

VIRTUAL TWINS OF ARCHITECTURE: THE SINGULARITY OF THE PROFESSION AND THE FIELD

VIRTUÁLNÍ DVOJČATA ARCHITEKTURY: SINGULARITA PROFESE I OBORU

Autor:

Šourek Michal

Abstract:

Architecture is facing a singularity; the focal point of the singularity is virtual reality, virtual twins of architecture, and virtual public space, a central principle is the (so far inaccessible) authentic diachronic perception of architecture and its instantaneous creation from spaces within space. Architecture should embrace the singularity and undergo a reinvention of the discipline and the profession to rid itself of accumulated problems that often escape attention and whose essence is hidden. The prospect is to transform the paradigm of architectural design and built environment development planning, understanding architectural designs and communication with them, about them, and between interested professionals and the public. The benefits are to be numerous qualitative and quantitative increases in the performance of the profession and widespread and diverse improvements in the conditions and societal and sustainability profile of the built environment and architecture as a discipline. Based on a review of the state of the art of the field of software for architectural and building design, the paper reports on the research and development of a new software tool and virtual reality environment - *Wearrecho* - which fulfills the intended transformation and becomes its platform that links the virtual reality environment and parametric BIM software. The prevailing positive results of the experimental validation of their performance are presented, followed by a plan for continued research and development.

Keywords:

public space; communication; participation; virtual reality; architecture; construction; built environment; computer-aided design; Building Information Management; poiesis; parametrization; creativity; industrialization

Abstrakt:

Před architekturou leží singularita; jejím ohniskem je virtuální realita, virtuální dvojčata architektury a virtuální veřejný prostor, ústředním principem je (doposud nedostupné) autentické diachronické vnímání architektury a její instantní tvorba z prostorů v prostoru. Architektura by singularitu měla přijmout a podstoupit přerod oboru i profese, aby se zbavila nashromážděných problémů, které často unikají pozornosti a jejichž podstata je skrytá. Perspektivou je proměna paradigmatu architektonické tvorby a projektování rozvoje vystavěného prostředí, porozumění architektonickým návrhům a komunikace s nimi, o nich a mezi zainteresovanými profesionály i veřejností navzájem: jejich přínosem mají být četná kvalitativní i kvantitativní zvýšení výkonnosti profese a rozsáhlá a různorodá zlepšení podmínek i společenského a udržitelnostního profilu vystavěného prostředí a architektury jako disciplíny. Na podkladu přehledu stavu oboru software pro navrhování architektury a projektování staveb práce informuje o výzkumu a vývoji nového softwarového nástroje a prostředí virtuální reality *Wearrecho*, které zamýšlenou proměnu naplňují a jsou její platformou, která spojuje prostředí virtuální reality a parametrického software BIM. Představeny jsou převážně pozitivní výsledky experimentálního ověření jejich výkonnosti a na ně navazující plán pokračujícího výzkumu a vývoje.

Klíčová slova:

veřejný prostor; komunikace; participace; virtuální realita; architektura; stavitelství; vystavěné prostředí; computer-aided design; Building Information Management; poiesis; parametrizace; tvořivost; industrializace

(1) ÚVOD

Architektura jako způsob lidské existence stojí před výjimečným bodem své historie, který nabízí bezprecedentní rozvoj disciplíny i oblasti. Tuto singularitu reprezentuje technologický fenomén – současný výzkum, vývoj a novinky v oboru počítačových technologií, které zastřešuje pojem virtuální reality, úžeji virtuálních dvojčat architektury a vystavěného prostředí. Práce předkládá výsledky výzkumu a vývoje v této oblasti: experimentální softwarový komplex pro bezprostřední navrhování architektury – autentické navrhování architektury v prostoru a

z prostorů v prostředí virtuální reality, které je platformou stejně bezprostřední komunikace *stakeholderů* projektu navzájem, s tvůrci i s objekty samotnými; produktem práce a komunikace je konsensuální virtuální dvojče budoucí (nebo i fyzicky existující – spravované nebo k úpravě připravované) architektury, entity vystavěného, potažmo syntetického prostředí, opatřené komprehensivním souborem informací o parametrických -fyzikálních, chemických, obchodních, ... - vlastnostech jednotlivých jeho konstrukčních a prostorových součástí i celku; takové dvojče konečně existuje paralelně v prostředí virtuální reality a v parametrickém prostředí standardního BIM (Building Information Management) softwaru pro projektování staveb – a v obou těchto prostředích je možné s ním komunikovat, upravovat, vytvářet je.

Bylo by však chybou redukovat singularitu interaktivního a komunikativního virtuálního prostředí a virtuálních dvojčat na technický fenomén: zásadní je jednota, inherentní provázanost nových technických příležitostí s novým způsobem myšlení o architektuře a přístupem k jejímu navrhování v kontextu udržitelného rozvoje vystavěného prostředí a udržitelnosti života na Zemi vůbec. Nemá-li se pokrok vyčerpat ve zdokonalení řemeslných dovedností, možná ve zlepšení společensko-ekonomických podmínek výkonu profese architekta a možná ještě před naplnění takto okleštěného potenciálu, je třeba vnímat a dále studovat východiska singularity i různorodá pole jejího rozvojového potenciálu a efektivního uplatnění. Anotované pojetí architektury a vystavěného, potažmo syntetického životního prostředí jako způsobu lidské existence, opírající se o fenomenologii Husserlova (... *jeví se nejeví, jeví se prožívají* [1]) a Heideggerova (... *básnický bydlí člověk* [2]) a o její rozpracování Norberg-Schulzem [3], zdůrazňuje obecnou, společenská i existenční závažnost „oborové“ singularity i potřebu jejího vnímání v širokých souvislostech. Dosavadní vědomí těchto souvislostí má daleko k úplnosti: tato práce předkládá indikativní přehled současného poznání „Odkud přicházíme“ [4] a „Kam jdeme“, a ukazuje, že tím, „Co jsme“, je virtuální veřejný prostor, ve kterém můžeme „žít“, komunikovat navzájem a (především) bezprostředně interagovat s virtuálními dvojčaty architektury a vystavěného prostředí v nejrůznějších fázích jejich zrodu, existence i zániku nebo (lépe) přeměny a nového využití.

Stav výzkumu a vývoje v oboru nástrojů pro navrhování architektury a staveb s využitím virtuální reality

Důsledné zasazení předkládaného výzkumu a vývoje do kontextu úkolů udržitelného rozvoje, společensko-ekonomické situace a perspektiv architektonického oboru a profesí architekta a stavitele (respektive projektanta) jako primárního, ale rozhodně ne výlučného uživatele jejich výsledků – technologie bezprostřední a interaktivní komunikace a tvorby architektury v souběhu s parametrickým projektováním staveb – BIM – vyčleňuje prezentovaný projekt s chráněným označením *Wearrecho* ze stavu oboru a ukazuje ho jako jedinečný a předstihový. Sledování širokého, „mimoprofesionálního“ i „mimooborového“ kontextu a průběžná aktualizace východisek i cílů vývoje jsou zásadními principy prezentovaného projektu a podklady udržování jeho unikátnosti a paradigmatického i funkčního náskoku. Historie a charakteristiky „konkurenčních“ softwarových nástrojů a údaje o počtech jejich uživatelů (které se pohybují ve statisících) ukazují vynikající potenciál dalšího vývoje a uplatnění *Wearrecho*; necháme-li *Wearrecho* stranou, etalonem stavu oboru jsou především tyto softwarové nástroje:

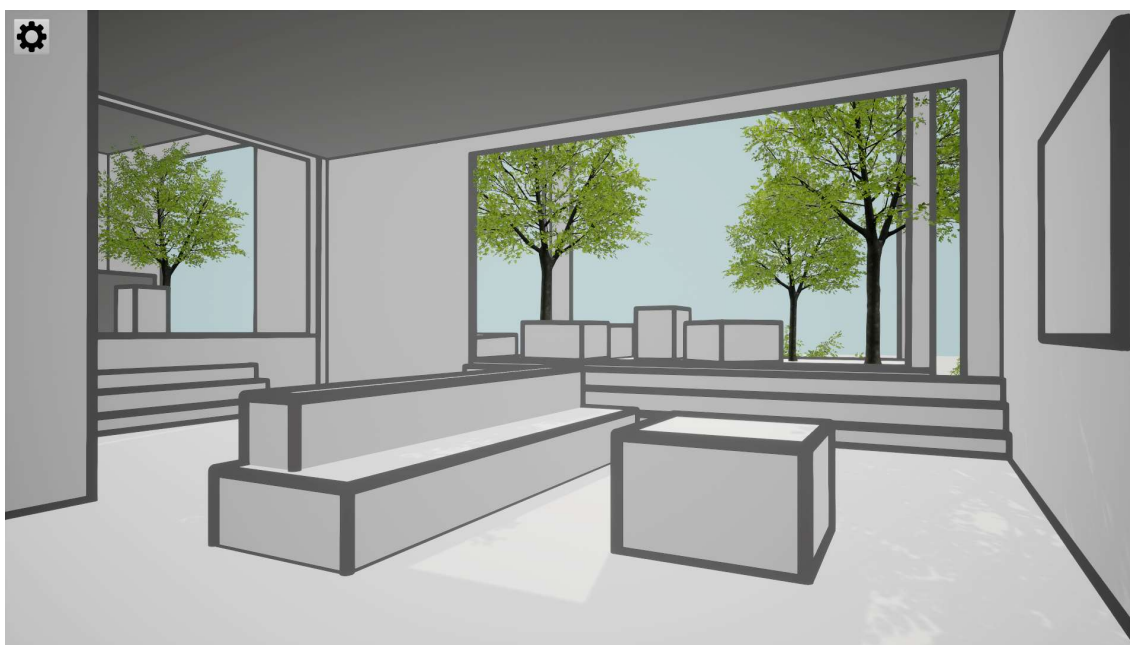
Mindesk umožňuje přenesení modelování ze software Rhinoceros a Solidworks do virtuální reality do prostředí původně herního nástroje Unreal Engine. Je úzce zaměřený na průmyslový a produktový design. Neumožňuje plnou spolupráci více uživatelů na jednom projektu, ve virtuální realitě se zobrazuje pouze model, nikoliv textury a materiály. Nedisponuje obousměrným propojením v reálném čase s parametrickým prostředím. Společnost, formálně založená v roce 2015 v Itálii, produkt vyvíjí od roku 2014 a na komerční bázi ho poskytuje dalším uživatelům od roku 2016. [5]

The Wild umožňuje přenesení modelu ze softwarů Sketchup a Autodesk Revit do virtuální reality. Je to multiplatformní program, který umožňuje pohybovat ve virtuální realitě komponentami, měnit materiály, skicovat a psát poznámky. Nedisponuje propojením s parametrickým prostředím v reálném čase., umožňuje spolupráci více uživatelů, je zaměřený především na presentaci. [6]

Arkio spolupracuje s modely, vytvořenými v programech Autodesk Revit, Sketchup a Rhinoceros, ale postrádá několik klíčových funkcionalit: nedisponuje přímé obousměrné propojení s Autodesk Revit nebo jinými parametrickými software, vymodelované prvky není možné ovládat zpětně ve výchozích prostředích (Revit, Sketchup, ...), má horší kresbu. Umí modelovat ve virtuální realitě, umožňuje spolupráci více uživatelů, je to multiplatformní software. Během roku 2017 vznikla alfa-verze Arkio, beta-verze byla spuštěna v polovině roku 2019 a o dva roky později verze 1.0. Vývoj software je, zřejmě z marketingových a ekonomických důvodů připojen k vývoji hardware – *head setů* Oculus. [7]

Spacemaker je webová aplikace, která umožňuje v prohlížeči modelovat rozsáhlé urbánní celky s okolím, které získává z veřejně přístupných datových zdrojů. Modely následně analyzuje umělou inteligencí, vložená data mohou být zadáním pro umělou inteligenci pro generování vlastních návrhů. Software poskytuje plošné analýzy, analýzy denního osvětlení místností, akustické analýzy, analýzy proudění větru a další: na základě výsledků analýz komplexně vyhodnocuje mikroklima. Spacemaker spolupracuje s Autodesk Revit, ale jen „jednosměrně“ – neumožňuje editování BIM modelu, ani zobrazení ve virtuální realitě. Vývoj Spacemakeru začal v roce 2016 v Norsku. [8]

Průzkum neodhalil žádný software, který by disponoval obousměrným propojením virtuální reality v reálném čase s parametrickým BIM prostředím, žádné řešení, které by umožňovalo v prostředí virtuální reality plnou editaci prvků, vytvořených v parametrickém software. Nebyla odhalena paralela přístupu prezentovaného výzkumu a vývoje, spočívající v uživatelsky komfortním a zároveň autentickém navrhování architektonického prostoru „v první osobě“, zevnitř a v měřítku jedna ku jedné. Nenaplněná zůstává perspektiva virtuální reality jako funkčního otevřeného komunikačního i veřejného prostoru, prostředí autentické prostorové tvořivosti a zároveň plynulé obousměrné komunikace v reálném čase bez ztráty informací s parametrickým prostředím software, zavedených a osvědčených pro projektování staveb.



obr. 1: Prostor je základním stavebním kamenem architektury: prostor, nikoliv konstrukce nebo materiál. studentská práce ve Wearrecho, snímek z archivu autora

Stav oboru architektury a profese architekta, situace, na kterou výzkum a vývoj reagují

Situace je zřejmě poplatná historii a současnému stavu náhledů na architekturu a vystavěné prostředí a přistupování k nim se strany tvůrců i klientů – v nejobecnější rovině celé společnosti: prezentovaný výzkum a vývoj, i když povaha jeho výstupu je technologická, musí situaci znát a rozumět jí, pokud jeho ambicí je příspěvek pro praxi. Ukazuje-li se, že efektivní uplatnění a přijetí jeho technologického výstupu je podmíněno proměnou paradigmatu profesního, oborového i společenského, výzkum a vývoj nesmí přehlédnout a musí se vyrovnat se ztrátou zřetele architektury jako profese i oboru k veřejnému prostoru – a znovuobjevení jeho přitažlivosti a významu díky (mimo jiných) epidemiologickým restrikcím let 2020 a 2021. Projekt reaguje na odsun architektonické profese na vedlejší kolej nejen z hlediska prestiže profese, ale především z hlediska očekávání jejich přínosů. Odsun architektury z pozice *summum templum* [9] je důsledkem především úpadku zřetele k veřejnému prostoru [10], který odstartoval v 18. století Laugiérův *koncept primitivní chatrče* [11] a završily ho – po peripetii meziválečné architektonické moderny [12] - Mezinárodní kongres architektury [13] a *mezinárodní styl* [14] v padesátých a šedesátých letech 20. století. Do ústraní architekturu dále odsouval také masivní nástup virtuálního veřejného prostoru multiplatformních informačních a komunikačních technologií od závěru 20. století: člověk, „přilepenému“ k monitoru mobilního telefonu, se o své fyzické okolí pramálo zajímá – dokud mu karanténa nepřipomene jeho hodnoty, význam a přitažlivost.

