

VIRTUÁLNA, ROZŠÍRENÁ A ZMIEŠANÁ REALITA V ARCHITEKTÚRE

Lucia Benkovičová



SLOVENSKÁ TECHNICKÁ
UNIVERZITA V BRATISLAVE
FAKULTA ARCHITEKTÚRY A DIZAJNU

VIRTUÁLNA, ROZŠÍRENÁ A ZMIEŠANÁ REALITA V ARCHITEKTÚRE

Lucia Benkovičová

Všetky práva vyhradené. Nijaká časť textu nesmie byť použitá na ďalšie šírenie akoukoľvek formou bez predchádzajúceho súhlasu autorov alebo vydavateľstva.

© Bc. Ing. arch. Lucia Benkovičová, PhD.

Recenzenti: RNDr. Ján Lacko, PhD.
prof. Ing. arch. Vladimír Šimkovič, PhD.
PhDr. Martin Rapoš, MSc.

Schválila Edičná rada fakulty architektúry a dizajnu STU v Bratislave.

ISBN 978-80-227-5132-2

Abstrakt

Publikácia je analýzou súčasných potrieb, nárokov, možností, spôsobov, techník uplatnenia a trendov využitia virtuálnej reality pre architektonické účely. Predstavuje prehľad aktuálnych poznatkov pre teóriu a prax pri výkone povolania a uľahčenie orientácie v predmetnej téme – pre stavebníkov a odborníkov v oblasti spracovania vizuálnych informácií vo forme aplikácií pre virtuálnu, rozšírenú či zmiešanú realitu a iné príbuzné profesie. V úvode vysvetľuje základné pojmy súvisiace s predmetnou témou. Druhá kapitola sa bližšie zameriava na upresnenie oblastí aplikácie VR v architektúre, jej vývoj a hlavné prínosy. V tretej kapitole sú podrobnejšie prezentované konkrétne hardvérové a softvérové riešenia so zameraním na využitie v oblasti architektúry. Vlastný dotazník skúma využívanie virtuálnej reality (VR), rozšírenej reality (AR) a zmiešanej reality (MR/XR) pre architektonické účely: motiváciu, skúsenosti, preferencie, postoje, technické a softvérové vybavenie. V záverečnej časti sú načrtnuté najnovšie trendy, predpovede a potenciál do budúcnosti.

Kľúčové slová:

stavebníctvo, architektúra, virtuálna realita, rozšírená realita, zmiešaná realita, BIM

Abstract

The publication is an analysis of present needs, demands, possibilities, ways and techniques of application and trends of use of virtual reality or architectural purposes. It constitutes an overview of current knowledge for theory and practice in practise of a profession and for facilitation of orientation in the topic – for builders and professionals in area of processing of visual information in the form of applications for virtual, augmented, or mixed reality, and other related professions. The introduction explains basic terms connected with the subject. The second chapter focuses closer on a specification of areas of VR application in architecture, its evolution, and main benefits. The third chapter presents in more detail specific hardware and software solutions with focus on use in the scope of architecture. The questionnaire examines the use of virtual reality (VR), augmented reality (AR), and mixed reality (MR) for architectural purposes: motivation, experience, preferences, attitudes, technical and software equipment. The final part outlines the latest trends, predictions, and potential for the future.

Keywords:

civil engineering, construction/building (industry), architecture, virtual reality, augmented reality, mixed reality, BIM

Obsah

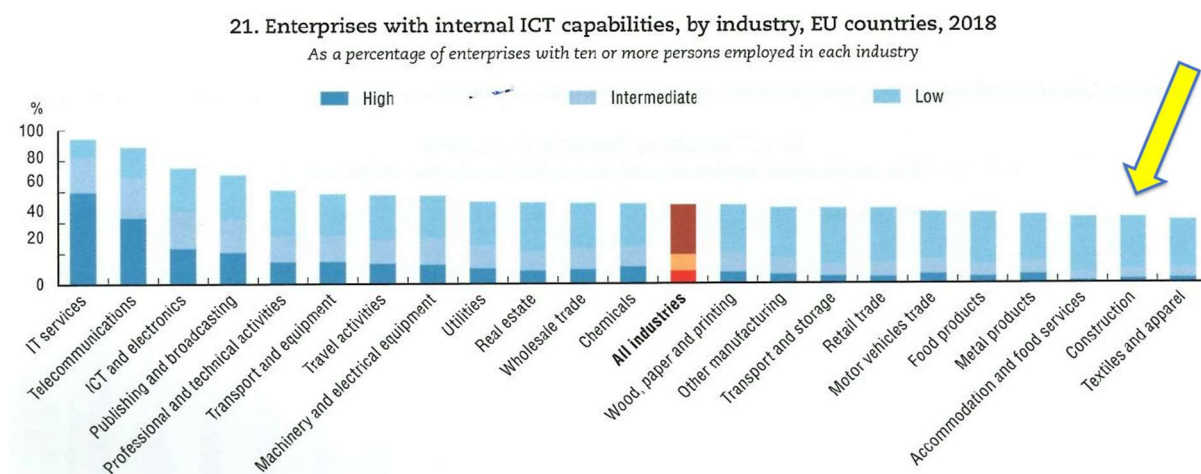
Úvod	6
1 Základné pojmy	10
1.1 Virtuálna realita (Virtual Reality – VR).....	10
1.1.1 Na margo pojmu virtuálny.....	11
1.2 Rozšírená realita (Augmented Reality – AR)	11
1.3 Zmiešaná realita (Mixed Reality – MR/XR).....	11
2 Aplikácie VR v architektúre	14
2.1 Digitálny svet	14
2.2 Vývoj a hlavné prínosy	15
2.3 VR ako súčasť BIM	19
3 Riešenia pre VR.....	23
3.1 Základné charakteristiky	23
3.2 Druhy VR aplikácií	24
3.3 Hardvérové zariadenia pre VR.....	24
3.3.1 Anatómia.....	25
3.3.2 Podrobnejší prehľad.....	27
3.3.3 Požiadavky.....	30
3.4 Softvérové riešenia pre VR	32
3.4.1 Všeobecný vývoj	32
3.4.2 Aplikácie pre tvorbu VR a MR.....	33
3.4.2.1 Vybrané spoločné charakteristiky	33
3.4.2.2 VR aplikácie	36
3.4.2.3 MR aplikácie	39
3.4.2.4 Kompatibilita.....	42
3.4.2.5 Iné druhy VR.....	42
4 Dotazníkový prieskum.....	44

