myslím si, že by architekti měli mít o AI alespoň povědomí, jelikož v budoucnu AI určitě jistým způsobem ovlivní i obor architektury.

„Architekti mají tendenci přijímat technologické změny se zpožděním. Toto chronické zpoždění začalo již v počátcích západní architektonické tradice: Vitruviovým svazkem deseti knih která byla v době, kdy ji Vitruvius sepsal, již několik století stará.“(1)

Myslím si, že co se týče AI, architekti nemusí pospíchat se zařazením chytrých AI programů do svého procesu navrhování. Především proto, že zatím neexistuje žádný specializovaný software pro architekty, který by využíval AI a zásadním způsobem by změnil pracovní návyky architektů tak, jak je například změnil CAD programy. Za 10 let může být situace jiná.

## Budoucnost AI a architektury

V několika předchozích kapitolách jsem zmiňoval svůj názor na to, co by mohla AI změnit a jak by se mohla AI vyvíjet. Zde bych tyto myšlenky rozvíjel.

Nikdo nemůže přesně vědět, jak bude naše budoucnost vypadat a jaké nové technologie budeme používat. Existují ale jisté predikce o budoucnosti v AI. Jednou z osob, které se snaží odhadnout budoucnost je americký vynálezce Ray Kurzweil. Kurzweil napsal několik knih o AI a sám tvrdí, že jeho úspěšnost předpovědi dosahuje 86%. Předpověděl například, že do roku 2000 AI porazí světového šampiona nebo že v roce 2009 lidé budou mít k dispozici lehčí přenosné počítače. Obě tyto předpovědi publikoval ve svých knihách v předstihu 10 let a obě se vyplnily. Kurzweil předpověděl, že do roku 2029 dosáhne AI podobné úrovně inteligence jako lidé. V roce 2045 podle jeho predikce bude AI výrazně inteligentnější než člověk a nastane takzvaná Singularita, kdy prý dojde k drastickým technologickým změnám, které výrazně ovlivní dějiny lidstva. (2)

Není samozřejmě jisté, kdy se stane AI inteligentnější než člověk, většina vědců ale věří, že k tomu nevyhnutelně dojde. A jakmile k tomu dojde, změní to určitě životy všech.

Je možné, že se setká AI s mnoha odpůrci v řadách architektů, tak jak tomu bylo s počítačovým navrhováním. Dnes již neznám nikoho, kdo by kreslil technické výkresy ručně. V budoucnu to možná bude stejné s programy využívající AI, které budou technické výkresy generovat na základě skic.

Nevíme zatím přesně do jaké míry AI zjednoduší práci architektů, ale již dnes můžeme vidět potenciál, který AI má a právě tento potenciál jsem chtěl promítnout do své práce a doufám, že se mi to alespoň částečně podařilo.

Na závěr bych zde rád uvedl pár predikcí jak by mohla AI ovlivnit architekturu.

-AI se začne vyučovat na fakultách Architektury (3)

-Města budou ovládaná AI (4)

-AI bude nezbytným pomocníkem architekta, jelikož zautomatizuje proces navrhování (5)

-AI se stane natolik inteligentní, že bude navrhovat úplně samostatně. (6)

## Zdroje závěr:

- 1.- The Second Digital Turn: Design Beyond Intelligence. Massachusetts Institute of Technology: The MIT Press, 2017. ISBN 9780262534024. Úvod  
Originální znění: Architects tend to be late in embracing technological change. this chronic belatedness started at the very beginning of the Western architectural tradition: Vitruvius De architecture, was already a few centuries old.
- 2.- Architecture in the Age of Artificial Intelligence: An Introduction to AI for Architects. Bloomsbury Visual Arts: Bloomsbury Publishing, 2022. ISBN 9781350165519. Strany 163-167
3. - 6.- Architecture in the Age of Artificial Intelligence: An Introduction to AI for Architects. Bloomsbury Visual Arts: Bloomsbury Publishing, 2022. ISBN 9781350165519. Strana 176

## Přílohy

RUBÁČ, František a Jiří HONZÁK. Architecture hallucination. 11. ledna 2022. Fakulta architektury VUT, 2022.

Modely budov a fasád

## Seznam literatury

### Seznam knih:

The Second Digital Turn: Design Beyond Intelligence. Massachusetts Institute of Technology: The MIT Press, 2017. ISBN 9780262534024.

Architecture in the Age of Artificial Intelligence: An Introduction to AI for Architects. Bloomsbury Visual Arts: Bloomsbury Publishing, 2022. ISBN 9781350165519.

SALA, N. Fractal geometry and architecture: some interesting connections. Eco-Architecture: Harmonisation between Architecture and Nature [online]. 1. WIT Press, 2006, s. 163-173 [cit. 2022-05-02]. ISSN 1743-3509. Dostupné z: <https://www.witpress.com/Secure/elibrary/papers/ARC06/ARC06017FU1.pdf> SALA, N. Fractal geometry and architecture: some interesting connections. Eco-Architecture: Harmonisation between Architecture and Nature [online]. 1. WIT Press, 2006, s. 163-173 [cit. 2022-03-02]. ISBN 1743-3509. Dostupné z: <https://www.witpress.com/Secure/elibrary/papers/ARC06/ARC06017FU1.pdf>

### Odborné práce:

ISOLA, Phillip, Jun-Yan ZHU, Tinghui ZHOU a Alexei A. EFROS. Image-to-Image Translation with Conditional Adversarial Networks [online]. Berkeley AI Research (BAIR) Laboratory: UC Berkeley, 26 listopadu 2018n. l. [cit. 2022-04-04]. Dostupné z: <https://arxiv.org/pdf/1611.07004.pdf>. Vědecká. Berkeley AI Research (BAIR) Laboratory.

WANG, Xiaolong a Abhinav GUPTA. Generative Image Modeling using Style and Structure Adversarial Networks [online]. Robotics Institute, Carnegie Mellon University, 26 července 2016n. l. [cit. 2022-04-04]. Dostupné z: <https://arxiv.org/pdf/1603.05631.pdf>. Vědecká. Carnegie Mellon University.

GOODFELLOW, Ian J., Jean POUGET-ABADIE, Mehdi MIRZA, Bing XU, David WARDE-FARLEY, Sherjil OZAIR, Aaron COURVILLE a Yoshua BENGIO. Generative Adversarial Nets [online]. Montreal, QC H3C 3J7, Université de Montréal, 2014 [cit. 2022-04-04]. Dostupné z: <https://arxiv.org/pdf/1406.2661.pdf>. Vědecká. Université de Montréal.

RAMESH, Aditya, Prafulla DHARIWAL, Alex NICHOL, Casey CHU a Mark CHEN. Hierarchical Text-Conditional Image Generation with CLIP Latents. In: Arxiv [online]. Cornell University, 13 Apr 2022n. l. [cit. 2022-04-25]. Dostupné z: <https://arxiv.org/pdf/2204.06125.pdf>



KARRAS, Tero, Samuli LAINE a Timo AILA. A Style-Based Generator Architecture for Generative Adversarial Networks [online]. 29 března 2019n. I. Dostupné také z: <https://arxiv.org/pdf/1812.04948.pdf>

ZHU, Jun-Yan, Taesung PARK, Phillip ISOLA a Alexei A. EFROS. Unpaired Image-to-Image Translation using Cycle-Consistent Adversarial Networks [online]. Berkeley AI Research (BAIR) laboratory, UC Berkeley, 24 srpna 2020n. I. [cit. 2022-04-04]. Dostupné z: <https://arxiv.org/pdf/1703.10593.pdf>. Vědecká. UC Berkeley.

RUBÁČ, František a Jiří HONZÁK. Architecture hallucination. 11. ledna 2022. Fakulta architektury VUT, 2022.

CHAILLOU, Stanislas. Ai + Architecture: Towards a New Approach [online]. Harvard GSD, 2019 [cit. 2022-01-04]. Dostupné z: <http://stanislaschailou.com/articles.html>. Harvard GSD.

SAITO, Shunsuke, Tomas SIMON, Jason SARAGIH a Hanbyul JOO. PIFuHD: Multi-Level Pixel-Aligned Implicit Function for High-Resolution 3D Human Digitization [online]. University of Southern California, Apr 2020 [cit. 2022-04-19]. Dostupné z: <https://arxiv.org/pdf/2004.00452.pdf>. University of Southern California.

### Webové články a příspěvky:

DONOVAN, Alexander. 5 Ways Artificial Intelligence Is Changing Architecture. In: Interesting engineering [online]. Jun 23, 2020 [cit. 2022-04-15]. Dostupné z: <https://interestingengineering.com/5-ways-artificial-intelligence-is-changing-architecture>

OBERSTE-UFER, Kai. 7 Ways Artificial Intelligence Is Revolutionizing Architecture. In: Dormakaba [online]. 02 . 09 . 2019n. I. [cit. 2022-04-15]. Dostupné z: <https://blog.dormakaba.com/7-ways-artificial-intelligence-is-revolutionizing-architecture/>

BEQIRI, Rron. A.I. Architecture Intelligence: Architecture and Urban Planning in the age of Artificial Intelligence in an article by Rron Beqiri. In: Future architecture [online]. 4 MAY 2016n. I. [cit. 2022-04-15]. Dostupné z: <https://futurearchitectureplatform.org/news/28/ai-architecture-intelligence/>

UCL Space syntax: depthMapX [online]. 2022 [cit. 2022-04-15]. Dostupné z: <https://www.spacesyntax.online/software-and-manuals/depthmap/>

EcoDesigner STAR – podrobné vyhodnocení energetické náročnosti archicadových projektů. In: Tzbinfo [online]. 2016 [cit. 2022-04-15]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/bim-informacni-model-budovy/14842-ecodesigner-star-podrobne-vyhodnoceni-energeticke-narocnosti-archicadovych-projektu>

Spacemaker AI. In: Hub [online]. [cit. 2022-04-17]. Dostupné z: <https://thehub.io/startups/spacemaker-ai>

A Gentle Introduction to StyleGAN the Style Generative Adversarial Network. In: Machinelearningmastery [online]. [cit. 2022-04-18]. Dostupné z: <https://machinelearningmastery.com/introduction-to-style-generative-adversarial-network-stylegan/>

Fit a mesh via rendering. In: PyTorch3D [online]. [cit. 2022-04-19]. Dostupné z: [https://pytorch3d.org/tutorials/fit\\_textured\\_mesh](https://pytorch3d.org/tutorials/fit_textured_mesh)

PyTorch3D [online]. [cit. 2022-04-19]. Dostupné z: <https://pytorch3d.org/>

Cambridge Dictionary [online]. [cit. 2022-04-21]. Dostupné z: <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/intelligence>

Types of artificial intelligence. In: Medium.com [online]. [cit. 2022-04-21]. Dostupné z: <https://medium.datadriveninvestor.com/a-breakdown-of-artificial-intelligence-9207960cadff>

Machine learning. Wikipedia [online]. [cit. 2022-04-21]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Machine\\_learning](https://en.wikipedia.org/wiki/Machine_learning)

Python [online]. [cit. 2022-04-22]. Dostupné z: <https://www.python.org/>

TensorFlow [online]. [cit. 2022-04-22]. Dostupné z: <https://www.tensorflow.org/>

VI. Chránová architektura 5: chrámy klasického a helénistického období. In: Řecká architektura [online]. [cit. 2022-04-24]. Dostupné z: <https://www.recka-architektura.cz/index.php?stranka=chramovaarchitektura5>

CycleGAN. TensorFlow [online]. [cit. 2022-04-22]. Dostupné z: <https://www.tensorflow.org/tutorials/generative/cyclegan>

TensorBoard: TensorFlow's visualization toolkit. TensorFlow [online]. [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: <https://www.tensorflow.org/tensorboard>

Secese. Wikipedie [online]. [cit. 2022-04-24]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Secese>

Skvost Barcelony, překrásný chrám La Sagrada Família. Průvodce Barcelonou [online]. [cit. 2022-04-24]. Dostupné z: <https://mesto-barcelona.cz/antoni-gaudi/sagrada-familia>

Casa Batlló. Wikipedia [online]. [cit. 2022-04-24]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Casa\\_Batl%C3%B3](https://cs.wikipedia.org/wiki/Casa_Batl%C3%B3)

Zelená střecha. Geomall [online]. [cit. 2022-04-24]. Dostupné z: <https://www.geomall.cz/stavba/zelena-strecha>

How This A.I. Draws Anything You Describe [DALL-E 2]. In: Youtube [online]. [cit. 2022-04-25]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=U1cF9Q-Cu1rQ>

Dall-e 2. Openai [online]. [cit. 2022-04-25]. Dostupné z: <https://openai.com/dall-e-2/#demos>

Creativity. In: Cambridge Dictionary [online]. [cit. 2022-04-28]. Dostupné z: <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/creativity>

Creativity. Dictionary [online]. [cit. 2022-04-28]. Dostupné z: <https://www.dictionary.com/browse/creativity>

Creativity. Merriam-webster [online]. [cit. 2022-04-28]. Dostupné z: <https://www.merriam-webster.com/dictionary/creativity>

SNOPEK, Mojmír. Pedagogická psychologie: Tvořivost (kreativita) a její rozvíjení. In: Informační systém Masarykovy univerzity: Prezentace publikovaná online [online]. Jaro 2008 [cit. 2022-04-28]. Dostupné z: [https://is.muni.cz/el/1441/jaro2009/PVCKC\\_PDPS/um/Tvorivost\\_\\_kreativita\\_.pdf](https://is.muni.cz/el/1441/jaro2009/PVCKC_PDPS/um/Tvorivost__kreativita_.pdf)

CRESPO, Sofia. Selected Works: Neural Zoo. Sofia Crespo: Neural Artist [online]. [cit. 2022-04-28]. Dostupné z: [https://drive.google.com/file/d/1ljhMkE2Fy0IZd\\_Bk5Z\\_D017QIKfAByb1/view](https://drive.google.com/file/d/1ljhMkE2Fy0IZd_Bk5Z_D017QIKfAByb1/view)

AKTEN, Memo. AI work. In: Memo [online]. [cit. 2022-04-28]. Dostupné z: <https://www.memo.tv/works/#ai-perception-cognition>

DeepL překladač [online]. [cit. 2022-04-30]. Dostupné z: <https://www.deepl.com/translator>

Normální rozdělení. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2022-04-30]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Norm%C3%A1ln%C3%AD\\_roz%C4%9Blen%C3%AD](https://cs.wikipedia.org/wiki/Norm%C3%A1ln%C3%AD_roz%C4%9Blen%C3%AD)

Spacemaker AI [online]. [cit. 2022-05-01]. Dostupné z: <https://www.spacemaker.ai/>

Nejzajímavější moderní stavby. České stavby [online]. [cit. 2022-05-02]. Dostupné z: <https://www.ceskestavby.cz/clanky-foto/inspirujte-se-nejzajimavejsi-moderni-budovy-na-svete-27966.html?photo=4>

Fraktály [online]. [cit. 2022-05-02]. Dostupné z: <https://www.fraktaly.cz/>

Fractal Chapel: Tree-Inspired Columns Branch Out to Open Up Interior Space. Web Urbanist [online]. [cit. 2022-05-02]. Dostupné z: <https://weburbanist.com/2018/01/21/fractal-chapel-tree-inspired-columns-branch-out-to-open-up-interior-space/#>

Google maps. Google [online]. [cit. 2022-05-03]. Dostupné z: <https://www.google.cz/maps/@49.1768144,16.6246336,17.5z?hl=cs&authuser=0>

### **Dataseť:**

**Listů:** [https://www.tensorflow.org/datasets/catalog/plant\\_leaves](https://www.tensorflow.org/datasets/catalog/plant_leaves)

**Fasád:** <https://cmp.felk.cvut.cz/~tylecr1/facade/>

**Půdorysů:** před-diplom, RUBÁČ, František a Jiří HONZÁK. Architecture hallucination. 11. ledna 2022. Fakulta architektury VUT, 2022.

### **Lidi do modelu:**

<https://png.is/f/cutout-animation-person-figure-transparent-background-png-clipart/comhiclipartdpx-201909140550.html>

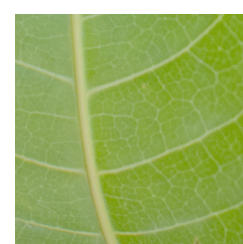
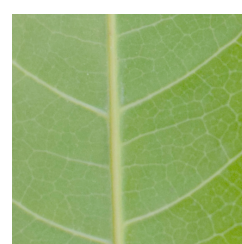
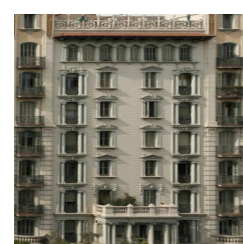
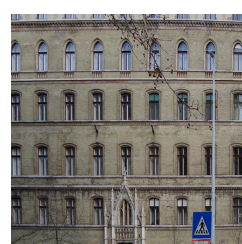
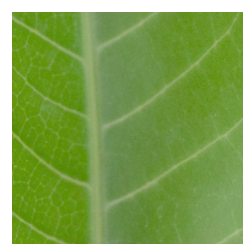
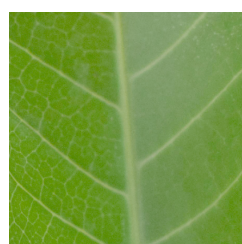
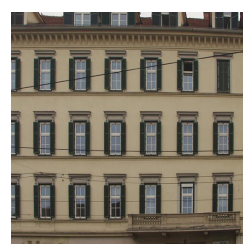
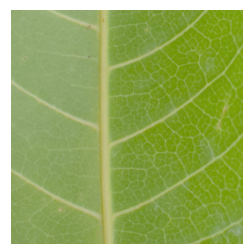
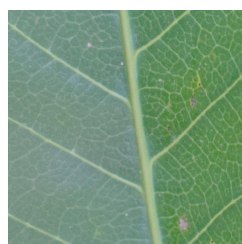
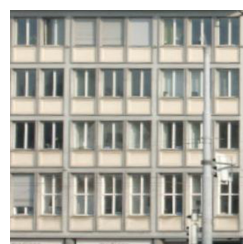
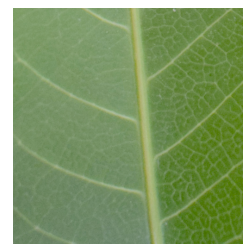
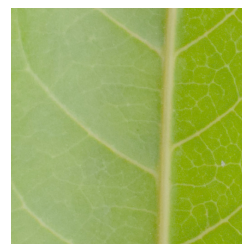
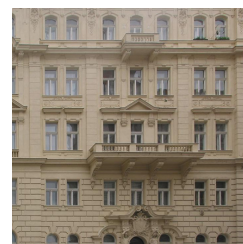
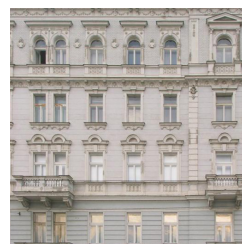
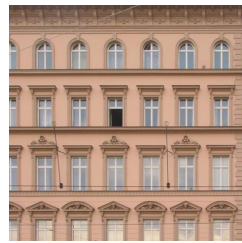
<https://www.colourbox.com/image/full-length-view-of-a-young-businessperson-posing-with-hands-on-his-waist-image-3975561>

[https://www.pngfind.com/mpng/ibRiJRh\\_spike-mendelsohn-person-full-body-standing-png-transparent/](https://www.pngfind.com/mpng/ibRiJRh_spike-mendelsohn-person-full-body-standing-png-transparent/)



# Příklady vygenerovaných výstupů

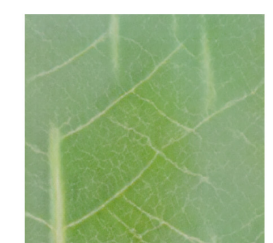
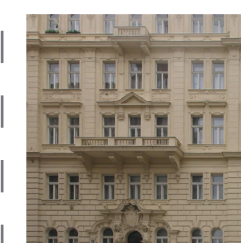
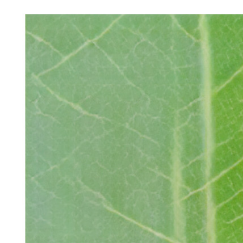
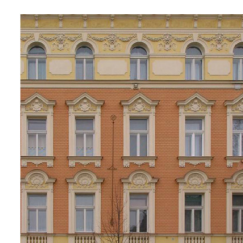
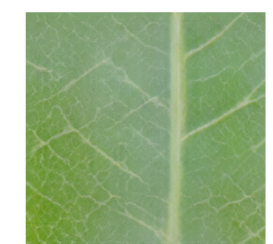
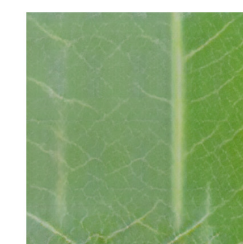
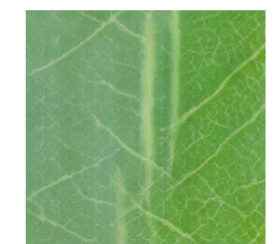
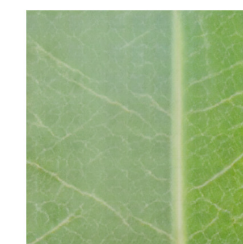
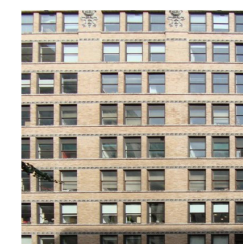
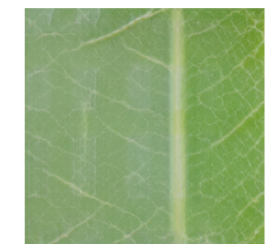
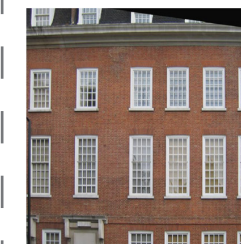
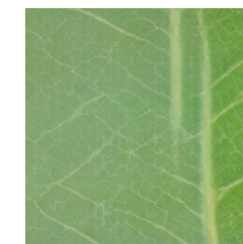
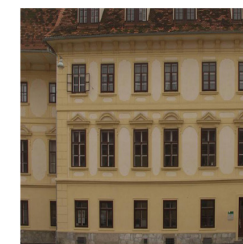
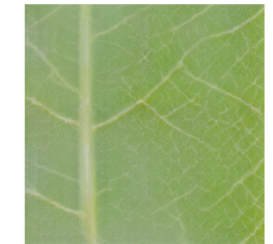
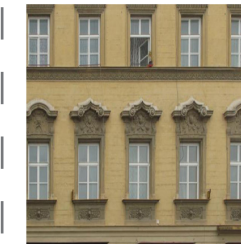
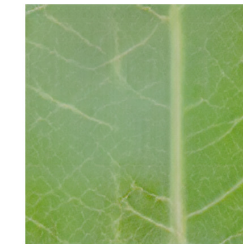
Trénovací dataset fasády A



Trénovací dataset listu B

Výstupy

(nalevo předobraz, napravo výstup)



První trénování sítě cycleGAN se vstupy obrázků fasád a listů manga. Obrázky mají rozlišení 512x512 pixelů.

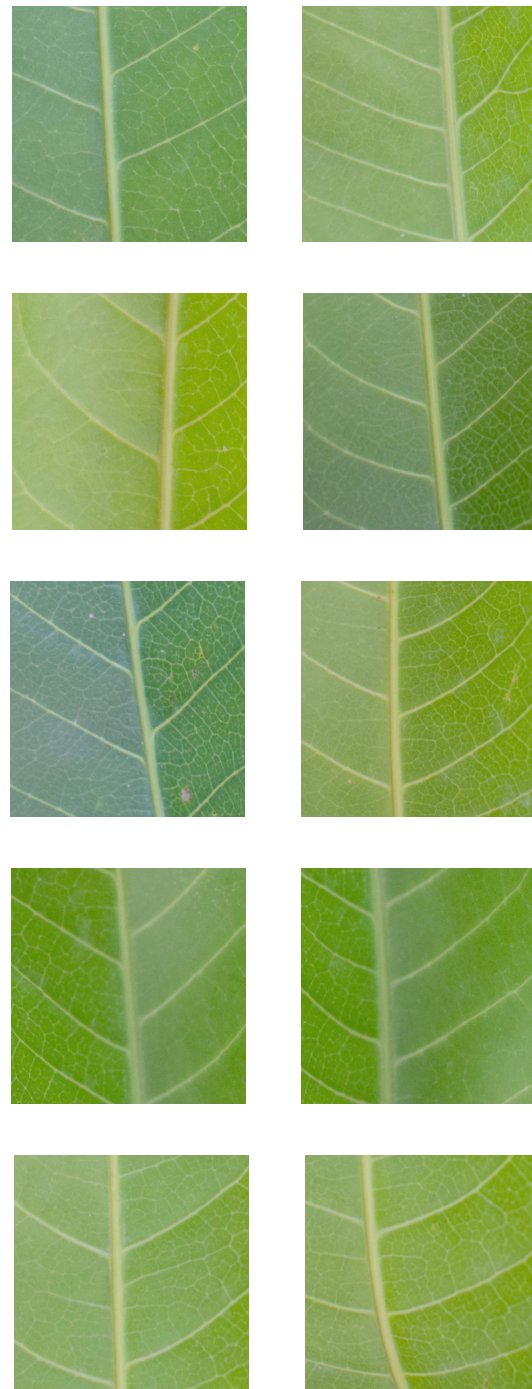
Na výstupech je patrné, že program nebyl schopen zkombinovat obrázky, pravděpodobně kvůli jejich rozdílnosti.



Trénovací dataset fasády A



Trénovací dataset listu B



Druhý trénování sítě cycleGAN se vstupy obrázků fasád a listů manga. Obrázky mají rozlišení 512x512 pixelů. Snažil jsem se upravit fasády do stejného měřítka, ve snaze zlepšit generování,

Výstupy

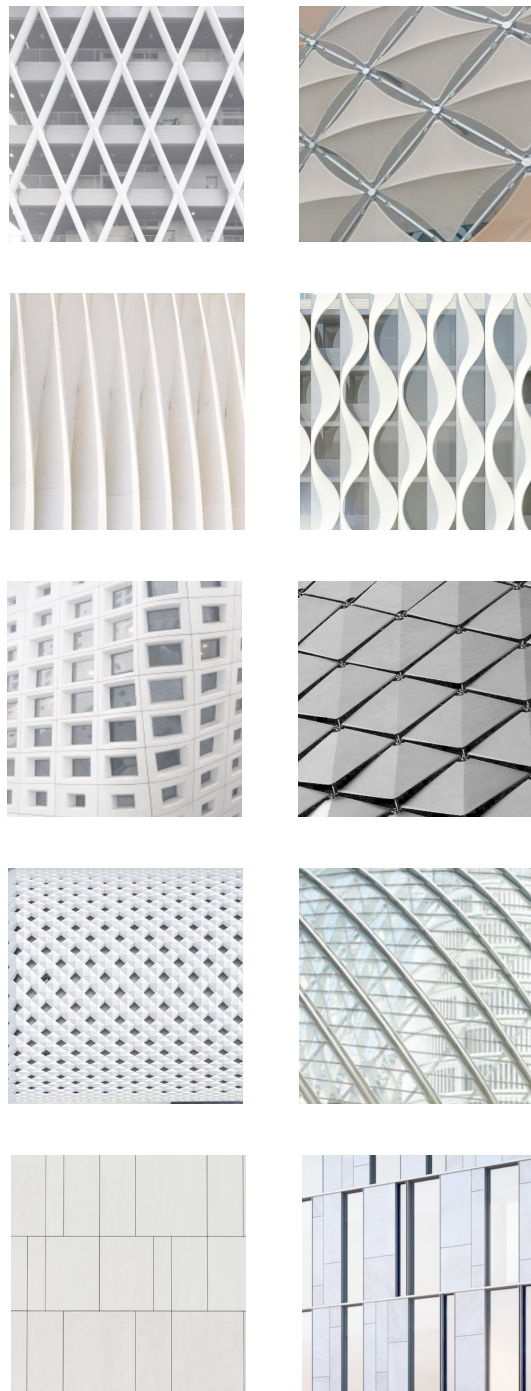
(nalevo předobraz, napravo výstup)



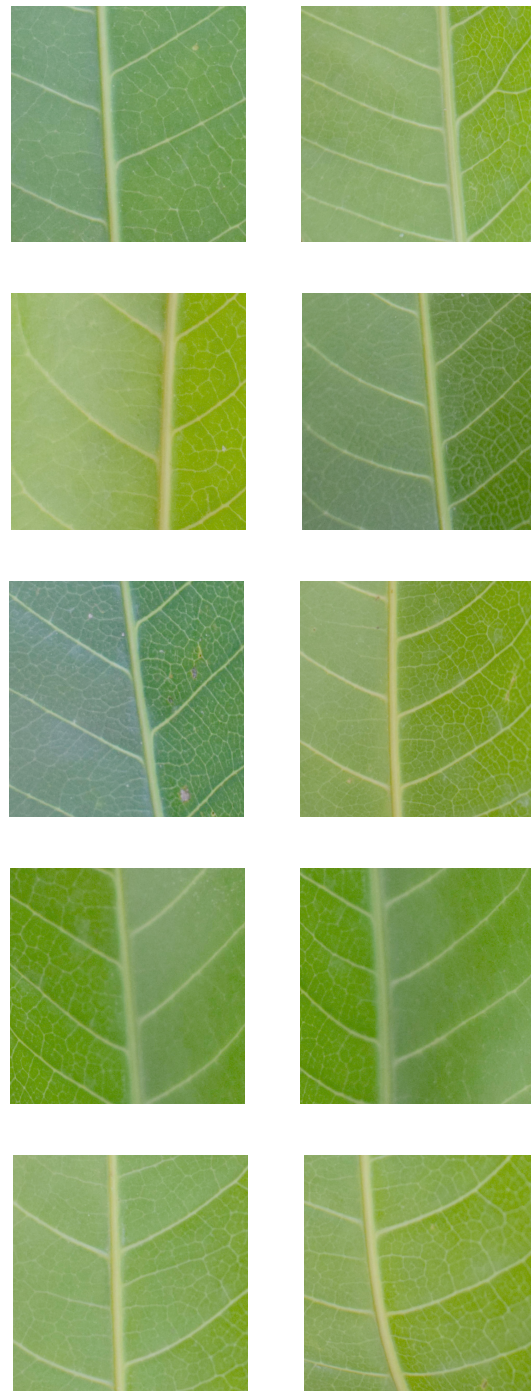
Na výstupech je patrné, že program stále nebyl schopen zkombinovat obrázky. Změna měřítka neměla žádný vliv na výsledek.