(Zatím) posledním „hřebíkem do rakve architektury“ je klimatická změna. Vystavěné prostředí je prostředím, mimo něj člověk nedokáže ani nechce existovat. Jistě, k „přírodě“, k přirozenému, člověkem neupravenému prostředí člověk svoji existenci vztahuje rovněž, ale přežít – fyzicky, a mentálně také – dokáže člověk a lidská společnost jen v prostředí, které ke své existenci člověk od počátků historie upravoval a dále upravuje, staví, buduje. A tomuto prostředí se dnes vyčítá, že je zodpovědné za 40% emisí externalit [15], jejich důsledkem je mimo jiné klimatická změna: materiální svět lidské existence má být příčinou zániku existence lidstva [4]. Nevyřčeným výkladem je, že za to mohou architekti a stavitelé, kteří nejsou sami o sobě schopni navrhovat budovy a stavby, které by neohrožovaly udržitelnost života na Zemi. Na pomoc jsou tedy povoláni environmentalisté a energetičtí specialisté, kteří rozhodují (mimo jiné), jak velká a kam orientovaná má mít budova okna, jak plastický smí být její plášť, ...: architekti jsou zbavováni svéprávnosti – leda, že deklarují podřízenost energetickým a environmentálním specialistům, kteří se za ně zaručí.

V řemeslné a komunikační poloze výzkum a vývoj reagují na rozpor inherentní trojrozměrné prostorovosti a diachronního [16, 17] vnímání architektury na jedné straně a její pouze dvojrozměrné a v rozhodující míře statické reprezentace na straně druhé. Základním nástrojem architekta je jeho hlava a v ní skrytá poetika a představitivost. Ukázat, co vytvořil, ukázat to tak, aby to pochopil i laik, není vůbec jednoduché. Co laik: i zkušeného profesionála někdy překvapí realita toho, co si představoval a nakreslil. Od nepaměti, hlavním vyjadřovacím prostředkem architekta je tužka nebo něco na ten způsob. A ta tužka v ruce architekta kreslí jen dvojrozměrné obrazy, symboly troj- a vícerozměrného prostoru – nekreslí architektonický prostor samotný, ale jeho schémata – půdorysy, řezy, izolovaná axonometrická nebo perspektivní zobrazení. Ano, od 15. století máme konstruktivní perspektivu [18, 19, 20], od přelomu tisíciletí perspektivní zobrazení kreslí počítače: jedno i druhé ovšem pouze na základě těch starých známých schémat – půdorysů a řezů. Více-méně totéž platí i pro fyzické modely budoucí architektury. Tím nebo oním ze zavedených způsobů, architektura přítomná (zatím pouze) v návrhu je předkládána synchronnímu vnímání, které odporuje skutečnému vnímání, zážitku reálné architektury, navíc je takto vesměs předkládán pouze její výsek, fragment. Diachronní vnímání architektury v návrhu, architektury doposud nematerializované zůstává v dnešní dobré praxi nedostupné.

Přehlíženým, o to závažnějším problémem je nevyjasněný vztah profesí architekta a stavitele v současnosti. *Základním stavebním kamenem architektury je prostor, nikoliv konstrukce nebo materiál. Jde o prostor, ve kterém žijeme a který přechází z krajiny obydlené člověkem do veřejného prostoru měst a vesnic; přes průčelí budov, která veřejný prostor artikuluje a dávají mu smysl a formu, přechází dovnitř budov. Expozice ve veřejném prostoru se stavba stává architekturou: prostor, o kterém je architektura, je především veřejný – ať už bezprostředně, nebo zprostředkovaně.* Taková je teorie; praxe je ovšem taková, že architekti sami sebe většinou tak nebo tak považují za stavitele, a jako na stavitele, snad s estetickým citěním, se na ně dívají i prakticky všichni ostatní. Málo platné, že Encyclopedia Britannica stavitelství a architekturu výslovně rozlišuje: *architecture, the art and technique of designing and building, as distinguished from the skills associated with construction* [21].

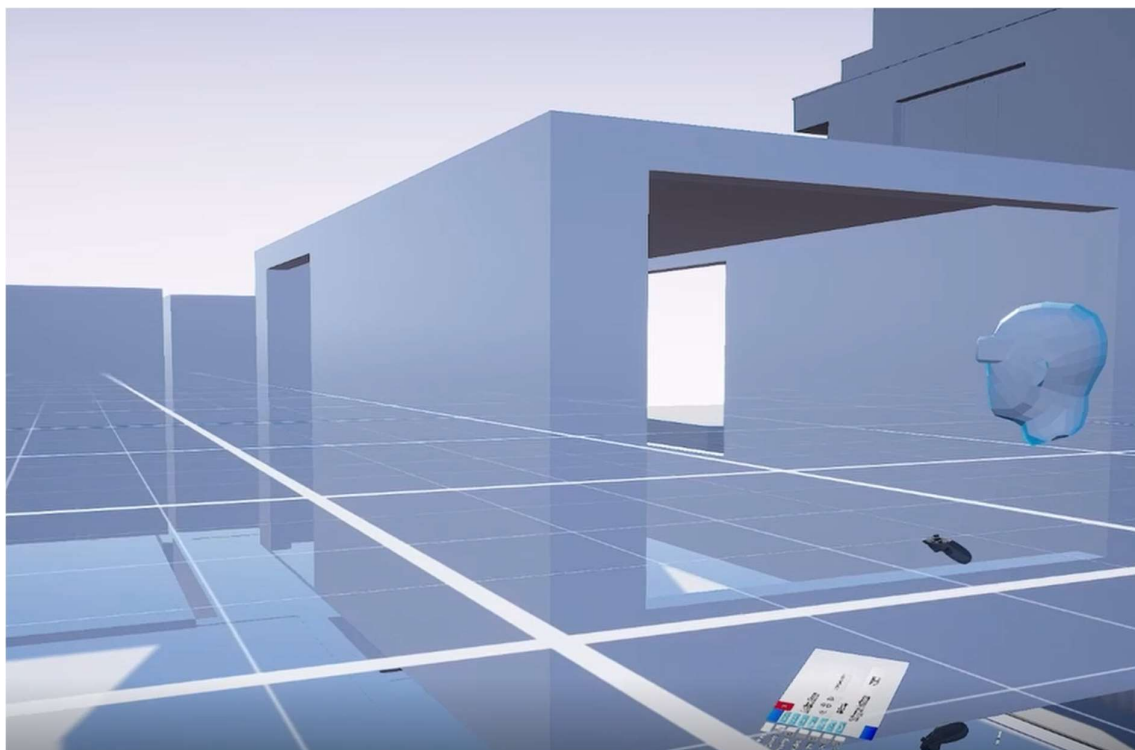
Ve své podstatě je vztah stavitelství a architektury velmi podobný vztahu agronomie a gastronomie. Chovat býčky Wagyu je jedno řemeslo, a druhé je dělat z jejich masa zážitky pro naše smysly: zajímavé je, že tohle si nikdo neplete. Velmi podobně - vymyslet prostor divadla, chrámu nebo „obyčejného“ obývacího pokoje je jeden úkol, a vymyslet konstrukce, které takový prostor zhmotní, je úkol druhý. Jistě, oba úkoly spolu úzce souvisí, jejich řešení se navzájem ovlivňují i inspirují, ale stále jsou to dva úkoly různé už ze svojí podstaty. A dva rozlišné úkoly jsou to i tehdy, pokud je řeší jedna hlava nebo jeden tým. „Dvojprofese“ architekt a stavitel je v praxi i v teorii pravidlem spíš než výjimkou, a převažující praxí je směřování obou oblastí, zaměňování prostorových a konstrukčních otázek – a jejich řešení navzájem: kvalita řešení pak zákonitě trpí. Architektura není estetizované stavitelství, a pokud k ní takto přistupuje i její tvůrce, optimálního výsledku může dosáhnout leda náhodou.

Problém dále prohlubují a konzervují nástroje, které jedna a druhá profese používá při své práci a které nevyhnutelně dále ovlivňují kvalitu produkce. Digitalizace se ukazuje jako nepominutelná mezi silami, která v 21. století formují produktivitu i efektivitu materiální, často i myšlenkové produkce [22]. Stavebnictví z hlediska digitalizace zaujímá poslední místo mezi průmyslovými odvětvími; ostatně, je doposud typickým „catch-up“ odvětvím [22], které zaostává v inovacích obecně. A lépe na tom v rámci profesí rozvoje vystavěného prostředí není ani architektura: nástroje, se kterými dnes pracuje architekt, jsou „předpotopní“ a nevhodné. Stavitelé, respektive projektanti staveb dnes nejčastěji pracují s počítačovými programy Autodesk Revit, Archicad, Allplan: vesměs parametrickými nástroji, soustředícími se na konstrukce a k takovému účelu dobře vyvinuté. Prostor, architektonický prostor tyto nástroje neřeší – prostor je pro ně tím, co zbyde mezi konstrukcemi. A přitom jsou úspěšně podsouvány architektům (počínaje studiem, kdy je studenti architektury zpravidla mohou používat zdarma). Jakého výsledku může dosahovat řemeslník, který je odkázán na nástroj, určený pro jinou práci, jiné řemeslo? Architekti jistě mají k dispozici i jiné počítačové modelovací programy – SketchUp, Lumion, Rhinoceros, ...: všechny ale pracují s objemy, nikoliv s prostory, a jen obtížně překonávají princip parametrizace.

Obvyklé výkresové reprezentace architektury – od prováděcí dokumentace po fotorealistické vizualizace – snesou přirovnání k návodům, které spolu se sáčky stavebnicových elementů prodává LEGO. Zkušenost ukazuje, že průměrné sedmi-, osmileté dítě toho podle takového návodu moc nepostaví. Dejte ale dítěti univerzální „kostičky“ a volnou ruku – dům postaví snadno a rychle. Stavební „kostičkou“ architektury je prostor: architekti budou tvořit snáz a s lepšími výsledky, jakmile budou mít k dispozici „stavebníci“, jejichž „kostičkami“ budou flexibilní, proměnlivé a snadno „skládatelné“ prostory: ve virtuální realitě je to možné.

Výjimečně pronikaví teoretici architektury vnímají projevy neblahé situace: vzdálení od „business as usual“ architektonické praxe, neměli šanci odhalit příčiny. Identifikace a analytický rozbor problému jsou ale i tak přínosné, když pojmenovávají problém, kterého si není vědoma profese sama ani její klienti. V přelomové práci *Architektura ve věku rozdělené reprezentace Problém tvořivosti ve stínu produkce* [23] Dalibor Veselý na prahu nového tisíciletí kriticky revidoval Albertiho [24] obdobně, jako Alberti o pět set let dříve z pozic rodícího se novověku kriticky revidoval Vitruvia [9]. *Problém tvořivosti ve stínu produkce* je projevem a produktem mísení a zaměňování úkolů architekta a stavitele. Nesourodost tématu architektonického prostoru na jedné straně a stavební konstrukce na straně druhé je stejně zásadní jako v současnosti podceňovaná a přehlížená. Jde o neslučitelnost principu poietického [25] s přístupem mimetickým, z podstaty parametrickým.

Nepochopení zásadní odlišnosti v přístupu k navrhování jednak architektury, jednak stavebních konstrukcí je takřka obecné. Spíše než teoretici architektury, část, jakkoliv nevelká, profesní praxe intuitivně identifikuje negativní roli parametrických „stavařských“ softwarových nástrojů v tomto ohledu: dovozují z ní odsudek, potažmo „plošný zákaz“ počítačové podpory architektonického navrhování. Jejich omyl předvídal již v roce 1966 Martin Heidegger, když v ikonickém rozhovoru pro magazín Spiegel glosoval naši neschopnost *uchopit myšlením základy teprve se rodícího technického věku* [26]. Problémem ve skutečnosti není Revit ani Archicad – problémem je naše/architektů neschopnost vnímat, k čemu se tyto nástroje hodí, k čemu naopak nikoliv, a podle toho s nimi nakládat.



obr. 2: Nástroj, který bude mít na zřeteli především prostor samotný, nikoliv konstrukce, mezi kterým snad ten prostor zbyde, by podle všeho měl podpořit tvořivé schopnosti architektů a kvalitu architektonických návrhů, přispět ke kvalitě rozvoje vystavěného prostředí a v konečném důsledku podpořit udržitelnost rozvoje obecně. snímek popisu studentské práce ve Wearrecho, archiv autora

Struktura práce

Řemeslnou pointou diskutované singularity je dvojice bezprecedentních možností: jednak autentické architektonické tvorby, spočívající v bezprostřední práci s prostory a v prostoru – „v první osobě“, zevnitř a v „životní velikosti“, jednak realitě (a zvyku člověka) odpovídajícího vnímání architektury z libovolného místa a diachronicky –

v pohybu prostorem podle volby „diváka – návštěvníka – pozorovatele“ stejně jako tvůrce, v čase a v měnících se světelných, případně provozních a atmosférických situacích. (Funkcionality komunikace a provázanosti s parametrickým software jsou vzhledem k těmto jedinečným možnostem odvozené, vytvářejí společně s nimi specifické otevřené prostředí a komprehenzivní funkční komplex.) Technologickým cílem prezentovaného výzkumu a vývoje je přenos komunikace a interakce v procesu návrhu architektury a projektové přípravy stavby (a také správy v různých fázích její existence) do duálního prostředí virtuální reality souběžně s parametrickým software pro projektování a správu staveb; komunikace v prostředí virtuální reality může být zcela otevřená a inkluzivní: limitem je přístup k internetu; objektem komunikace a interakce je virtuální dvojče architektury, potažmo stavby – budoucí či fyzicky existující – jejím přirozeným prostředím je metaverze. Virtuálního dvojče může být komprehenzivním reprezentantem architektury a její stavební substance ve fázi tvorby návrhu, hledání řešení stejně jako vyčerpávajícím podkladem pro správu stavby, modelování různých jejích provozních stavů a situací užívání nebo příprava úprav materiální substance. Druhá část práce shrnuje předpoklady prezentovaného vývoje a metody jeho naplnění.

Vedle průběžného budování uživatelské zkušenosti a uplatňování zpětné vazby vývojovým týmem, dosavadní výsledky výzkumu a vývoje byly experimentálně ověřeny v práci vybraných studentů bakalářského studia oboru architektura a stavitelství Fakulty stavební Českého vysokého učení technického v Praze, kteří v prostředí virtuální reality s použitím aktuálně dostupné verze vyvíjeného software v letním semestru akademického roku 2021/2022 zpracovali svoje závěrečné práce – návrhy rodinného domu. Třetí část práce přibližuje vyvíjený software, informuje o průběhu experimentu, předkládá jeho výsledky a předběžný plán dalšího výzkumu a vývoje.

Ve čtvrté části práce jsou předloženy k diskusi další možné oblasti rozvoje, výzkumu a vývoje širokých souvislostí prostoru virtuální reality a fenoménu virtuálních dvojčat architektury a entit vystavěného prostředí, jejichž jádrem je prezentovaný výzkum a vývoj softwarového nástroje a komplexního softwarového prostředí: komunikativních aspektů a rolí virtuálního prostoru, jeho kompetencí a výkonnosti jako veřejného prostoru a prostoru rozšířené existence člověka, který spolu s ním osídlí také umělá inteligence, teorie architektury, ekonomických podmínek technologického rozvoje tvorby architektury a vystavěného prostředí, otázek industrializace profese architekta.