Záver.....	54
Slovník	57
Zoznam použitej literatúry.....	59
Príloha	65
O autorke	74

„Nástojčivejšie ako kedykoľvek predtým profesia architekta už nie je len pozemným staviteľstvom alebo mestským plánovaním, už neosciluje len medzi konštrukčnými technológiami a funkčnými požiadavkami, ale rieši komplikované otázky fyzickej a virtuálnej reality, politickej morálky a ekonomickej prostitúcie, či dokonca nových topografií alebo udržateľných environmentov.“

(Imro Vaško: Architektúra pohyblivého obrazu, 2014)

Špeciálne okuliare pre rozšírenú realitu (augmented reality HMDs) majú už pomerne dlho svoje miesto v priemyselnom a komerčnom svete. Virtuálna realita (VR) sa ale v súčasnosti zameriava skôr na svet konzumenta. Napriek výraznému technickému boomu za posledné roky NVIDIA odhadla, že menej ako 1 % všetkých počítačov na trhu v roku 2016 bude schopných pracovať s najlepšou VR (BBC News, 2016). Grafické karty sú odvtedy opäť výkonnejšie a stále viac ľudí má „VR-ready“ hardvér, napriek tomu, že ho nekupovali priamo na tento účel a mnohí o tejto skutočnosti pravdepodobne ani nevedia. Kým v roku 2016 to bolo asi 13 miliónov „schopných“ počítačov, v roku 2020 sa toto číslo odhadlo na 58 miliónov (Lang, 2020), čo predstavuje približne 4,5-násobný nárast v priebehu 4 až 4,5 roka. Spoločnosť Consultancy CCS Insights ďalej odhadla, že do konca roku 2019 bude na svete v obehu 10 miliónov head-setov, čo predstavuje 21 %-ný nárast oproti predošlému roku (Lawrie, 2020). Treba však poznamenať, že grafická karta (GPU) samotná v tomto zmysle nestačí. Významnú úlohu zohráva aj procesor (CPU) a rôzne špecifiká USB a HDMI verzií, počet portov či operačný systém. Štatisticky pre CPU a GPU je tiež prakticky nemožné kombinovať.



Obrázok 1 Podniky s internými IKT schopnosťami podľa odvetvia, krajiny EÚ, 2018, ako percentuálny podiel podnikov s 10 alebo viac osobami zamestnanými v každom odvetví (Digitalizácia stavebníctva – vízia a realita, 2019)

Ako zobrazuje **Obrázok 1**, stavebníctvo je často a dlhodobo vnímané ako zaostané odvetvie, hoci IT prieskumy naznačujú, že počítačová gramotnosť rastie a väčšina organizácií dnes využíva nejakú formu IT a mnohé biznis procesy sú v súčasnosti plne podporované počítačom (Whyte, 2003). Vlastník CGarchitect & Cgschool Calgary publikoval na internete článok (Mottle, 2016) s vyjadrením, že „... architektúra je zvyčajne jednou z najzaostávajúcejších oblastí, čo sa technológie týka...“. Podporujú to aj vyjadrenia viacerých rečníkov konferencie BIM a digitalizácia v stavebníctve, ktorá sa konala na jeseň roku 2019 v Bratislave, že „implementácia IKT v stavebných firmách je veľmi nízka, rovnako ako je u nich slabé využívanie pokročilých IKT technológií“. (Insight Strabag, 2019)

Avšak tento trend sa už začal preukázateľne meniť a architekti začínajú viac experimentovať s virtuálnou realitou, aj v snahe odlišiť sa od konkurencie a získať povestnú konkurenčnú výhodu, či niečo navyše. „*Táto schopnosť zažiť priestor, ktorý nemôžeme navštíviť, alebo ktorý ešte neexistuje, je základom všetkého, čo denne robia takmer všetci profesionáli na poli architektonických vizualizácií, takže virtuálna realita je komplementárna a posúva našu činnosť na inú úroveň.*“ (Mottle, 2016) Mnohí sú dnes presvedčení, že virtuálna realita sa stane integrálnou súčasťou architektonického vizualizačného procesu – VR má obrovský potenciál ako komunikačné médium, obzvlášť v oblastiach, akými sú architektúra a produktový dizajn. Podľa prieskumu špecialistov na vizualizácie portálu CGarchitect, viac ako 77 % respondentov experimentovalo, alebo plánovalo experimentovať s virtuálnou realitou v roku 2017. Pre nových profesionálov vstupujúcich na trh v tejto oblasti bude zdatnosť v navrhovaní vo virtuálnej realite s najväčšou pravdepodobnosťou očakávanou zručnosťou, čo zásadne zmení súčasný repertoár umelcov – pribudnú 360-stupňové videá, rozšírená, zmiešaná a zrejme aj iné formy reality. (Design Visualization Team, 2017)

