

## POSUDEK DISERTAČNÍ PRÁCE

### SOUND SHAPE SPACE

#### Architectural Representation of Soundscapes with the use of Artificial Neural Networks

Autorka: Ing. arch. Karolína Kotnour

Vedoucí práce: Doc. Ing. arch. Miloš Florián, Ph.D.

**Aktuálnost zvoleného tématu disertační práce.** Představme si, že jsme schopni ovládat „procesy“ bez mačkání tlačítek, psaní na klávesnici nebo užití dotykové obrazovky, jen silou našich myšlenek. Jakkoli to zní neuvěřitelně, taková představa už nebyla cizí ani antickým Řekům před několika tisíciletími, jak dokládá epos Odyseja, ve kterém Homér líčí lodě bájného národa Fajáků, jež se obešly bez kormidelníků, protože je jejich velitelé řídili myšlenkami. Nejen v této souvislosti se v každém historickém věku s každým novým vědeckým objevem vynořil i nový model mozku. Jedním z nejranějších byl „homunkulus“, človíček žijící uvnitř mozku, který má na starosti veškeré rozhodování. Takový obrázek nám příliš nepomohl, jelikož nijak nevysvětloval, co se děje v mozku homunkula. Zřejmě se uvnitř homunkula ukrýval nějaký homunkulus. S příchodem jednoduchých mechanických nástrojů byl navržen jiný model mozku: mechanický, jako u hodin, s kolečky a součástkami. Pro vynálezce, jako byl Leonardo da Vinci, byla tato analogie užitečná, sám jednoho mechanického člověka navrhl. Na přelomu 18. a 19. století, ve věku páry, se objevila nová analogie podle modelu parního stroje s jeho soupeřícími zdroji síly. Hydraulický model podle domněnek historiků ovlivnil představy Sigmunda Freuda o mozku. Podle něj šlo zejména o nepřetržitý souboj mezi třemi silami: ego (racionální uvažování), id (potlačené touhy) a superego (naše svědomí). Jednalo se o důmyslný model, který ovšem vyžadoval podrobné prozkoumání mozku na úrovni neuronů, k čemuž bylo potřeba dalších sto let. Začátkem 20. století se s objevem telefonního přístroje vynořil opět nový model, analogie s velkou telefonní ústřednou. Mozek byl chaotickou změť telefonních linek propojených do rozsáhlé sítě. S objevem tranzistoru vstoupil do módy jiný model a to počítač: mikročipy, jež obsahovaly stovky milionů tranzistorů. „Mysl“ byla softwarem běžícím na „wetwaru“. Tento model stále přetrvává, ale průběžně je modifikován. Nejrozsáhlejší je ta analogie s internetem, který ovládá miliardy počítačů.

*Všechna zařízení, která používáme ke komunikaci s počítačem, možná nakonec zcela zmizí. V budoucnu budeme všechny příkazy zadávat telepaticky a naše pokyny se v tichosti vyplní díky drobným čipům ukrytým v našem okolí. Tato technologie by mohla dobře posloužit kreativním profesím. Kdyby si své dílo dokázali představit v myslí, mohli by jej například prostřednictvím neuro-snímačů nebo technologie nazývané nervová krajka (neural lace) zobrazit prostřednictvím virtuálního nebo holografického obrazu. Obraz v naší myslí není tak přesný jako plánovaný požadovaný objekt, a proto by tvůrce poté mohl upravovat prostorový obraz a přimyslet si k němu další detaily. Podobným způsobem vytváření digitální nadstavby nad mozkovou kůrou by se mohly vytvářet modely architektury, městských celků i artefaktů, a to vše jen za pomoci vlastní představivosti. Pouhým pomýšlením by se také mohl rychle měnit systém plánování. Naše mysl může v budoucnu podobným způsobem telepaticky ovládat zdroj, který nám propůjčí superschopnosti. Pracovník by například mohl telepaticky využívat zdroj energie, který pohání nástroje. Jediný člověk by potom mohl sám realizovat jednoduché i složité stavby jen silou myslí. Všechny náročné procesy by provedl zdroj energie, a stavitel by tak připomínal „vodič“ a svými myšlenkami by zajišťoval naplňování jednotlivých etap.*