Závěr práce připomíná kontext dosavadních i reálně dosažitelných výsledků výzkumu a vývoje – výstupů projektu a zdůrazňuje přínos a význam jejich dosažení a zavedení do praxe profesní, oborové i společenské. Načrtnut je jednak plán dalšího výzkumu a vývoje funkčních oblastí nástroje a prostředí *Wearrecho*, jednak perspektiva jejich rozšíření za rámec tématu architektury a rozvoje vystavěného prostředí – potenciál aplikace principů technologie virtuálních dvojčat a interaktivní, otevřené a inkluzivní komunikace v dalších profesních a společensko-ekonomických oblastech.



obr. 3: Proč nepřenést do virtuální reality proces komplexního návrhu architektury jako celek?! Technicky to již začíná být možné, máme ale důvod o to stát? snímek postupu studentské práce ve *Wearrecho*, archiv autora

(2) PŘEDPOKLADY A METODY

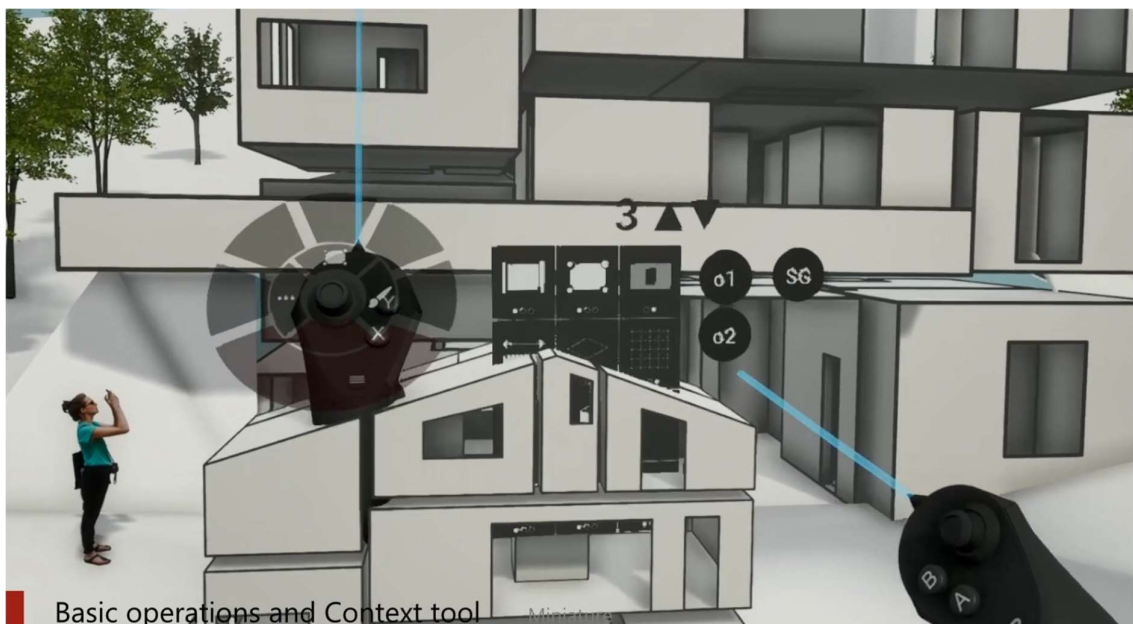
Architekti dnes již mohou mít k dispozici nástroj, který umožní tvořit architekturu bezprostředně – z prostorů a v prostoru, ve skutečné velikosti a „v první osobě“. Obdobně i klienti architektů, *stakeholderi* projektů i široká veřejnost mohou mít příležitost vnímat – a vice versa architekti mohou mít příležitost představovat architekturu v návrhu způsobem odpovídajícím materiální skutečnosti – v trojrozměrném prostoru, ve skutečné velikosti, v pohybu prostorem a v čase, v měnících se mikroklimatických a provozních situacích, diachronicky, to všechno společně ve vzájemné komunikaci, ve sdíleném prostoru, dokonce bez ohledu na to, kde se právě fyzicky nacházejí. Prostředím, které takovou tvorbu, vnímání, představování a komunikaci umožňuje, je virtuální (nebo rozšířená) realita. Reprezentantem navrhované, doposud nematerializované architektury v prostoru virtuální reality je její virtuální dvojče.

Virtuální dvojče

Virtuální dvojče stavby, entity vystavěného, potažmo syntetického životního prostředí je její počítačový prostorový model, který člověk, vybavený odpovídajícím technickým zařízením může smyslově vnímat z libovolné pozice a diachronicky - v pohybu, jehož parametry odpovídají tomu, na co je člověk zvyklý, a (podle zájmu) případně v celku – na rozdíl od doposud jedině dostupných reprezentací synchronických a nevyhnutelně fragmentárních. Virtuální dvojče je vybavené atributy, které generují smyslové vjemy blízké vnímání fyzického dvojčete – fyzické předlohy - lhotejno, zda existující, či (zatím) nikoliv. Virtuální dvojče ovšem může zprostředkovat více než skutečnému se blížící smyslový vjem, zážitek architektury: může reprezentovat i (budoucí, plánovanou) materiální stránku stavbu, která má architekturu zhmotnit. Virtuální dvojče může být současně vybavené komprehensivním souborem mimosmyslových informací – dat, charakterizujících fyzikální a chemické vlastnosti fyzické předlohy, které umožňují sledovat její chování ve všech ohledech, sledovaných dostupnými výpočetními technikami – a simulovat odpovídající chování virtuálního dvojčete.

Virtuální dvojče pak může existovat jak v prostředí virtuální reality, tak v prostředí parametrického softwarového nástroje pro projektování staveb – typicky Autodesk Revit, Archicad, Allplan, ... - a v každém z těchto prostředí s ním architekt a/nebo projektant může pracovat způsoby a s použitím funkcionalit daného prostředí. Nabízí se označit takové virtuální dvojče jako duální, když existuje ve dvou prostředích paralelně – když jsou to vlastně dvojčata dvě. To by ale bylo zavádějící a ohrožující přínos nové technologie, přesněji řečeno by to bylo popřením technologie jako takové: dvojče musí zůstat jedno, jen v každém z obou prostředí se uplatní jiné z jeho atributů, včetně „přístupnosti“ pro jiné funkcionality. Dvojice dvojčat by byla krokem zpět nejen proto, že už by to byla trojčata: úpravy virtuálního dvojčete provedené v jednom prostředí musí zůstat zachovány i v druhém prostředí bez ohledu na to, zda budou v podmínkách druhého prostředí identifikovatelné a aktivní, nebo budou skryté a pasivní. Jinak řečeno, z prostředí do prostředí ať přechází tvůrce nebo pozorovatel, členové tvůrčího týmu mohou být a přistupovat ke dvojčeti v jednom a druhém prostředí, ale dvojče je a vyvíjí se stále jen jedno. Existenci dvou dvojčat – reprezentantů specifických buďto pro prostředí virtuální reality, nebo pro prostředí parametrické nástroje projektování staveb(ních konstrukcí) je třeba odmítnout, pokud by znamenala potřebu přenášet změny, provedené na jenom dvojčeti, na dvojče druhé – a přenos znamená chyby, i když je automatizovaný.

Takto definované dvojče reprezentuje ideál zatím dosažitelný jen z části, nedokonale. Také možnosti instantní tvorby a úprav virtuálních dvojčat byly v dosavadní praxi omezené na interaktivitu objektovou, omezenou sortimentem předem připravených knihoven. To ale není navrhování – to je starý, neohrabaný proces pokusu a omylu, intuitivního návrhu na slepo – jeho ověřování – optimalizace, ovšem znovu na slepo – a tak mnohokrát dokola, dokud se nepovede naslepo trefit „to pravé“ – nebo dokud se autor neunaví tak, že se spokojí se suboptimálním výsledkem.



Basic operations and Context tool

obr. 4: Z prostorů, tvořených intuitivně zevnitř podle jejich poietické podstaty i účelu v logickém sledu od rozhodujících po doplňkové a obslužné ve virtuální realitě studenti tvořivě budují strukturu autentické komplexní architektury. snímek studentské práce ve Wearrecho, archiv autora

Uvolněná tvořivost a Building Information Management

Tato práce předkládá zprávu o vývoji technologie neomezené instantní prostorové a materiálové tvorby ve virtuální realitě a o pozitivních výsledcích experimentálního ověřování výsledků vývoje. I dnes nebo v blízké budoucnosti dostupné nedokonalé verze virtuálních dvojčat mohou být východiskem zásadních inovací – včetně změny paradigmatu dobré praxe navrhování architektury, projektování staveb, plánování rozvoje vystavěného prostředí, jejich přípravy a zapojení stavebníků, investorů, správních institucí, participace veřejnosti a spolupráce dalších osob. Architekti dostanou a měli by využít příležitost převzít odpovědnost za vlastní tvořivost i představitelství, která přestane být omezoována nedokonalými nástroji a nástroji nevhodnými, protože zastaralými - vyvinutými v dávno minulých dobách, které nedisponovaly dnešními technologickými možnostmi, nebo proto, že určenými k jinému účelu. Prostor (virtuálního dvojčete) artikulovaný v prostoru „v první osobě“, intuitivně, v pohybu a v „životní velikosti“ v jejich tvorbě nahradí dosavadní pouze dvojrozměrné, statické, fragmentárně synchronní reprezentanty navrhované architektury: začnou-li s ním architekti pracovat spontánně a snadno, tím lépe – odpovědnost spočívá na nich. Musí přijmout, že ve virtuální realitě je možné navrhovat architekturu instantně – bez obvyklého procesu pokusu a omylu. Pro laiky – od stavebníků, investorů po participující veřejnost – je úkol, zdá se, snažší: architektura virtuálního dvojčete se v prostoru virtuální reality nabídne jejich vnímání, blížícímu se vjemu a zážitku skutečné, materializované architektury sama. Rozhodující pokrok a změnu umožňuje datová výbava na úrovni špičkové současné praxe Building Information Management a soubory dat pro kvantitativní evaluaci parametrů v kategoriích, které požaduje sledovat zákonná úprava a dobrá praxe přípravy projektů. Na straně smyslů je obdobný potenciál realitu dobře simulujících vjemů vizuálních, brzy také akustických a hmatových. Jako zásadní se ukazuje možnost simulace svobodného „přirozeného“ pohybu ve virtuálním prostoru, která bezprecedentním způsobem navozuje diachronické vnímání architektury a vystavěného prostředí, které je pro „diváka“ přirozené a které mu doposud žádná technika reprezentace architektury neposkytovala.

Komunikace, perspektiva metaverze

Třetí rozhodující vlastností virtuálního prostoru – prostředí virtuálních dvojčat – je jeho otevřenost, inkluzivita, komunikativnost, způsobilost sdílení a plná interaktivita: nikomu (kdo je vybaven odpovídajícím technickým zařízením) není přístup odepřen, všichni „návštěvníci“ se v něm mohou potkávat, navzájem komunikovat, používat nástroje presentace a instantní tvorby virtuálních dvojčat a sledovat jejich proměny a chování v procesu tvorby a v proměnách podmínek ve virtuálním prostoru.

Od poloviny druhé dekády 21. století veřejný prostor informačních a komunikačních technologií [27] postupně přijímá prvky metaverze [28], virtuální veřejný prostor po krůčkách osidluje prostor virtuální reality. V říjnu roku 2021 byla formálně ohlášena Meta – nová značka a projekt koncernu Facebook a nová sociální síť,

kteřou čtyřmiliardová komunita dosavadních uživatelů sociální sítě Facebook získá přístup do globálního virtuálního veřejného prostoru. Meta je nejrobustnějším, ale rozhodně ne jediným „uvaděčem“ do veřejného prostoru virtuální reality – a další budou nepochybně přibývat. Počet fyzických návštěvníků, potažmo uživatelů, veřejného prostoru virtuální reality je limitován přístupem k internetu (ten má v roce 2022 66% světové populace a 90% populace Evropy a Severní Ameriky [29]), a hardwarovým vybavením, respektive jeho alternativou dostupnou běžnému uživateli, do jejíhož technického vývoje a cenové dostupnosti aktuálně masivně investuje mimo jiné Meta. Realistickým odhadem, „obyvatelem“ veřejného prostoru metaverze může být během třetí dekády 21. století každý třetí obyvatel Země, nejpozději do konce další dekády se může penetrace veřejného prostoru metaverze rovnat dnešním hodnotě podílu uživatelů mobilních telefonů – 86% světové populace [30]. Umístění virtuálních dvojčat zatím ještě nematerializované architektury, nerealizovaného rozvoje vystavěného prostředí do globálního prostoru virtuální reality - připojení virtuálního prostoru jednotlivých projektů ke globální metaverzi je technickým detailem, který sotva zůstane nevyřešen. Pro aktivní účastníky projektů – pro ty, kteří jsou jejich hybateli - i pro ty, kteří „jen chtějí být při tom“ – od architektů, projektantů, stavebníků a investorů až po veřejnou správu a zainteresovanou i jen „surfující“ veřejnost to bude znamenat průlomové usnadnění přístupu a komunikace: pokud až doposud mohla být změna paradigmatu celého odvětví považována za ideovou proklamaci a „vzdušný zámek“, nyní se ukazuje jako reálná a žádoucí.

Profesní a teoretický rámec

Představovaný vyvíjený nástroj bezprostřední architektonické tvorby a (zároveň) projektování a komunikace projektů, nástroj bezprostředního navrhování (virtuálních) prostorů ve (virtuálním) prostoru – nástroj s chráněným označením *Wearrecho* pro tvorbu virtuálních dvojčat, umístěných současně v prostředí virtuální reality a v parametrickém prostředí BIM, má ambici stát se pivotem těchto dalekosáhlých změn, které pozitivně ovlivní paradigma profese, odvětví a prostřednictvím vystavěného prostředí celé společnosti. Přenos architektury v procesech jejího zrodu a diskusí o ní do virtuální reality není jen technologickou inovací: je to i účinná intervence ve vztahu problémům architektury, jejichž jmenovatelem je veřejný prostor. Virtuální realita je jednou z platform veřejného prostoru informačních a komunikačních technologií, ve kterém jsou lidé dnes „doma“ především: veřejný prostor se tak vrací „oknem“ do zorného pole veřejnosti, ze kterého byl vytlačen „dveřmi“. Virtuální veřejný prostor, který spolupracoval na odsunu architektury na vedlejší kolej, se připojuje k epidemickým restrikcím covidové epidemie let 2020 a 2021 a připomíná atraktivitu, ba nepostradatelnost veřejného prostoru fyzického – i když (zatím) jen reprezentovaného ve virtuální realitě.

Virtuální dvojče budoucí stavby, vybavené komprehenzivními informacemi o jejich fyzikálních a chemických vlastnostech, které umožňují sledovat její chování ve všech ohledech, dostupných výpočetním algoritmům – a simulovat odpovídající její chování a proměnu závislých parametrů, dá tvůrci architektury a rozvoje vystavěného prostředí mj. možnost konfrontovat ve veřejném prostoru virtuální reality schématické myšlení a simplistní „standards“ energetických specialistů a environmentálních aktivistů: to by mu mělo umožnit obnovit svoji roli a autoritu suverénního, i když naslouchajícího principála návrhového procesu.