Zdá sa, že tieto nové možnosti zatiaľ využívajú skôr veľké spoločnosti, ktoré sa venujú vizualizáciám – tieto prenášajú svoje už vyhotovené projekty do virtuálnej reality, aby napríklad pomohli developerom lepšie porozumieť príslušným priestorom. VR technológie tiež umožňujú návrhárom vziať objekty zo skutočného sveta a reálne vidieť, ako interagujú s prostredím, čo je základným poslaním tvorby skutočnej architektúry. Je tu aj veľký potenciál pre zdieľanie priebežného stavu projektu s klientmi, pred položením prvej tehly a pod., čo urýchľuje a zjednodušuje spoluprácu, ako aj upresňuje vzájomné predstavy. „*Keď sme začali nasadzovať VR do návrhového a stavebného procesu, začali sme vidieť rýchlejšie schválenia projektov, zvýšenie pozitívnych interakcií s klientmi a vyššiu spokojnosť zákazníkov,*“ hovorí Mike Oyster, viceprezident a výkonný riaditeľ spoločnosti McCarthy (Zhu, 2015). Virtuálna realita umožňuje „prežiť“ a diskutovať o niečom, čo ešte neexistuje, v rámci spoločnej perspektívy. Namiesto hovorenia v „abstraktoch“, máme k dispozícii hmatateľnejšiu referenčnú podobu, čo znižuje priepasť neporozumenia medzi klientmi a architektmi. V ponímaní umelca ide však v prvom rade o expresívnejší spôsob vyjadrenia nálady alebo momentu a predať svoju víziu priestoru. Predstavte si, ako sprevádzate svojich zákazníkov po modeli v životnej veľkosti, alebo ako virtuálne sedíte v modeli a skúmate každý jeho kútik. Keď klient môže zažiť projekt v neuveriteľnom detaile, lepšie si uvedomí, čo chce a čo nie. To znamená aj menej času strávenom na prerábaní návrhov a pri získavaní spätnej väzby. Tiež je to užitočnejšie, než sedieť za stolom a „zoomovať“ v návrhu na 15-palcovom monitore. Virtuálna realita, každopádne, nepresahuje len vyobrazenie návrhu, mení architektonické praktiky nielen v grafickom spracovaní, ale aj priamo na stavbe, či po výstavbe – napr. simulácie bezpečnostných postupov sú preukázateľne efektívnejšie, ako čítanie a učenie sa z knihy (Health Safety Training for Industry in Virtual Reality, 2020). „*BIM je na pokraji revolúcie v manažmente stavieb a výstavby. Riešenia BIM umožňujú neprerušovanú kolaboráciu na staveniskách, vytvárajúc dátovú stopu pre efektívnu údržbu a manažment stavby.*“ (Lugmayr, 2016)

Ako povedal jeden z konateľov softvérovej spoločnosti Capturing Reality s.r.o., „*vo všeobecnosti sa dá povedať, že s nástupom 3D tlačiarň, dronov, a hlavne virtuálnej reality, rastie a bude rásť dopyt po 3D obsahu.*“ Dnes stačí „nalietať“ nejaké územie alebo objekt dronom, dofotiť a/alebo naskenovať, čo chýba z terénu, dať to spracovať v našom softvéri, nahráť si 3D

model do headsetu¹ pre virtuálnu realitu a poprechádzať sa v ňom, príp. ho prezentovať online či inou formou. (Ditrichová, 2016)

Publikácia analyzuje súčasné potreby, nároky, možnosti, spôsoby a techniky uplatnenia, ako aj trendy využitia VR pre architektonické účely. Jej význam spočíva vo vytvorení objektívneho, syntetického prehľadu aktuálnych poznatkov pre teóriu a najmä prax pri výkone povolania a uľahčenie orientácie v predmetnej téme – nielen pre architektov samotných, ale aj odborníkov v oblasti spracovania vizuálnych informácií vo forme aplikácií pre virtuálnu, rozšírenú či zmiešanú realitu, ako i iné príbuzné profesie. Vstup virtuálnej reality do spojitosti s architektúrou zásadným spôsobom mení repertoár našich výrazových i pracovných prostriedkov a robí ho prakticky neobmedzeným. *„Nevystačujeme si už len s osvedčenými schémami našich riešení, pretože naše životy a ich okolnosti sa výrazne menia, a teda sa menia aj paradigmy a metódy.“* (Vaško, 2014)

¹ headset/HMD (head mounted display) – tzv. náhlavný displej, výraz pre okuliare VR (Mendelová, 2019)