Zkrátka, svět plánování architektury, měst i umění kolem nás je v pohybu, mění způsob uvažování o interpretaci prostoru, a proto v této souvislosti roste význam práce s technologiemi, které jsou schopny prostřednictvím AI-algoritmů generovat jakýkoliv digitálně plánovaný objekt a mají schopnost strojů rozeznávat vzory, obrázky, slova i zvuky, učit se, zpracovávat informace do podoby autoprogramování a komunikovat jako my lidé. Rozvoj podoblastí *Artificial Intelligence (AI)* jako je strojové a zpětnovazebné učení, postupuje rychlým tempem. Je možné pracovat na principech, které by byly schopny přenést metody několika typů strojového učení do oblasti generování architektury, městských celků i artefaktů. *Machine learning* využívá heuristické algoritmy, neuronové sítě a další pokročilé algoritmy v podobě datamining, jež pomáhají sledovat, analyzovat a předvídat trendy ve sféře našeho zájmu. *Supervised learning* znamená, že pro množinu vstupních údajů je definován správný výstup. *Unsupervised learning* pro změnu znamená, že ke vstupním datům není znám výstup, neví se, zda zadání má nějaké řešení, jestli je architektonický vzor znám nebo patří do nějaké skupiny architektur v rámci urbanistických vzorů. Tento typ se aplikuje i pro screening známých generujících architektonických procesů. Předpokládá se, že v praxi by se používala kombinace obou metod neboli *semi-supervised learning*, kdy část vstupních dat pro plánování vzorů je k dispozici i s předvídatelným výsledkem, ale jiná data takový výstup nemají. Typy strojového učení se většinou kombinují tak, že v první fázi *pre-trainingu* se automaticky identifikují známé i neznámé vzory architektury, jež jsou v datech obsaženy častěji a ve druhé fázi skryté vrstvy neuronové sítě rozeznávají různé kombinace vzorů, které se vyskytují častěji než jiné kombinace. Pre-training má funkci jakéhosi regulačního mechanismu, který upravuje variabilitu možných řešení. A i další rozhraní typu *Brain-Computer-Interface*, *Meta-Learning*, *Deep Learning*, *Blockchainu*, *Artificial Consciousness*, *Quantum Artificial Intelligence*, *Brain-Cloud* a podobně, dále prohlubují a rozvíjí možnosti práce s algoritmy, jež dokážou zpracovávat údaje, které přicházejí kontinuálně a následně se díky získávaným novým poznatkům, podobně jako činí lidský mozek, upravují parametry pro rozpoznávání vzorů při minimalizaci chyb. Proces představuje přijímání informací a poučení se z každé minulé, nedávné i současné zkušenosti do podob, jež představují generované obrazy určitých vzorů architektury. Progres technologie mění způsob uvažování o interpretaci prostoru podobně jako činí lidský mozek.

*Doktorandka Karolína Kotnour ve své práci představuje současné trendy v oblasti umělé inteligence v kontextu architektonické tvorby a možnosti jejich budoucího uplatnění nejen v digitálním, ale i fyzickém prostoru. Výzkumný proces je mimo jiné postaven na experimentu prostorového zvuku: surround sound, neurobiofeedback a neuro-evoluční AI-algoritmy v kombinaci s metodou Meta-Learning ve svém důsledku definují pojem Architectural Intelligence. Adaptace architektury na dynamické prostředí zvukoprostorů představuje velice ojedinělý multidisciplinární exkurz do soudobé problematiky práce s AI-algoritmy strojového učení, což samo o sobě je dostačující argument, aby byla zdůvodněna aktuálnost zvoleného tématu práce. Dle mého, v podstatě se jedná o originální vykročení směrem k naplnění vize plánování pomocí telepatie a telekineze.*