Přestože jen domnělá, dualita virtuálního dvojčete řeší problém „dvojrole“ – duality profese architekta – stavitele. Architekt – stavitel se setkává s úlohami jedné nebo druhé profese jen výlučně v „jejím prostředí“: s otázkami poietické architektonické tvořivosti v otevřeném prostředí virtuální reality, s problémy konstrukcí stavby, která má architekturu materializovat, v parametrickém prostředí software pro projektování staveb. Těžko si pak může neuvědomovat, „kým“ právě je - jakou povahu otázky návrhu architektury, případně projektu stavby má právě před sebou. *Problém tvořivosti ve stínu produkce* [23] se stává řešitelným, protože byly (v rámci oboru) *myšlením uchopeny základy teprve se rodícího technického*, [respektive technologického] *věku* [26].

Očekávané přínosy

Osvobození představitosti architektů a podpora, zlepšení jejich tvořivosti technologií virtuálních dvojčat a osvojením nového tvůrčího paradigmatu nejen podpoří kvalitu architektonických návrhů. Lze očekávat mnohostranné efekty v různých oblastech profese, oboru, ve vystavěném, respektive syntetickém životním prostředí i v kulturně společenské oblasti. Předpokládána jsou

- zlepšení kvality a zvýšení hodnoty navrhované architektury a staveb;
- zlepšení lze očekávat jak souvislostech komplexně pojaté kvality architektonického díla, tak v kvalitě materializace architektury – jejího stavebně technického řešení;
- obnovení autentického chápání – a řešení architektury v kontextu veřejného prostoru;
- mimo jiné v rámci zásadně zlepšené komunikace především ve vztahu k veřejnému prostoru lze očekávat zásadnější zapojení veřejnosti v procesech formální i neformální participace při přípravě projektů; obavy,

kteří v této souvislosti mohou pociťovat hybatelé projektů – především developereři a architekti – rozptýlí dále ve třetí části práce uvedené předpokládané, ale i v praxi ověřené pozitivní efekty předkládané technologie v oblasti vnímání a chápání architektury a staveb odborníky – ne-architekty – i úplnými laiky: ti – ve zkratce – díky „ponoření se“ do virtuální reality navrhovaného projektu - poprvé v komunikaci s architektem a developerem ztrácejí nedůvěru, získávají (až nad rámec oprávněného) pocit, že návrh komplexně poznali a že mu rozumí;

- objektivizace výběru budoucích řešení architektury a rozvoje vystavěného prostředí v architektonických, potažmo obchodních soutěžích (více v tomto ohledu ve čtvrté části práce);
- objektivizace hledání udržitelných parametrů rozvoje a transformace vystavěného (a syntetického životního) prostředí; v tom i artikulace „udržitelné architektury“ a architektury a staveb(-ních řešení), přispívajících k nalézání udržitelné reakce na klimatickou změnu; v konečném důsledku podpora udržitelnosti života na Zemi stavebními a architektonickými (včetně urbanistických) prostředky;
- zlepšení kvality života jako efekt zlepšení kvality a zvýšení hodnot veřejného prostoru a architektury; obnovit vnímání architektury jako zásadního činitele lidské existence a rozvoje lidské společnosti.

Zásadní přínos předkládané technologie lze očekávat v různých polohách a oblastech komunikace. Participace veřejnosti na přípravě architektonických projektů a projektů rozvoje a transformace vystavěného prostředí byla už uvedena. Díky zlepšení v této oblasti se architektura a stavební rozvoj stanou opět „věcí veřejnou“ a předmětem pozitivního zájmu společnosti. Neméně přínosné je zlepšení komunikace mezi účastníky a *stakeholdery* procesů návrhu a přijetí architektury společností; to se týká stavebníků a investorů, profesních specialistů a oborových konzultantů, veřejné správy i veřejnosti. Významnou skupinou, již se zlepšení komunikace týká rovněž, jsou zpracovatelé a poskytovatelé podkladů pro práci návrhářů – od geodetů a zpracovatelů a poskytovatelů GIS (Geografický Informační Systém) podkladů, přes zpracovatele akustických, dopravních, environmentálních a mnohých jiných podkladů až po zapojené sociology a demografy. A zanedbatelné není ani zlepšení „vnitřní komunikace“ – zlepšené chápání i usnadněné poznávání rozvíjeného návrhu samotnými tvůrci.

Přínos prezentované technologie virtuální reality bude nejen kvalitativní a zážitkový, ale i kvantitativní a ekonomický: počínaje zvýšením produktivity architektonického navrhování a projektování staveb přes snížení nákladů na budování staveb a rozvoj a transformace vystavěného prostředí, přes makro-, ale i mikroekonomicky monetizovatelné příspěvky zvýšení kvality veřejného prostoru, zlepšení udržitelnostních atributů staveb a vystavěného prostředí a mitigace klimatické změny až po zvýšení tržní ceny jednotlivých objektů vystavěného, potažmo syntetického životního prostředí.

Tento výčet nemůže být vyčerpávající: výzkum a vývoj probíhají a mohou přinést další předpoklady a zjištění. Ostatně, čtvrtá a pátá část této práce uvádějí další předpoklady možného (spolu)působení a zprostředkovaných souvislostí předkládané technologie především ve společensko-ekonomické oblasti.

Mnohé z uvedených předpokladů je možné ověřit pouze experimentem, případně pozorováním „in vivo“ praktické architektury, vystavěného prostředí, udržitelnosti obecné i speciální, společnosti jako celku. Zavedení předkládané technologie do architektonické projektové praxe, které je předpokladem takového experimentu či pozorování, neznamená žádné riziko pro „příjemce“ – není třeba se ho obávat. Architektonické praxe pracují ve velmi konkurenčním prostředí – technologii, která zaostává v jakémkoliv „front-endovém“ ohledu za jinými, záhy vyřadí „neviditelná ruka trhu“.

Třetí část práce informuje o experimentálním uplatnění technologie ve výuce studentů architektury a stavitelství na Fakultě stavební ČVUT v Praze.

(3) VÝSLEDKY

Proměna paradigmatu architektonické tvořivosti a myšlení o architektuře spolu s jedinečně novým nástrojem prostorové tvorby ovlivní příští generace architektů a nastaví nové, zásadně vyšší etalony architektonické tvorby i standardy jejích procesů. Studenti architektury jsou přirozenou první linií nasazení nového nástroje pro bezprostřední navrhování architektury ve virtuální realitě. Nezatížení nebo méně zatížení tradičně pokřivenými názory na architekturu jako disciplínu objemů, fasád a konstrukce, studenti snadněji dokáží vnímat architekturu a uchopit ji jako prostorový fenomén. Přirozená hravost navazuje na ještě čerstvou (téměř) všeobecnou zkušenost stavění ze stavebnice LEGO: z prostorů, tvořených intuitivně zevnitř podle jejich poetické podstaty i účelu v logickém sledu od rozhodujících po doplňkové a obslužné ve virtuální realitě studenti tvořivě budují strukturu autentické komplexní architektury a průběžně konfrontují postupně dosahovaný výsledek s koncepční ideou, která nezůstává strnulá, ale dynamicky se rozvíjí. Výsledky jsou přesvědčivé, postupy efektivní a produktivní: ty i ty zároveň poskytují cennou zpětnou vazbu pro další vývoj technologie.

Uplatnění *Wearrecho* v ateliérové výuce na Fakultě stavební ČVUT v Praze

Předkládaná technologie pro navrhování architektury a projektování staveb ve virtuální realitě byla – poprvé v Evropě, pravděpodobně celosvětově – uplatněna v letním semestru akademického roku 2021/2022 ve výuce na katedře architektury Fakulty stavební ČVUT v Praze, České republice. Studenti, kteří na základě předběžné informace projeví zájem zapojit se do experimentu, absolvovali úvodní seminář, na kterém se seznámili s projektem *Wearrecho*, současným stavem a dosavadními výstupy výzkumu a vývoje a s jejich perspektivami. Na základě získaných informací se rozhodli pro účast v experimentu.

Pětičlenná skupina studentů oboru Architektura a stavitelství dostala k dispozici první pracovní verzi experimentálního software pro bezprostřední navrhování architektury ve virtuální realitě, k tomu hardware – pracovní stanice AMD Ryzen 7 5800X 3,8 GHz/4,7 GHz s výkonnou herní kartou, brýle pro VR Oculus Quest 2, absolvovala školení o paradigmatu autentického navrhování architektury a úvodní instruktáž pro práci s nástrojem *Wearrecho*. Software byl - a stejný je i předpoklad finálního řešení - umístěn na cloudu, jednotliví uživatelé mají přístup prostřednictvím odkazu a jedinečného kódu do svého prostoru, ve kterém zakládají jednotlivé projekty; důležité je kvalitní připojení na internet. Pracovní verze disponovala funkcionalitami:

- plnou immersivitou v prostoru virtuální reality,
- pohybem v prostoru virtuální reality teleportací a volným fyzickým pohybem v akčním radiu připojovacího kabelu *head setu* (cca 2 metry kolem pracovní stanice),
- intuitivně přístupnými pracovními operacemi: ovládání bezdrátovými pákovými ovladači (joysticky) v jedné a druhé ruce, přepínání funkcí pákovým ovladačem samostatně nebo ve spolupráci s virtuálním plujícím tabletem;
- základní funkcí je tvorba prostoru pohybu rukama, které drží joysticky, kolem uživatele ve skutečné velikosti; defaultně je to prostor hranolu, k dispozici jsou základní geometrické tvary – jehlan a kužel, koule;
- prostory a objemy je možné vytvářet také volnou kresbou perem v prostoru;
- k dispozici byly funkce tvorby libovolných objemů prostřednictvím linií, křivek, ploch rovinných a křivkových, základních geometrických tvarů, dále kompletní spektrum prostorových transformací, kopírování objektů, vyřezávání a kopírování otvorů, generování odvozených prostorů („nextroom“), samozřejmě mazání;
- veškeré vytvořené objekty je možné upravovat uchopením a tažením ve volném režimu, v globálním ortografickém systému a v lokálním „ortu“;
- orientaci v prostoru usnadňuje zprůhledňování ploch, vymežujících prostory, a náhledová a interaktivní miniatura vytvořené struktury;
- import a vkládání objektů z jiných prostředí a formátů (významné pro vytvoření „stávajícího stavu“ před zahájením navrhování – terénu a okolí).

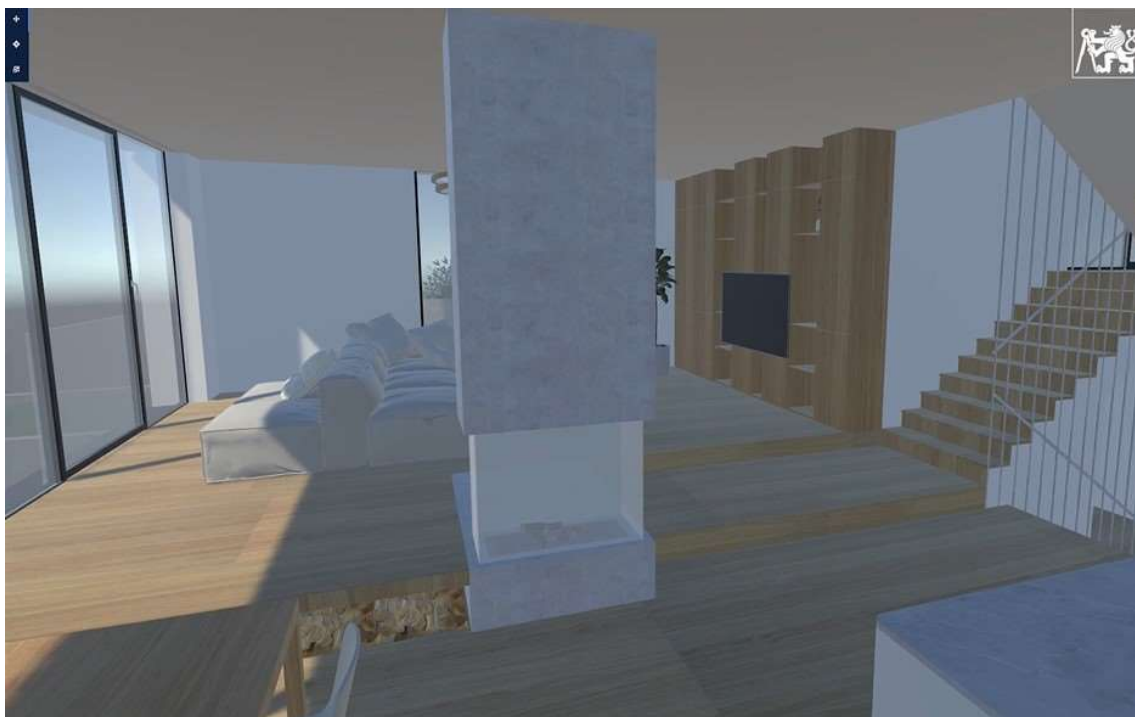
Pracovní verze neměla ještě vyvinutou materialitu – studenti pracovali s prostory, vymezenými abstraktními plochami, pro rozlišení měli k dispozici pouze schematickou barevnost a odstupňovanou transparentnost. Takto vybaveni, studenti zpracovávali závěrečnou práci bakalářského studia Architektury a stavitelství – kurikulární návrh a projekt rodinného domu. Průběžné výsledky byly nad očekávání pozitivní:

- úroveň rozpracovanosti úlohy byla po cca 40% stanovené třináctidenní lhůty mírně pokročilejší, než u srovnávací skupiny studentů, kteří pracovali tradičními postupy s využitím obvyklých nástrojů; v úvahu je třeba vzít, že v počátku práce studenti experimentální skupiny strávili cca 15% stanovené lhůty seznamováním se s experimentálním přístupem, nástroji a vybavením;
- tvůrčí úroveň architektonických konceptů studentů experimentální skupiny byla vesměs zřetelně vyšší, než v případě srovnávací skupiny; ocenění zasluhuje především prostorová stránka konceptů - jádro a východisko autentické architektury;
- v konzultaci studenti, zapojení do experimentu, vesměs projevovali velmi dobrou úroveň pochopení prostorově-komunikativní povahy architektury i autentické architektonické tvořivosti – zřetelně vyšší úroveň než studenti ze srovnávací skupiny;
- nijak se nenaplnily předběžné obavy, že technologie, zapojená do tvořivého procesu, redukuje tvořivost na produktivní konstruování, na činnost repetitivně mimetickou a/nebo parametrizující; naopak, potvrzuje se, že virtuální realita je prostorem, který podporuje autentickou architektonickou tvořivost, tvorbu architektury způsoby a postupy, které – konečně! – odpovídají povaze a podstatě architektury.

V pokročilejších fázích práce studenti řešili absenci materiality, kterou pracovní verze *Wearrecho* zatím neposkytovala, převodem struktury vytvořené ve *Wearrecho* do běžného software – SketchUp nebo Archicad – ve kterém návrh dopracovávali z hlediska struktur povrchů, detailů stavebních prvků (např. rámu oken) a barevnosti. Pokud se „duality“ virtuálního dvojčete, studenti měli k dispozici propojení mezi virtuální realitou – platformou Unreal Engine 4.0 – a Autodesk Revit pouze na úrovni polygonů: proto i převod vytvořených modelů do parametrického prostředí programu pro zpracování projektové dokumentace stavebního řešení architektury proběhl jednorázovým exportem – vzhledem k vybavení a k znalostem studentů z předchozího studia do prostředí Archicad.