„Asi jedno z najzakorenenejších nedorozumení pri diskusii súčasnej digitálnej kultúry je myšlienka, že virtuálne by malo byť ponímané v opozícii s materiálnou realitou. Virtus vo svojom pôvodnom význame označovalo silu a schopnosť... Čo chýba vo virtuálnom svete nie je realita, ale existujúci stav... Postavili sme proti sebe virtuálne a reálne: ale túto terminológiu treba opraviť. Virtuálne je protikladné nie reálnemu, ale súčasnému. Virtuálne je plne reálne v rovnakej miere, ako je virtuálne... V súčasnosti sme svedkami opaku: súčasné sa transformuje na virtuálne...“

(Pablo Lorenzo-Eiroa: Architecture in Formation – On the Nature of Information in Digital Architecture, 2013)

1 Základné pojmy

1.1 Virtuálna realita (Virtual Reality – VR)

Pojem virtuálna realita navrhol Jaron Lanier, zakladateľ spoločnosti VPL Research, v roku 1989 (Song, 2018), ktorý ohlásil túto novú technológiu (Mendelová, 2019). Slovník cudzích slov (Ivanová-Šalingová, 1983) definuje pojem „virtuálny“ ako „myslený, možný, potenciálny; ľubovoľne, nekonečne malý“. Akademický slovník cudzích slov (Jazykovedný ústav Ľ. Štúra SAV, 2005) upravuje tento pojem na 4 varianty:

1. schopný niečo konať, možný, potenciálny,
2. **fiktívny, domnelý, zdanlivý, v skutočnosti neexistujúci: virtuálna realita simulovaná pomocou počítačov napr. v počítačových hrách,**
3. sprostredkovaný pomocou internetu; poskytujúci služby prostredníctvom internetu: *virtuálny obchodný dom; virtuálne kníhkupectvo,*
4. ľubovoľne, nekonečne malý: *fyz. virtuálny moment; virtuálny posuv.*

Kodifikačná príručka Krátkeho slovníka slovenského jazyka (Jazykovedný ústav Ľ. Štúra SAV, 2003) poskytuje 2 varianty významu:

1. možný, potenciálny; podmienene jestvujúci,
2. **inform. jestvujúci v programe počítača: virtuálna realita skutočnosť simulovaná pomocou počítačovej techniky.**

Virtuálna realita je počítačom generované, umelé prostredie², ktoré človeku verne pripomína realitu. Systém VR pritom musí spĺňať podmienku imerzie, interakcie a reálneho času. Ideo trojrozmerný priestor, ktorý umožňuje istú formu interakcie s okolitými objektmi pomocou špeciálnych zariadení³. (Hill, 2019) Nie je to teda len vizuálny zážitok. „*Virtuálno-reálny systém predstavuje interaktívny počítačový systém, vytvárajúci ilúziu v danom čase neexistujúceho, len syntetizovaného priestoru...*“, ktorý predstavuje simuláciu v prostredí prepojenia človek – výpočtový systém (Funtík, 2018). „*Virtuálna realita simuluje fyzickú prítomnosť na miestach v reálnom svete alebo v zmyslenom svete, pričom dovoľuje užívateľovi interakciu s týmto svetom.*“ (Kučera, 2019) VR úplne prekrýva reálne prostredie, v ktorom sa jej užívateľ nachádza – ide o úplné ponorenie do plne umelého prostredia. Užívateľ je tak izolovaný od skutočného sveta (A Generic Architecture of Augmented and Virtual Reality in Classrooms, 2018). Digitálny zážitok sa stáva jeho realitou. Na **Obrázku 2**, na konci tejto kapitoly, si pre jasnejšiu predstavu vizuálne porovnajte pojmy REALITY a VIRTUAL REALITY.

VR sa zvyčajne používa len na špecifických miestach alebo pozíciách a je zameraná na sprostredkovaný obsah a spôsob stimulácie zmyslov (A Generic Architecture of Augmented and Virtual Reality in Classrooms, 2018) – pozri porovnanie s AR.

² využíva sa pritom technológia nazvaná virtuálne prostredie – Virtual Environment (VE) (Relief Mapping on Facade of Sino Portuguese Architecture in Virtual Reality, 2014)

³ ako príklad možno uviesť headsety, okuliare, rukavice a oblečenie, pomocou ktorých sa vymieňajú informácie s PC (Virtual Reality as a Tool, 2018)

Virtuálna realita predstavuje svet plne známy, pretože na jej vytvorenie musí PC dostať všetky relevantné údaje o objektoch v danom prostredí: špecifikácia, pozície, smer pohľadu, interakcia (Mendelová, 2019).

1.1.1 Na margo pojmu virtuálny

Pojem virtuálna realita môžeme považovať za istý oxymoron, teda zloženinu antoným. Virtuálne technicky nie je skutočné – je len zdanlivé (Mendelová, 2019). Existujú aj iné názory:

Mark Linder: Ozajstný je virtuálne synonymum pre digitálny. Napriek široko rozšírenej asociácii digitálnych médií so všetkým efemérnym, nezachytiteľným a epifenomenálnym, počítačová technológia je najintenzívnejším, najprepracovanejším, najkomplikovanejším, najkreatívnejším a najpraktickejším skúmaním realizmu v ľudskej histórii (Lorenzo-Eiroa, 2013). „*Asi jedno z najzakorenenejších nedorozumení pri diskusii súčasnej digitálnej kultúry je myšlienka, že virtuálne by malo byť ponímané v opozícii s materiálnou realitou. Virtus vo svojom pôvodnom význame označovalo silu a schopnosť... Čo chýba vo virtuálnom svete nie je realita, ale existujúci stav... Postavili sme proti sebe virtuálne a reálne: ale túto terminológiu treba opraviť. Virtuálne je protikladné nie reálnemu, ale súčasnému. Virtuálne je plne reálne v rovnakej miere, ako je virtuálne... V súčasnosti sme svedkom opaku: súčasné sa transformuje na virtuálne...*“ (Lorenzo-Eiroa, 2013)

1.2 Rozšírená realita (Augmented Reality – AR)

Pojem zaviedol Ronald T. Azuma v roku 1997.