**Téma a metoda zpracování.** Práce implementuje evoluční strategii ve výpočtových modelech pro architekturu s několika experimentálními modely algoritmů strojového učení umělé inteligence formou „hands on code“ nebo „node programming“. Jak doktorandka sama uvádí, *disertační práce navrhuje novou strategii evolučních architektonických struktur založenou na myšlence adaptace na dynamicky se měnící prostředí s využitím pokročilých metod algoritmů strojového učení a umělé inteligence. Evoluční architektura využívá fyzické a kognitivní procesy, které jsou transformovány a sestavovány do struktur na základě vlastností a schopností prostředí. Projekt zkoumá „živý“ dynamický systém jako komplexní soubor přírodních a kulturních dílčích procesů, ve kterých každá z intereagujících entit a systémů vytváří komplexní agregáty. Zabývá se přírodními procesy, komunikačními toky, informačními sítěmi, distribucí zdrojů, hustými šumovými masami, velkou skupinou částic a jejich prostorovými interakcemi v prostředí. Významným rozšířením stávajícího výzkumu projekt vytváří meta-learning model vhodný pro testování různých aspektů adaptace na komplexní dynamické prostředí.*

Teoretická část práce nastiňuje nové přístupy k uchopení prostoru, materiálu a architektury v modelech vln a částic. Obsahuje studii digitálních prostorových zvukových struktur-zvukových ploch. Projekt je případovou studií zavádění nových přístupů v architektuře, které jsou špičkou současných výpočetních technologií. Zkoumá použitelnost algoritmů strojového učení v kontextu prostorových dynamických sil jako nástroje pro architektonickou reprezentaci zvukových a dynamických prostorových struktur. Druhá část práce se zabývá aplikací komplexnějších modelů strojového učení pro architektonickou inteligenci.

Experimentální část je zaměřena na koncept dynamického prostředí. Poté je představen koncept evoluční architektury a architektonické inteligence založený na myšlenkách adaptace na změny prostředí. Běžné algoritmy strojového učení a neuronové sítě mají omezený rozsah, protože se zabývají jednotlivými úkoly a nejsou dostatečné pro modelování komplexních adaptačních procesů. Proto je v práci navrhován přístup založený na pokročilých metodách jako je meta-learning, ve kterém lze poznatky získané řešením jednoho úkolu zobecnit a aplikovat na mnoho dalších úkolů. Představuje aplikace meta-learningu pro analýzu a návrh architektury a testuje navrhovaný teoretický rámec Meta-Evolver ve formě imerzivního digitálního prostředí.

Cílem práce je prohloubit a prozkoumat znalosti, které v současnosti máme v oblasti pokročilých počítačových hudebních technik na jejich matematickém pozadí spolu s technologiemi a možnostmi počítačové architektury. Výsledkem by tedy měla být architektura, jež reflektuje fyzické i meta procesy, které jsou transformovány a sestavovány s využitím pokročilých metod umělé inteligence do struktur na základě schopnosti prostředí.

**Každý člověk by měl v sobě pěstovat vlastní profesní zaměření a v té souvislosti by měl umět projevit i obhájit svůj postoj. Myslím, že totéž platí i při volbě metodiky zpracování disertační, či jakékoliv, práce. Záměrem prezentované zcela původní práce je představit procesy, formy a styly plánování nově zavedeného pojmu Architectural Intelligence. Respektuji, že architektka Karolína Kotnour si zvolila velice aktuální a velmi náročné zadání výzkumu, kterému po formální i obsahové stránce nic nechybí: nabízí silnou ideu, mezinárodní přesah, odpovídající metodiku a kvalitní zpracování.**

**Nové poznatky v rámci disertační práce.** Současné způsoby plánování stále aplikují zjednodušené modely, které redukovat společenské interakce na pravidla, jež zjednodušují chování jednotlivých lidských entit a prostředí. Naopak zde prezentovaná sdělení jsou výsledkem intenzivního multidisciplinárního výzkumu od neurověd, kybernetiky a informatiky, umění zvuku, techniky a kompozice hudby, filozofie a architektury. Tato multidisciplinarita přenáší znalosti do oblasti architektonické tvorby, od rozhraní *Brain-Computer-Interface* a kognitivní metody *Meta-Learning* až po digitální modelování prostřednictvím algoritmů strojového učení umělé inteligence, v kontextu dynamických sil jako nástroje pro architektonickou prezentaci prostorových struktur zvuku. Právě *AI-algoritmy* poskytují potřebné nástroje, jež cíleně dovolují generovat nekonečné množství směn a chování, při nichž mezi lidmi i okolím dochází k výměně myšlenek a prožitků. Hlavní motivací je propojení tvorby architektury s procesy lidského chování a vnímání v dynamickém prostředí. Důsledkem je definování nového pojmu *Architectural Intelligence* jako souboru evolučních mechanismů, které mají schopnost adaptovat „organismus“ architektury na nový environmentální „prostorový“ kontext nebo vzorce jeho symbiotického chování, a to v časově rozmanitě definovaných interakcích. Architectural Intelligence je trénována jejím architektem.