I pak ale studenti své návrhy prověřovali a upřesňovali v prostředí virtuální reality: s podporou učitelů, univerzitního technika a odborníků studia virtuální reality Virtuplex [32] své SketchUpové a/nebo Archicadové modely opakovaně převáděli na virtuální dvojčata, která mohli procházet a studovat v podmínkách studia Virtuplex. Studio Virtuplex je partnerem Fakulty stavební ČVUT v Praze, jeho realizační podmínky představují evropskou, pravděpodobně i světovou špičku: možnost fyzického pohybu po ploše 600 m² s *head sety*, připojenými k počítači v síti WiFi, ve skupině až šesti „návštěvníků“ – pět studentů a učitel – ve vzájemné vizuální a akustické komunikaci. Studenti takové podmínky velmi oceňovali, výslovně bezprostředně uváděli další vyšší úroveň vnímání architektury (potvrzuje se zásadní význam diachronie), jejího pochopení i schopnosti artikulovat ji. Přínosem z hlediska edukativního procesu byla také bezprecedentně vysoká intenzita vzájemné komunikace – konzultací mezi studenty navzájem. Je ovšem otázkou, zda se jednalo o přínos immerge ve virtuální realitě, nebo o pomíjivý efekt nového prostředí.

Institucionálním, „hmatatelným“ výsledkem experimentu je pět bez výjimky úspěšně obhájených závěrečných bakalářských prací. Studenti vesměs dospěli k výsledkům kvalitnějším, než jakých dosahovali v předchozím studiu – bez podpory immerge a práce ve virtuální realitě. Na základě pedagogické zkušenosti je možné konstatovat, že někteří z nich poprvé – v osmém semestru studia! – pochopili prostorovou a poietickou podstatu architektury: pokud jejich bakalářská práce neobdržela superlativní hodnocení, je třeba přičíst to, skutečnosti, že jedna věc je pochopit fenomén, a druhá – naučit se s ním zacházet (jakkoliv i v tom jim virtuální realita pomohla).



obr. 5: Virtuální realita je prostorem, který podporuje autentickou architektonickou tvořivost, tvorbu architektury způsoby a postupy, které odpovídají povaze a podstatě architektury. studentská práce ve *Wearrecho*, snímek z archivu autora

Předběžným plánem dalšího výzkumu a vývoje je:

- vyhodnocení výsledků práce první experimentální skupiny studentů jednak v odborné radě katedry architektury Fakulty stavební ČVUT v Praze, jednak ve vývojovém týmu do září 2022;
- vydání další, pokročilejší pracovní verze software *Wearrecho* v září 2022; klíčovým komponentem této fáze vývoje je doplnění materiality a propojení virtuální reality a parametrického prostředí tradičního „computer

aided design“: propojení obou prostředí je podmínkou uplatnění odpovídajících nástrojů jak pro poetickou architektonickou tvořivost, tak pro parametrickou konstrukční optimalizaci v jednotlivých fázích návrhu architektury a jejího stavebního řešení;

- dokončení primárního vývoje a vydání „čisté“ verze 1.0 v prvním čtvrtletí roku 2023;
- uplatnění software *Wearrecho* a odpovídajícího paradigmatu navrhování architektury v dalších kurikulárních projektech studia architektury a stavitelství na Fakultě stavební ČVUT v Praze; předpokládají se tři experimentální skupiny studentů pro zimní semestr akademického roku 2022/2023;
- po odpovídajícím vyhodnocení a implementaci zkušeností a zpětné vazby, systematické kurikulární uplatnění *Wearrecho 1.0* ve výuce oboru Architektury a stavitelství na Fakultě stavební ČVUT v Praze;
- zapojení další akademických pracovišť do pokračujícího vývoje *Wearrecho* a jeho kurikulárního uplatnění od roku 2023: dalších pracovišť Fakulty stavební ČVUT v Praze i dalších fakult a univerzit.

Výsledky dalších experimentů

Autor této práce uplatňuje vývojové verze software *Wearrecho* a technologii virtuální reality ve vlastní architektonické praxi. Dizertabilním výstupem těchto experimentů jsou mimo jiné reakce klientů na představování architektonických návrhů v immersivním prostředí virtuální reality. K dispozici jsou výsledky dvou experimentů v tomto ohledu: jednak v případě návrhu nového hřbitova pro menší město ve Středočeském kraji, jednak v případě návrhu vestavby klientského centra a kanceláří do existující výrobní haly předního globálního producenta hraček; i tento projekt má být realizován ve Středočeském kraji. Relativně malý počet experimentů je daný finanční náročností prezentace návrhů v immersivním prostředí virtuální reality spíše než krátkostí času, po který je technologie k dispozici. Nejvyšší úroveň immerse a zároveň diachronie, největší přiblížení fyzické realitě poskytují podmínky studia Virtuplex. Pro ně je třeba „běžnou“, pracovní virtuální realitu, kterou nabízí jakýkoliv pracovní software – *Wearrecho* zatím nevyjímá – napřed podrobit datové optimalizaci a/nebo formátové adaptaci. Ta je časově a kapacitně, a tedy i nákladově poměrně náročná; a poměrně nákladný je pronájem prostoru a technologického vybavení studia. Oba experimenty potvrzují, že „dodatečné“ náklady, které v této souvislosti nese klient, jsou více než vyváženy přidanou hodnotou v podobě porozumění návrhu, uchopení architektury klientem: o tom se ale klient přesvědčí teprve, když immersivní prohlídku absolvuje.

Pro oba případy shodně lze konstatovat, že laik – klient bez jakékoliv předchozí přípravy prakticky okamžitě nejen pochopí navrhovanou architekturu a získá (celkem oprávněný) dojem, že ji zná celou a rozumí jí v celku i v podrobnostech, ale – až překvapivě - ji „přijme za vlastní“. Pochopení a poznání architektury má velmi příznivý vliv na efektivitu i rychlost komunikace, diskuse mezi tvůrcem a klientem. K tomu v obou případech „navíc“ přispěla osobní angažovanost vrcholných zástupců korporátního, respektive institucionálního klienta, která v těchto procesech není běžná: nedá se však vyloučit, že se jedná jen o efekt novinky, který časem – jak se virtuální realita zabydlí v procesech přípravy architektonických a stavebních projektů a „zdomácní“ (přísně vzato – naopak: jak se procesy přípravy projektů „zabydlí“ v prostředí virtuální realitě) – vyprchá.

Projekt hřbitova dále těží z komunikační podpory prostředí virtuální reality v procesu komunikace architekta s projektanty jednotlivých částí budoucí stavby a v jejich prostorové koordinaci (druhý experimentální projekt do této fáze zatím nedospěl). Projektanti vesměs vítají možnost objasňování podrobností úlohy a vzájemné prostorové koordinace v „reálných podmínkách“ virtuálního dvojčete. Spontánní preference spolupráce v prostředí virtuální reality projektanty – „staviteli“ i profesními specialisty - vzbuzuje naději, že se tato technologie stane standardem, jakmile to technické podmínky umožní.



obr. 6: Tvůrčí úroveň architektonických konceptů studentů pracujících s novým nástrojem je vesměs zřetelně vyšší; ocenění zasluhuje především prostorová stránka konceptů. studentská práce ve Wearrecho, snímek z archivu autora

Problémy

Experimenty ukazují i negativní aspekty práce a komunikace ve virtuální realitě – specificky v podmínkách immerge, tedy při používání *head setu*. Potvrzuje se už dříve zjištěná skutečnost, že některým lidem působí immerge fyzické obtíže – nevolnost podobnou slabé kinetóze. Společným jmenovatelem této a dalších nepohodlí a obtíží je nesoulad akce těla (a možná hmatu), které zůstává ve fyzické realitě, a souběžného smyslového, především vizuálního vnímání, které probíhá v realitě virtuální, jejíž atributy a parametry jsou zásadně odlišné od reality fyzické. I pro toho, kdo takto vznikající kinetózu nepocituje, je (alespoň zpočátku) nepříjemné sestoupit se schodu ve virtuální realitě, když jeho nohy jdou po rovině, nebo procházet zdí po cestě z jedné místnosti do druhé. Částečné řešení jistě záhy poskytne vývoj software – třeba tím, že modely budou mít dveře, které „návštěvník“ může otevřít pohybem blízkým navyklému, a z místnosti do místnosti bude chodit dveřmi, nikoliv skrze stěnu jako v dnešních podmínkách aplikací virtuální reality. Další zlepšení může přinést zvyk, a možná pomohou i nové verze *head setů*.

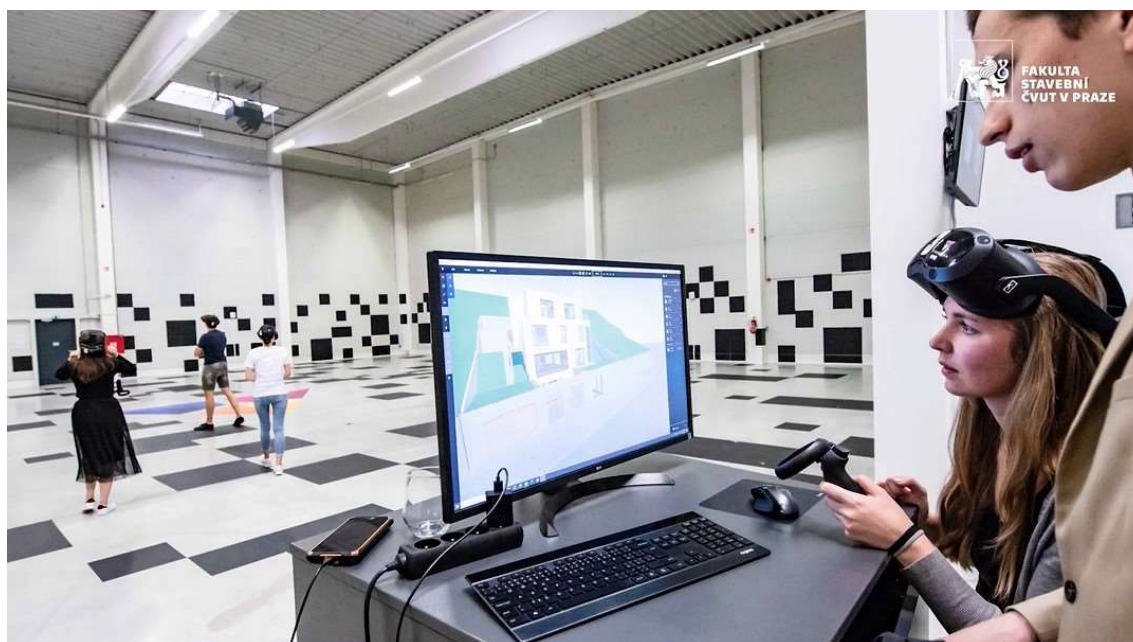
Specifickým problémem je pohyb uživatele ve vertikálním směru. Teleportace je zvládnutá, úklony nebo předřepnutí problémem nejsou – odehrávají se shodně ve virtuální i fyzické realitě. Je třeba odnaučit se sedat na virtuální židli a sedadla: na rozdíl od těch fyzických usedajícímu tělu neposkytnou žádnou oporu. Chůze po virtuálních schodech je „řešitelná“ (jen částečně) ad hoc: pro konkrétní virtuální dvojčte je možné (i když obtížné a nákladné) zpracovat úpravu software, která se aktivuje, jakmile uživatel má před sebou schodiště: vydá-li se na ně, jeho oči ve virtuální realitě začnou stoupat „po schodech“ (namísto aby se postupně do schodů vnořil obdobně průchodu stěnou). Pohyb po schodech ale i tak probíhá jen ve virtuální realitě: uživatelovy nohy dál kráčí po rovné fyzické podlaze.

Všechny tyto projevy ale nic nemění na přínosu vnímání architektury – virtuálního dvojčete v prostoru virtuální reality. Jsou to jen zanedbatelné, leckdy úsměvné peripetie.

(4) DISKUSE

Slibné a ještě slibnější výsledky experimentálního ověřování komplexní technologie komprehensivních virtuálních dvojčat (nematerializované) architektury svádějí ke zúžení pozornosti a soustředění výzkumné a vývojové energie na praktické, odměnu bezprostředně nabízející cíle a úkoly. Takové se v oblasti prezentovaného výzkumu a vývoje zviditelňují mnohé: jejich povaha je vesměs technologická – mají povahu vývoje, implementace a disseminace software. Bylo by ale chybou přehlížet, že dosavadní poznatky v oblasti, výsledky vývoje i experimenty nasvědčují ambiciózní domněnce singularity, reprezentované fenomény virtuálních dvojčat a otevřeného a inkluzivního veřejného prostoru virtuální reality. Tato práce předkládá k diskusi možné, velmi různorodé oblasti příštího rozvoje,

který by mohl – měl ze singularity pramenit. Předkládaný výčet nemá ambici být vyčerpávající: výzva k jeho doplnění je součástí diskuse.



obr. 7: Možnost diskutovat o projektu v režimu jeho pasivního prohlížení ve virtuální realitě mezi více různými stakeholdery je nástrojem efektivnějšího porozumění konkrétnímu architektonickému řešení. snímek z experimentálního ověřování předpokladů, archiv autora

Komunikace, veřejný prostor, rozšířená existence

Komunikace společensko-kulturních i materiálních hodnot [32] je *raison d'être* a *modus vivendi* architektury, která je komunikačním předělem [33] mezi člověkem a světem [34]. Zlepšení kvality komunikace a obecné zpřístupnění všech komunikativních aspektů architektury je dalším přínosem instantní tvorby architektury ve virtuální realitě a ve virtuálním veřejném prostoru: v tomto prostředí dokáží pochopit architektonickou vizi a vyjádřit své myšlenky i ti, kteří doposud, odkázáni na tradiční nástroje, takovou možnost neměli. Počet osob, které mohou být společně ve virtuálním veřejném prostoru konkrétního projektu, je limitován pouze hardwarovým vybavením. Bez *head setu* do virtuální reality není možné vstoupit: zatím, a ani to není beze zbytku pravdivé. Aplikace metaverze jsou vesměs multiplatformní. Do virtuální reality lze vstupovat z desktopu i z mobilního telefonu: není to ta pravá *immerse*, ostatní atributy virtuální reality – svobodný pohyb v prostoru ve „skutečné velikosti“ a svobodný přístup ke každému detailu virtuálního dvojčete podle vlastní vůle, fyzické realitě odpovídající diachronické vnímání architektury - ale zůstávají zachovány. Možnost diskutovat o projektu v režimu jeho pasivního prohlížení mezi více různými *stakeholdery* se stává běžnou praxí: je totiž nástrojem efektivnějšího porozumění diskutovaným otázkám konkrétního architektonického řešení, a tedy nástrojem efektivního a rychlého dosahování shody mezi autorem, konzultanty a profesními specialisty, stavebníkem, investorem, veřejnou správou, veřejností, ... Podmínka jednoty fyzického místa se při tom neuplatňuje: podmínkou setkání ve virtuální realitě je jen přístup k internetu. Potřebné hardwarové vybavení – *head set* je souběžně zdokonalován z hlediska komfortu užívání a kvality zážitku i z hlediska dostupnosti. Tytéž omezující podmínky platí, respektive přestávají platit i pro setkání v interaktivním veřejném prostoru – například ve virtuální realitě *Wearrecho*: otevírají se netušené možnosti.