AR a VR sú úplne odlišné v hľadiska ich cieľov i spôsobov podania zážitku užívateľom (A Generic Architecture of Augmented and Virtual Reality in Classrooms, 2018). „*Rozšírená realita (AR) je živý, priamy alebo nepriamy náhľad na fyzický, reálny svet, ktorý je doplnený (rozšírený) počítačovo generovanými prvkami (CG⁴) ako zvuk, video, grafika⁵ alebo GPS⁶ dáta.*“ (Kučera, 2019) V rozšírenej realite je teda viditeľný prirodzený svet prekrytý vrstvou digitálneho obsahu – digitálnymi objektmi. Ilustruje to **Obrázok 2** nižšie.

Prostredie AR obsahuje reálne aj virtuálne (syntetizované) prvky, pričom sa s oboma druhmi dá manipulovať v reálnom čase, teda sa aj súčasne navzájom ovplyvňujú. Nie sú však navzájom voči sebe ukotvené. Osoba používajúca AR systém, napríklad, vidí cez špeciálne polopriehľadné okuliare reálny svet, ale aj počítačom generované prvky na jeho „povrchu“. AR možno použiť prakticky všade, aj vďaka prenosným zariadeniam.

1.3 Zmiešaná realita (Mixed Reality – MR/XR)

Pojem vznikol v 90. rokoch a pôvodne slúžil na kategorizáciu digitálnych obrazoviek.

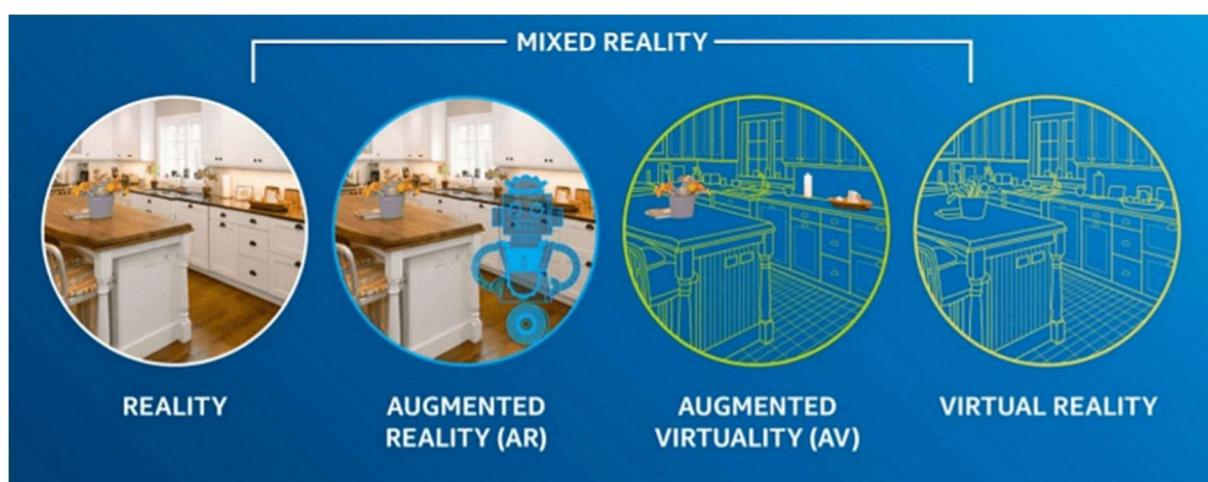
⁴ computer-generated

⁵ „*Vizuálny vnem je zďaleka najdominantnejšou zložkou ľudského vnímania (Bruce, Green, & Georgeson, 1996; Rose, 2016)...*“ (Hill, 2019)

⁶ global positioning system

Dnešné systémy (VR a) AR používajú aj „senzory na skenovanie prostredia v reálnom čase, zaznamenávajú a vytvárajú priestorový zvuk, sú schopné rozoznávať fyzikálne objekty, ich pozíciu, ako aj pozíciu užívateľov a užívateľiek, môžeme ich ovládať hlasom či pohybom rúk“. Zmiešanou realitou niektorí označujú aj jednoducho niečo medzi virtuálnou a fyzickou realitou. Nájde pod ňou aj licencovaný hardvér a softvér od spoločnosti Microsoft (Mendelová, 2019).

„Zmiešaná realita je oblasť počítačového výskumu zaoberajúca sa kombináciou reálneho sveta a počítačom generovaných dát, kde počítačom generované grafické objekty sú vmiešavané do reálneho prostredia a naopak v reálnom čase.“ (Funtík, 2018) Systém zmiešanej reality kombinuje prvky systémov virtuálnej reality (imerzia, interakcia, priebeh v reálnom čase) s identifikáciou používateľa vo fyzickom trojrozmernom priestore. Fyzické a digitálne prvky tu coexistujú a dá sa s nimi interagovať v reálnom čase. V MR sú teda virtuálne objekty responzívne a integrované do reálneho sveta – dá sa interagovať so skutočným svetom i virtuálnym prostredím. Pozri aj **Obrázok 2**, ktorý dáva všetky pojmy bližšie do súvisu.