**Přínos pro další rozvoj architektury, umění, vědy a techniky.** Pokud se opět obrátím do historie, tak kdykoliv byla v minulosti zavedena nová forma komunikace, zcela nevrátně to urychlilo změny ve společnosti a posunulo lidstvo z jedné éry do další. V pravěkých dobách byli naši předci kočovníci, kteří se přesouvali z místa na místo v malých kmenech a komunikovali jeden s druhým pomocí řeči těla a hlasitých zvuků. Příchod jazyka nám poprvé umožnil komunikovat symboly a složité myšlenky, což vedlo k zakládání vesnic a nakonec i měst. Během posledních pár tisíc let nám psaný jazyk umožňoval shromažďovat vědění a kulturní odkazy napříč generacemi. Díky tomu se mohly rozvíjet věda, umění, architektura a obrovské říše. Příchod rádií, televize a telefonů rozšířil dosah komunikace na celé kontinenty. Internet nám umožňuje vzestup globální civilizace, která propojuje všechny kontinenty, jednotlivce i národy na světě. Další obrovským krok by mohl znamenat rozvoj technologií, které patří do kategorie *Brain Controlled Technology*. Mozkem ovládané technologie by představovaly velkou přesnost při rozpoznávání, rozhodování a ovládání charakteristik signálů, což by vedlo k „vytvoření digitální nadstavby nad mozkovou kůrou“, jež by se stala součástí procesu plánování prostředí kolem nás. Dále se odvažuji tvrdit, že duch disertační práce, jež etabluje pojem *Architectural Intelligence*, má nakročeno ještě dál směrem k vytvoření funkčního *brain-netu*, operačního systému média, přes něž budou „lidé“ navazovat přímá spojení pouze pomocí vlastní mysli.

**Splnění sledovaného cíle.** Práce zkoumá „živý“ dynamický systém jako komplexní soubor přírodních a kulturních procesů, ve kterých dochází k interakci entit a systémů, jež generují komplexní struktury. Do oblasti výzkumu prémiově uvedla odborný termín *Artificial Intelligence (AI)*, který definuje vyvíjející architekturu prostřednictvím transformace metod neurověd, neuro-evolučních AI-algoritmů strojového učení, imerzivního výzkumu a experimentování prostorovým zvukem. Výstupy „fyzicky“ prezentovala prostřednictvím audiovizuálních virtuálních a holografických obrazových projektů. Pracovala kreativně i poctivě, o čemž svědčí rozsah práce a s ním spojené aktivity. Za všechny uvádím: řešitelka dvou grantů, konzultace s velkým počtem kvalitních multioborových specialistů, aktivní účast na třinácti zahraničních i tuzemských konferencích, workshopech, velké množství publikovaných vlastních článků a prezentací projektů v zahraničí. Práce motivuje nejen k programování AI-algoritmů strojového učení, práci s daty a studiu prostředí pokročilých digitálních nástrojů, ale i ke kritickému myšlení. Má potenciál modifikovat současné procesy multidisciplinární spolupráce a inspirovat tvorbu, či vzdělání, v oblasti umění, architektury, designu a urbanismu.

Doktorandka **Karolína Kotnour**, dle mého názoru, dosáhla po tvořivé stránce cíle zadání a našla odpovídající druh scénáře pro naplnění obsahové i formální stránky tématu své disertační práce pod názvem „**Sound Shape Space. Architectural Representation of Soundscapes with the use of Artificial Neural Networks**“, jež představuje novou strategii procesů plánování evolučních architektonických struktur, založených na myšlence adaptace na dynamicky se měnící prostředí s využitím pokročilých metod algoritmů strojového učení umělé inteligence.

**Doporučuji disertační práci obhájit a udělit akademickou hodnost „Ph.D“.**

V Praze dne 7.5. 2023

Doc. Ing. arch. Miloš Florián, Ph.D

vedoucí studia FLO|W  
www.studioflorian.com