### Trénovací dataset fasády A



### Trénovací dataset listu B



Trénování sítě cycleGAN se vstupy obrázků fasád a listů manga. Obrázky mají rozlišení 512x512 pixelů. Dále jsem zkoušel testovat program na moderních fasádách.

### Výstupy

(nalevo předobraz, napravo výstup)

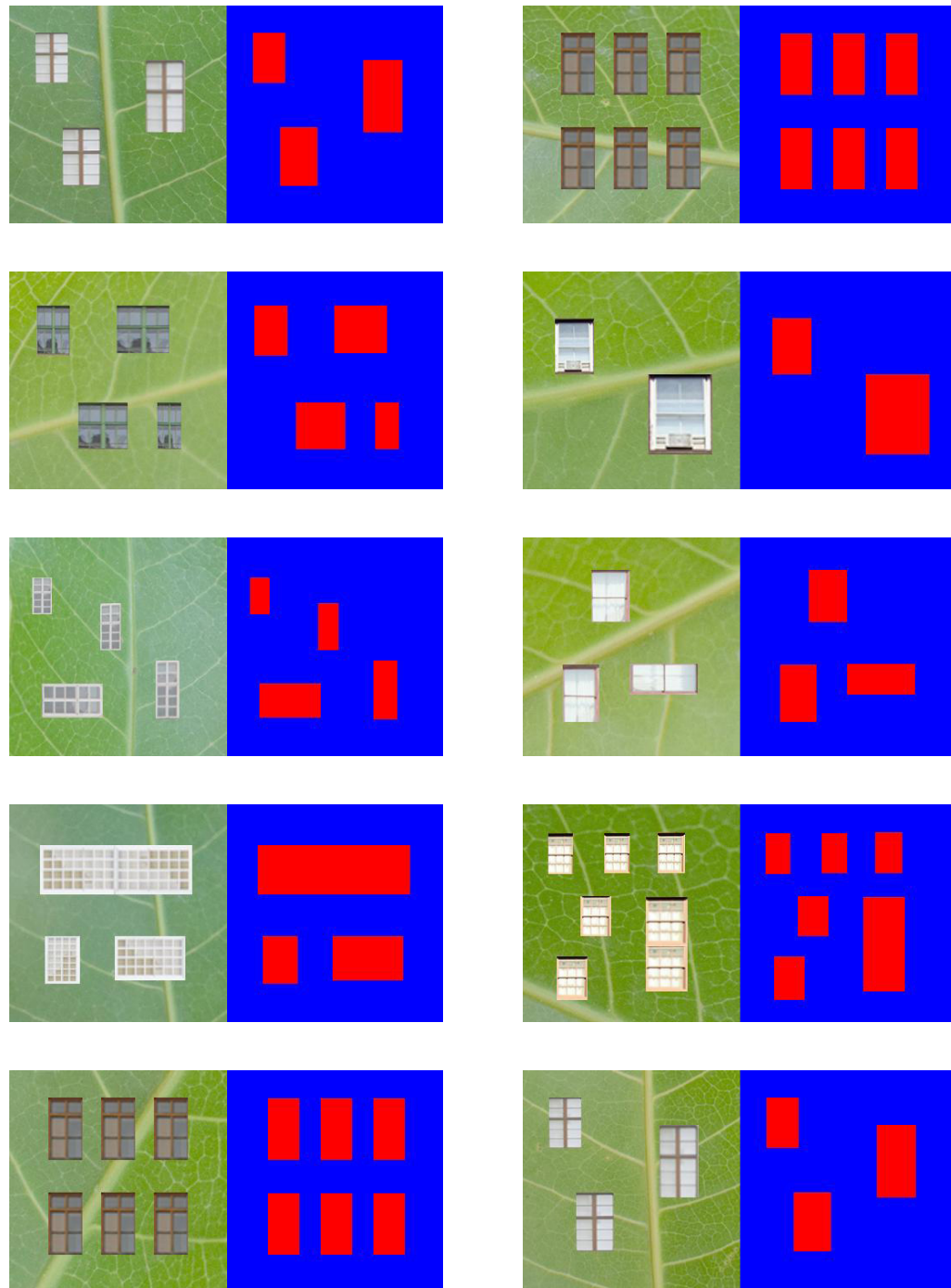


Na výstupech je patrné, že program stále nebyl schopen zkombinovat obrázky, i přesto že program začal reagovat na vstupní fasádu.



### Trénovací dataset

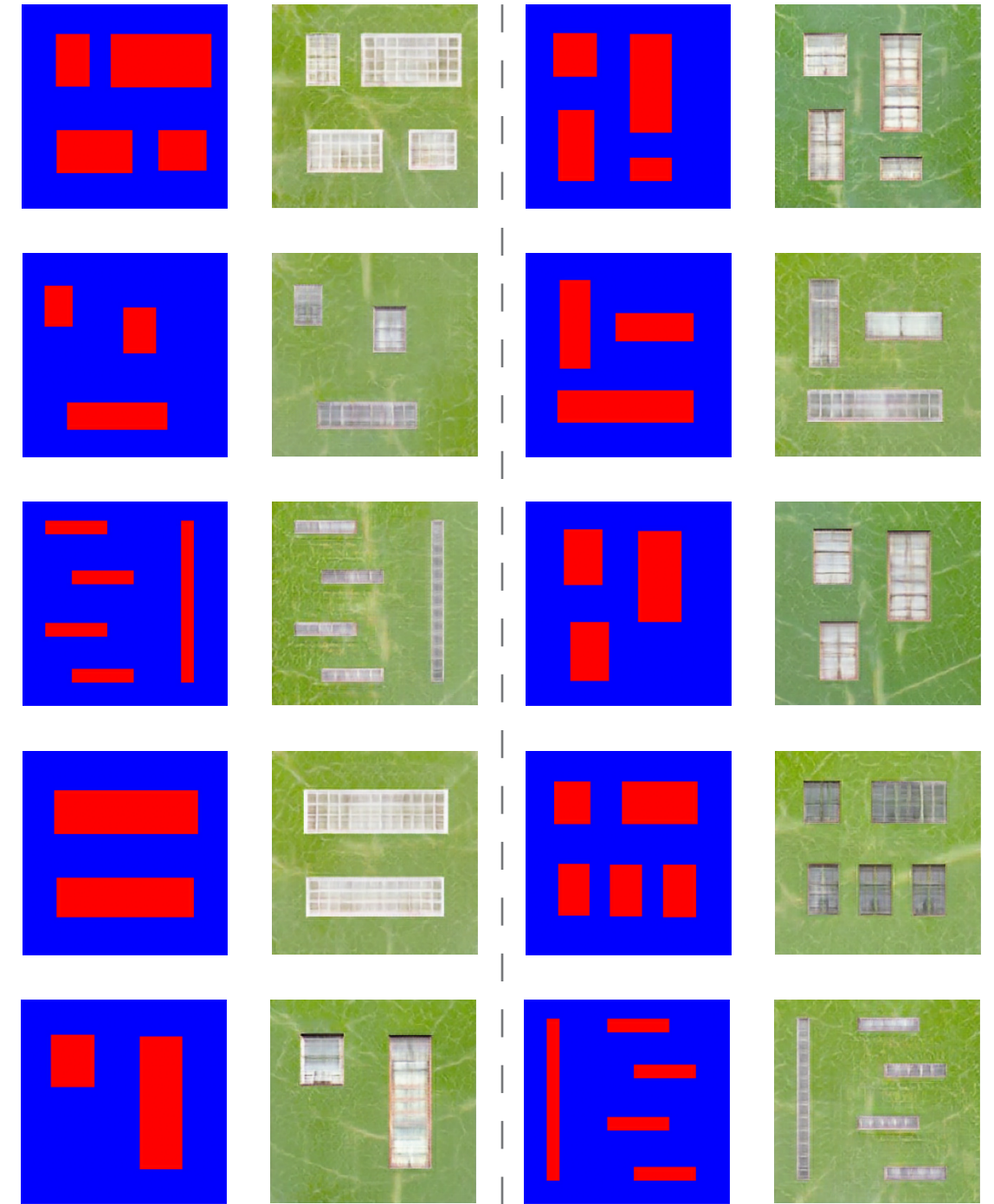
(nalevo upravený dataset listů, napravo trénovací vstup)



Využití programu Pix2pix: Vstupy se sestávají ze dvou trénovacích obrázků, které program automaticky rozsekává. Každý obrázek je v rozlišení 256x256.

### Výstupy

(nalevo předobraz, napravo výstup)

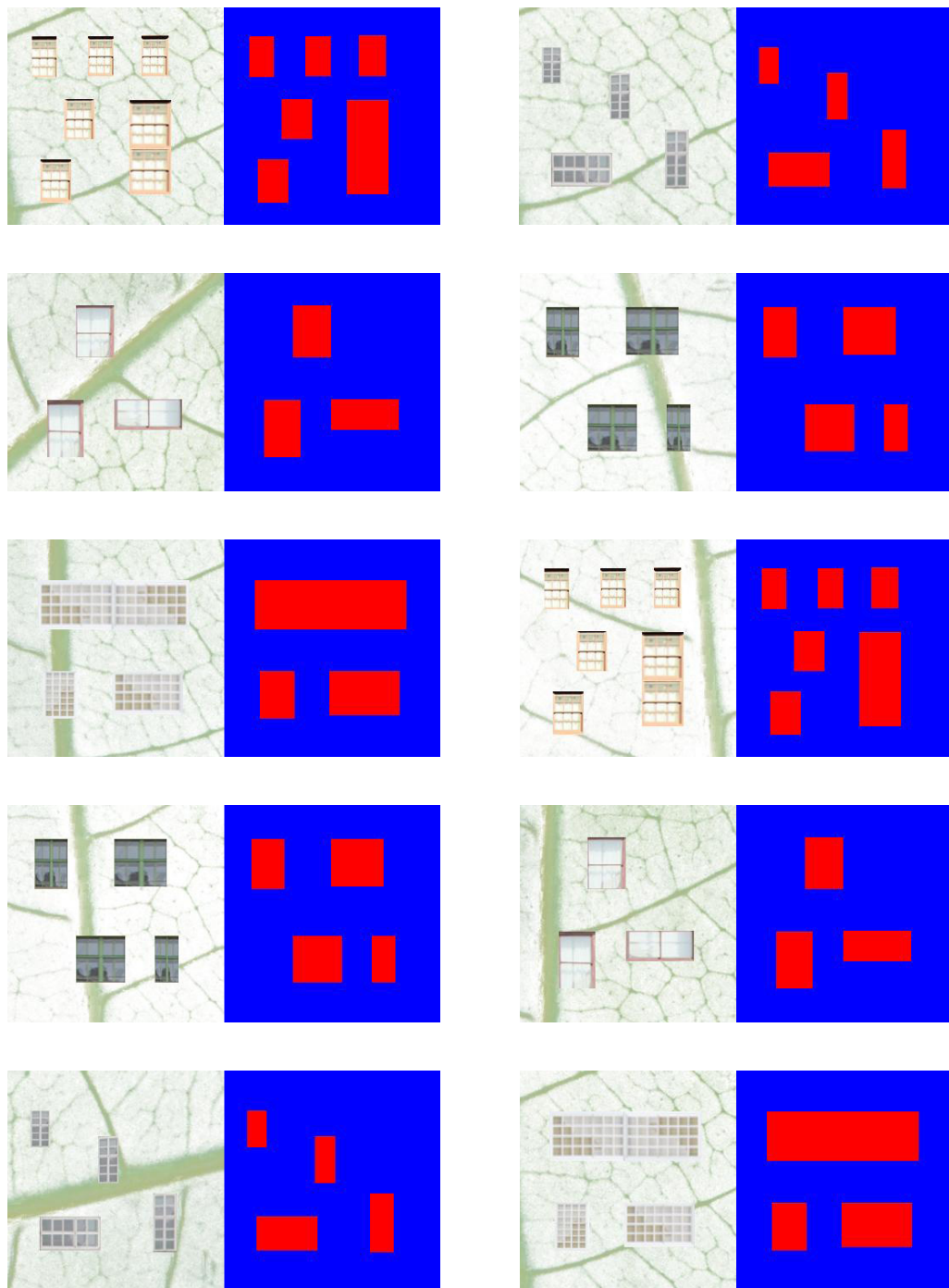


Pix2pix se ukázalo jako lepší volba pro generování vzorů. Vzor již tolik nepřipomíná trénovací dataset listů.



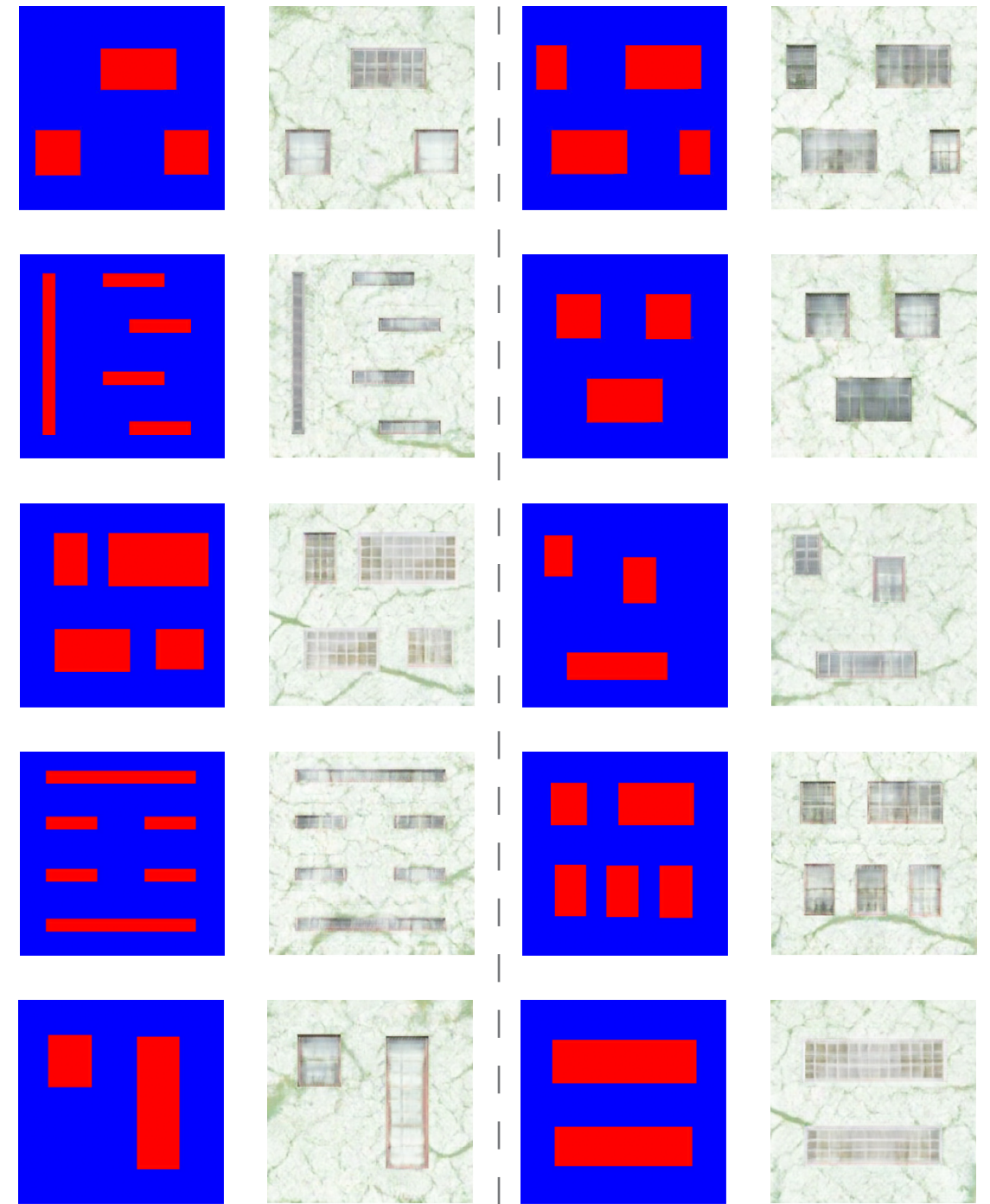
### Trénovací dataset

(nalevo upravený dataset listů, napravo trénovací vstup)



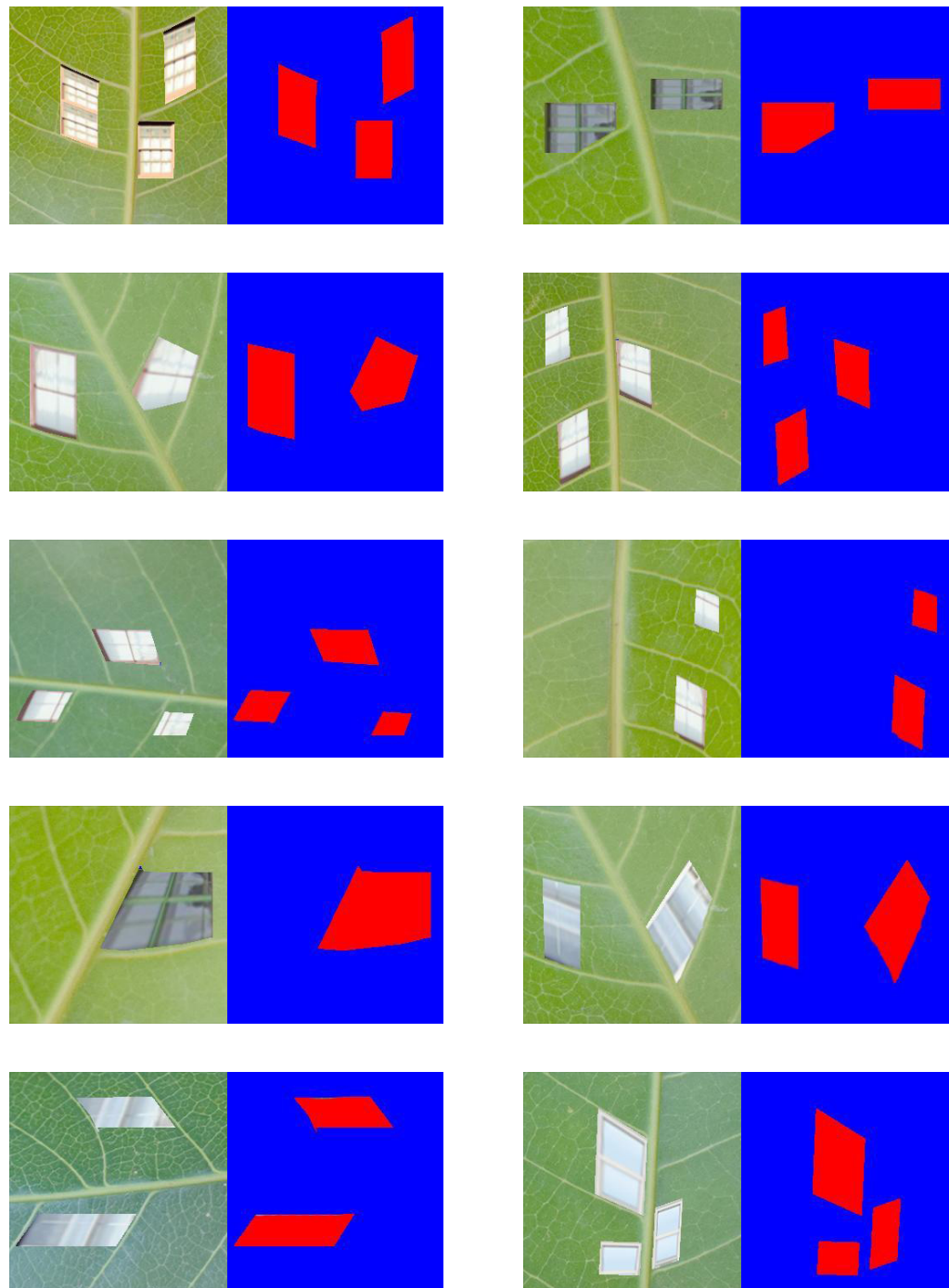
### Výstupy

(nalevo předobraz, napravo výstup)



## Trénovací dataset

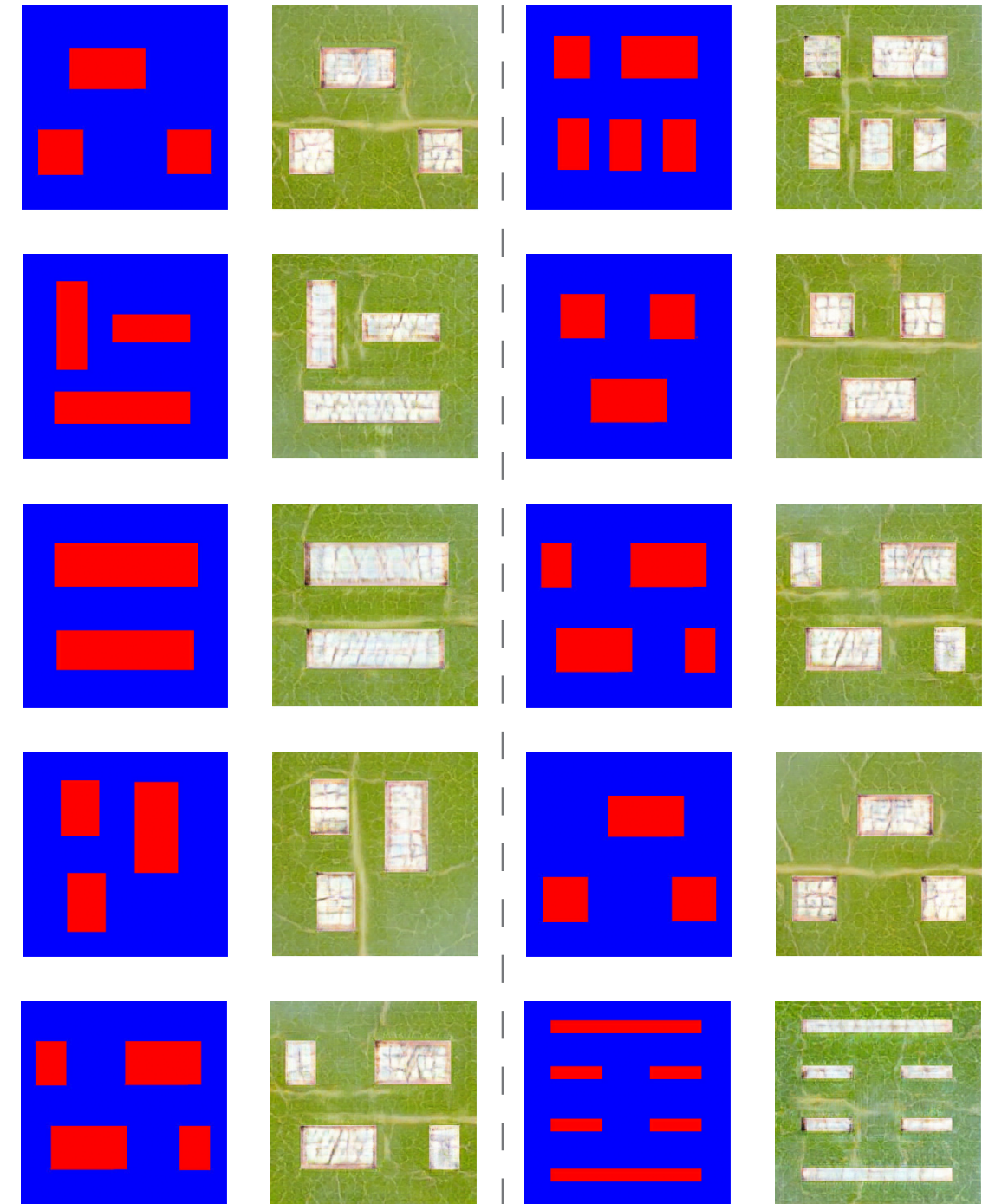
(nalevo upravený dataset listů, napravo trénovací vstup)



Využití programu Pix2pix. Upravil jsem okna u datasetu tak, že rám oken je ohraničený listovou žilnatinou. Doufal jsem, že výstupy budou vypadat obdobně.

## Výstupy

(nalevo předobraz, napravo výstup)

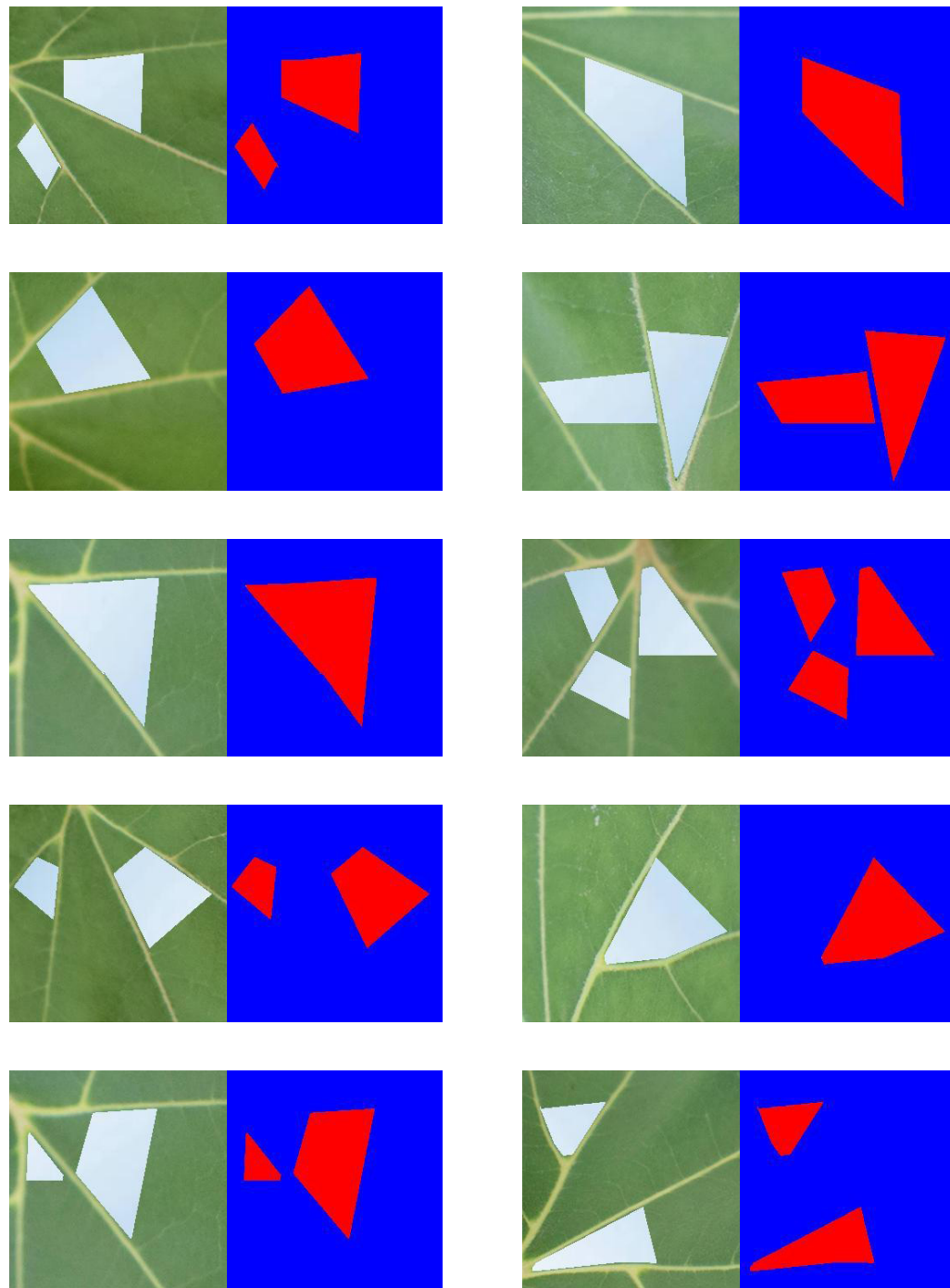


A opravdu výsledky začali vypadat slibně. Žilnatina opravdu začala obepínat okna. Tyto výstupy jsem použil při tvorbě budovy 2.