Obrázok 2 Kontinuum virtuality (Nova, 2018)

Vzťah medzi zmiešanou realitou, rozšírenou realitou, rozšírenou virtualitou a reálnym svetom definoval Paul Milgram (Milgram a Takemura, 1994). Zmiešaná realita môže vzniknúť pri využití rozšírenej reality alebo rozšírenej virtuality (augmented virtuality). Rozšírená virtualita sa podobá technológii AR, používa však opačný prístup. V AV systémoch je väčšina zobrazenej scény virtuálna a do nej sú vkladane reálne objekty. Pri vložení užívateľa je tiež dynamicky integrovaný, ako tieto objekty. Oba systémy sú si podobné a sú zahrnuté v pojme zmiešaná realita. Tá obsahuje rozšírenú realitu i rozšírenú virtualitu. Spojením reálneho a virtuálneho sveta vzniká nové prostredie a zobrazenie.

Michael Hansmeyer: „Architektúra je na inflexnom bode. Sútok pokroku v počítačovom spracovaní a výrobných technológiách ponúka architektom možnosť navrhovať a stavať doposiaľ nepredstaviteľné formy. S nárastom výpočtového výkonu zhruba triangulované geometrie a jednoduché bloby z počiatku roku 2000, samotné ako produkt možností, ako aj obmedzení, raných softvérových balíkov nahradila možnosť zložitých geometrií mnohonásobných mierok a detailov približujúcich sa prahu ľudskej viditeľnosti... Mnohé roky to boli informačné technológie, ktoré obmedzovali architektov... dnes sú to architekti, ktorí držia na uzde možnosti informačných technológií...“

(Pablo Lorenzo-Eiroa: Architecture in Formation – On the Nature of Information in Digital Architecture, 2013)

2 Aplikácie VR v architektúre

2.1 Digitálny svet

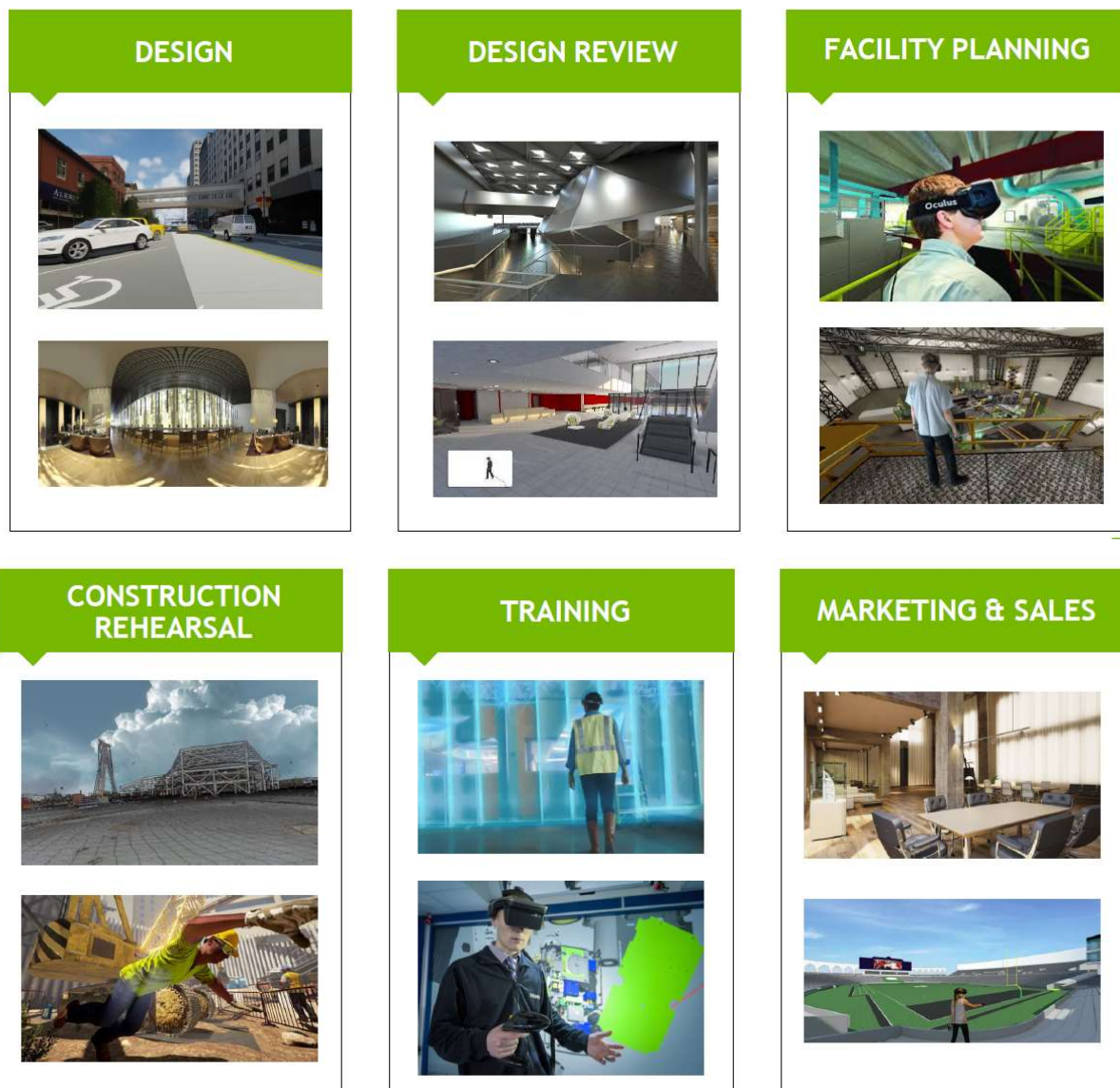
Prácu architekta možno prirovnať k práci filmového režiséra – svojou komplexnosťou a vizualizáciou sveta. „*Režiséri, tak ako architekti, vytvárajú scenáre dispozícií príbehov v konkrétnom trojrozmernom priestore, určujú estetické kritériá reality, sú novodobými stvoriteľmi a stavitel'ami inscenovaných svetov.*“ (Vaško, 2014) Mnohé filmy sú tiež pôsobivými exkurzmi do sveta architektúry, ako aj fantázie ich autorov. Ich originálna atmosféra vyžaduje dôkladné štúdium detailov (farba, osvetlenie, vegetácia a pod.) a ich prenos do digitálnych scén s maximálnou presnosťou.