Netušené jsou možnosti metaverze a (velmi pravděpodobně) nikdo nedokáže předpovědět, co všechno přinese masivní výzkum a vývoj projektu Meta. Lze se nadít, že sociální sítě, které dnes dominují virtuálnímu veřejnému prostoru informačních a komunikačních technologií a které většinou jsou zabijáky času, který by jinak mohl být stráven smysluplnějším způsobem, a generátory psychických potíží a sociálně-patologických jevů, odsune na okraj „skutečný virtuální svět“ paralelní, přesněji rozšířená existence člověka, komunity a společnosti, která bude skutečným obohacením jejich život. Již dnes se v metaverzi odehrává nabídka virtuálních, NFT [35, 36, 37] „assetů“ – hodnot, uměleckých děl i architektury, které jsou monetizovány a přivlastňovány a se kterými jejich tvůrci a vlastníci – ve virtuální realitě – nakládají podobně jako se „skutečnými“ uměleckými díly ve fyzické

realitě. Dopady na oblast architektury a vystavěného prostředí – kromě těch praktických, profesních, dříve diskutovaných – jsou pokud možno ještě méně tušené, natož redukovatelné.

Nejde jen o zásadně týmovou povahu architektonického návrhového procesu: architektura vzniká ve vzájemné komunikaci mezi autory, komunitami, společnostmi, individualitami, zúčastněnými stranami i veřejnou správou, ... Nejde jen o dnes tak často skloňovanou participaci. Rozhodujícím objektem architektury byl odevždy veřejný prostor – prostor urbánní komunikace [27]: odevždy, dokud s nastupující modernitou od poloviny 18. století, od Marc-Antoine Laugierova *konceptu primitivní chatrče* [11] veřejný prostor nezastínila spekulativní forma. Veřejný prostor je světem naší existence, světem, ve kterém žijeme mentálně, kulturně, i fyzicky: není divu, že spolu s veřejným prostorem se na vedlejší koleji postupně a nenápadně ocitla i architektura jako disciplína a obor. Jedině společný pak zřejmě může být návrat veřejného prostoru do ohniska pozornosti architektů a architektury na pozici *summum templum architecturae* [9], kde lidstvo, aniž by si to uvědomovalo, architekturu naléhavě potřebuje mít: udržitelnost života na Zemi totiž stojí a padá s udržitelností vystavěného prostředí a veřejný prostor je páteří vystavěného prostředí v historickém smyslu i z hlediska vitality vystavěného prostředí.

Virtuální realita prostoru – veřejnému prostoru svědčí. Virtuální realita je, jak bylo opakovaně připomenuto, veřejným prostorem ze své podstaty: zaměření architektů na její prostor je pak přirozené – leda, že by tomu nástroj bezprostřední tvorby bránil: není ale důvod, aby tomu tak bylo. Bezprostřední navrhování architektury ve virtuální realitě je tedy cestou nejen ke kvalitnější architektuře a udržitelnému vystavěnému prostředí, nejen ke zlepšení komunikace v procesu návrhu a akceptace architektury veřejností, nejen ze zvýšení produktivity práce architektů a ke snížení nákladů výstavby, ale také – možná především – k návratu pozornosti k veřejnému prostoru a k renesanci architektury jako oboru.

Svět lidské existence rozšířený o virtuální realitu spolu s člověkem osídí také umělá inteligence [38, 39]. Ta se aktuálně vůči architektům snaží vymezit obdobně jako energetici a environmentalisté o dekádu dříve: výslovně to sice odmítá, ale snaží se nahradit jejich práci a tvorbu parametrickým generováním návrhů, především dispozičně provozních řešení v měřítku budov i urbanistických entit. Diskutovat je třeba tyto technologie i v případě, jsou-li deklarovány jako jen podklad, kvantitativní parametrická práce, která ušetří kapacitu architekta pro její završení tvořivým aktem [40, 41]. Nezapomeňme, že i banální půdorys je scénářem, osnova příběhu: chtějí architekti produkovat „příběhy“ podobné těm automaticky generovaným aplikacemi umělé inteligence SassBook nebo TL;DR Papers [42, 43, 44]? Odrážející je příběh snahy společnosti Sidewalk Labs (dceřině společnost Alphabet, tedy sestry Google) vyřešit umělou inteligencí regeneraci oblasti Quayside v Torontu: „lidé dělají chyby, stroje ne“ – na tomto principu měl vzniknout návrh nové převážně rezidenční lokality, která měla být benchmarkem nejpokročilejších současných nároků a principů rozvoje měst [45]. Třicetičlenný kolektiv dva a půl roku sbíral data a programoval – aby projekt byl předčasně ukončen vzhledem k eskalujícím rozmiškám mezi Sidewalk Labs, městskou správou a obyvateli města. Veřejnost, včetně potenciálních budoucích rezidentů odmítla výměnu společensko-kulturních hodnot – soukromí, individuální přístup, (budoucí) velké i každodenní zážitky a část svobody za materiální komfort diktovaný algoritmem. Tak nebo tak, architekti nesmí před umělou inteligencí strkat hlavu do písku: umělá inteligence je dalším ze *základů teprve začínajícího technického věku, který je potřeba uchopit myšlením* [26] – stejně jako virtuální realitu. Pozitivní výsledky uchopení se pak nejspíše mohou „zhmotnit“ právě ve virtuální realitě.

Těžko si představit hodnotnou paralelní, rozšířenou existenci mimo prostorový – virtuálně prostorový – rámec, rámec virtuální architektury a architektonizovaného veřejného prostoru. Architektonický rámec rozšířené existence sotva zůstane kolekcí virtuálních dvojčat sice nematerializované, ale pro „skutečný“ fyzický svět navržené architektury. Architektura virtuálního světa se emancipuje – aby nakonec zpětně ovlivnila tu fyzickou.

Teorie architektury

Přínosu virtuálních dvojčat architektury a příležitosti immerse do „jejich“ prostoru se lze nadít také v oblasti teorie architektury. Takový přínos může začít zvýšením atraktivity disciplíny, která postrádá (až na výjimky) rozvoj, nosné ideje a jejich systematické rozpracování, a také myslitele, kteří by se jí odpovědným a produktivním způsobem věnovali. Tento deficitní stav, který se datuje od Giedionovy práce do konce II. světové války [12, 46], nejpozději od Christiana Norberga-Schulze [3] začal v novém tisíciletí napravovat Dalibor Veselý [23], který však zemřel dřív, než svoji práci mohl rozvinout do podoby, ve které by z ní mohla bezprostředně čerpat architektonická praxe. Vše ostatní, co vzniká během posledního půl sta let, jsou v nejlepším případě jen útržky, postrádající tolik potřebnou soustavnost, nebo práce filosofické – příliš filosofické, než aby z nich mohla těžit praxe.

Je možné, že částečnou příčinou takové situace jsou obtíže v přístupu k autentickým architektonickým atributům, na které narážejí pokusy o artikulaci teoretických úvah. Většina z těch, kteří se o ně pokoušejí, postrádá elementární řemeslnou (alespoň teoretickou) průpravu. V přístupu k materiálním aspektům architektury – z hlediska vzniku především – jsou potom vlastně laiky. Pomůže-li immerse k virtuálnímu dvojčeti do prostoru virtuální reality poznat, pochopit a uchopit architekturu laické veřejnosti, adeptům teorie architektury by

měla pomoci tím spíš. Zvláštní pozornost zasluhuje prostor virtuální reality jako prostředí, ve kterém mohou – bezprecedentně – probíhat experimenty, ověřující hypotézy nové teorie architektury.

V každém případě, snahy o artikulaci aktuální teorie architektury by neměly virtuální prostor obcházet: i kdyby jen proto, že v něm (také) se budou rodit postoje a myšlenky hybatelů i příjemců rozvoje vystavěného prostředí a veřejného prostoru, nových architektonických počinů.



obr. 8: Na jedné straně potřeba svobodné poietické tvořivosti a optimalizační přínos parametrizace konstrukčního a technického řešení hmotné reprezentace architektury na straně druhé vytváří schizma. Jeho řešením je možnost plynulého přecházení v navzájem se proplétajících procesech návrhu architektury a jejího stavebně-technického řešení z prostředí virtuální reality do prostředí parametrického nástroje a zpět bez ztráty nebo deformace prostorového a tvarového řešení architektury a jeho atributů. Ilustrační snímek, archiv autora.

Ekonomické a společenské souvislosti rozvoje technologií virtuálních dvojčat architektury

Od nepaměti až do současnosti, kapitálem architekta byla a je jeho představivost a kreativita, také technické a organizační znalosti a dovednosti. Vše ale bylo jen v jeho hlavě: do takové „technologie“ se ale dá jen stěží bezprostředně investovat. Díky tomu je architektonická praxe nejpodinvestovanějším mezi obory aktivit, které mají každodenní i dlouhodobé, bezprostřední i zprostředkované zásadní dopady na životy lidí, komunit a obcí i celé společnosti.

Takové konstatování nejspíš vyvolá zdvižená obočí, ne-li nesouhlas: „a co všechny ty Autocady, Revity, Archicady, a také 3D maxy, Lumiony, ...?!“ Především jsou to nástroje pro navrhování konstrukcí, které mají materializovat architekturu, nikoliv pro navrhování architektury samotné – to už bylo připomenuto. Navíc, celá oblast „computer aided design“ (CAD) byla vyvinuta v první řadě pro potřeby strojařského navrhování a projektování, tento obor byl dlouhou dobu tahounem poptávky po vývoji software, a spolu s produktovým designem, který se přidal později, dominují dodnes. Tento „původ“ dodnes ovlivňuje funkce Autodesk Revitu stejně jako Archicadu: ty umí modelovat konstrukce, ale prostor je nezajímá, a jejich parametrizující paradigma architektury častěji škodí, než prospívá. A Lumion? Ten je zase „melouchem“ průmyslu herního software, který se už nemohl dívat na neohrabanost CAD vizualizačních programů. Celá tato oblast – připomeňme - je materializací Veselého [23] *problému tvořivosti ve stínu produkce.*

Podinvestovanost architektury vynikne v kontextu vlny start-upů a andělského investování, která snese s rovnání s počátky industrializace v 18. a na počátku 19. století, a která doposud nechala architekturu „sedět v koutě“. V 90. letech minulého století dot.com éra měnila životy lidí i světovou ekonomiku: z hledisek, které sleduje tato práce, je důležité, že to zdaleka nebyla jen zásluha počítačových nadšenců, programátorů a techniků:

bez investic v řádech miliard dolarů by se dot.com bublina nenafoukla, ale hlavně – po jejím splasknutí by se počítače, programy, aplikace, sociální sítě a informační a komunikační technologie nestaly neodmyslitelnou součástí ekonomiky i našich životů. O desetiletí později se do hledáček investorů dokázali prosadit nadšenci pro čisté a obnovitelné zdroje energie: a opět, díky spojení techniků a velkých peněz jsou dnes fotovoltaické elektrárny všech velikostí běžnou záležitostí stejně jako tepelná čerpadla, větrné elektrárny, spalovny biomasy a podobně. K soukromým finančním zdrojům se tentokrát připojily i zdroje veřejné – státní, evropské, norské, švýcarské, ...: důvod je zřejmý, nechceme se „udusit“ ani zmrznout až dojde uhlí a ropa ... Těsně „před covidem“ tisíce zkušených „start-upistů“ začaly svoje podnikání přeorientovávat. „Clean-tech“, čisté a obnovitelné zdroje energie se staly „business as usual“, a příležitosti pro vybudování „jednorožců“ se přestěhovaly do sféry „climate-tech“. Pod praporem zmírňování klimatické změny povstala éra dekarbonizování všeho: od tenisek, vyráběných z kávové sedliny přes textil a náhražky kůže vyráběné mikroorganismy po nízkouhlikový cement nebo ocel, vyrobenou bez použití fosilních surovin. Zkušenost astronomických zisků z minulých érá start-upů se setkala s téměř všeobecným přijetím hrozby klimatické změny, začalo další kolo závodu „kdo dřív, víc – s větším ziskem“.

Dnes virtuální realita ukazuje cestu, jak znovu nastartovat rozvoj architektury a vystavěného prostředí ve prospěch zlepšení kvality života lidí i společnosti, ve prospěch udržitelnosti života na Zemi. Musíme ale respektovat ekonomickou realitu a zkušenosti z vln andělského investování minulých desetiletí. Nejde o vývoj jednotlivých nástrojů, nejde (jen a už vůbec ne přednostně) o *Wearrecho*, nejde o „reklamu“, která má tahat peníze z kapes těch, kteří „naletí“: jde o rozvoj celé závažné oblasti. A v jeho zájmu architekti musí pochopit, že sami ani spolu s úzkou komunitou IT vývojářů ho nedokáží nastartovat. Musí kázat, že „jejich“ problém zastaralých, neproduktivních a neefektivních pracovních nástrojů je ve skutečnosti věcí veřejného zájmu. Musí ukázat, že v prostředí virtuální reality budou schopni navrhovat, tvořit architekturu a veřejný prostor efektivněji, produktivněji a tak, aby co nejlépe uspokojily potřeby nejen válkou zdevastované Ukrajiny, nejen osmi miliard svých konečných klientů, nejen klimatickou změnou ohrožené planety.

Konečně industrializovat profesi architekta

Virtuální veřejný prostor, a zvláště prostředí a technologie virtuální reality staví profesi architekta na práh revoluce, která slibuje optimalizovat procesy návrhu architektury i projektování stavebního díla, které architekturu materializuje, a umožnit bezprecedentní plynulost i kvalitu komunikace mezi účastníky těchto procesů – architektky, stavebníky, investory, manažery projektů, projektanty, zhotoviteli stavby, a také veřejností navzájem. Je profese architekta na takovou revoluci připravená?

Profese architekta dnes operuje v kompetitivním prostředí. Snad od konce tak zvaného dlouhého (19.) století, [47] snad od nástupu architektonické moderny, zřejmě v souvislosti s tím, jak architektura ztratila postavení *summum templum* [9], povolání architekta ztratilo (svého druhu) exkluzivitu. Zařadilo se mezi moderní řemesla - obory podnikání, pro jejichž uplatnění na trhu je konkurence existenciálním atributem.

V roce 1884 Arnold Toynbee [48] objasnil, že *podstatou industrializace je nahrazení středověké regulace výroby a distribuce soutěží*. Toynbeeho brilantní a cenný postřeh nikdy neupoutal náležitou pozornost: mnoho oborů podnikání od 19. století přesto funguje věrně v jeho duchu – nikoliv však architektura. Profese architekta se doposud nedokázala industrializovat a bez mála sto padesát let po vydání Toynbeeho *Lekcí o průmyslové revoluci* zůstává středověkým řemeslem. Počítače na stolech architektů na tom nic nemění: jejich řemeslo svazuje podvědomé paradigma cechovní organizace.