### Trénovací dataset

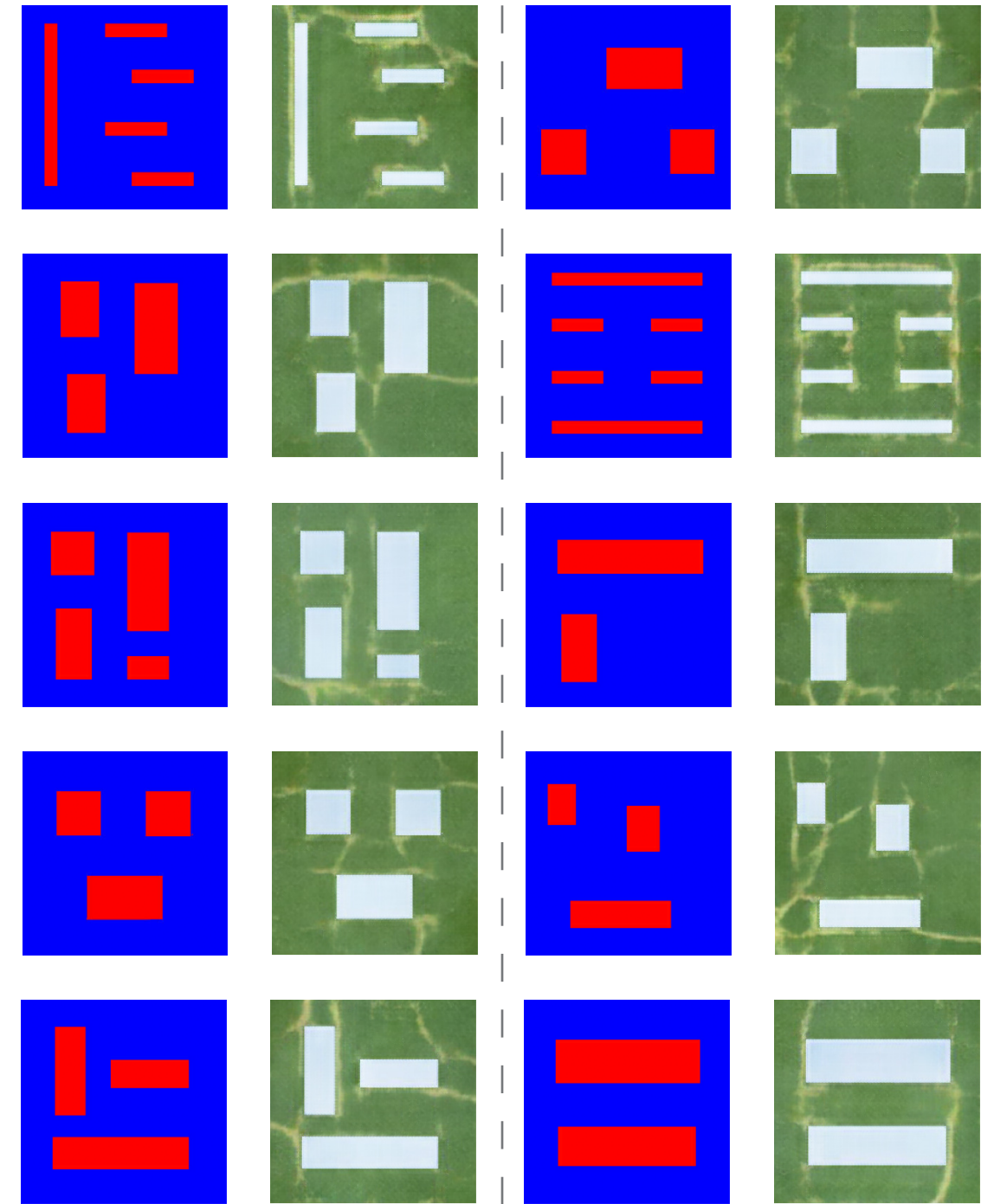
(nalevo upravený dataset listů, napravo trénovací vstup)



Využití programu Pix2pix. Místo listů manga jsem použil listy javoru.

### Výstupy

(nalevo předobraz, napravo výstup)

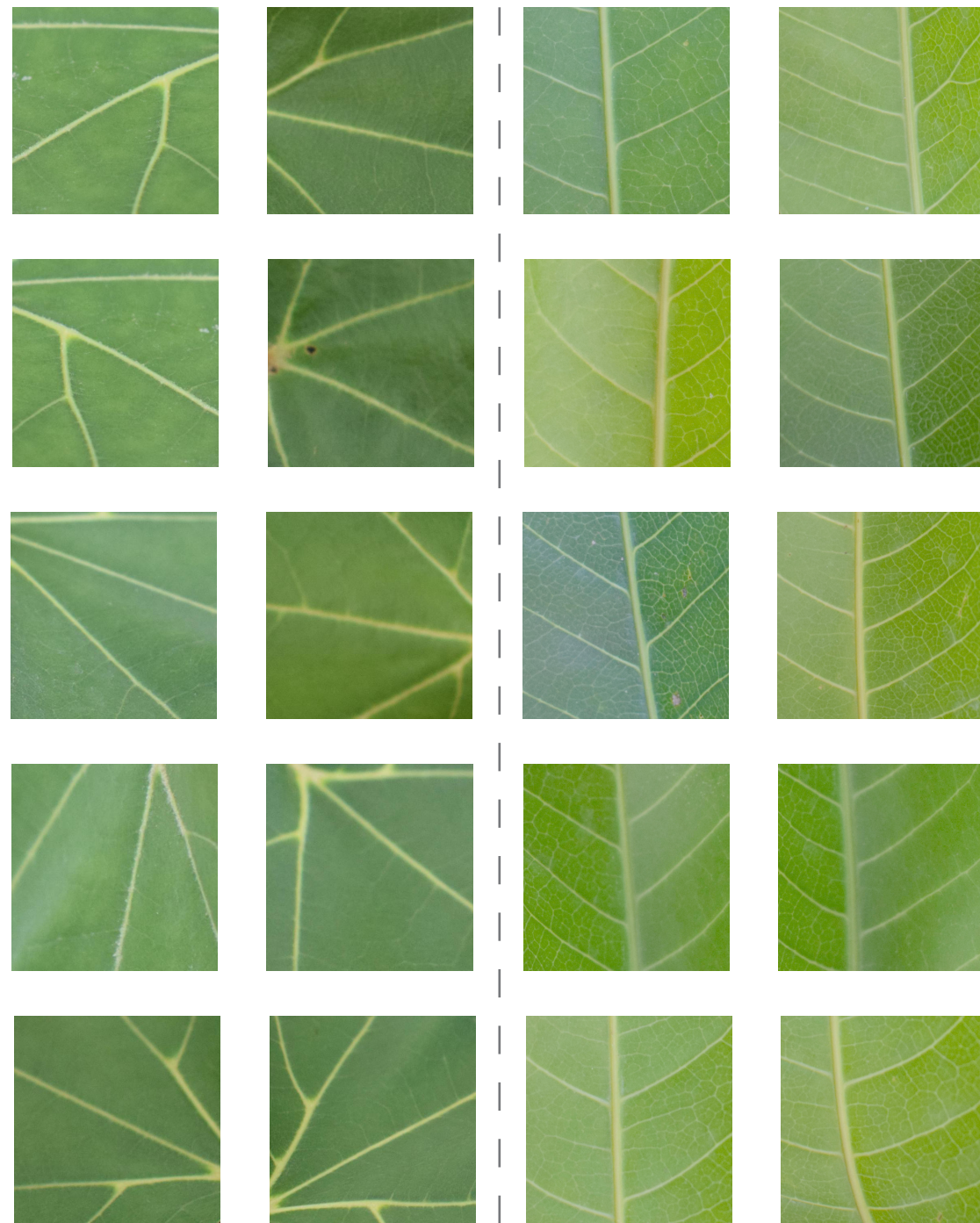


Tyto výstupy jsem použil při tvorbě budovy 1, kterou jsem demonstroval v části generování bytových budov.



Trénovací dataset listu- A javor

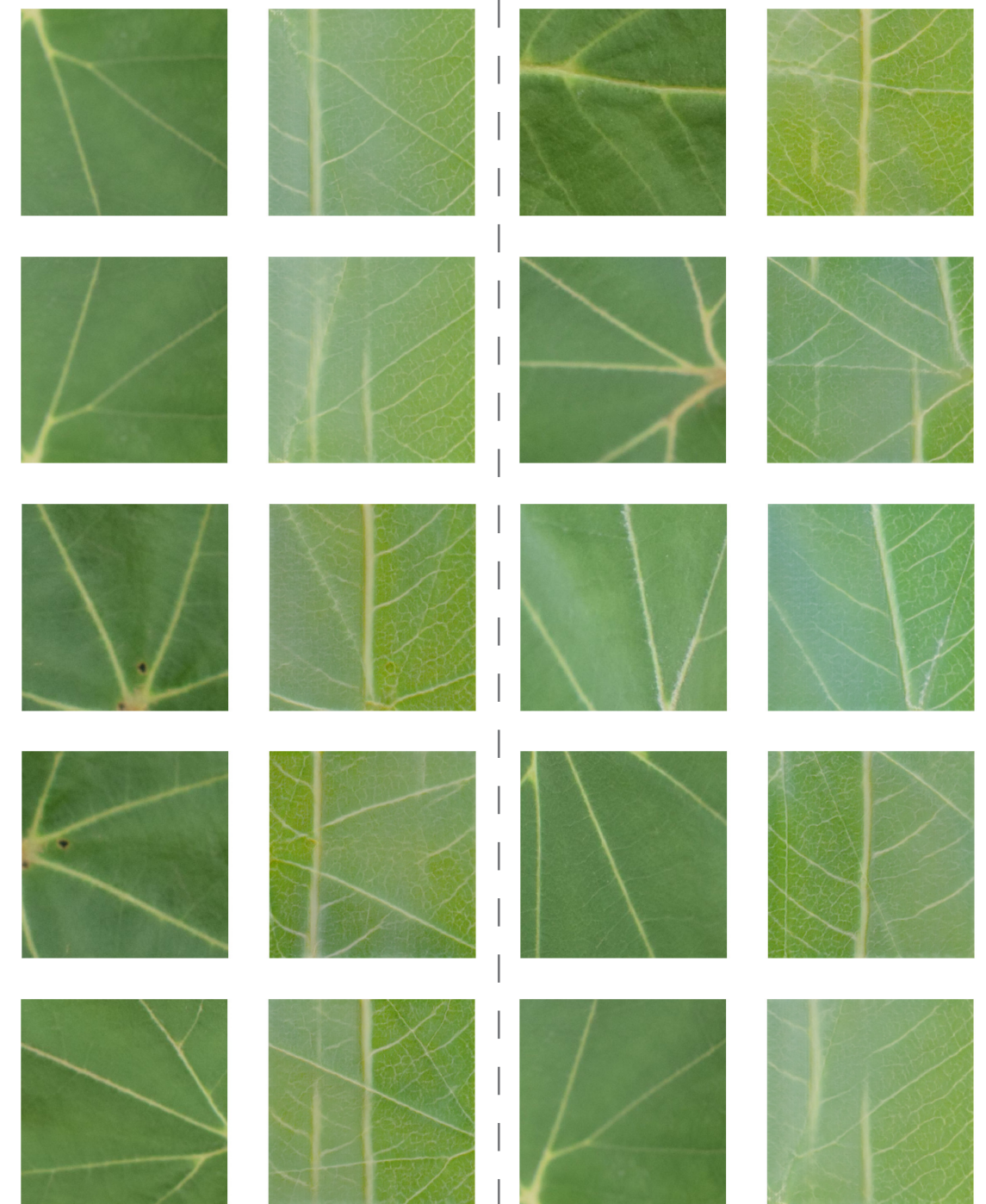
Trénovací dataset listu- B mango



Při generování jsem docílit ještě zajímavějších výsledků a proto jsem se snažil za pomoci CycleGAN kombinovat listy manga a javoru.

Výstupy

(nalevo předobraz, napravo výstup)

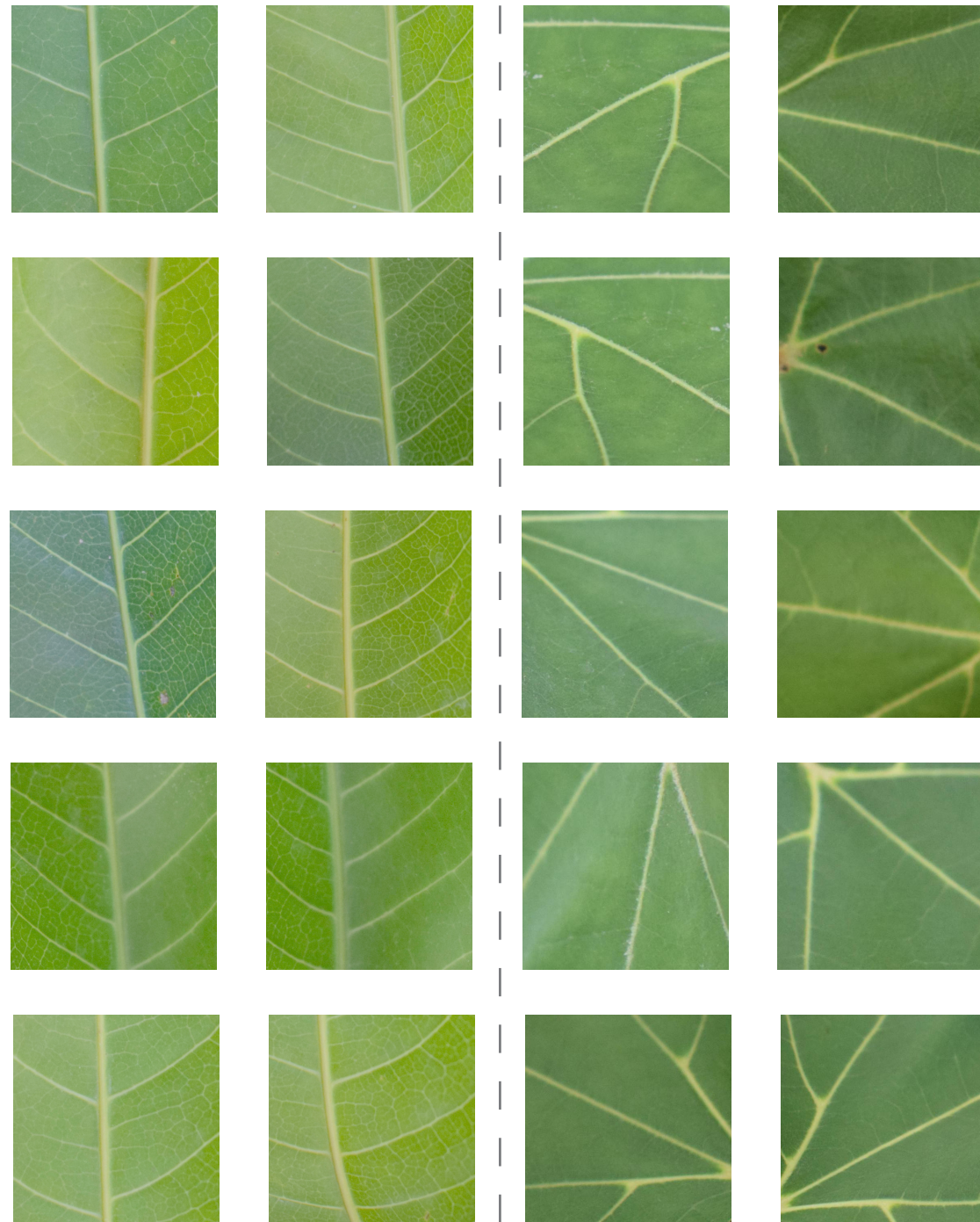


Tyto výstupy jsem použil jako vstupy pro generování budovy 3.



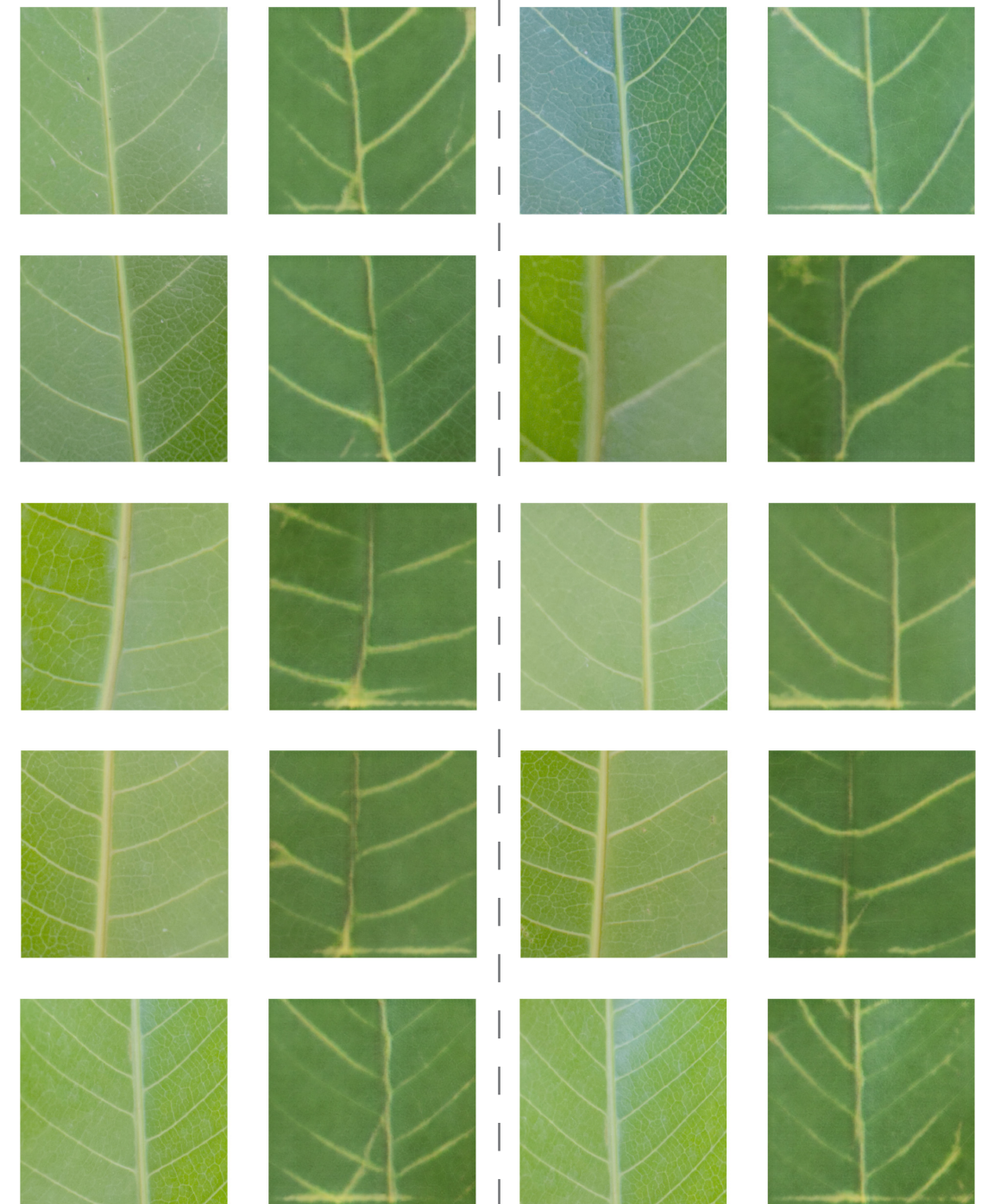
Trénovací dataset listu- A mango

Trénovací dataset listu- B javor



Výstupy

(nalevo předobraz, napravo výstup)

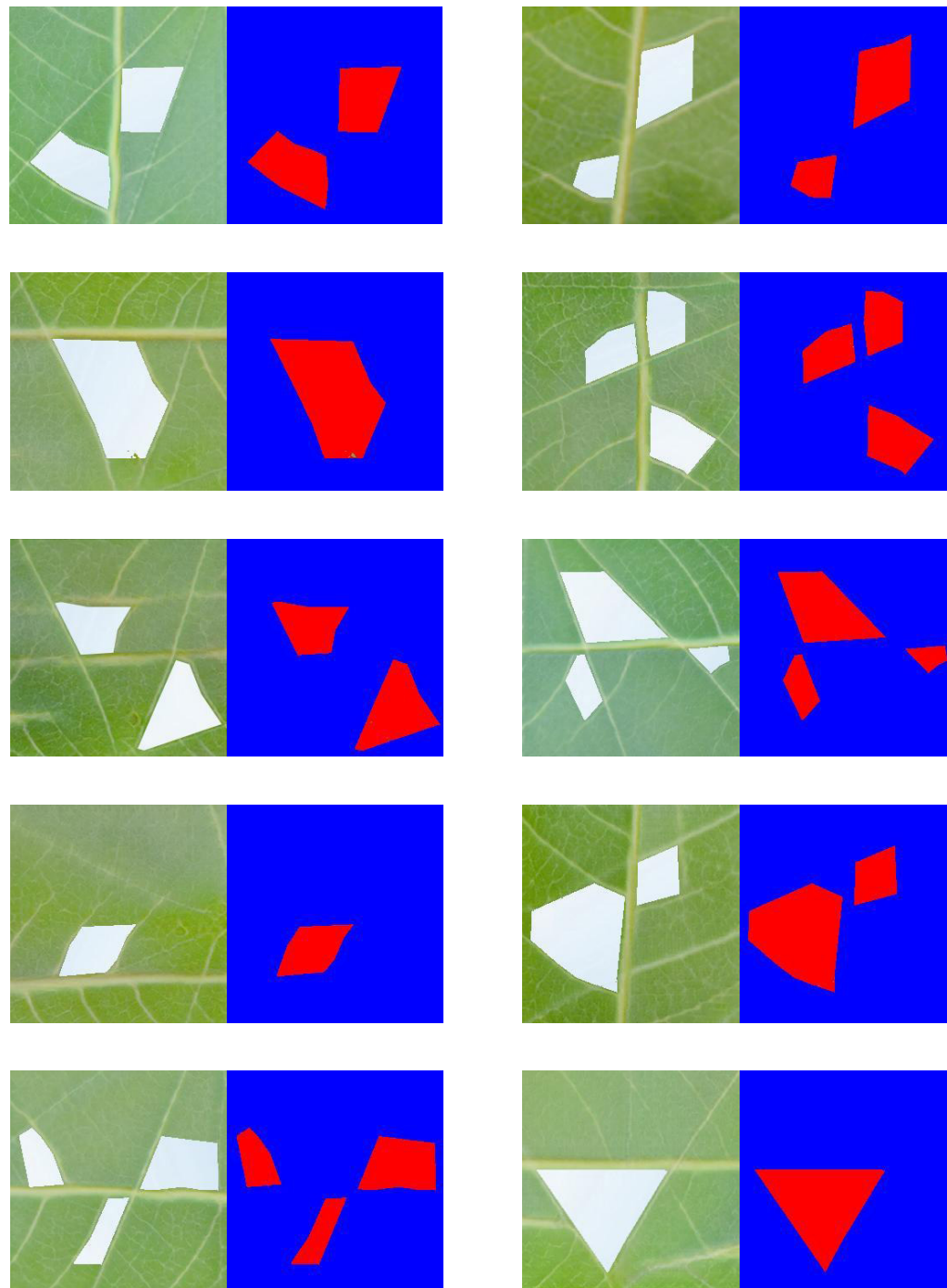


Zde jsem vyměnil datasety a pozovoval jak tato změna ovlivní výstup.



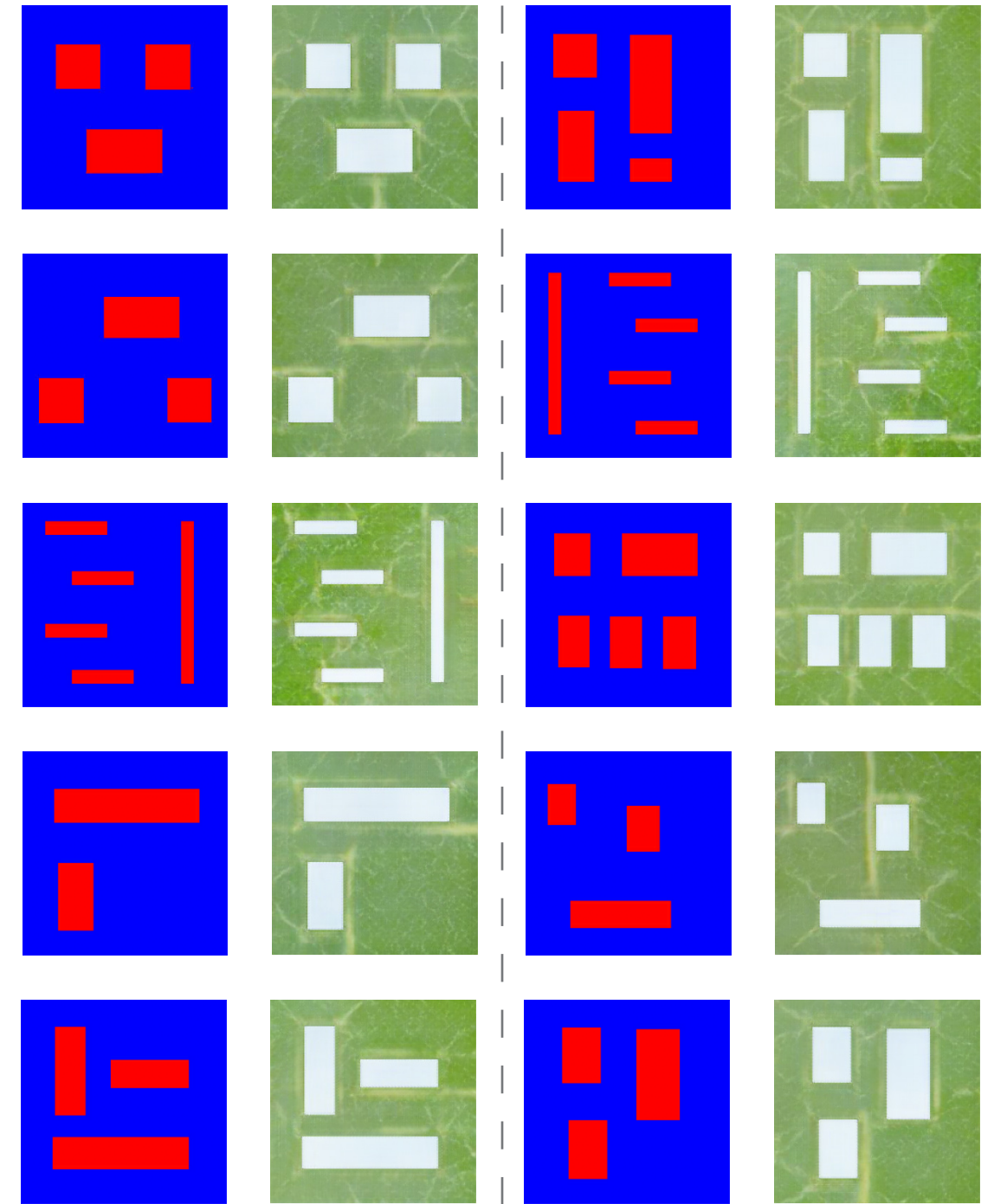
### Trénovací dataset

(nalevo upravený dataset listů, napravo trénovací vstup)



### Výstupy

(nalevo předobraz, napravo výstup)



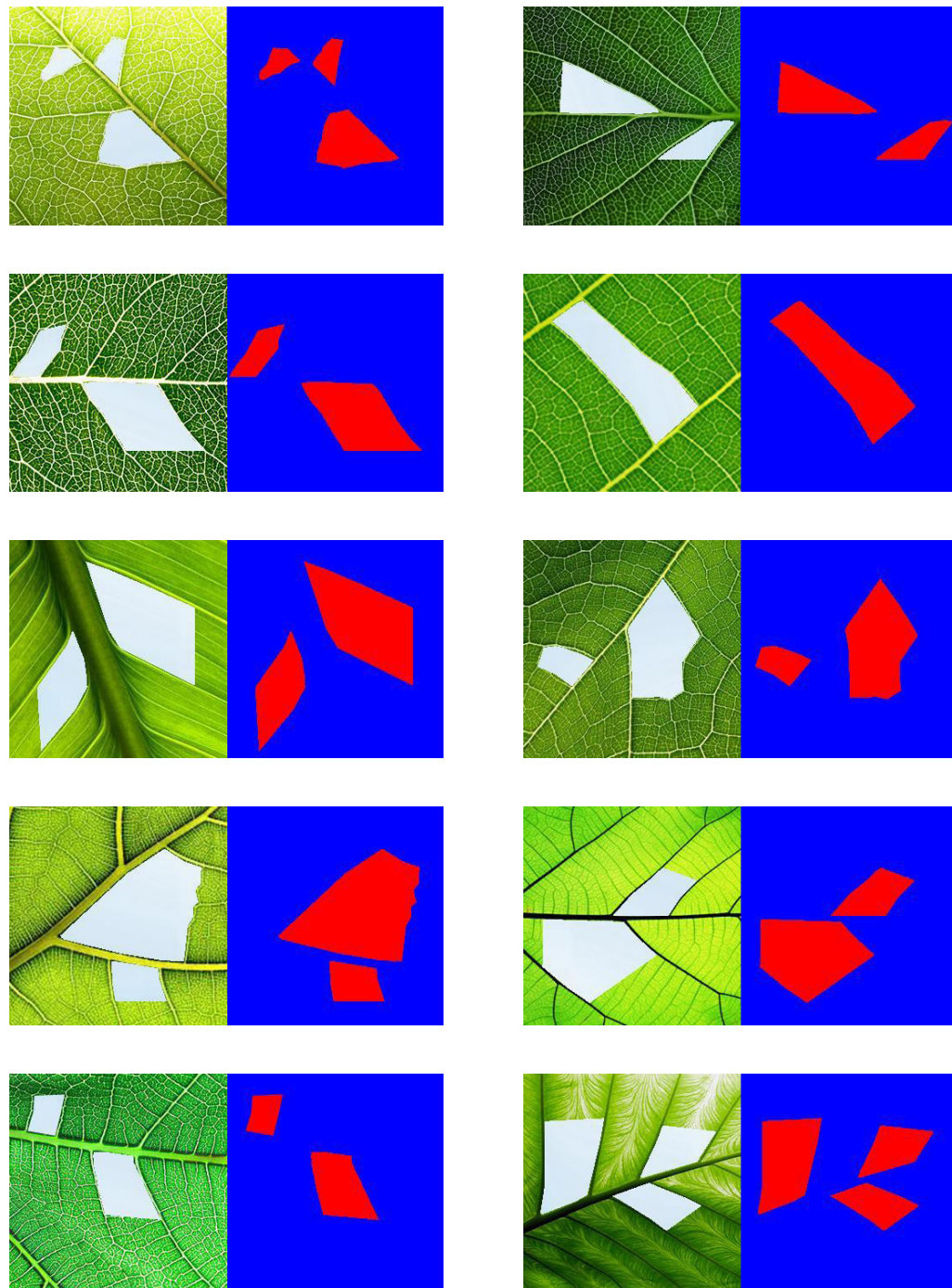
Využití programu Pix2pix. Místo listů manga jsem použil kombinaci listů javoru A a manga B.

Tyto výstupy jsem použil při tvorbě budovy 3.