Práca architekta je podobná i práci komiksového výtvarníka – architektonický projekt možno rozložiť do pásu obrazov. „*Kalifornský architekt Wes Jones formuluje svoje architektonické aj urbanistické stratégie ako komiksy inšpirované warholovskými a lichtensteinovskými interpretáciami Tintina... Digitálne technológie umožňujú neobmedzené príležitosti prelievania naráťvnych príbehov a kresliarskych fantázií do on-line architektonických priestorov.*“ (Vaško, 2014) V nich je pritom možné zachytiť nielen každodenný svet, ale aj mnohé dimenzie presahujúce naše skúsenosti, ktoré nachádzajú paralelu aj v minulosti, keď architekti predkladali aj vizionárske plány. Postupne sa tieto aspekty posunuli až do sveta súčasných technológií.

„*Široké uplatnenie technológie virtuálnej reality je nepochybne dôležitou príležitosťou pre rast a modernizáciu mnohých oblastí.*“ (Song, 2018) Technológia VR sa v súčasnosti využíva napr. v hernom priemysle, pri vzdelávaní, v dizajne (Hill, 2019), zdravotníctve, resp. medicíne, (Šramka Miron - Lacko, 2020) či armáde⁷ (Relief Mapping on Facade of Sino Portuguese Architecture in Virtual Reality, 2014). „*Potenciál virtuálnej a rozšírenej reality bol identifikovaný a overený výskumníkmi (napríklad aj) v prezentácii zaniknutej pamiatkovej budovy...*“, ktorú si môžu prezrieť aj ľudia s rôznym druhom zdravotného postihnutia, či už pohybového, zrakového alebo sluchového (Forgotten Industrial Heritage in Virtual Reality—Case Study: Old Power Plant in Piešťany, Slovakia, 2018). Súčasná digitálna éra so sebou nesie nové, účinnejšie možnosti využiteľné aj pre architektonickú prax. Technológie sa vyvíjajú aj v stavebníctve, hoci výrazne pomalšie ako v iných odvetviach hospodárstva, a digitálne informačné modelovanie sa už stalo novým štandardom. Nasledujúca kapitola sa, vzhľadom na zameranie tejto práce, venuje ich využitiu v priemysle stavebnom. **Obrázok 3** predstavuje základný prehľad práve v sfére AEC⁸.

⁷ Tu siahajú aj jej prvopočiatky – podobne ako iné technológie, VR a AR vzišli z armádneho výskumu. „*Možno povedať, že imerzné médiá sú do istej miery vedľajším produktom náhodnej kombinácie armádneho výskumu a hry.*“ Ďalší vývoj bol sprostredkovaný aj veľkými výskumnými centrami. (Mendelová, 2019)

⁸ architecture, engineering, construction



Obrázok 3 Oblasti použitia virtuálnej/rozšírenej reality v architektúre, inžinierstve a výstavbe (NVIDIA, 2019)