Profese architekta je dnes stejně jako profese lékaře, advokáta, exekutora, daňového poradce, ... *svobodným povoláním*, kterému většina států přisuzuje *zvláštní kompetenci a obecnou odpovědnost vzhledem k závažným dopadům jeho výkonu do chráněných zájmů jednotlivců i do veřejného zájmu* [50]. Ze všech těchto profesí, protimluv cechovního paradigmatu výkonu profese a veřejného zájmu je v případě architektonického řemesla nejvýraznější – a negativní dopad takového paradigmatu na skutečné a nanejvýš oprávněné zájmy společnosti nejmhatatelnější, v konečném důsledku nejvýraznější.

Zvláštní kompetenci svobodného povolání zákon zpravidla odvozuje od vysokoškolského vzdělání, předchozí praxe pod dohledem kvalifikovaného kolegy a složení dodatečné zkoušky – autorizace, atestace, advokátní zkoušky, ... Takovou kompetenci stát považuje za tak vysokou, že se nepovažuje za schopného ověřit ji; zřizuje proto samosprávné profesní organizace – komory – na které přenáší mimo jiné výlučné právo a povinnost ověřovat takovou kompetenci. Podobnost se středověkými cechovními regulacemi [49] a procesem *učení – tovaryšské zkoušky – tovaryšské praxe* v mistrově dílně – a konečně, uzná-li to mistr za vhodné, *mistrovské zkoušky* - je zřejmá, a je zřejmě východiskem cechovního paradigmatu, které je více nebo méně vlastní většině dnešních samosprávných profesních organizací – komorám architektů často v první řadě. Uplatnění cechovního paradigmatu v architektonické praxi je stejně brutální jako zastírané.

Situaci architektů dále komplikuje povaha jejich produktu – návrhu architektury – který trh, na rozdíl od produktu právníka nebo lékaře, vnímá jako zboží – *statek, který si koupil a který se stal jeho vlastnictvím, může*

s ním nakládat víceméně bez omezení, může ho skladovat a jeho povaha zůstává jednou pro vždy daná, může ho (do určité míry) rozdělit na části a může ho i prodat dál [51]. Tvořivé aspekty architektonického návrhu trh dílem zahrnuje do tohoto statku, dílem je opomíjí, a vůbec si neláme hlavu s deklarovanou zvláštní kompetencí a obecnou odpovědností jejich autora ve vztahu k chráněným zájmům jednotlivců i k veřejnému zájmu.

Souhra všech těchto, možná i dalších okolností způsobila, že architekt dnes vstupuje na trh zpravidla tak, že předkládá komprehenzivní koncept klientovi, stavebníkovi – zákazníkovi, kterého trh naučil, že pro naplnění svých očekávání si může vybírat z široké nabídky zboží, a on tento vzorec přenáší i do vztahu ke *svobodnému povolání* architekta. Říká se tomu *architektonická soutěž*: málokteré označení je více zavádějící – *architektonická soutěž* má pramálo společného s *toynbeeovskou industriální soutěží*. Architektovo „zboží“ je z povahy věci vždy jedinečným „zakázkovým“ produktem: neprodá-li ho architekt zákazníkovi, kterému ho předkládá, zůstane neprodané jednou pro vždy a veškeré úsilí a náklady, které architekt na jeho vytvoření vynaložil, přicházejí vniveč. Mezi *svobodnými povoláními* (o ostatních řemeslech nemluvě) je jediný, kdo takto postupuje. Je jediný, od koho trh očekává, že ve volné soutěži nabídne komprehenzivní, jedinečný a „na jediné použití“ produkt na trhu, který nemá možnost rozhodovat se racionálně, protože objektivně není schopen rozpoznat kvalitu produktu a evaluovat jej. Vzpomeňme: sám stát rozhodl, že povolání architekta je tak náročné, že není v silách státu rozhodnout, kdo je k němu způsobilý a kdo nikoliv. Rozhodování o kvalitě konkrétního výkonu takové profese je nepochybně ještě náročnější.

Nejpozději od šedesátých let 20. století samosprávné organizace praktikujících architektů celosvětově nastavují a udržují zásadně neobjektivní podmínky výkonu profese, které ekonomicky i reputačně destrukují profesi jako celek i jednotlivé architektky. Vedou i nutí své příslušníky, aby s vysokými náklady pořizovali vysoce komplexní produkty, o jejichž přijetí a snad – ne vždy! – adekvátním ocenění rozhoduje nikoliv trh, ale (v podstatné míře) subjekty náchylné k rozhodnutím neobjektivním v řadě ohledů.

Problém začíná tím, že principem architektonické soutěže je – vzhledem k požadavku anonymity a z něj plynoucí neefektivitě konzultací – střelba se zavázanými očima na pohyblivý cíl. Prohlubuje ho iracionální poměr ceny rizika a výše potenciálního zisku: až na výjimky, ani první cena v architektonické soutěži nepokryje náklady na zpracování soutěžního návrhu. Především ale objektivitu, potažmo kvalitu rozhodování soutěžních komisí nemůže zajistit ani povinné zastoupení tak zvaných nezávislých členů komise z řad autorizovaných architektů – „cechovních mistrů“. Za prvé, kvalita architektury je z podstaty kvalitou *poiétickou* [25] – nevyhnutelně subjektivní. Soutěžní poroty neváhají přihlásit se v konkrétních případech [52] k subjektivitě: pomíjejí při tom však, že *básněm* [potažmo architektura] je *autentické pouze tehdy, pokud je básněm sdíleným*. [2] Za druhé, prokázanou skutečností je, že *moc korumpuje* [53]. Moc v rámci uzavřené – například profesní – komunity korumpuje dvojnásob. Podíl tohoto jevu na stagnaci cechovních řemesel ve středověku je známý a prokázáný: střet zájmů v případě výkonu funkce člena soutěžní komise příslušníkem soutěžící profese není individuálním selháním nýbrž systematickým ohrožením, jehož naplnění protežujícím rozhodnutím je pravidlem spíše než výjimkou. Nemusí se při tom jednat jen o tendenci protežovat spřízněné osoby: neméně kontraproduktivní je i tendence vylučovat jiná než obvyklá, „osvědčená“ řešení: 18. září 1829 lokomotiva *Rocket* konstruktérů syna a otce Stephensonových zvítězila v soutěži na zajištění dopravy nákladních vagónů na trati Liverpoolské a manchesterské dráhy, když stanovené přepravní parametry překonala o 40% a vedla si v tomto ohledu lépe než konkurenti. Její výkon současně dokázal, že se mylili přední dopravní odborníci té doby, když doporučovali, aby doprava byla zajištěna dvaadvaceti stacionárními stroji. [54] Více mylit se přední dopravní odborníci snad už nemohli.

Regulérní konečně nemůže být ani obchodní soutěž o nejnižší cenu, když v případě architektonických i projektových prací se z podstaty jedná o „prodej zajíce v pytli“. Proti jednoznačné ceně stojí nevyhnutelně neurčitá specifikace „zboží“, respektive výkonu. Ani uchazeč, natož zadavatel netuší, jakou kvalitu výsledného produktu – entity vystavěného prostředí – nakonec jeden vytvoří a druhý získá; ani jeden z nich nedokáže kontrolovat parametry produktu v procesu jeho koncipování a tvorby; neumí ostatně ani změřit jeho výslednou kvalitu. „Kotrmlce“, které často provázejí projektovou přípravu projektů, jejíž zpracovatel byl vybrán jedním i druhým způsobem, jsou neslučitelné jak se zodpovědnou správou majetku tak s přiměřenou mírou ztrát, které mohou provázet hledání optimálního výsledku. Při zpětné kontrole neobstojí jako průkaz správnosti výběru vesměs ani projekty, které „proběhly v klidu“: jejich „klid“ se často ukáže jako důsledek lhostejnosti nebo odevzdanosti (zpravidla veřejného) zadavatele.

Jádrem problému trisítné situace architektonické praxe je nejistý, zakrytý, jen stěží identifikovatelný vztah mezi reprezentací architektury (a stavby, která ji má materializovat) v návrhu, konceptu nebo příslibu, který předkládá architekt, když se uchází o zakázku, a budoucí skutečností materializované architektury a vystavěné struktury. Kvalita tohoto vztahu, potažmo kvalita výpovědi soutěžních návrhů zásadně zpochybňuje dogma větší objektivnosti architektonické soutěže ve srovnání s výběrem podle ceny; další v praxi uplatňovaná kritéria – termín, reference, ... - se ukazují jako ještě méně relevantní. Riziko chybného výběru je velké v jednom i druhém případě. V obou případech jde totiž o stejnou povahu rizika – o výběr budoucí stavebně realizované architektury (a její

stavební substance) nikoliv podle jejích skutečných atributů, ale pouze podle jejího reprezentanta na samotném začátku návrhového a projektového procesu. Ať už se vybírá podle reprezentace cenou, nebo podle reprezentace náčrtu a výpočty, pravděpodobnost správného, objektivního výběru je žalostně nízká.

Vědomí popsanych tristních podmínek se začíná rodit: zatím se však vztahuje výlučně k socioekonomickým podmínkám výkonu profese. [54-59] Veřejnost, obecní ani státní správy netuší, že jejich důsledkem jsou ekonomické ztráty a – co hůř – substandardní formování veřejného prostoru i rozvoj vystavěného prostředí: v konečném důsledku je torpédován udržitelný rozvoj. Veřejná správa by tedy měla mít zásadní zájem napravit situaci oboru – a v jeho rámci i řemesla.

Virtuální dvojče a přesun poznávacího a hodnotícího procesu do virtuální reality nabízí evidentní řešení: proč rozhodovat podle reprezentantů – jakýchkoliv – když je možné rozhodnout podle atributů skutečných - namísto podle fragmentární reprezentace rozhodovat podle komprehensivního souboru atributů. Virtuální dvojče tak na místo rizika chybného výběru pokládá náklady svého pořízení. Ty jsou dnes (zatím) vyšší, než náklady zpracování nabídky nebo obvyklého soutěžního návrhu, ale řádově nižší než hodnota ztrát v důsledku chybného výběru. Zbývá už jen rozhodnout, zda tyto náklady má nést každý z architektů, ucházejících se o zakázku, nebo zadavatel – nebo zda se o ně podělí, třeba v poměru k finančnímu objemu projektu, o který se jedná jednomu a druhému, nebo vzhledem k hodnotě zadavatelova benefitu, vyjádřeného rozdílem hodnoty nejlepšího řešení a řešení vybraného nahodile nebo dokonce podle kontraproduktivních kritérií. Kdyby na počátku 19. století byla k dispozici technologie virtuální reality a virtuálních dvojčat, syn a otec Stephensonovi nemuseli *Rocket* vybudovat z oceli a nemuseli ji nechat závodit na železných kolejích v Rainhill, aby ukázali, že jejich řešení je nejlepší. Soutěž mohla absolvovat virtuální dvojčata soupeřících strojů ve virtuální realitě se stejným výsledkem: neexistoval by důvod, proč by zadavatel rozhodl odlišně od rozhodnutí, které přijal ve skutečnosti na základě „fyzického závodu“. A naopak, pokud by společnost Liverpoolské a Manchesterké železnice rozhodovala podle reprezentantů předkládaných řešení, nejspíš by dala na doporučení předních odborníků doby [60] a nákladní vagonů mezi koncovými stanicemi by dál tahala lana, navíjená na některý z dvou-a-dvaceti stacionárních navijáků. Časem by společnost zjistila, že si vybrala špatně – ale investiční náklady by už byly vynaložené, z velké části zmařené, doprava by byla zbytečně pomalá a brzdila by ekonomiku v regionu. Zabrzděný by ale byl rozvoj železniční dopravy vůbec: realizace, a tedy „ověření“ nevhodného řešení by negativně ovlivnilo nejen britskou ekonomiku – v konečném důsledku by se zpomalil růst životní úrovně a společenský a kulturní rozvoj v globálním měřítku. Na špatné rozhodnutí, které by při soutěžení reprezentantů na místo skutečných řešení – lokomotiv mezi sebou a proti navijákům - špatné být muselo, by doplatila celá společnost. To samé se děje dnes (a denně) v případě zadávání přípravy realizace architektury a projektů rozvoje vystavěného prostředí, pokud se mezi sebou ucházejí a reprezentanti budoucích řešení soutěží tak, jak se soutěží a jak to prosazují cechovní spolky architektů i obecná právní úprava.

Navíc, veřejný prostor virtuální reality bude otevřený a inkluzivní – připomeňme si. Veřejnost by tak mohla mít přístup k virtuálním dvojčatům návrhů soupeřícím v soutěži: přístup stejně dobrý jako ti, kteří vybírají nejvhodnější řešení. Neexistuje důvod, proč by ve virtuálním veřejném prostoru neměla být umístěná a přístupná také veškerá dokumentace k výběru nejvhodnějšího, nejlepšího návrhu. Lze si představit lepší společenskou kontrolu kvality soutěžících návrhů i rozhodování o výběru nejvhodnějších – ve vztahu k zakázkám a stavbám veřejných zadavatelů, ale i zadavatelů soukromých, když architektura, vzhledem k jejímu vzájemně konstitutivnímu vztahu s veřejným prostorem, je věcí inherentně veřejnou? A není toto dalším velmi pádným důvodem pro rozvoj technologií virtuálních dvojčat architektury a (entit) vystavěného prostředí a technologie virtuální reality vůbec?

(5) ZÁVĚR

Práce představila široký rámec fenoménu virtuální reality v kontextu architektury, vystavěného, respektive syntetického životního prostředí a veřejného prostoru: na jedné straně stav výzkumu a vývoje v oboru nástrojů pro navrhování architektury a stave s využitím virtuální reality a stav oboru architektury a profese architekta, se kterým se technologie virtuální reality setkává, na druhé straně perspektivy mezilidské komunikace, veřejného prostoru a rozšířené existence člověka a lidstva, perspektivy pro teorie architektury, ekonomické a společenské souvislosti (dalšího) rozvoje technologií virtuálních dvojčat architektury a perspektivy industrializace profese architekta. Průsečík obou sfér práce ukazuje jako singularitu, kterou naplňuje softwarový nástroj, spíše komplexní počítačové prostředí prostoru virtuální reality, v němž vznikají a existují virtuální dvojčata architektury a stavebních struktur, které architektury materializují nebo mají materializovat ve skutečném světě, a které navštěvují, perspektivně „osidlují“ *stakeholderi* architektonických projektů a projektů rozvoje a transformace vystavěného prostředí, aby v něm – také s podporou umělé inteligence – jednotlivá virtuální dvojčata a s nimi spojená prostředí vytvářeli a přetvářeli, seznamovali se s nimi a poznávali je, komunikovali (nejen o nich) spolu navzájem.

Toto komplexní prostředí je otevřenou a inkluzivní metaverzí: záměrem je jeho připojení – vcelku nebo po prostorech jednotlivých dvojčat – jednotlivých projektů – ke globální síti Meta. *Stakeholderem* pak může být téměř kterýkoliv člověk, globální společnost jako celek i komunity a společnosti specifické.

Práce ukazuje také konkrétní výsledky výzkumu a vývoje softwarového nástroje, respektive komplexního počítačového prostředí prostoru virtuální reality, který předloženou singularitu naplňuje. *Wearrecho* (chráněné označení nástroje) byl ve vývojové verzi experimentálně ověřen v ateliérové výuce oboru Architektura a stavitelství na Fakultě stavební ČVUT v Praze: výsledky experimentu, prezentované ve třetí části práce, jsou v rozhodující míře pozitivní. Potvrzují se přínosy v oblasti autentického chápání architektury a architektonické prostorové tvorivosti, zvýšení kvality návrhů a řešení i ekonomické přínosy práce s v prostředí *Wearrecho* v podobě zvýšení produktivity a efektivity práce.