## Trénovací dataset

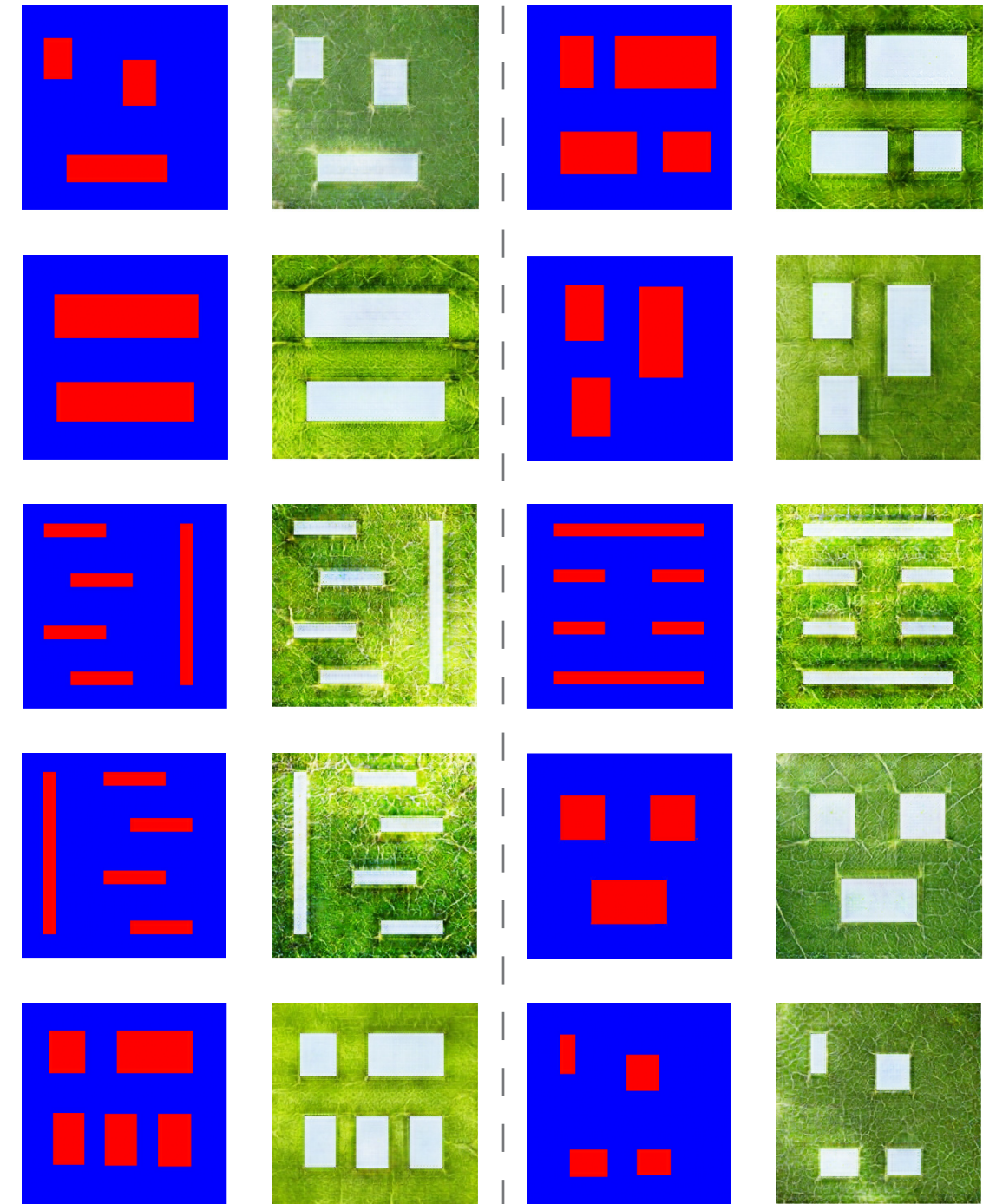
(nalevo upravený dataset listů, napravo trénovací vstup)



Využití programu Pix2pix. Jako vstup jsem použil absolutně náhodnou sadu listů a pozoroval jsem, jaké z toho vzniknou výsledky.

## Výstupy

(nalevo předobraz, napravo výstup)

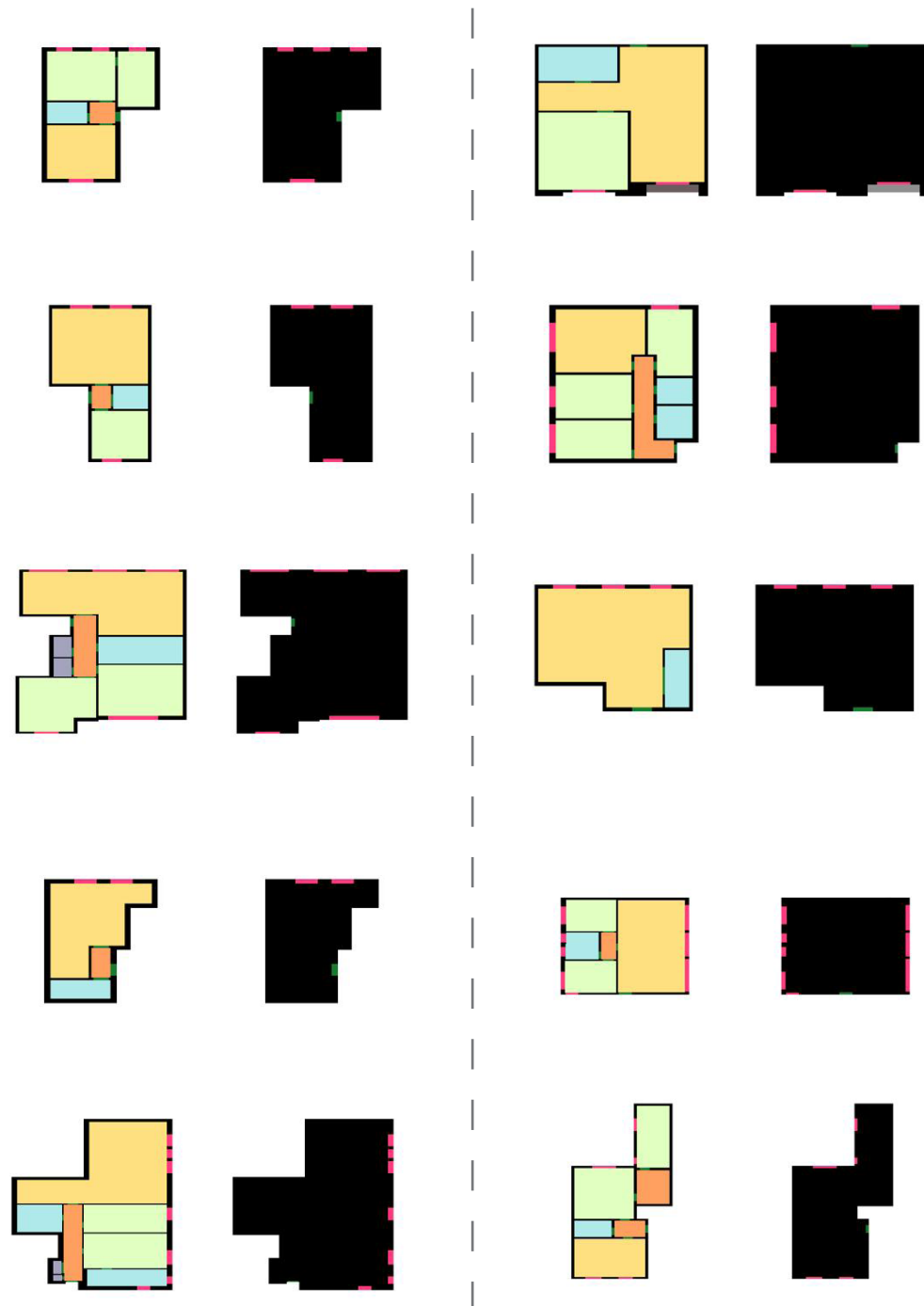


Z výsledků jsem byl potěšen, a proto jsem tyto výstupy použil při tvorbě budovy 4.

# Generování půdorysů

## Trénovací dataset

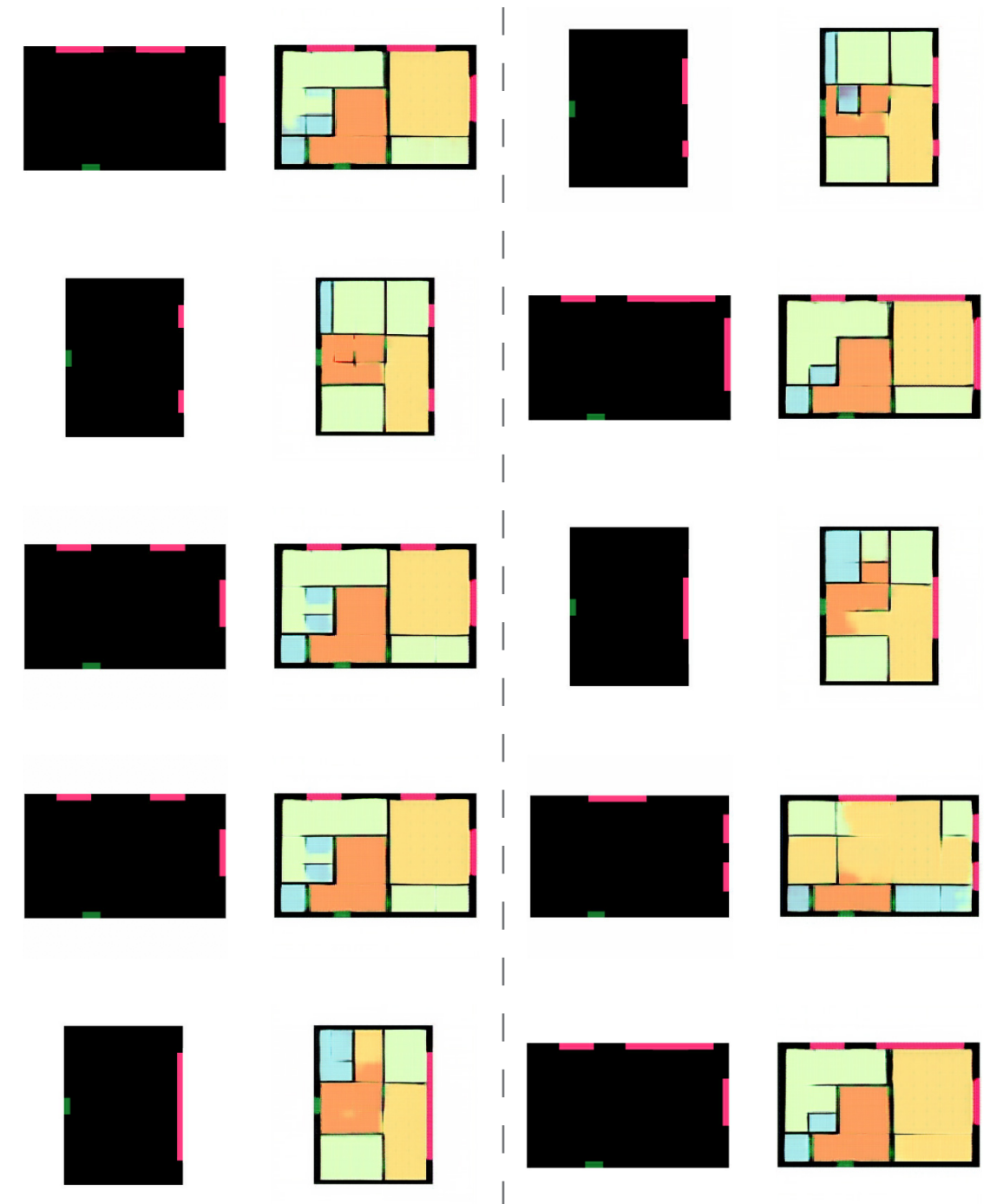
(nalevo dataset půdorysů rozdělených na zóny, napravo trénovací vstup)



Zde ukáži generování půdorysů s pomocí Pix2pix. Zprvu jsem generoval půdorysy se zónami a příčkami z jednoduchých obrázků s okny a dveřmi.

## Výstupy

(nalevo předobraz, napravo výstup)

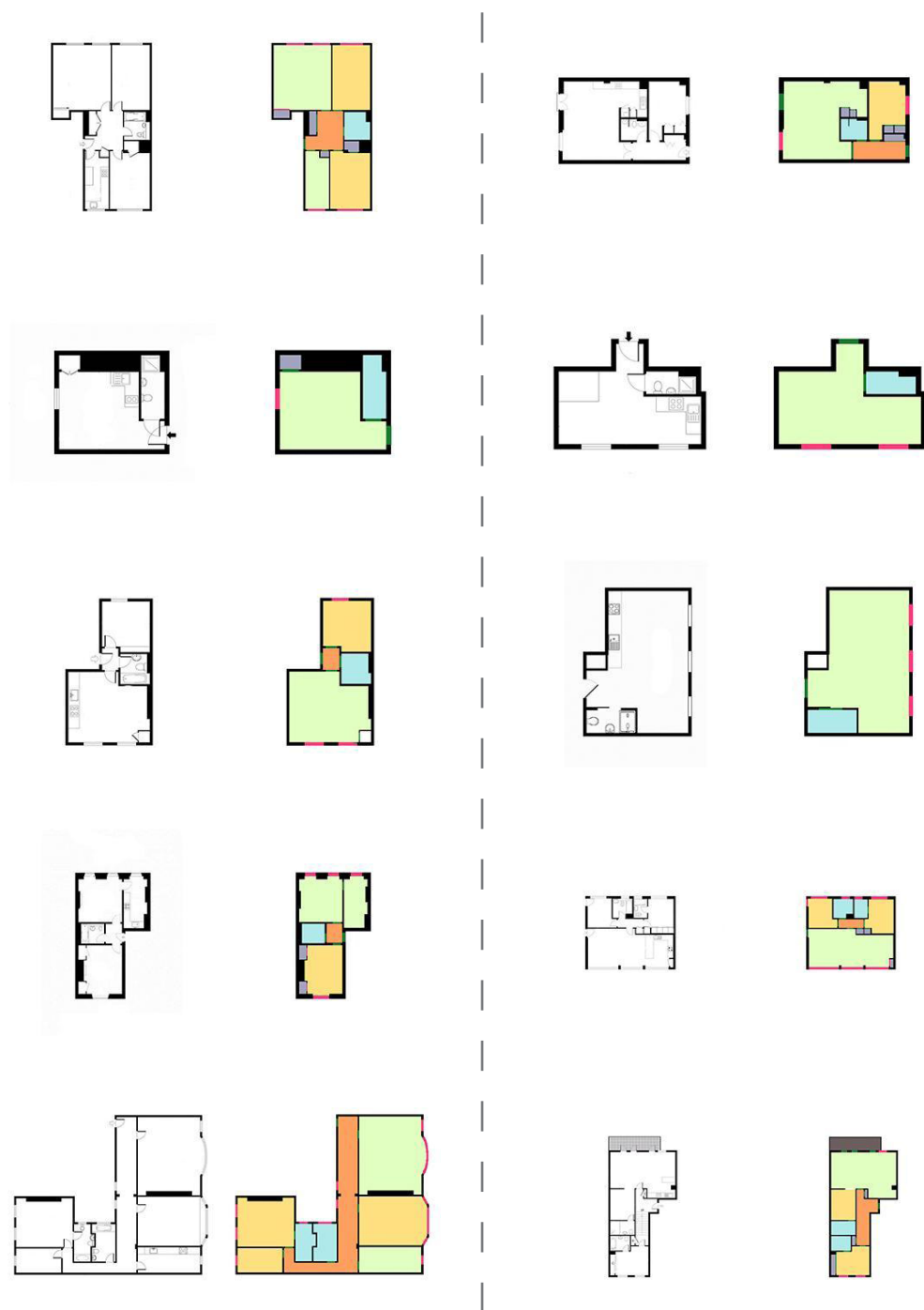


Zde je vidět, jak vypadají neupravené výstupy ze sítě. Je vidět, že i přes jiné uspořádání oken, program generuje půdorysy velmi podobně.



## Trénovací dataset

(nalevo dataset půdorysů rozdělených na zóny, napravo trénovací vstup)



Zde ukáži generování půdorysů opět s pomocí Pix2pix. Nyní jsem generoval půdorysy s interiérem na základě předchozích upravených půdorysů se zónami a příčkami z jednoduchých obrázků s okny a dveřmi.

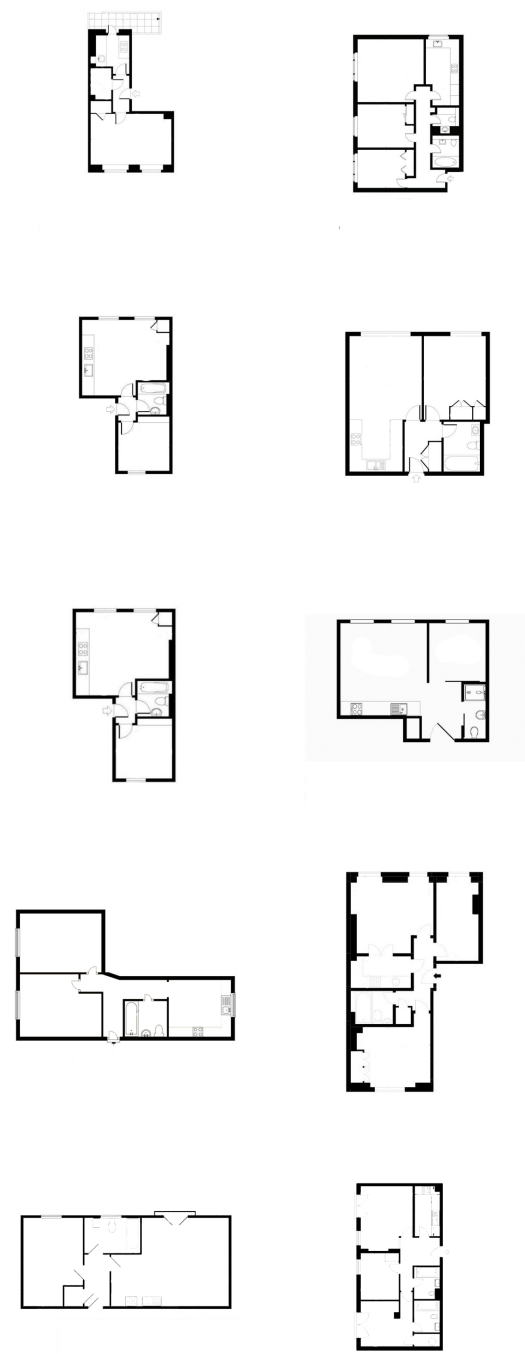
## Výstupy

(nalevo předobraz, napravo výstup)

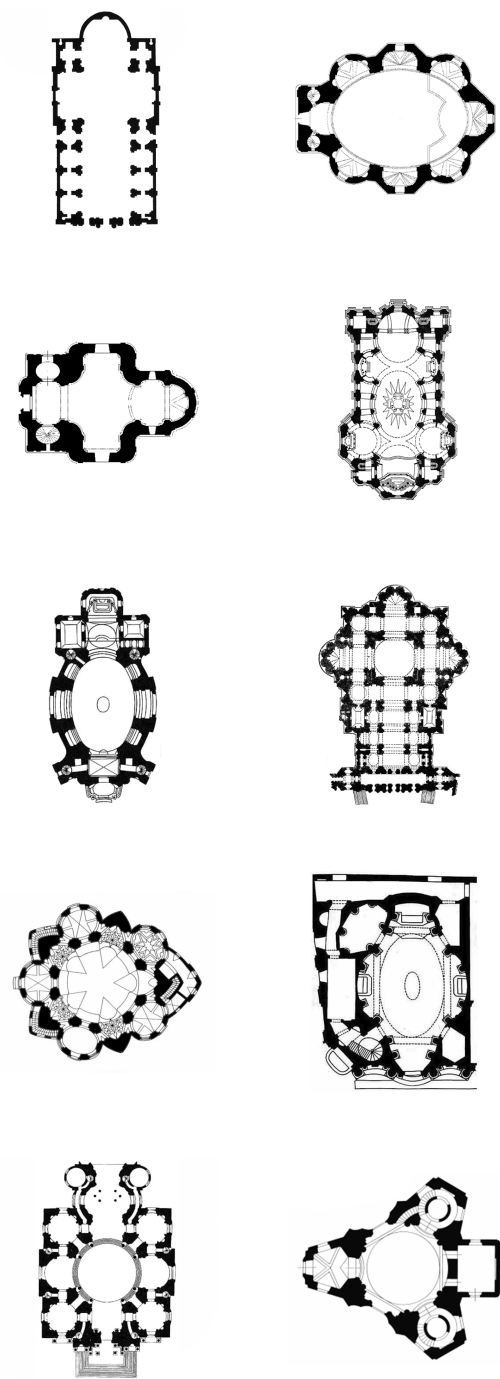


Zde je vidět, jak vypadají další neupravované výstupy ze sítě. Tyto výstupy jsem pak po úpravě použil jako vstup do následující sítě.

Trénovací dataset A-  
klasické půdorysy

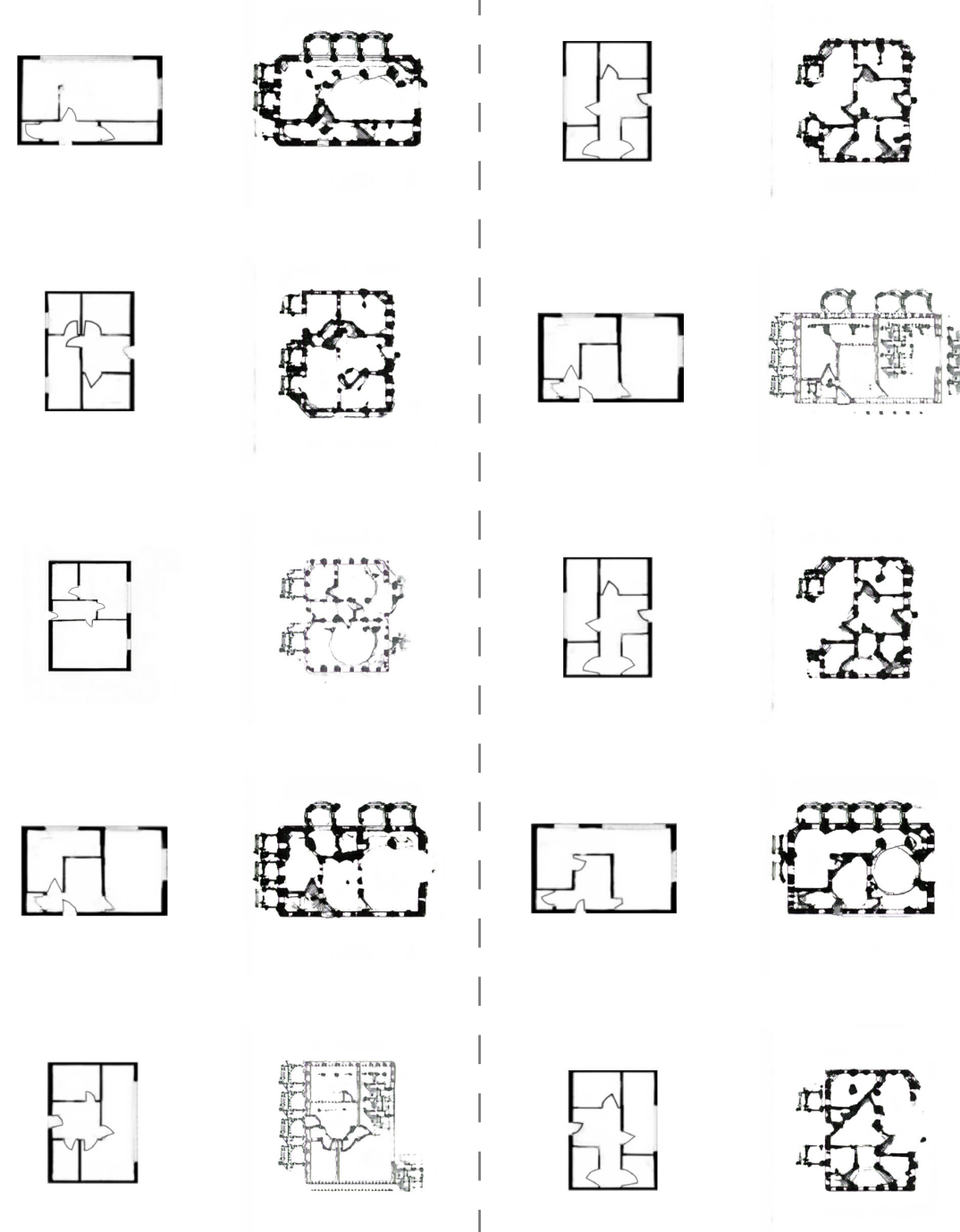


Trénovací dataset- B barokní  
půdorysy



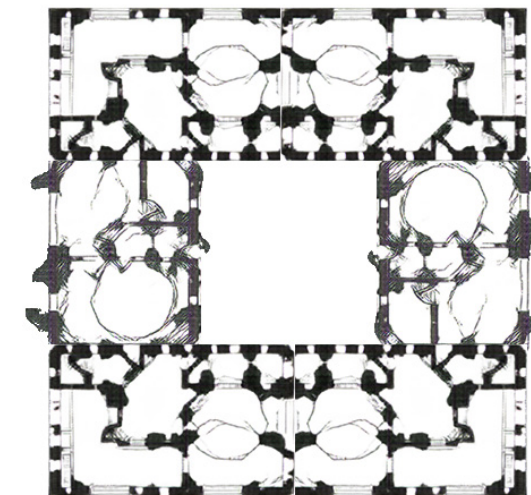
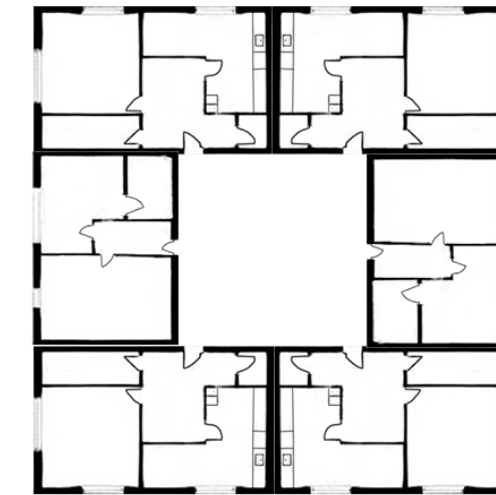
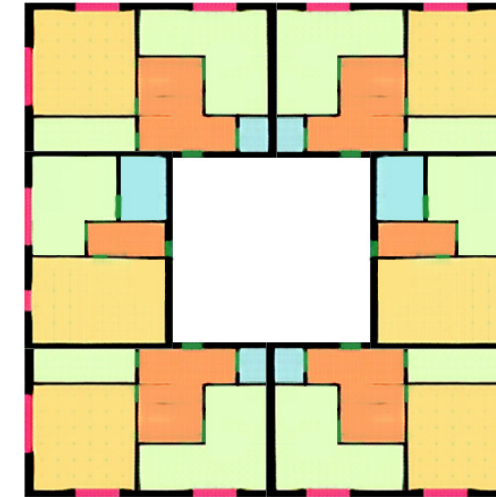
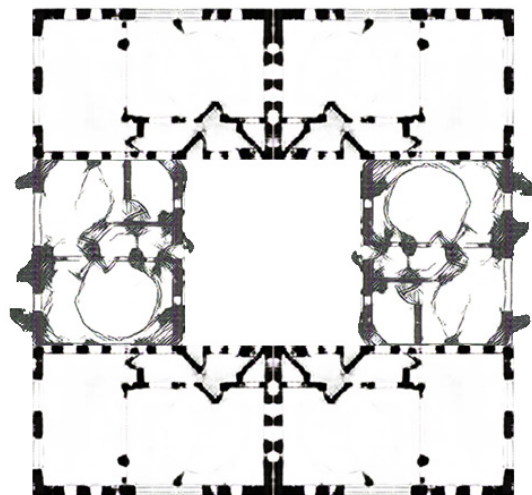
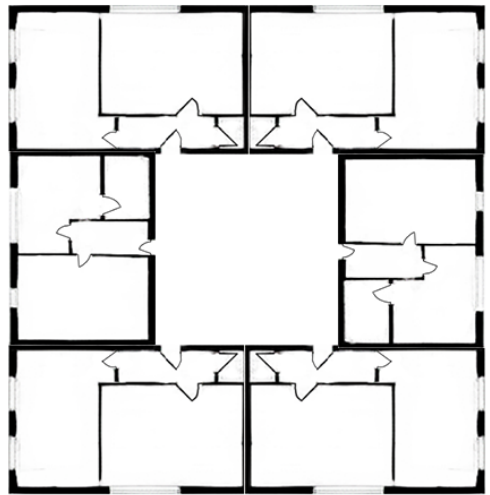
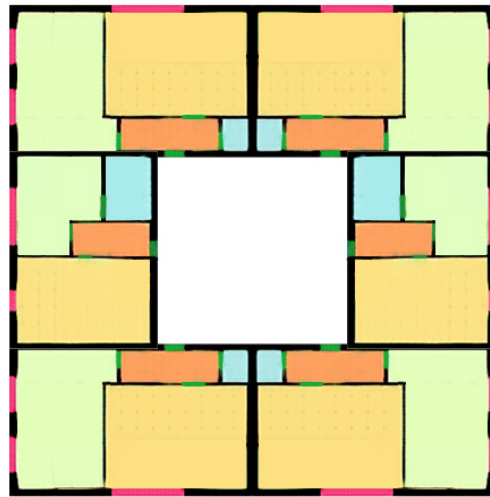
Výstupy

(nalevo předobraz z předchozí sítě, napravo výstup)



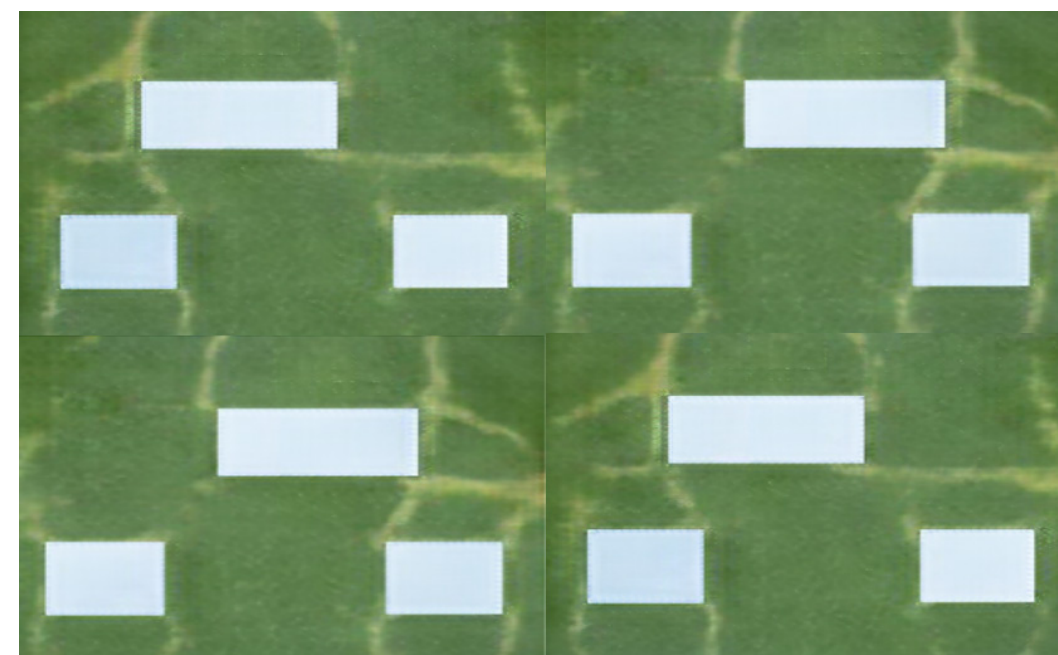
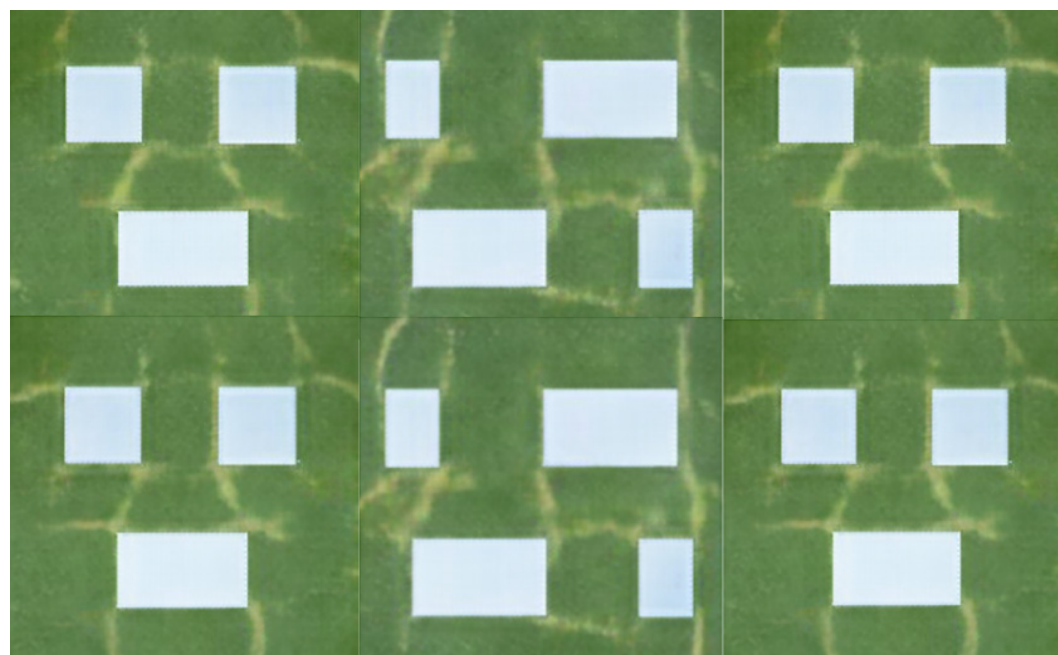
Využití CycleGanu pro změnu stylu.





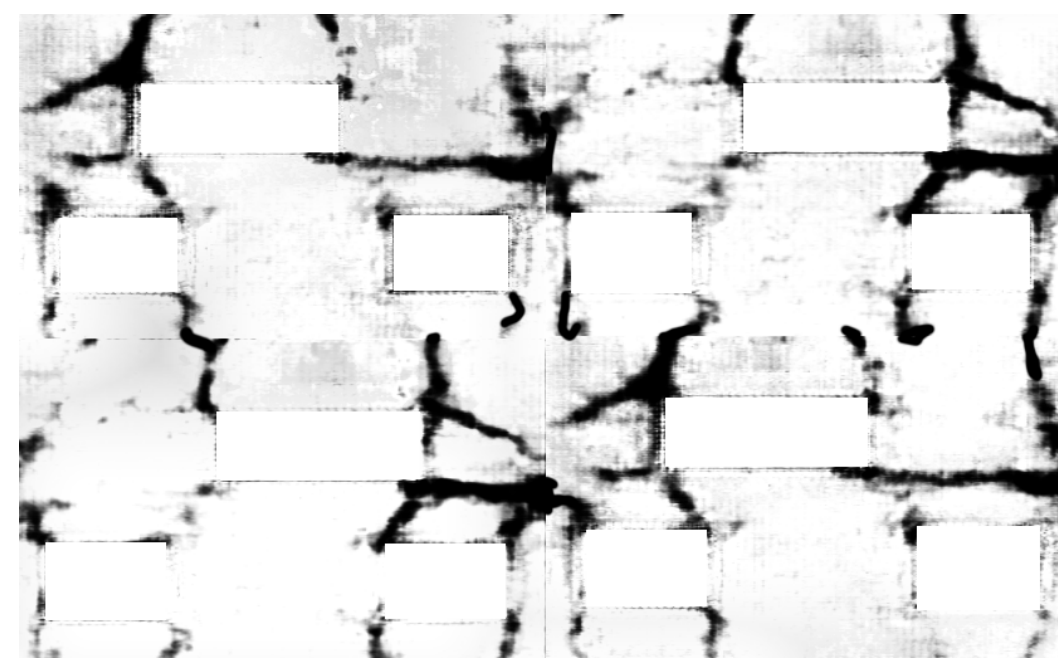
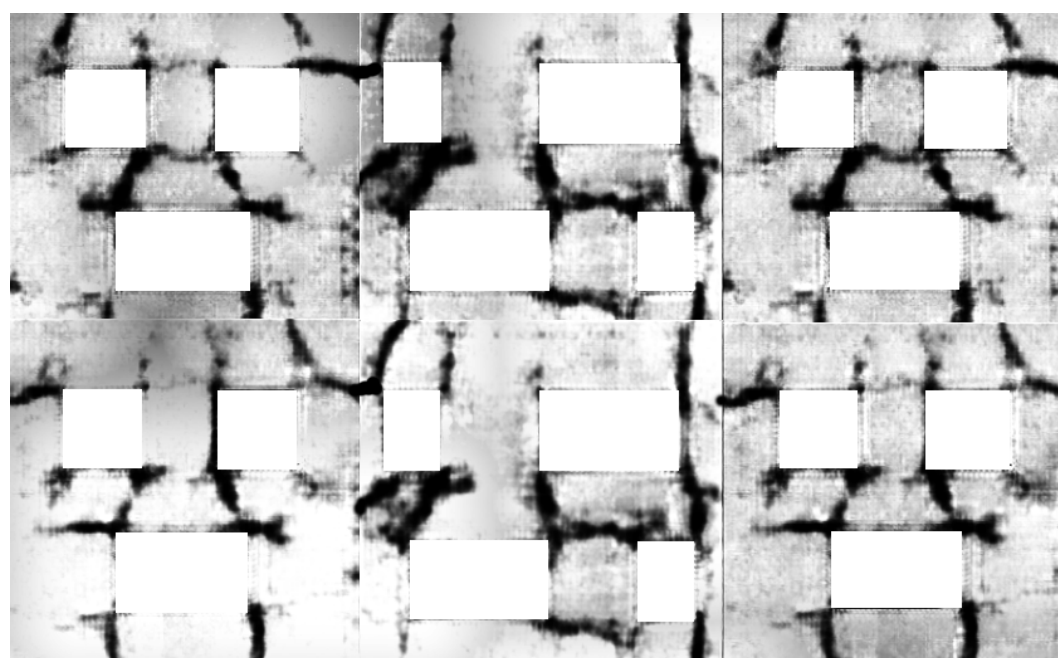
Tvorba fasád- 1. budova - javor

---



-----

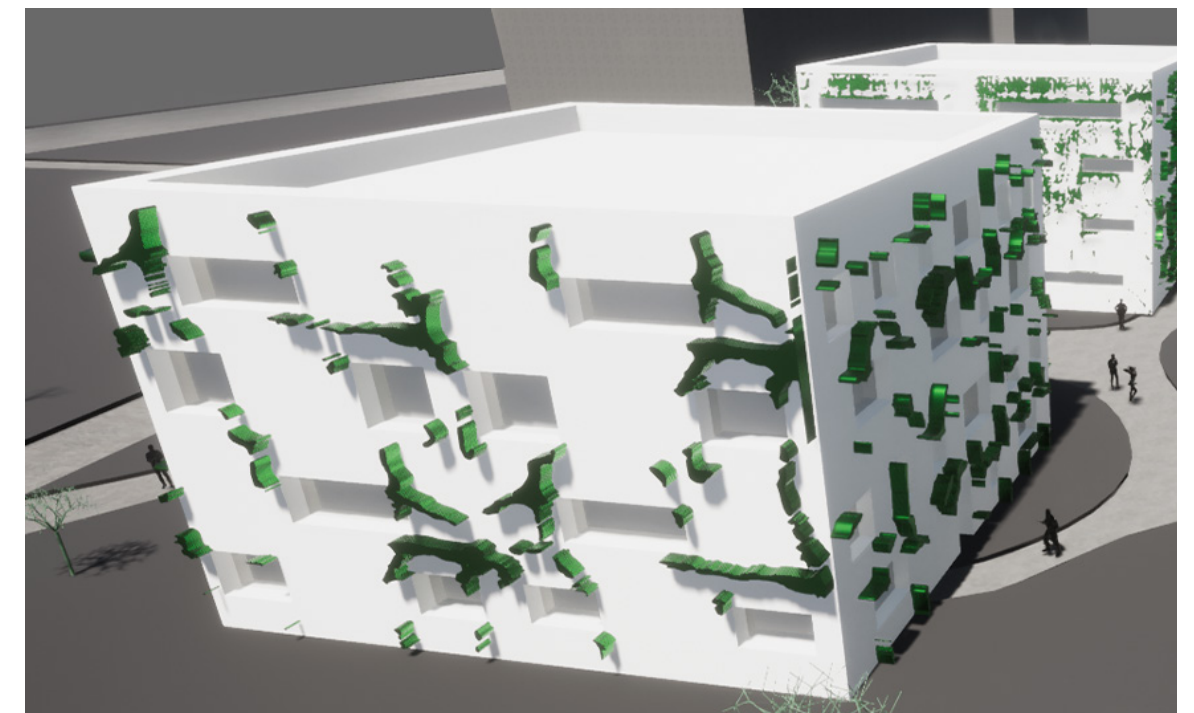
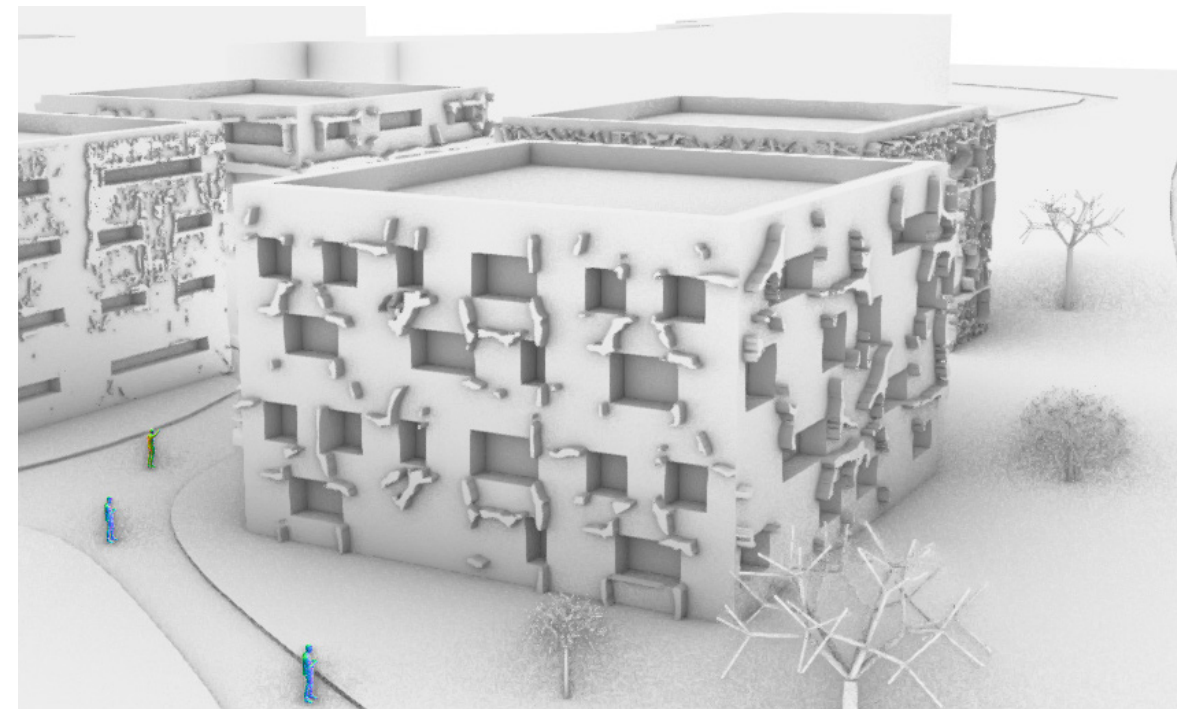
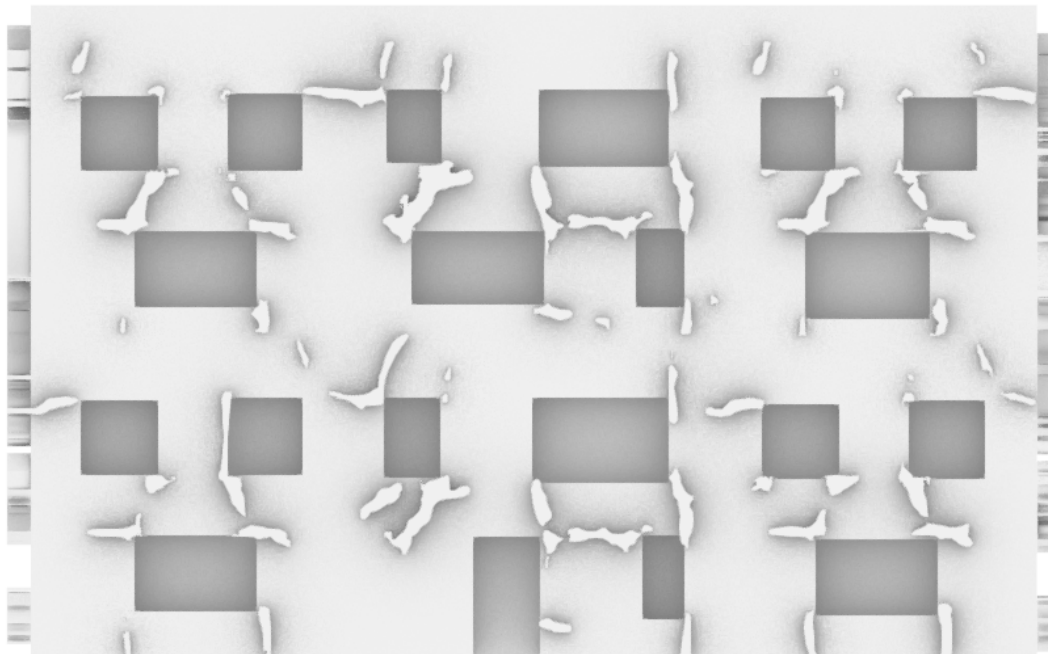
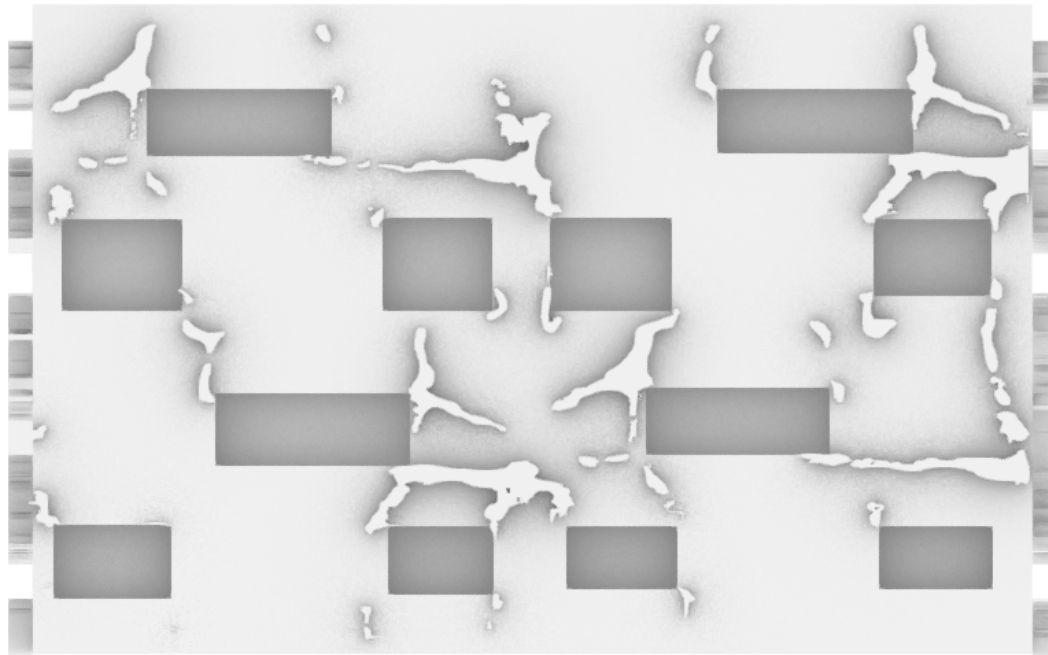
-----





Model - 1. budova

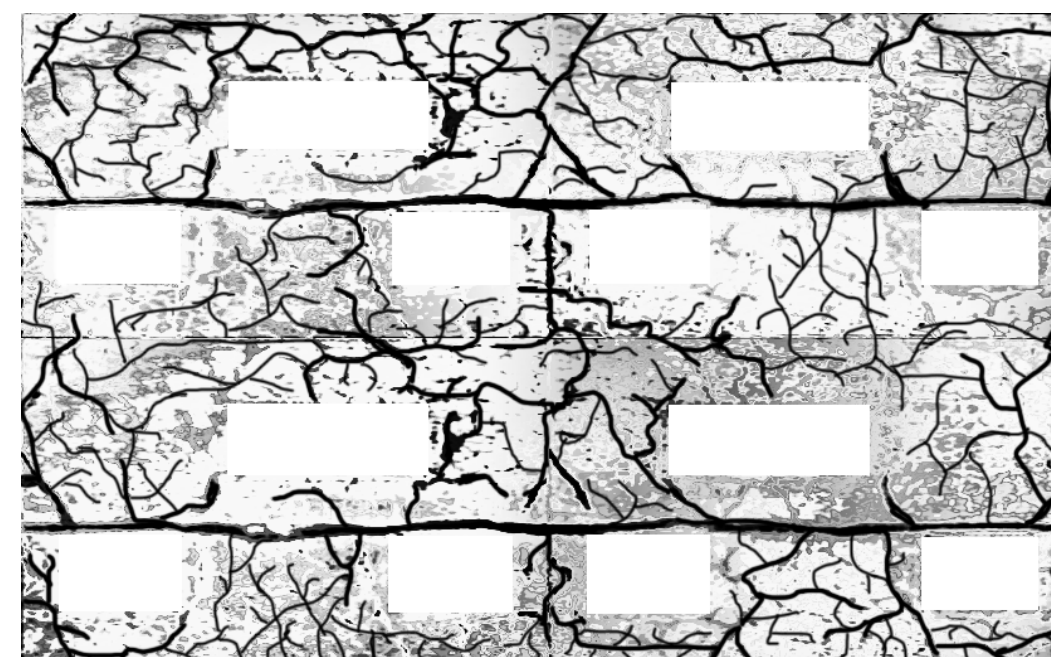
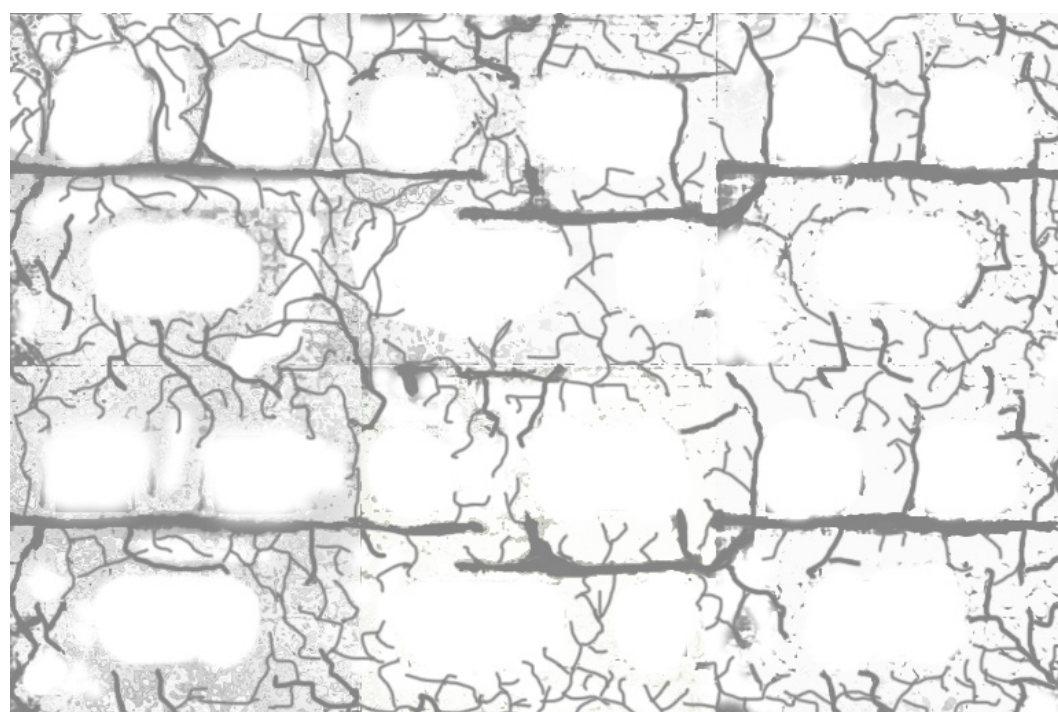
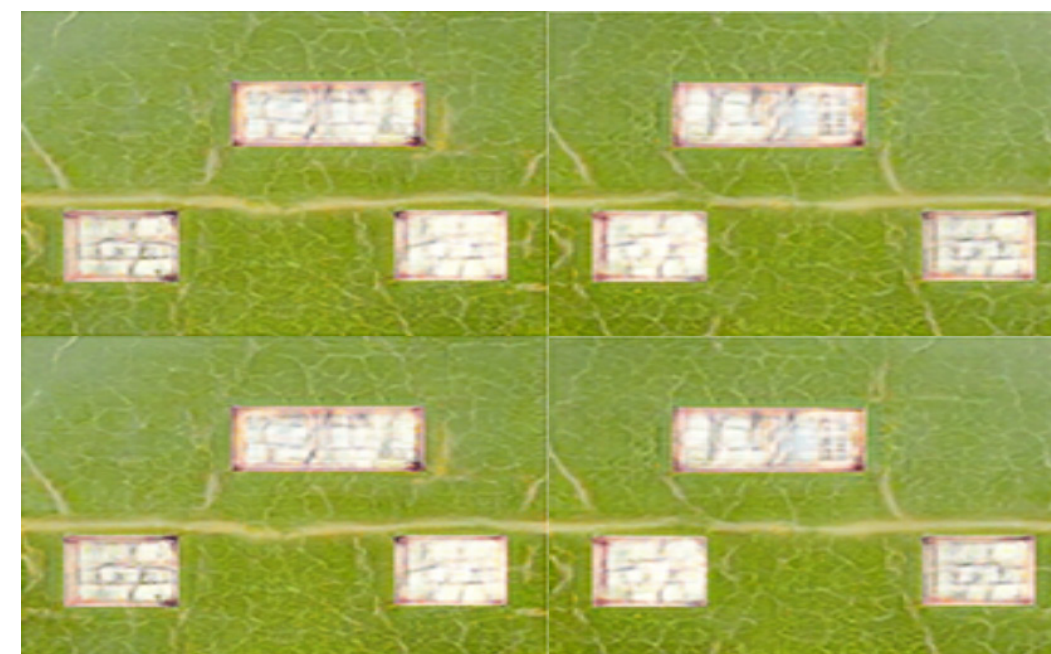
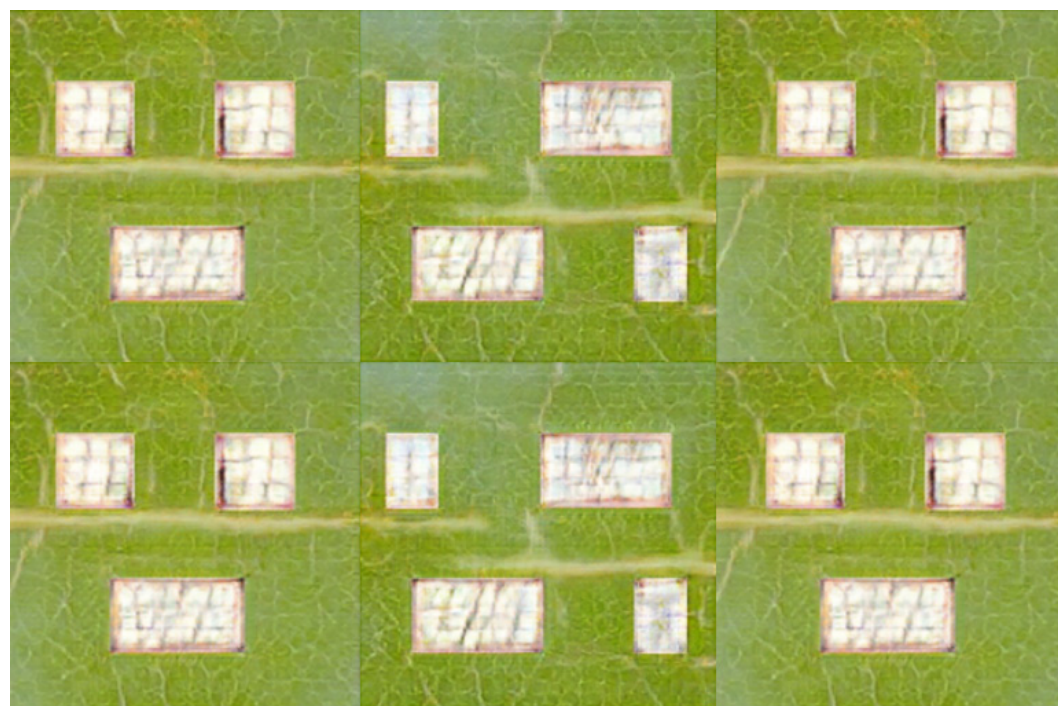
---