Pozitivní výsledky experimentu jsou argumentem pro pokračování výzkumu a vývoje nástroje a prostoru. Na podzim roku 2022 se dokončuje první fáze výzkumu a vývoje, jejíž cíle jsou specifikované ve třetí části práce. V oblasti funkcionalit vyvíjeného software a počítačového prostředí jsou pro další fázi, která má být zahájena v roce 2023 a má trvat dva a půl až tři roky, stanoveny tyto cíle:

- zvýšení stability dosavadních funkcí a prostředí, scaling-up cloudového pracoviště pro řádový nárůst počtu uživatelů, regulace přístupu v různých úrovních funkčnosti,
- multiplatformní *Wearrecho*: desktop verze, verze pro rozšířenou realitu a mobilní verze, vzdálený přístup z alternativních zařízení,
- rozšíření možností a komfortu vkládání komponentů z jiných prostředí do prostoru virtuální reality projektu,
- vybavení virtuálních dvojčat materialitou konstrukčního řešení – gravitací, únosností, zatížením konstrukčních prvků,
- vybavení virtuálního dvojčete atributy statiky konstrukcí, připojení statických výpočetních nástrojů,
- vytvoření specializovaných pracovních nástrojů a základních knihoven pro navrhování a projektování krajinných úprav,
- vytvoření specializovaných pracovních nástrojů a základních knihoven pro navrhování a projektování interiérového vybavení a produktového designu,
- připojení geodetických datových nástrojů a souborů, nástrojů a souborů GIS a prostorového plánování,
- připojení veřejně přístupných souborů dat o existujících terénních konfiguracích a vystavěném prostředí, OpenStreetMap a dalších,
- v obecné rovině je cílem, aby se virtuální realita *Wearrecho* stala pracovním a komunikačním interaktivním front-end i back-end rozhraním mezi objekty a strukturami virtuální reality na jedné straně a parametrickými nástroji jednotlivých odborností, vstupujícími do procesů návrhu a projektu a přípravy podkladů pro ně,
- připojení virtuálních prostorů (jednotlivých) projektů do sítě Meta.

Pokračující vývoj bude prováděn systematickým budováním a vyhodnocováním uživatelské zkušenosti a implementováním jejích závěrů. Hlavním řešitelem výzkumu a vývoje bude i nadále autor této práce, tým dosavadních řešitelů posílí a připojí se k němu i pracovníci Fakulty stavební ČVUT v Praze. Uživatelská zkušenost bude získávána v prostředí architektonického ateliéru autora práce, v dalších oborových organizacích (včetně veřejné správy), v univerzitní výuce a v akademickém prostředí vůbec.

Otevřené – do dalších etap vývoje zůstává řešení problémů nesouladu smyslových vjemů a pohybů a stavů těla uživatele virtuální reality/návštěvníka virtuálního prostoru a vybavení virtuálního prostoru atributy dalších smyslových vjemů – především akustických, případně hmatových.

Tématem další fáze výzkumu mohou být také přesahy uplatnění virtuální reality mimo oblast architektury a její materializace. Předběžně se má jednat o

- vývoj konstrukčních systémů modulární i jinak industrializované výstavby,
- nácvik a provádění pracovních činností, zdravotní a rehabilitační péče, trénink sportů,
- monitoring a řízení výkonu pracovních a služebních činností,
- vývoj počítačových her, stavebnic, ...

Plán se vyhýbá strojní a elektrotechnické produkci a sledování a řízení tovární výroby: v těchto oblastech je využití virtuální reality již rozvinuté.

LITERATURA, ZDROJE

- [1] HUSSERL, E.: *Ideen zu Einer Reinen Phänomenologie und Phänomenologischen Philosophie. Erstes Buch: Allgemeine Einführung in die Reine Phänomenologie, 2. Halbband: Ergänzende Texte (1912–1929)*. Springer 1976. ISBN: 978-90-247-1914-3.
- [2] HEIDEGGER, M.: *Voll Verdienst, doch dichterisch wohnt / Der Mensch auf dieser Erde. [Heidegger und Hölderlin, herausgegeben von Peter Trawny]*. Vittorio Klostermann 2000. ISBN 978-3-465-03084-3.
- [3] NORBERG-SCHULZ, CH.: *The Concept of Dwelling: On the Way to Figurative Architecture*. Rizzoli 1985. ISBN 0847805905.
- [4] GAUGIN, P., MALINGUE, M. (Ed.): *Lettres de Gauguin à sa femme et ses amis*, Paris: Grasset, 1949, S. 289.
- [5] <https://blog.vive.com/us/vive-x-company-mindesk-secures-900k-bring-cad-designers-virtual-reality>. vyhledáno 25.7.2022.
- [6] <https://irisvr.com>, <https://thewild.com/about-us>. vyhledáno 25.7.2022.
- [7] <https://www.arkio.is/blog/2021-06-01-release-1dot0>. vyhledáno 22.7.2022.
- [8] <https://www.spacemakerai.com/>. vyhledáno 10.7.2022.
- [9] VITRUVIUS, M. P.: *The Ten Books on Architecture*. original De architectura [libri decem], trans. Morris Hicky Morgan. Kessinger Publishing 2005. ISBN 9781417969579.
- [10] SOUREK, M.: From Functional Areas towards Structure of Public Space: Sustainable Development of City in Context of Social-Cultural Values' Communication. *Advanced Engineering Forum*. Trans Tech Publications 2014. vol. 12, pp 176-180, doi: 10.4028/www.scientific.net/AEF.12.176.
- [11] LAUGIERE, M.-A.: *Essay sur l'architecture* (Ed. 1753). Hachette Liver BNF 2012. ISBN 9782012543058.
- [12] GIEDION, S.: *Space, Time and Architecture The Growth of a New Tradition*, 5. vydání. Harvard University Press 1967.
- [13] https://en.wikipedia.org/wiki/Congr%C3%A8s_Internationaux_d%27Architecture_Moderne. vyhledáno 20.8.2022.
- [14] JOHNSON, P. C., HITCHCOCK, H.-R.: *The International Style: Modern Architecture Since 1922*. McGraw-Hill 1995 ISBN 0-393-03651-0.
- [15] <https://worldgbc.org/news-media/commitment-includes-embodied-carbon#:~:text=The%20built%20environment%20is%20responsible%>. vyhledáno 8.3.2022.
- [16] ARNHEIM, R.: *Toward a Psychology of Art*. Berkeley and Los Angeles: University of California Press 1966. ISBN 978-0-520-02161-7.
- [17] ZEVI, B.: *Jak se dívat na architekturu*. Praha: Československý spisovatel 1966.
- [18] ANDERSEN, K.: *The Geometry of an Art. The History of the Mathematical Theory of Perspective from Albeti to Monge*. Springer 2007. ISBN 978-0-387-48946-9.
- [19] COLE, A.: *Perspective (Eyewitness Art)*. Dorling Kindersley Publishing, Inc. 2000. ISBN 0789455854.
- [20] HOCKNEY, D.: *Secret Knowledge. Rediscovering the Lost Techniques of the Old Masters*. Thames & Hudson 2001. ISBN 9780500286388.
- [21] <https://www.britannica.com/topic/architecture>. vyhledáno 5.3.2022.
- [22] AGHION, P., ANTONIN, C., BUNEL, S.: *The Power of Creative Destruction Economic Upheaval and the Wealth of Nations*. Cambridge, Massachusetts: The Belknap Press of Harvard University Press 2021, ISBN 9780674971165.
- [23] VESELÝ, D.: *Architektura ve věku rozdělené reprezentace Problém tvořivosti ve stínu produkce*. Academia 2009. ISBN 978-80-200-1647-8.
- [24] ALBERTI, L. B.: *On the Art of Building in Ten Books*, Mitpress 1988, ISBN 9780262010993
- [25] <https://en.wikipedia.org/wiki/Poiesis>. vyhledáno 2.4.2022.
- [26] AUGSTEIN, R., WOLFF, G., HEIDEGGER, M.: Nur noch ein Gott kann uns retten. *Der Spiegel* 23/1976. pp. 197-203. Hamburg: Spiegel-Verlag Rudolf Augstein GmbH & Co. KG. 1976. ISSN 0038-7452.
- [27] SOUREK, M.: From Functional Areas towards Structure of Public Space: Sustainable Development of City in Context of Social-Cultural Values' Communication. *Advanced Engineering Forum*. Trans Tech Publications 2014. vol. 12, pp 176-180, doi: 10.4028/www.scientific.net/AEF.12.176.

- [28] https://academy.binance.com/en/articles/what-is-the-metaverse?utm_campaign=googleadsxacademy&utm_source=bing_ads&utm_medium=cpc&ref=TDJYLZ1Y&gclid=3b820716896c10a0aace6417b6423bf8&gclsrc=3p.ds&msclid=3b820716896c10a0aace6417b6423bf8. vyhledáno 2.4.2022.
- [29] <https://www.procomputing.cz/v-evrope-a-usa-se-mira-rozsireni-internetu-mezi-obyvateli-pohybuje-kolem-90/>. vyhledáno 2.4.2022.
- [30] <https://www.patria.cz/zpravodajstvi/2169166/pocet-uzivatelu-mobilnich-telefonu-na-svete-stale-rose-a-na-konci-lonskeho-roku-jich-bylo-jiz-zhruba-sest-miliard-tj-mobil-vlastnilo-86-lidi-ze-100.html>. vyhled. 3.4.2022.
- [31] <https://www.virtuplex.cz>. vyhledáno 15.8.2022
- [32] HABERMAS, J.: *Theorie des kommunikativen Handelns*. Frankfurt/Main: Campus 1981, ISBN 3-518-28775-3.
- [33] McLUHAN, M., LAPHAM, L. H.: *Understanding Media: The Extensions of Man*. The MIT Press 1994. ISBN 978-0262631594.
- [34] HEIDEGGER, M.: *Sein und Zeit*. Tübingen: Max Niemeyer Verlag 2006, ISBN 3-484-70153-6.
- [35] <https://www.nft.com>. vyhledáno 20.7.2022.
- [36] https://www.binance.com/en/nft/home?ads=true&utm_source=bing_ads&utm_medium=cpc&ref=TDJYLZ1Y&gclid=39335fb7f52e138ab3713d48567f7f45&gclsrc=3p.ds&msclid=39335fb7f52e138ab3713d48567f7f45. vyhledáno 20.7.2022.
- [37] <https://www.forbes.com/advisor/investing/cryptocurrency/nft-non-fungible-token/>. vyhledáno 20.7.2022.
- [38] https://en.wikipedia.org/wiki/Artificial_intelligence. vyhledáno 20.8.2022.
- [39] https://en.wikipedia.org/wiki/Deep_learning. vyhledáno 20.8.2022.
- [40] <https://medium.com/built-horizons/ai-architecture-4c1ec34a42b8>. vyhledáno 22.7.2022.
- [41] <https://www.autodesk.com/autodesk-university/article/Generative-Design-Architectural-Space-Planning-2020>. vyhledáno 19.7.2022.
- [42] <https://sassbook.com/ai-story-writer>. vyhledáno 20.7.2022.
- [43] <https://deepai.org/machine-learning-model/text-generator>. vyhledáno 20.7.2022.
- [44] <https://fzone.cz/clanky/nove-vyuziti-pro-ai-slozite-vedecke-texty-pojme-tak-aby-jim-rozumel-i-skolak-3376>. vyhledáno 19.7.2022.
- [45] HAWKINS, A. J.: Alphabet's Sidewalk Labs shuts down Toronto Smart city project. *The Verge*. <https://www.theverge.com/2020/5/7/21250594/alphabet-sidewalk-labs-toronto-quayside-shutting-down>. vyhl. 17.7.2020.
- [46] GIEDION, S.: *Mechnization Takes Comman: A Contribution to Anonymous History*, Harvard University Press, 1948.
- [47] ZATLOUKAL, P.: *Příběhy z dlouhého století*. Olomouc, Muzeum umění 2002. ISBN 80-85227-49-5.
- [48] TOYNBEE, A.: *Lectures on the Industrial Revolution in England*. London, Cambridge University Press 2011, ISBN 9781139094566.
- [49] WINTER, Z.: *Český průmysl a obchod v 16. věku*. Praha: Česká akademie císaře Františka Josefa pro vědy, slovesnost a umění, 1913. <https://www.digitalniknihovna.cz/mlp/view/uuid:f8dcd5d0-8989-11dd-b018-0030487be43a?page=uuid:d39c9750-898a-11dd-86c9-0030487be43a> s. 339-440. vyhledáno 22.04.2022.
- [50] https://cs.wikipedia.org/wiki/Svobodné_povolání, https://fr.wikipedia.org/wiki/Profession_libérale. vyhl. 24.04.2022.
- [51] BANNACK, G., BAXTER, R. E., REES, R.: *The Penguin Dictionary of Economics*. Penguin Books, Harmondsworth, Middlesex, 1984. ISBN 0 14051.134 2.
- [52] Hlavní město Praha: Rozhodnutí zadavatele o námitkách. *Soutěž o návrh „Meziprosotry pražské tržnice“*. Praha, 27. prosince 2021. Č.j. MHMP 2121373/2021
- [53] WHINSTON, J. A., LILJENQUIST, K. A., DALINSKI, A. D., MAGEE, J. C., GRUENFELD, D. H., CADENA, B.: The blind leading: Power reduces awareness of constraints *Journal of Experimental Social Psychology*. Vol. 49, Issue 3, May 2013, pp.579-582. dostupné online <https://doi.org/10.1016/j.jesp.2012.10.009>. vyhledáno 18.3.2022.
- [54] WAGNER, K.: Architects are Workers, *The Architet's Newspaper*. January 11, 2021. <https://www.archpaper.com/2021/01/architecture-and-labor-review/>. vyhledáno 10.03.2022.
- [55] DEAMER, P.: *Architecture and Labor*. Routledge 2020. ISBN 9780367343507.

[56] CONKLIN, E.: Section of Architectural Workers sets up union efforts in London. *The Architect's Newspaper*. November 4, 2019. <https://www.archpaper.com/2019/11/saw-union-london/>. vyhledáno 20.02.2022.

[57] STOUHI, D.: Can Architects Finally have a Seat at the Table? Labor Rights and Working Conditions in Architecture. *ArchDaily*. December 19, 2021. <https://www.archdaily.com/974293/can-architects-finally-have-a-seat-at-the-table-labor-rights-and-work-conditions-in-architecture>. vyhledáno 10.0.2022.

[58] EASTERLING, Keller: Subtraction. *Critical Spatial Practice* 4, edited by HIRSCH, Nikolaus, and MIESSEN, Markus. Sternebrg Presss 2014. ISBN 978-3-95679-046-1

[59] BERARDI, Franco: What does Cognitariat Mean? Work, Desire, and Depression. *Cultural Studies Review* vol. 11 No. 2 September 2005 <http://epress.lib.uts.edu.au/journals/index.php/csri/index>. vyhledáno 15.04.2022.

[60] https://en.wikipedia.org/wiki/Stephenson%27s_Rocket. vyhledáno 12.6.2022.