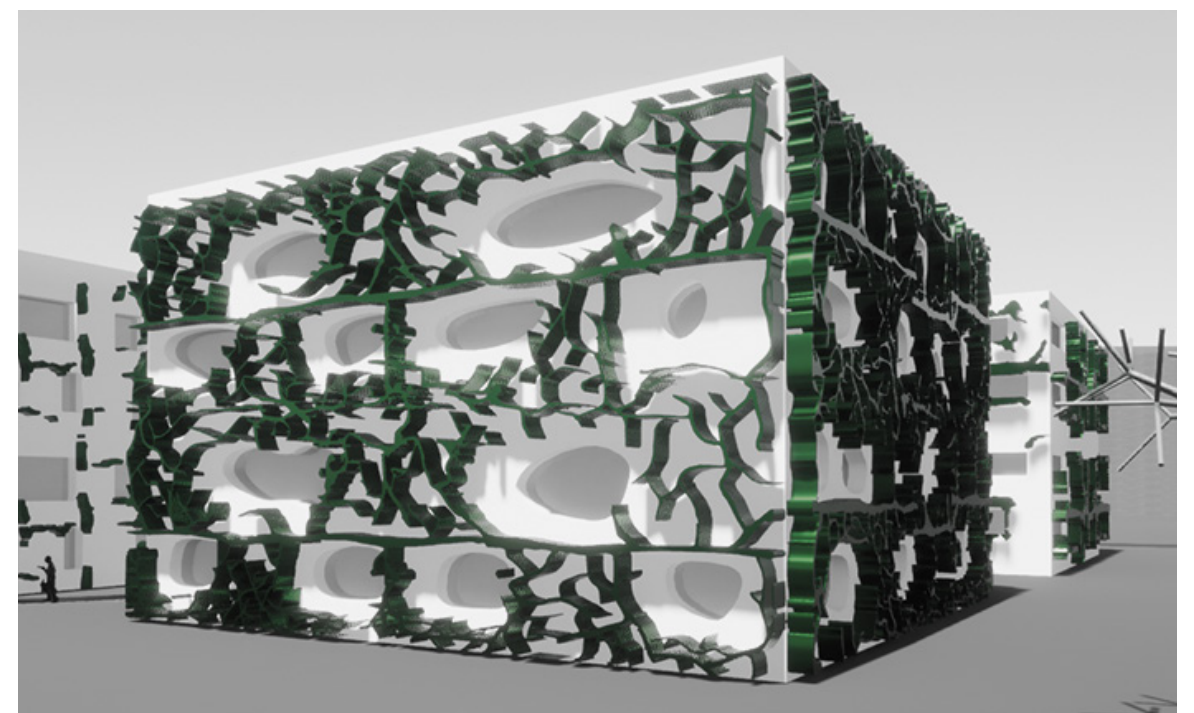
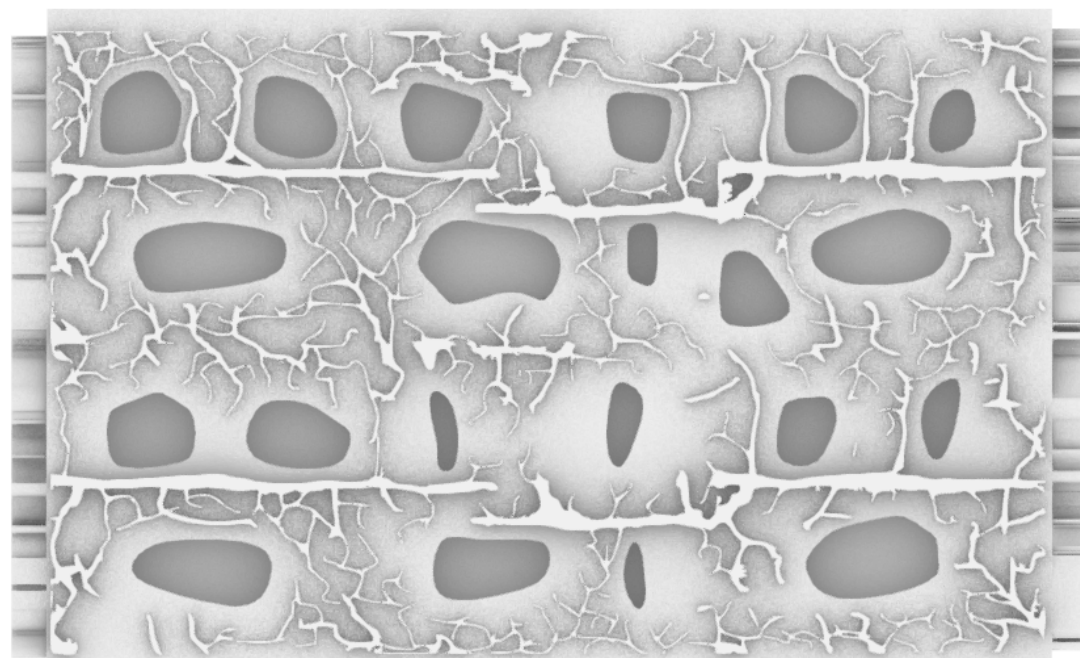
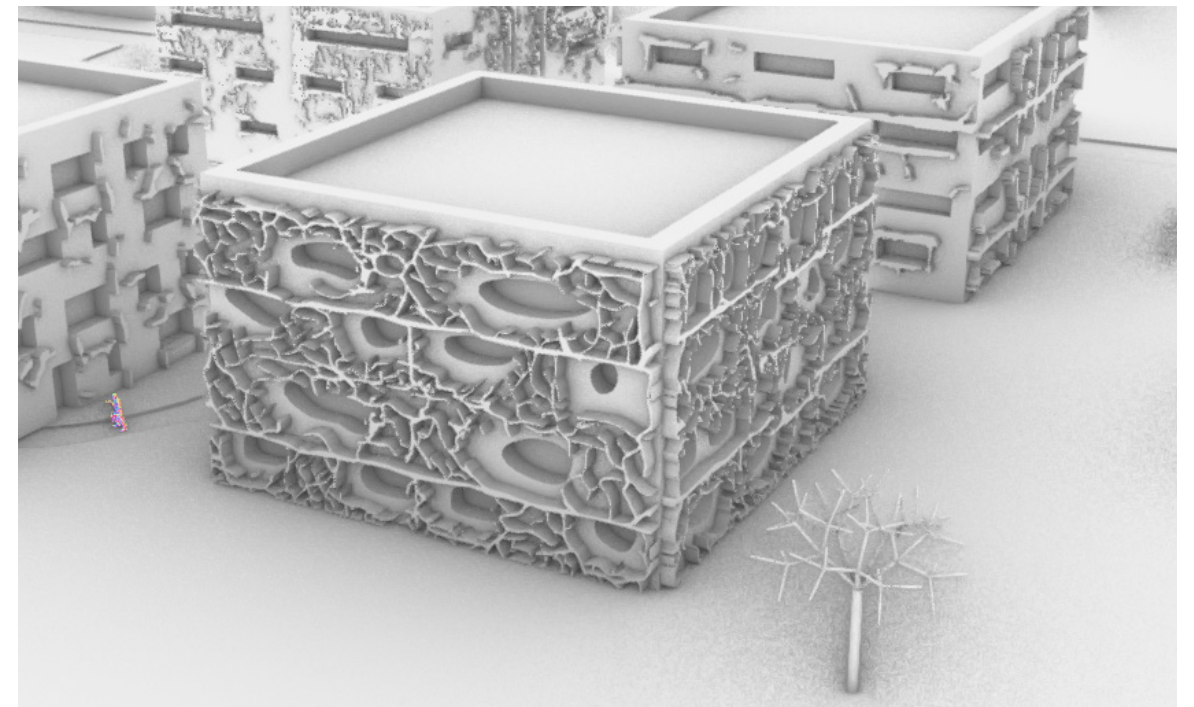
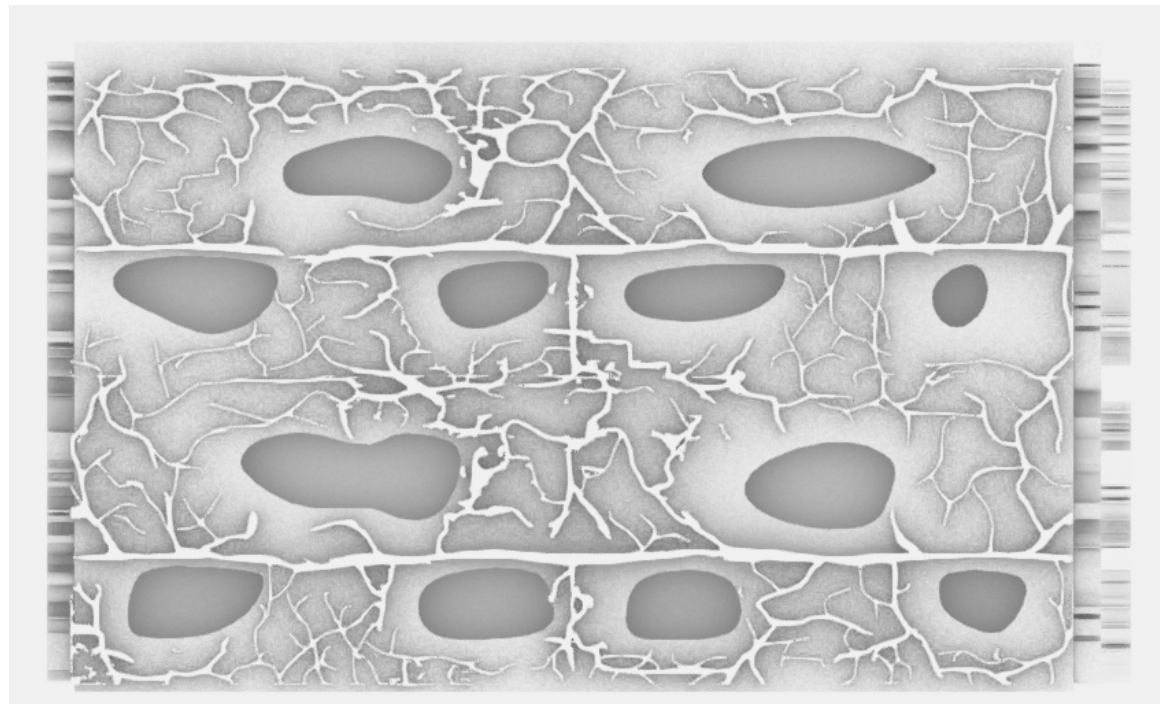
## Tvorba fasád- 2. budova - mango

---

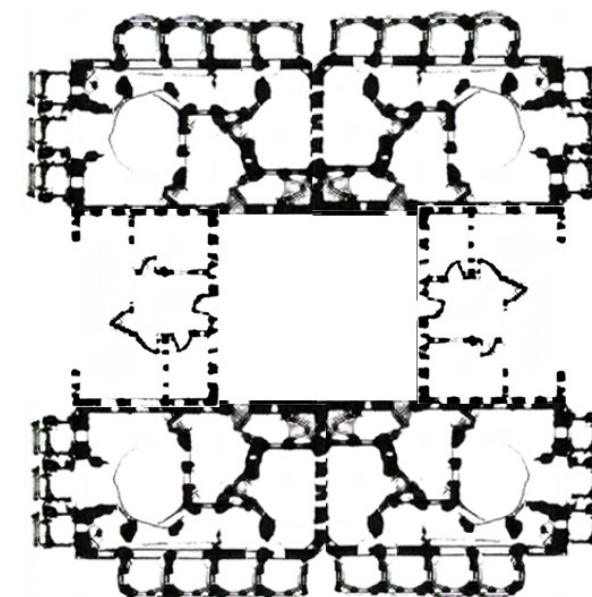
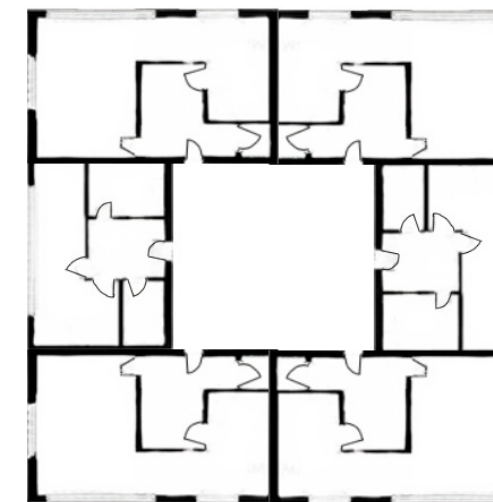
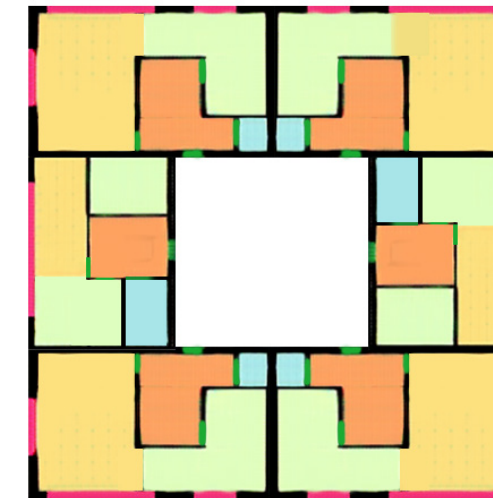
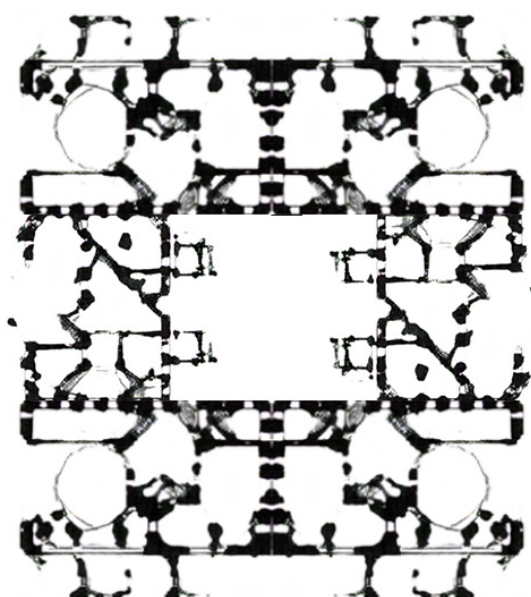
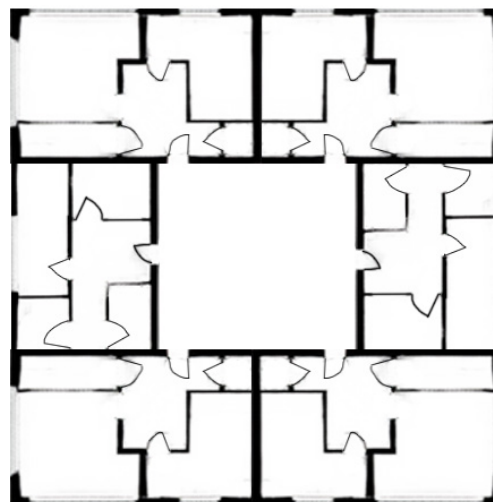
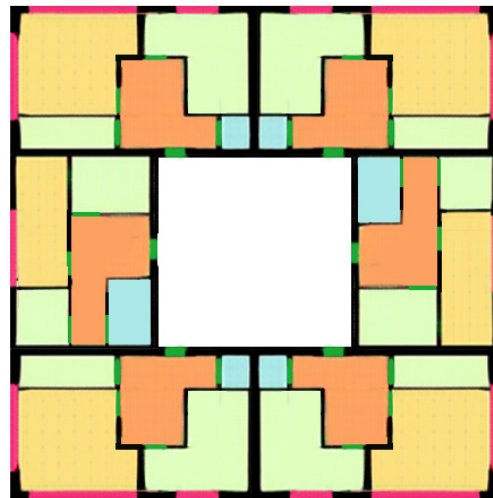




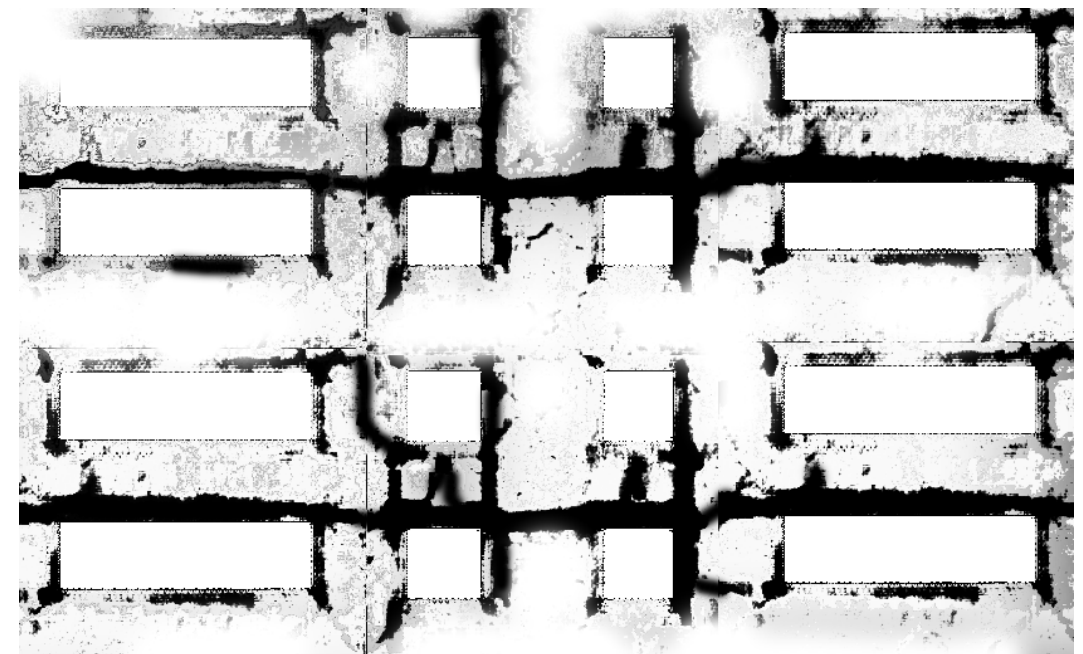
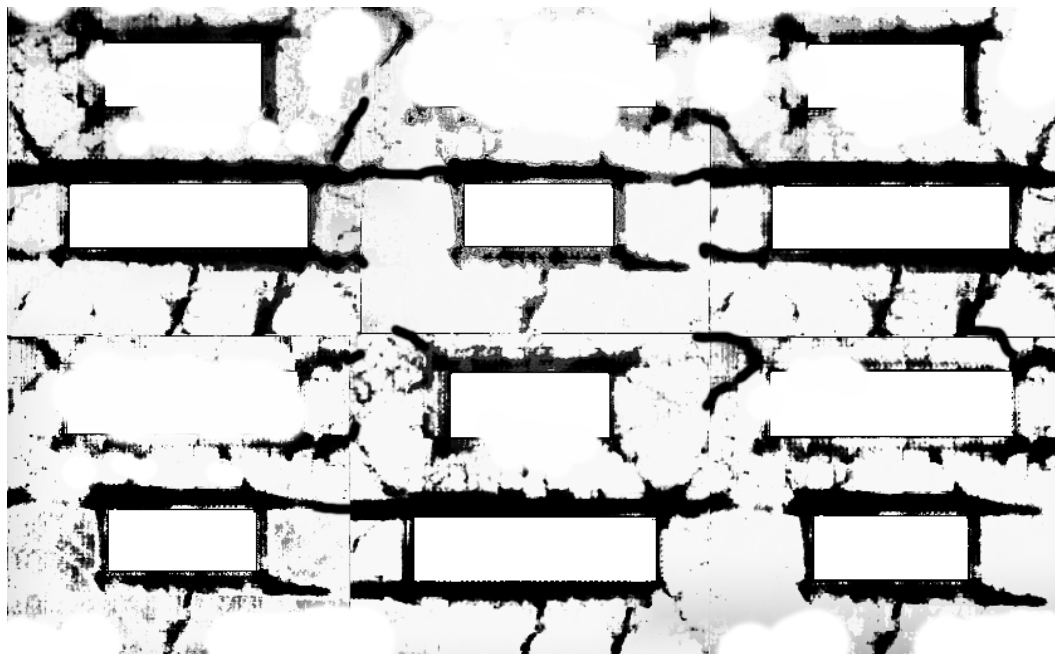
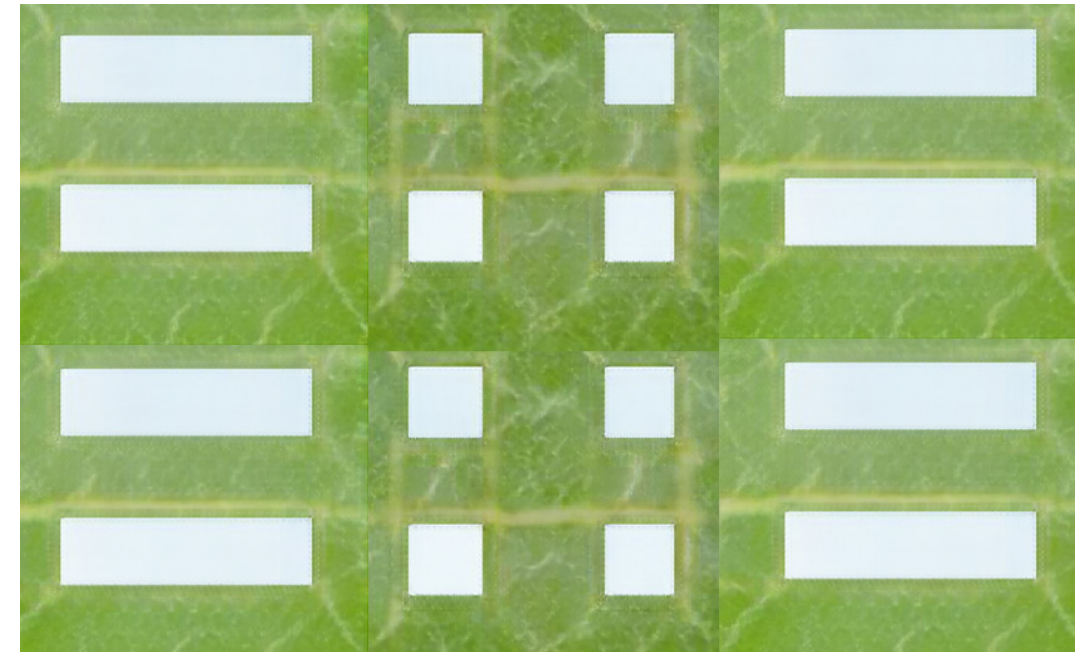
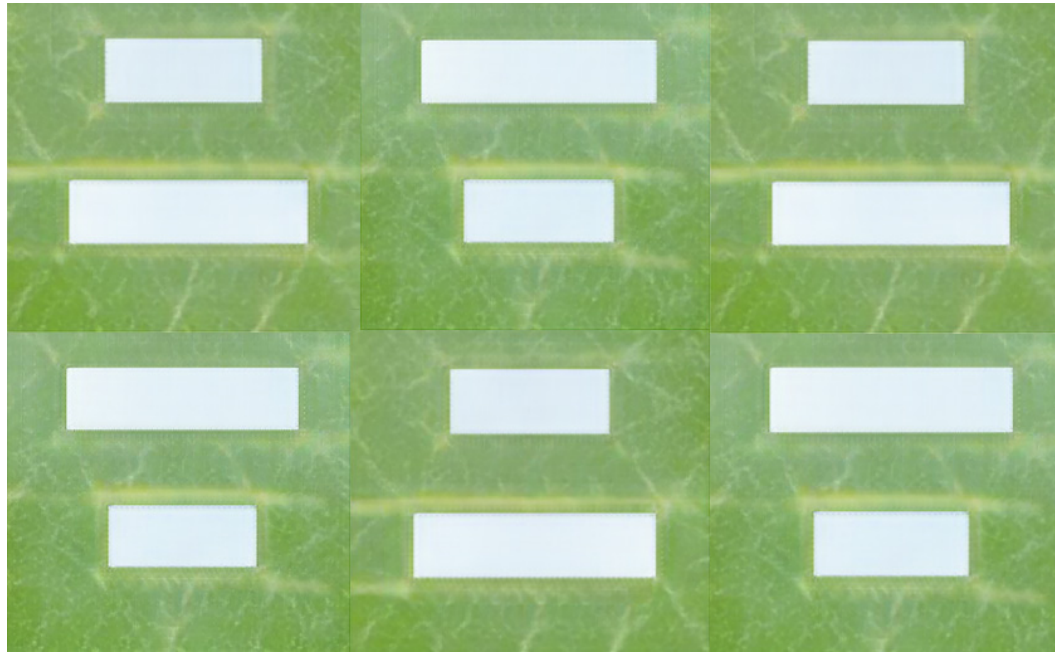
## Model - 2. budova



pozn.: U tohoto modelu jsem ve výsledku, z čistě estetického hlediska, změnil tvar oken. Zdálo se mi, že se neortogonální okna hodí k vzhledu fasády více.



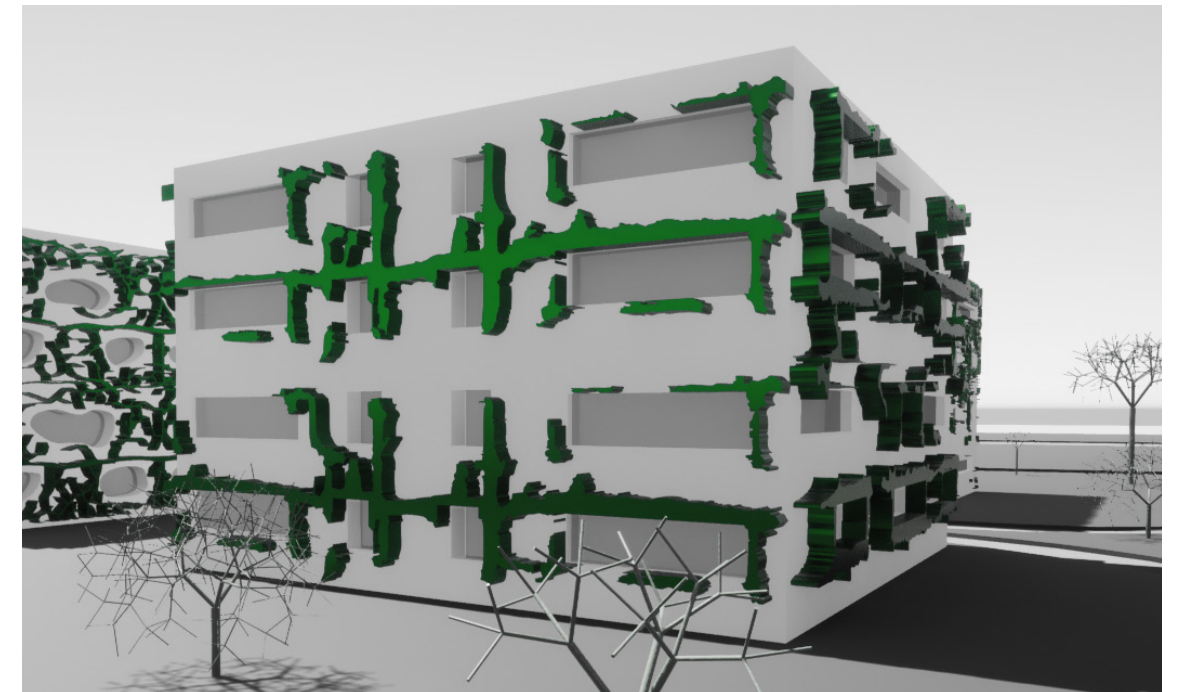
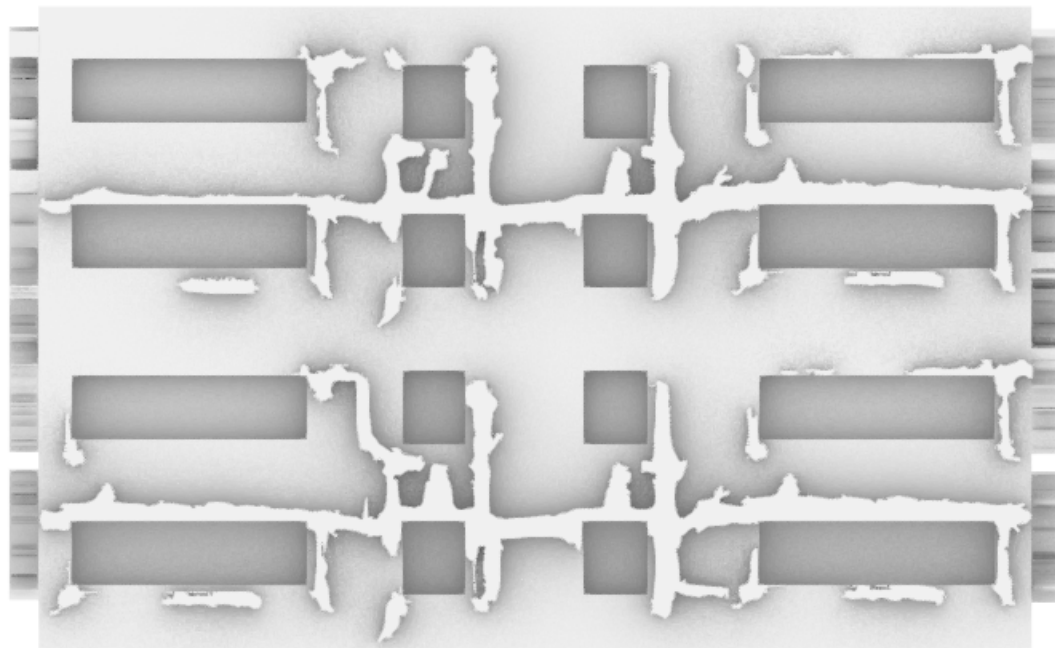
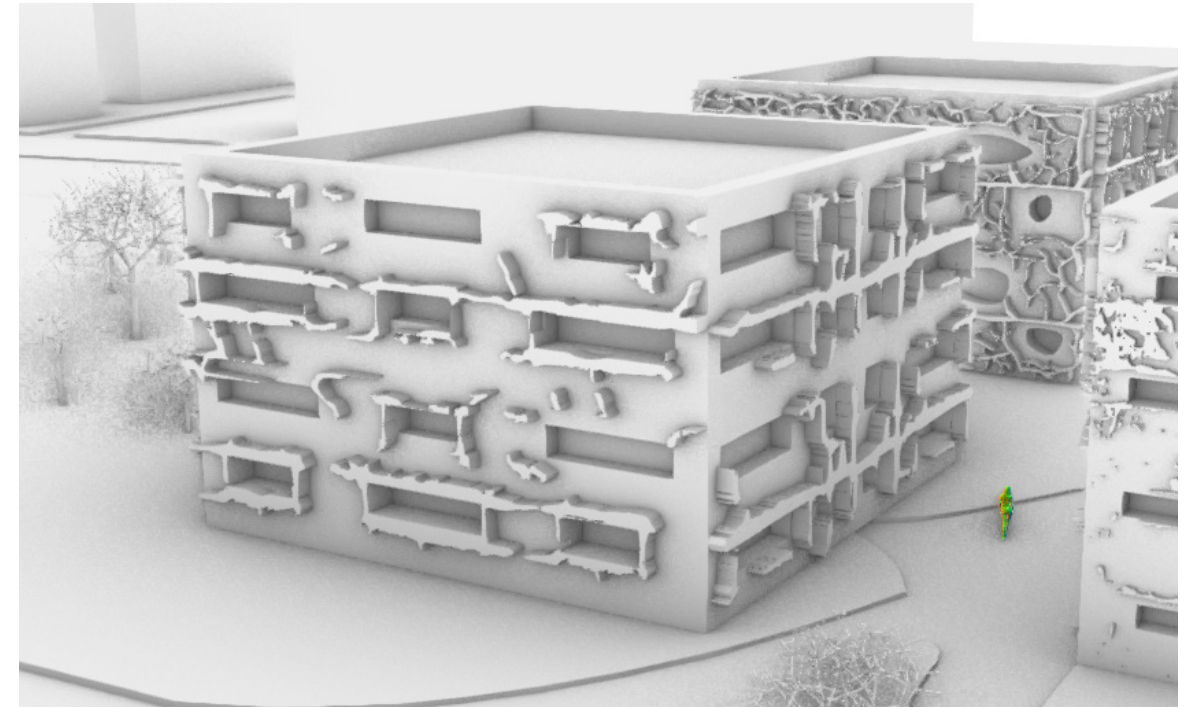
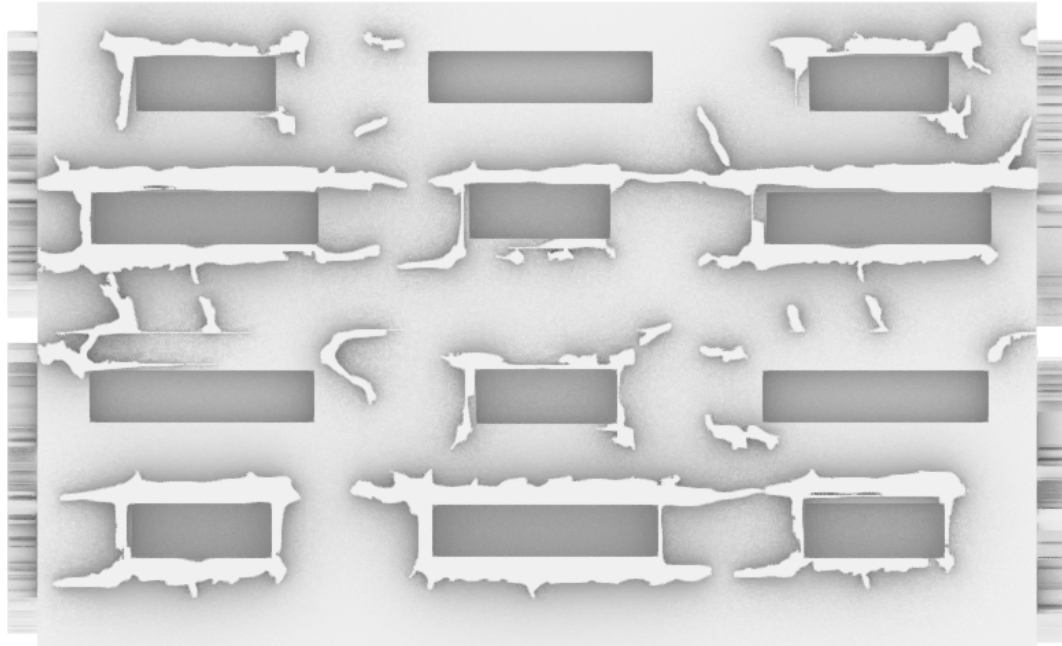




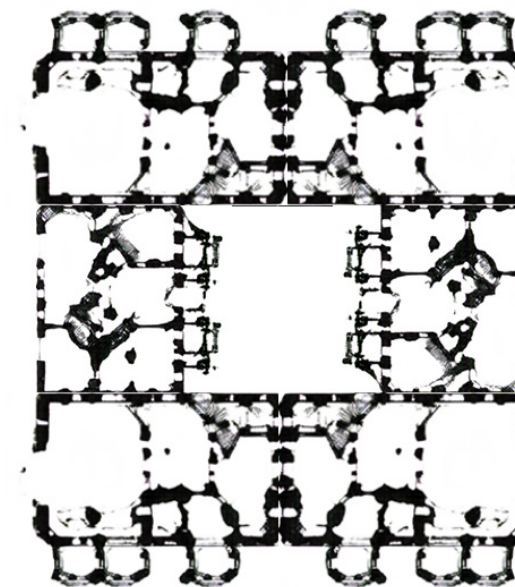
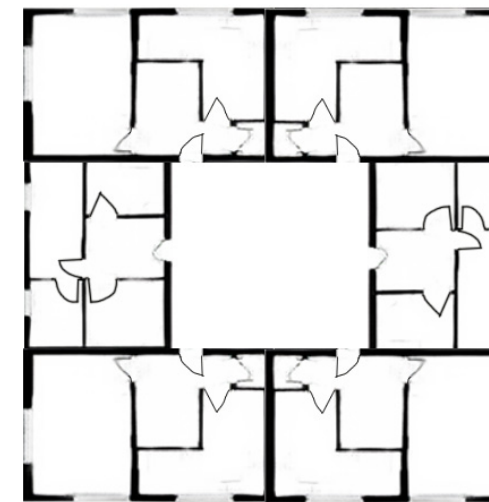
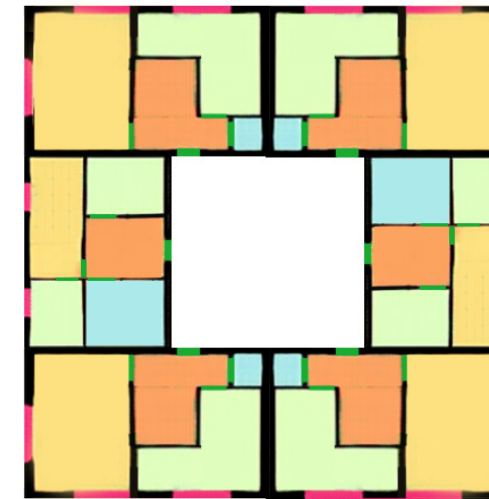
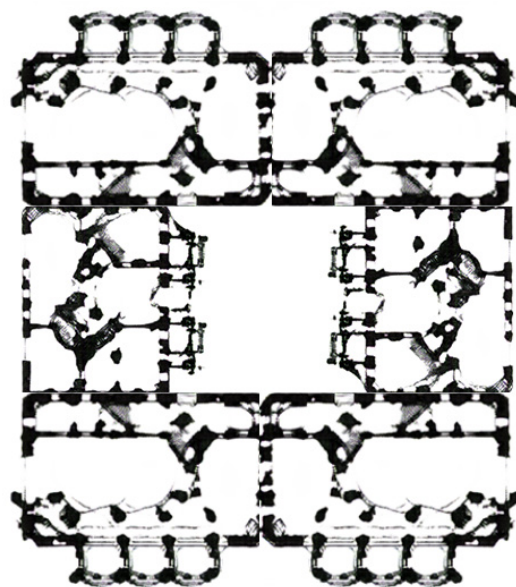
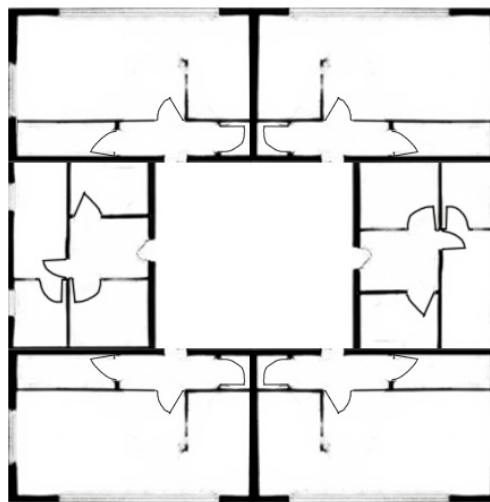
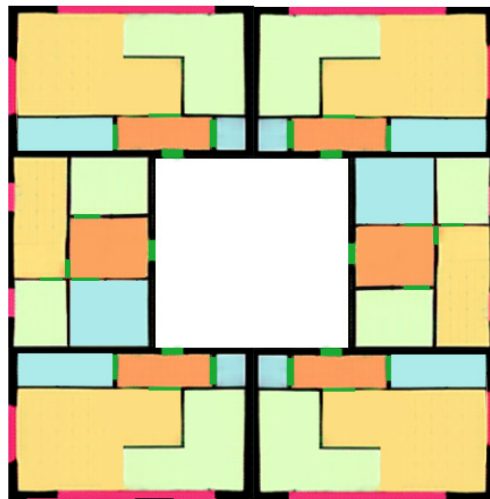


Model - 3. budova

---

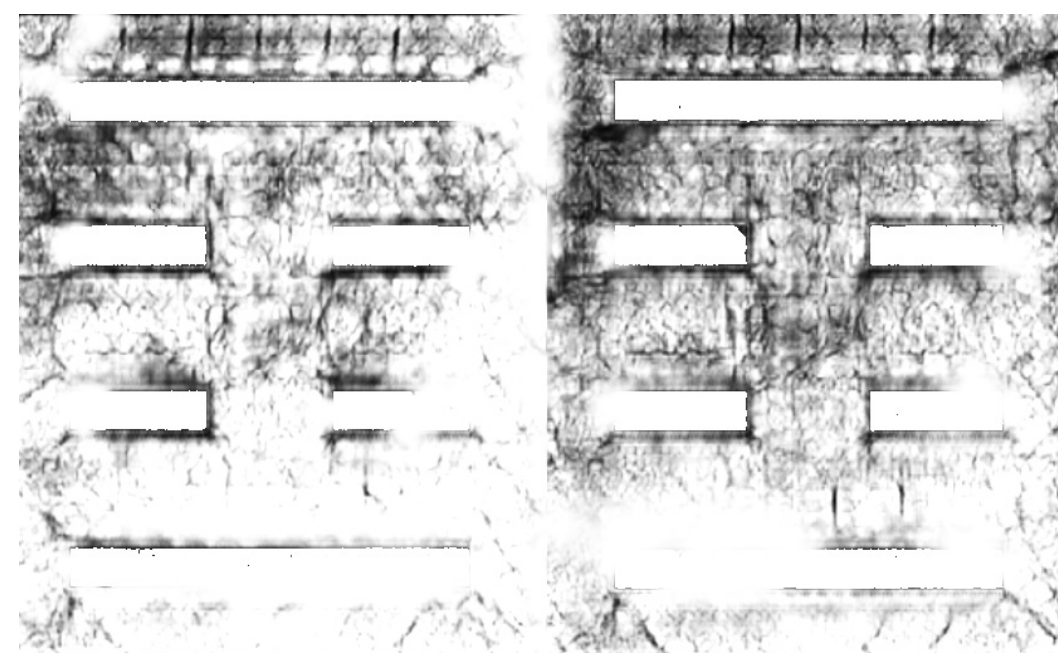
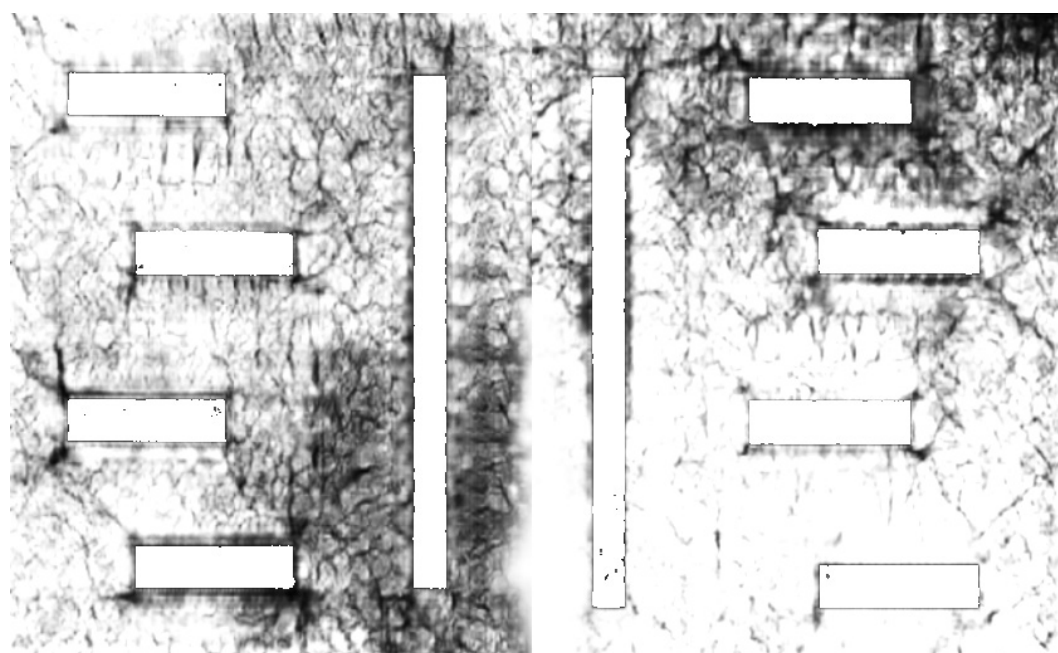






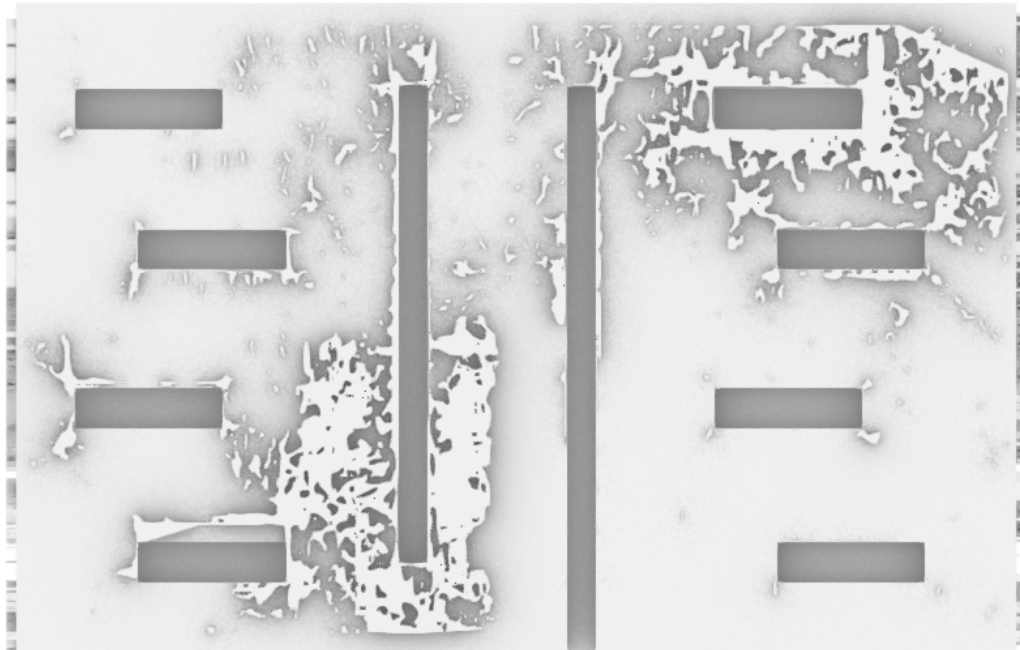
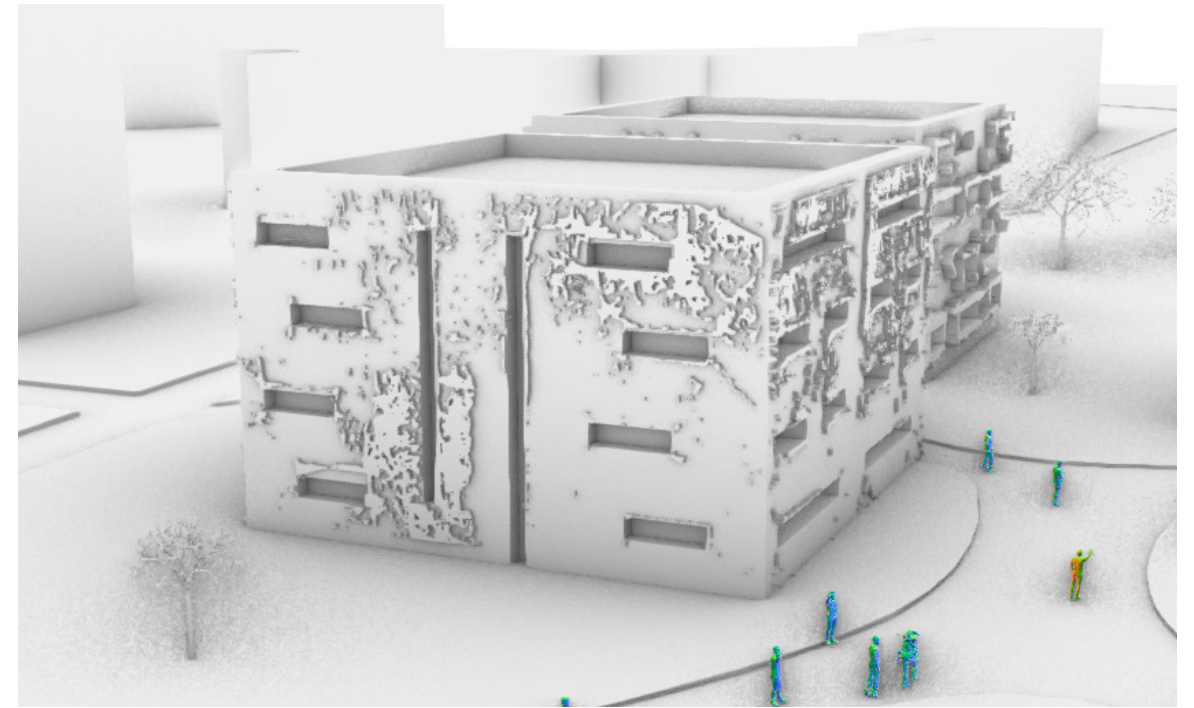


# Tvorba fasád- 4. budova - kombinace listů



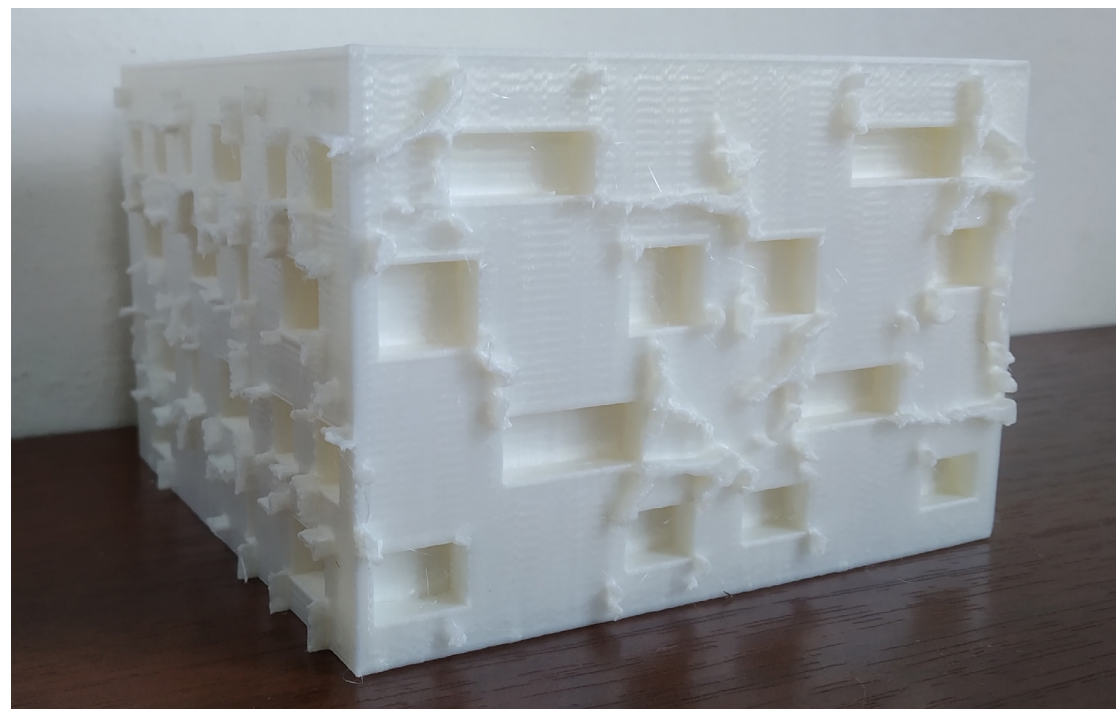


# Model - 4. budova

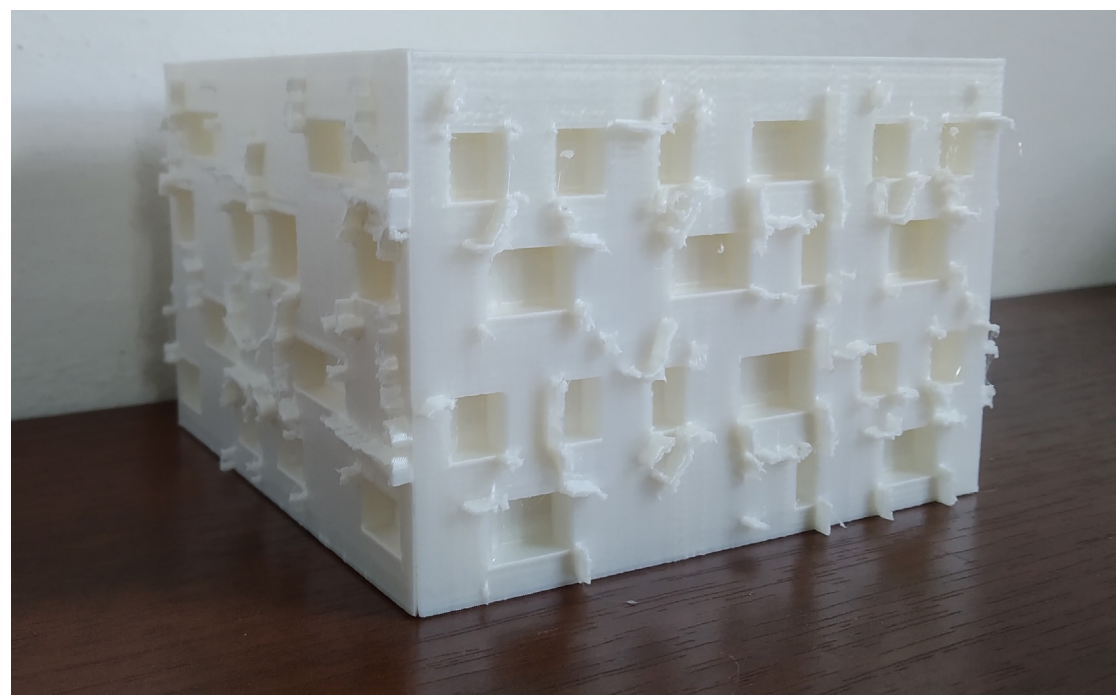




Fyzický model budovy 1



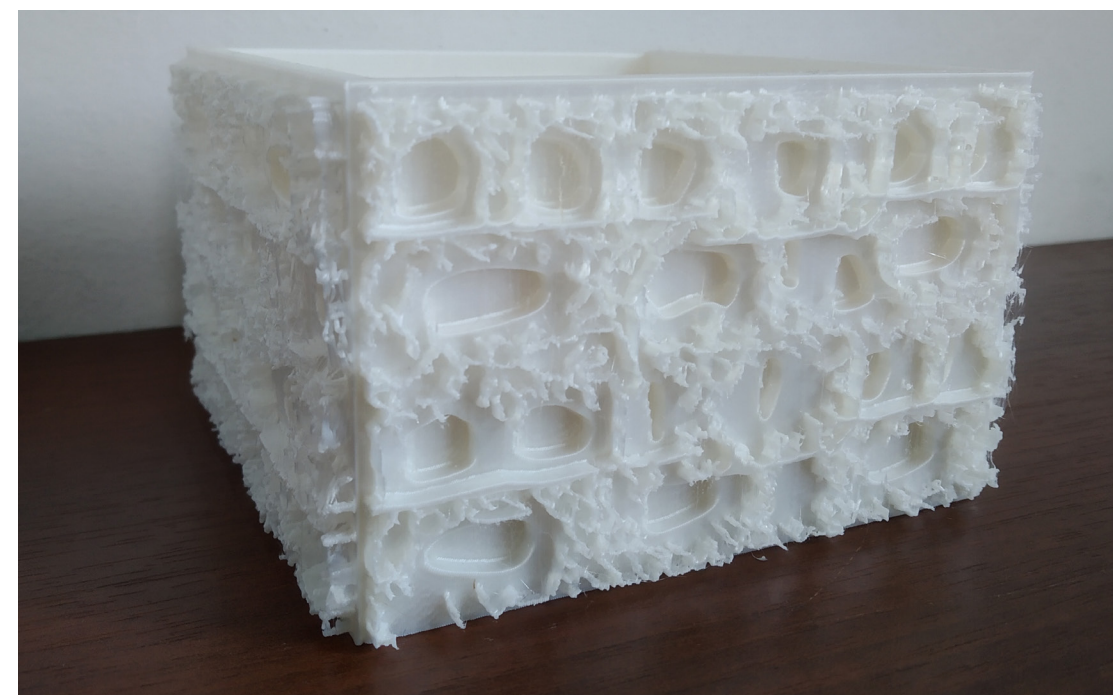
-----



Fyzický model budovy 2

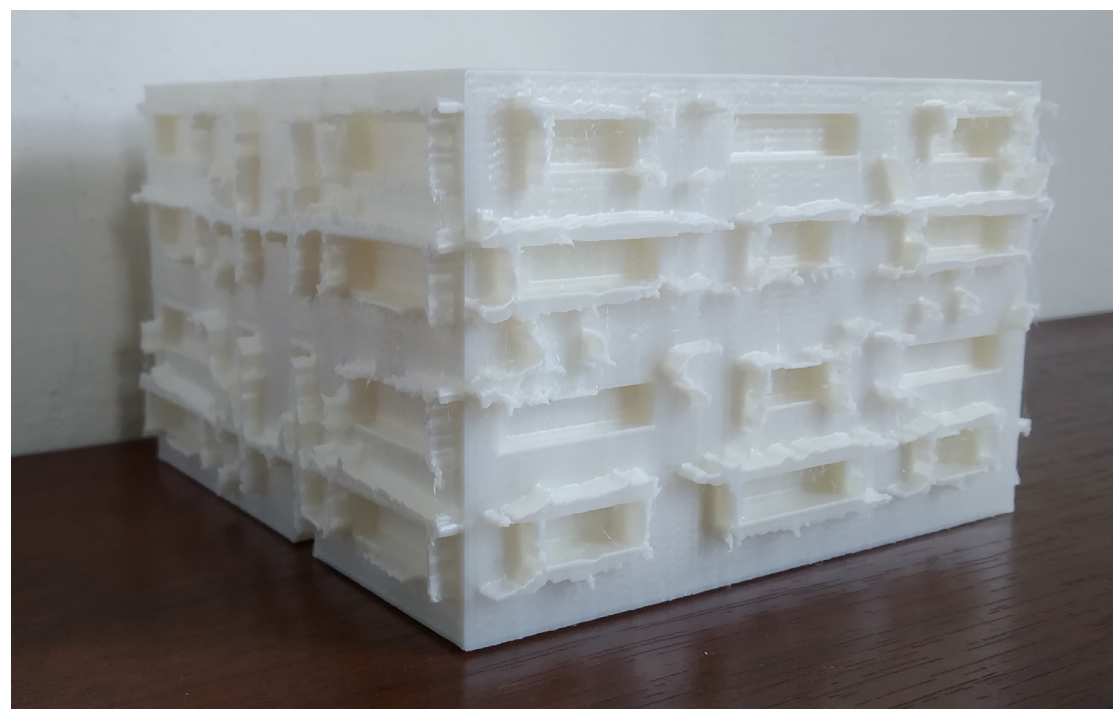


-----





Fyzický model budovy 3



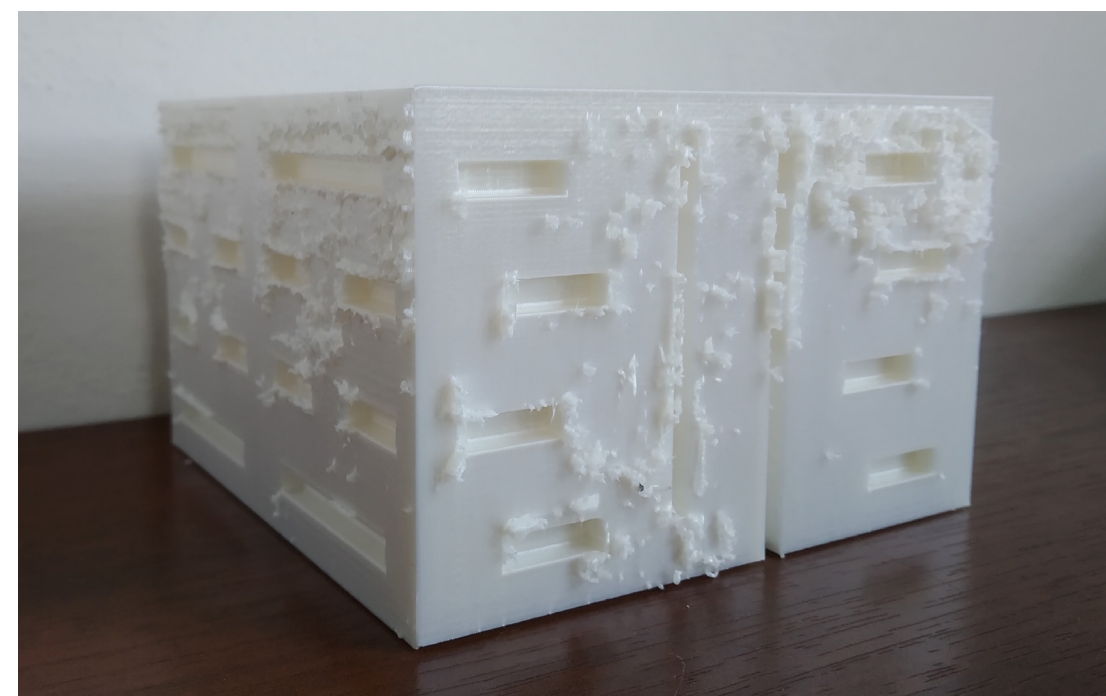
-----



Fyzický model budovy 4



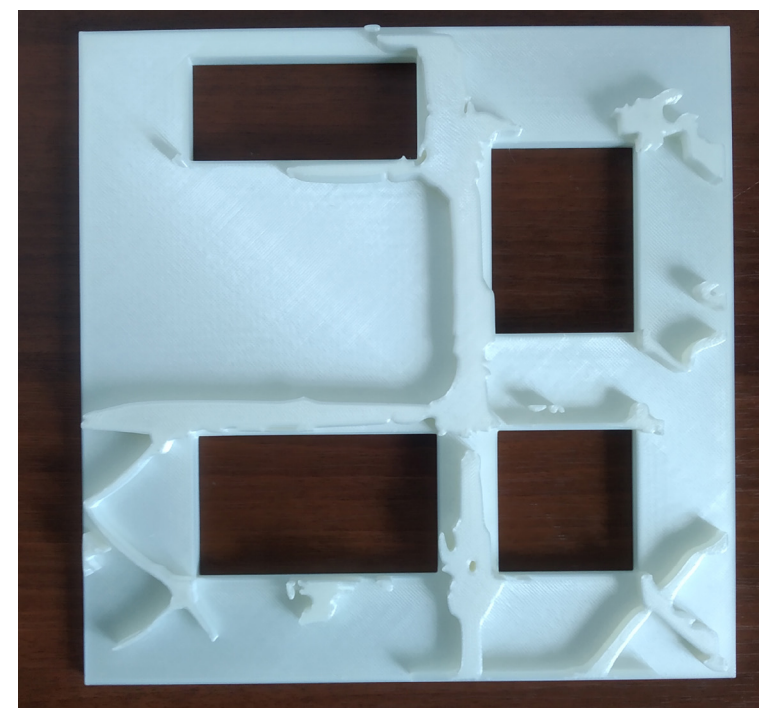
-----



# Modely vzorů fasád



-----



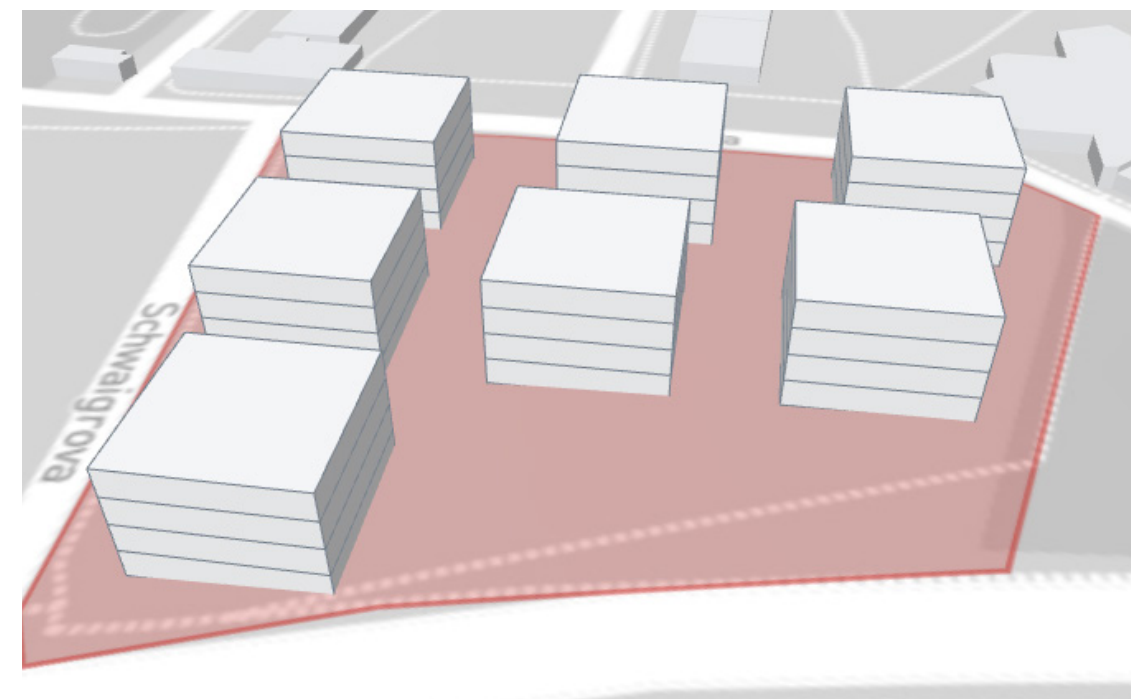
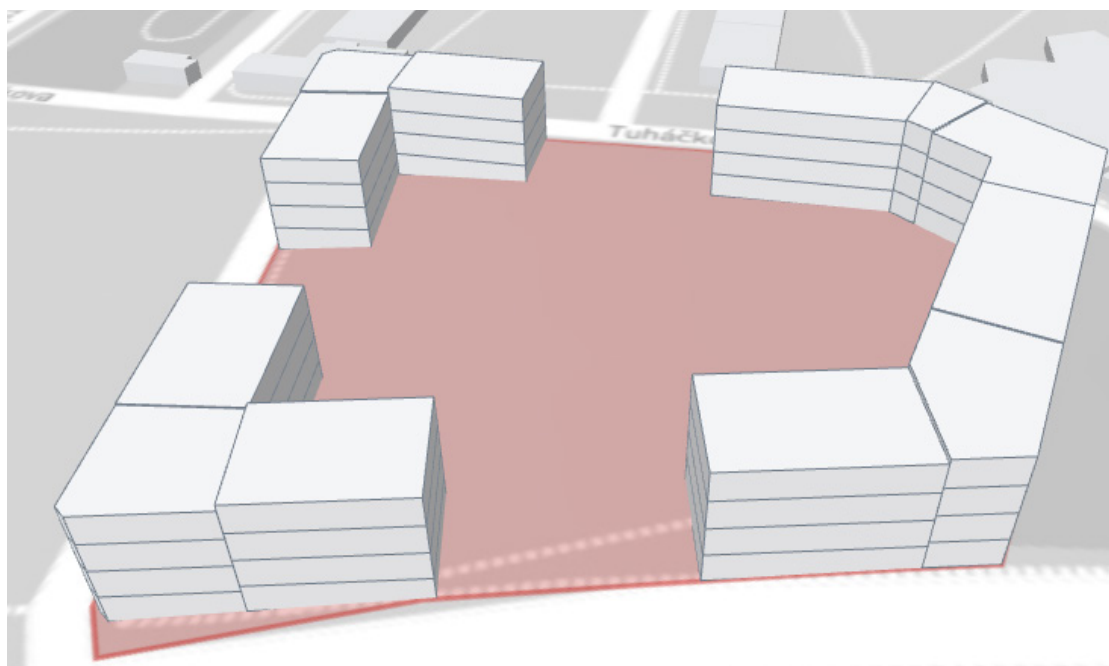
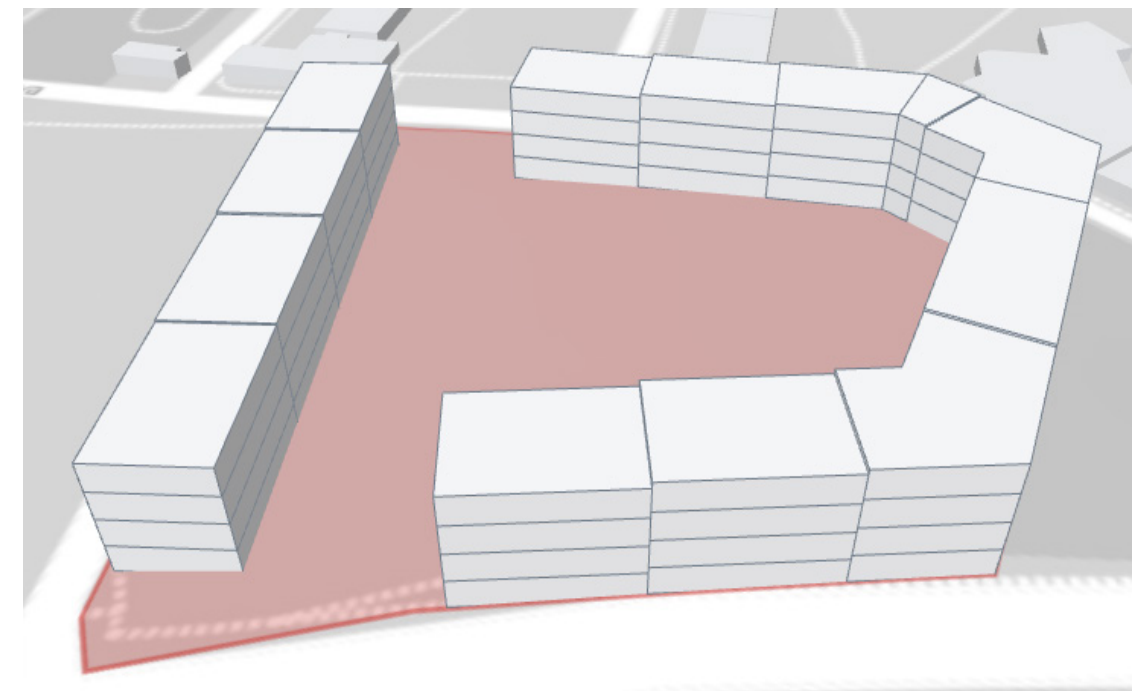
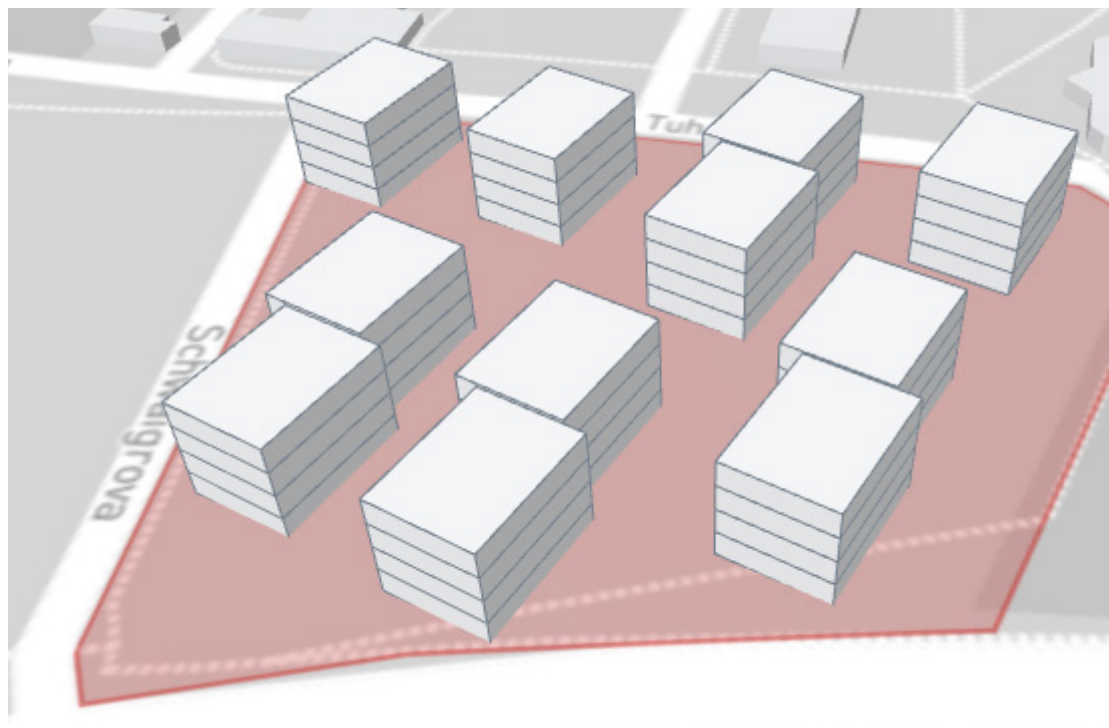


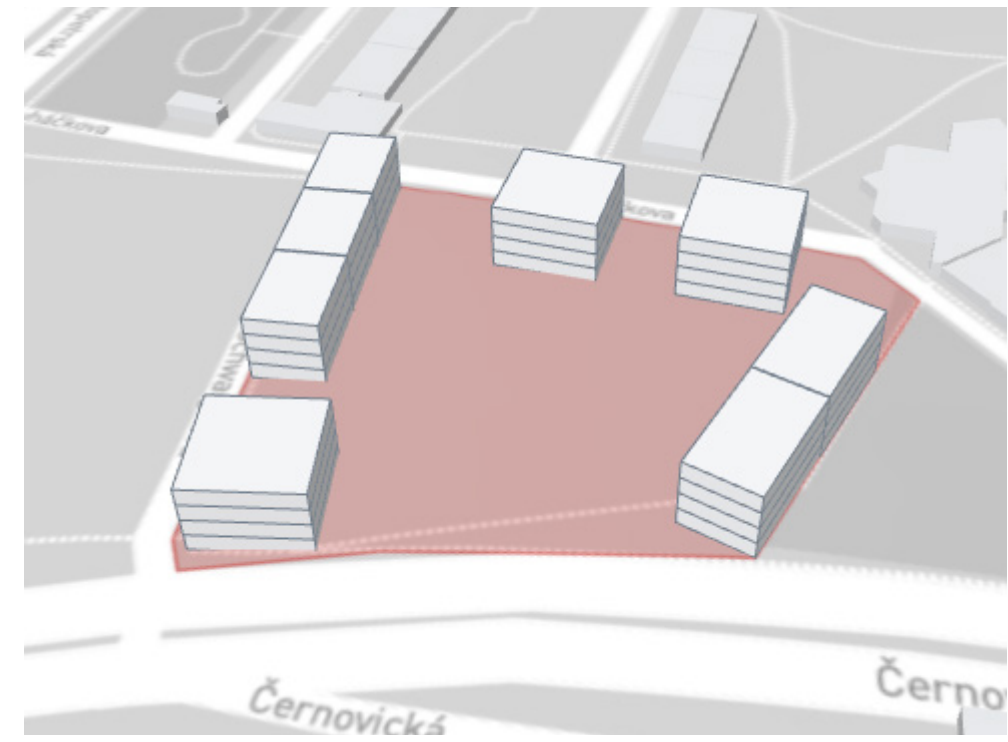
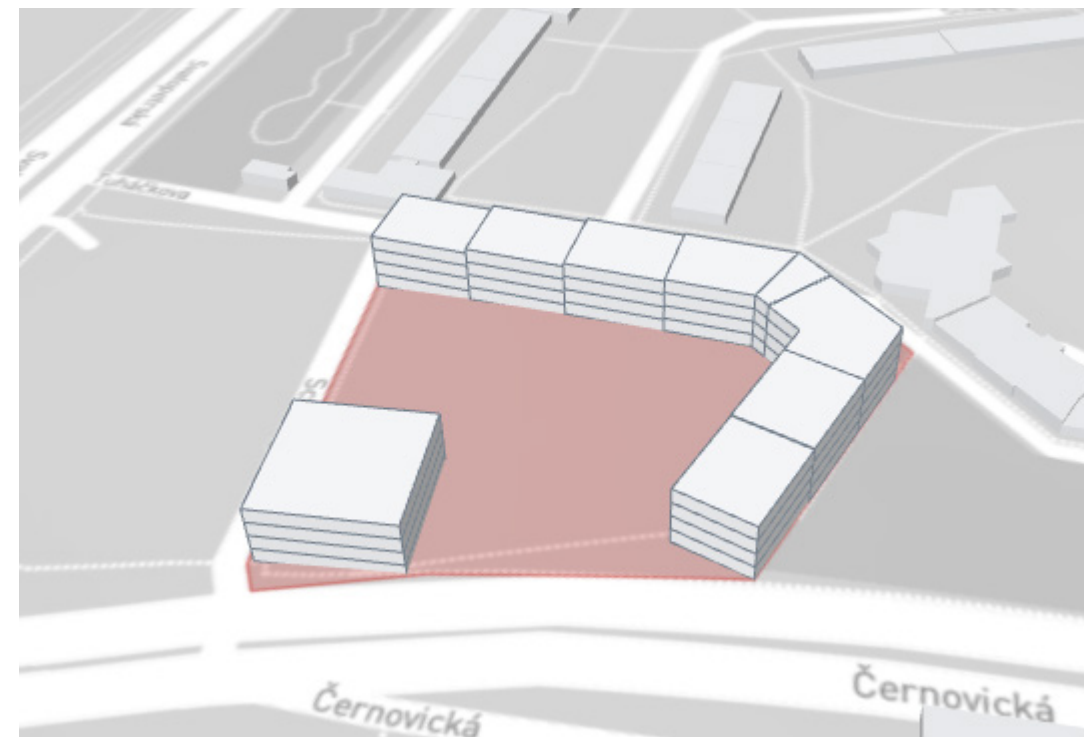
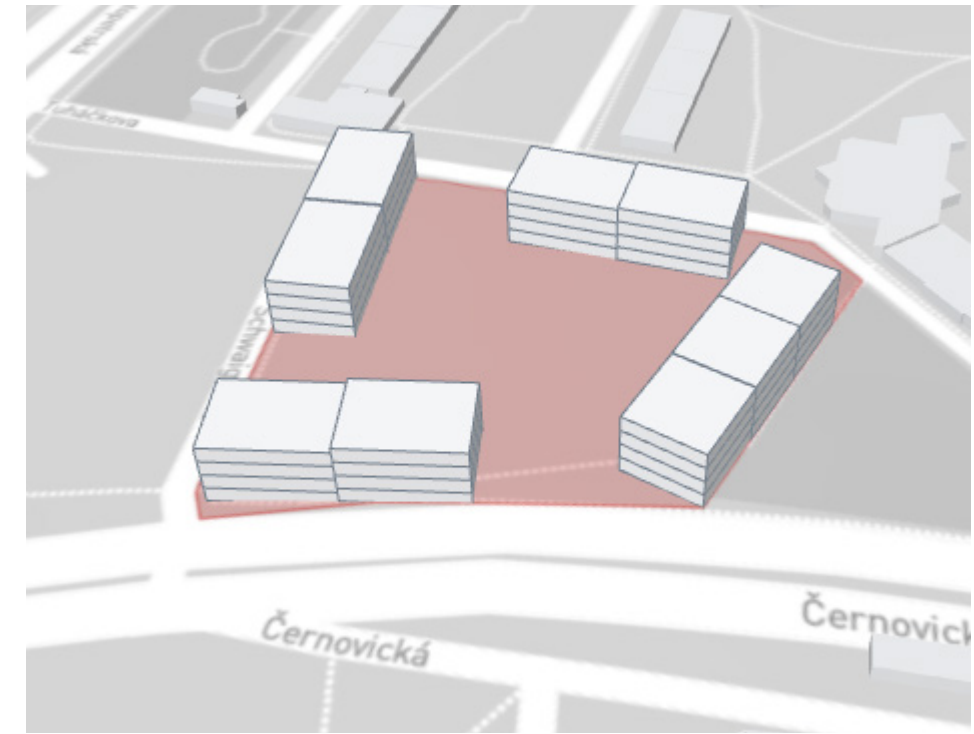
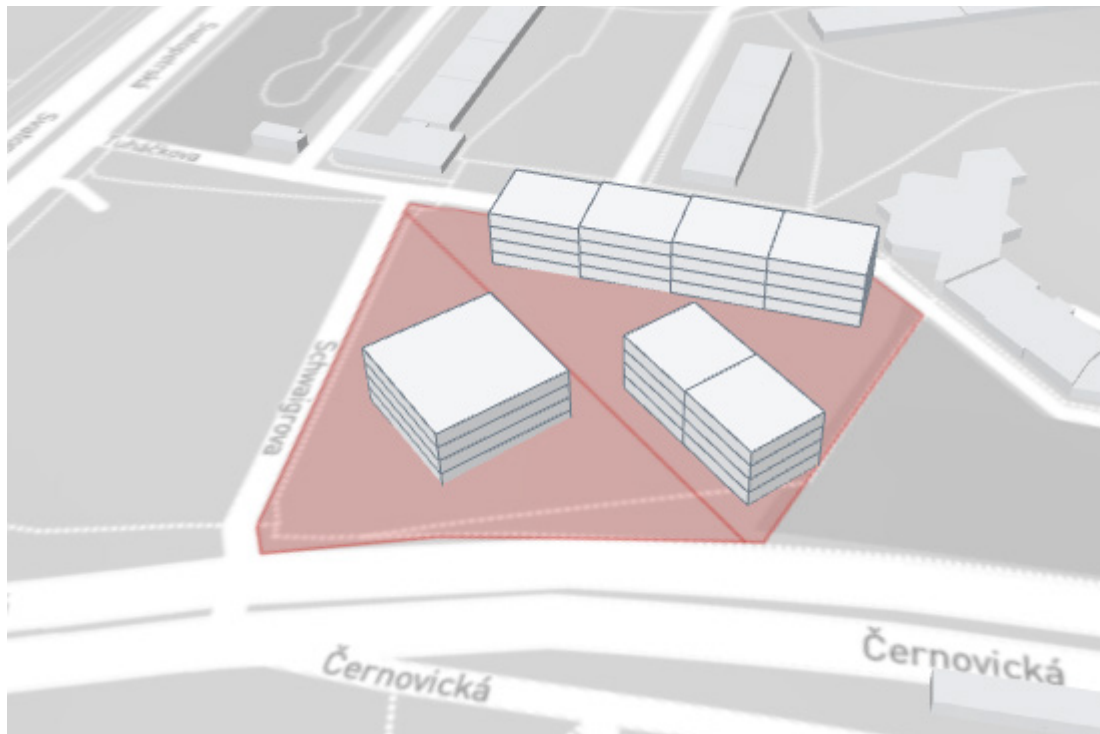




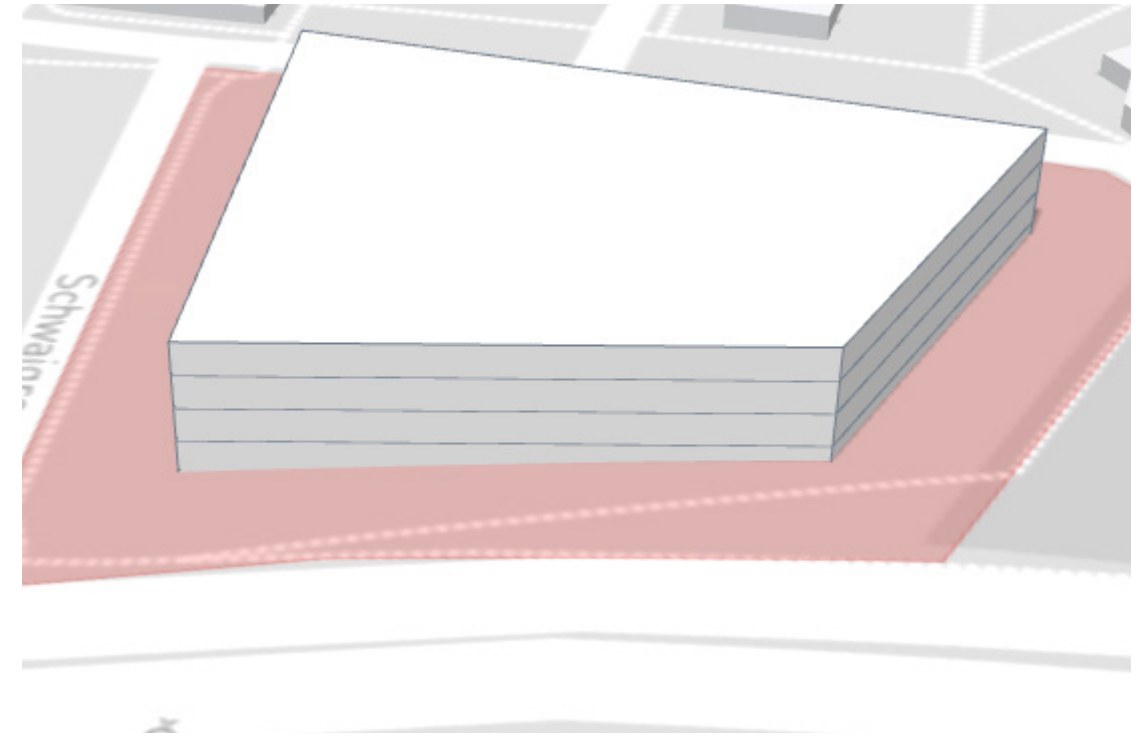
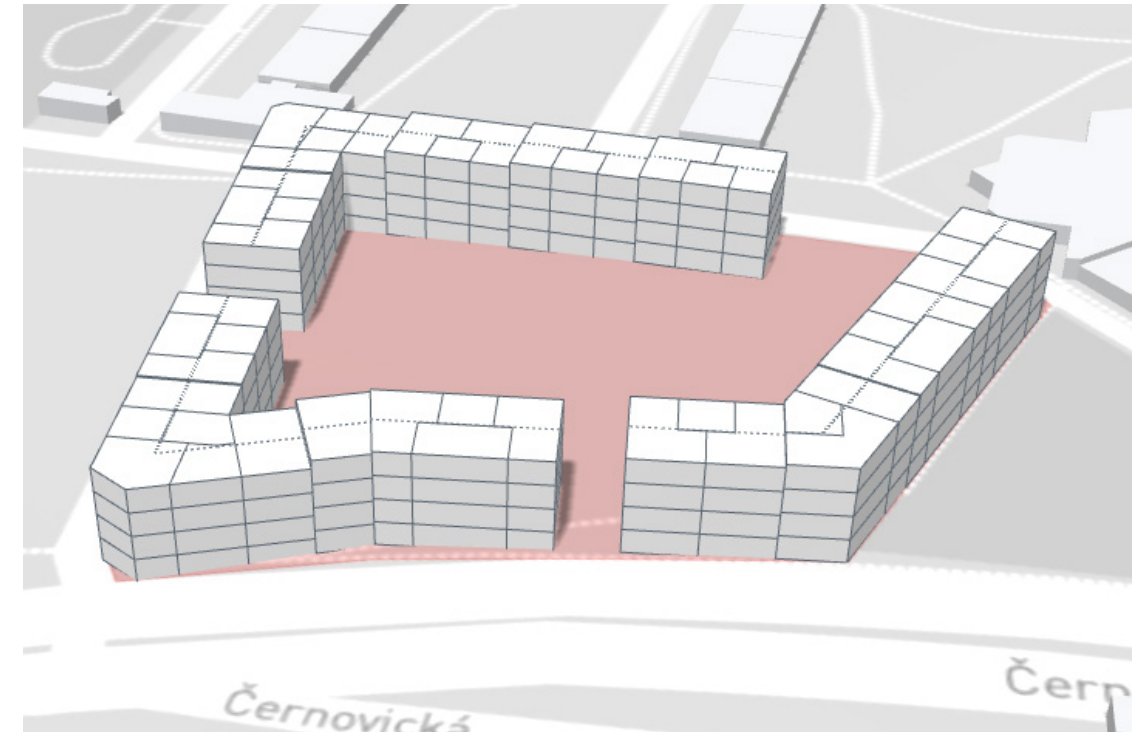
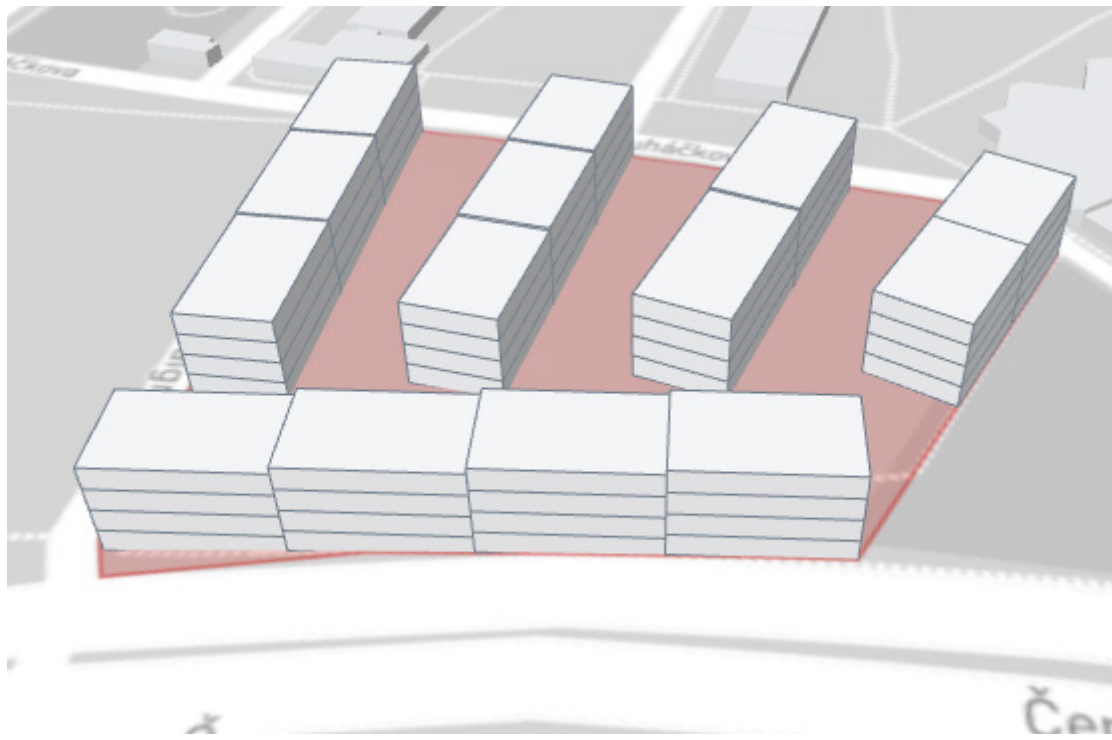
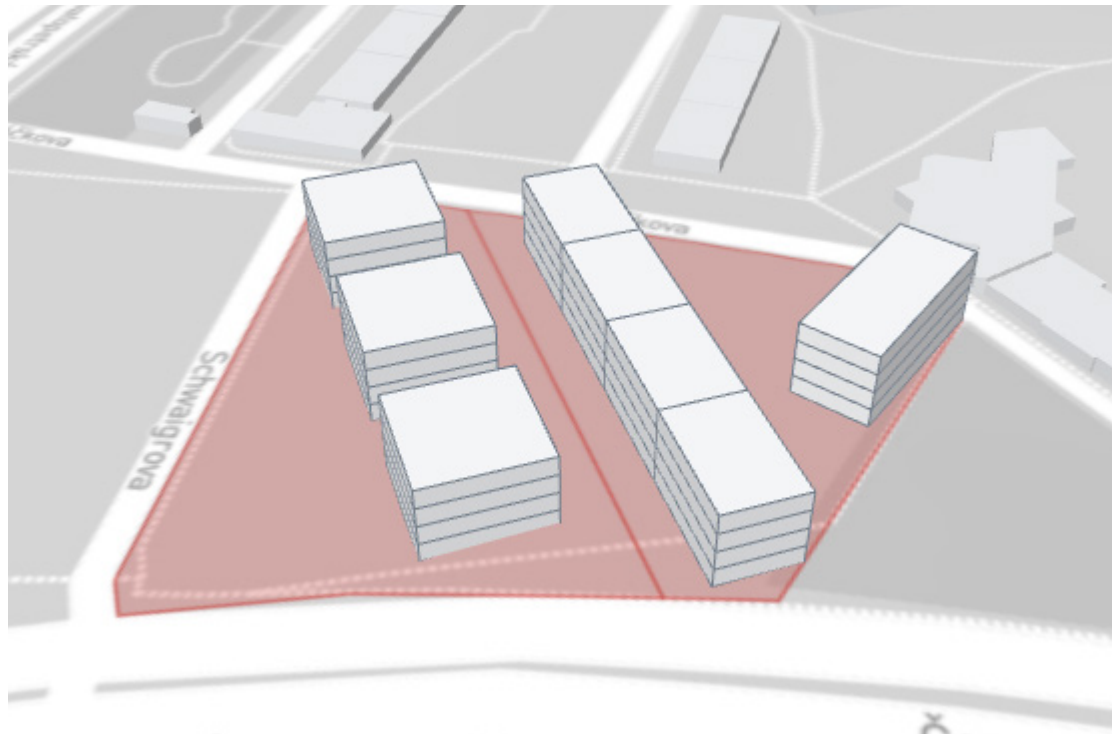












# Vygenerované modely postav za pomoci PIFuHD

---

Vstupní fotografie



Model vygenerovaný podle fotografie



Vstupní fotografie



Model vygenerovaný podle fotografie





Vstupní fotografie



Model vygenerovaný podle fotografie