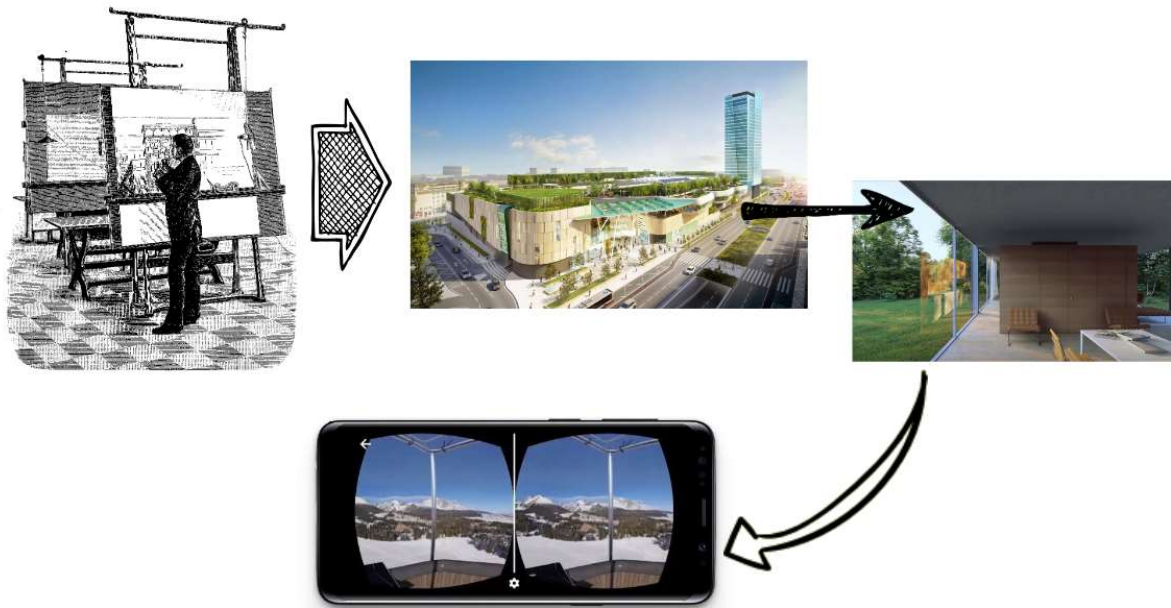
2.2 Vývoj a hlavné prínosy

Od pracovných manuálnych náčrtov zastrúhanou ceruzkou a čiernym tušom sme dospeli k foto-realistickým renderom (vizualizáciám)⁹, ktoré vznikajú z digitálnych 3D modelov, spracovávaných do veľkej miery automaticky, strojovo – tento vývoj je zachytený na **Obrázku 4** vyššie. Počítačom generované obrázky boli v mnohých ohľadoch len zmodernizovanou verziou ručných náčrtov z minulosti. „Profesia architekta tradične smerovala k plánovaniu budúcich fyzických environmentov a stavieb... Realita bola vždy fyzická a prítomná... komplikovanosť sveta reality a zložitosť kreatívnych nástrojov, nielen digitálnych technológií, vytvorili pre prácu ar-

⁹ „Kategorizáciou virtuálnej reality v stavebníctve na základe dynamiky používateľa a prostredia môžeme technológie vizualizácie virtuálnej reality rozdeliť do dvoch základných skupín, a to statické vizualizácie a dynamické vizualizácie (DV).“ (Funtík, 2018)

Pozri aj Slovník na konci monografie.

chitka ďalšiu novú a plnohodnotnú polohu.“ (Vaško, 2014) Čiastočne sme prešli od serióznosti papiera k forme hry na obrazovke či v reálnom priestore. „*S rozvojom informačných technológií sa proces návrhu stavieb posunul z kreslenia na papier cez CAD systémy až po parametrické navrhovanie, čo nám umožňuje integrovať viac dát...*“ (Funtík, 2018)



Obrázok 4 Vývoj vizualizačných výstupov (VR + BIM v stavebníctve, 2019)

VR, ako pomôcka pre dizajn, technické odbory a výrobu, je tu už desiatky rokov¹⁰, avšak až okolo roku 2016¹¹ prišla zásadná zmena, keď sa stala podstatne významnejšia a cenovo dostupná aj pre malé architektonické štúdiá (Fujitsu, 2017).

Virtuálna realita uľahčuje porozumenie priestorovej koncepcii¹² (Hill, 2019), kompozícii a redukuje mentálnu záťaž pri interpretácii¹³ (Virtual Reality as a Tool, 2018), a rovnako posúva prehliadanie modelov na úplne novú úroveň (Watson, 2016). Investori a developeri chcú ponúkať svojim klientom čoraz kvalitnejšie výstupy z pripravovaných projektov, a práve to umožňuje VR. Pomocou vysokého rozlíšenia, skutočných fyzických objektov, haptických vnemov, simulácie pohybu a interakcie dosahujeme okamžité prežívanie a umocnenie zážitku – v intenciách tejto práce architektonického, príp. aj urbanistického. Kognitívne štúdie potvrdili, že virtuálna skúsenosť vyvoláva silnejšie emócie v porovnaní s pasívnym prijímaním informácií. Virtuálna realita dokáže vyvolať odozvu neporovnateľnú s prehliadaním trojrozmerného CAD modelu alebo realistického rendera či animácie na dvojrozmernej obrazovke (Fujitsu, 2017). „*VR v nás podporuje (aj) schopnosť učiť sa, povzbudzuje aktivitu a interakciu...*“ (Mendelová, 2019).

¹⁰ bola vyvinutá v sedemdesiatych rokoch 20. storočia (Hill, 2019)

¹¹ pre porovnanie - Hill uvádza posledné desaťročie (Hill, 2019)

¹² „*Pre krajinných plánovačov a architektov je priestorové myslenie a komunikácia konceptu návrhu a priestorovom kontexte zásadnou zručnosťou.*“ (Hill, 2019) Pomáha aj pri urýchľovaní procesov, iterovaní a prezeraní digitálnych modelov a vytváraní najlepších riešení (Virtual Reality as a Tool, 2018).

¹³ aj tým, že virtuálne prostredie možno zažívať model bez potreby nahliadania do 2D dokumentácie (Wang, 2018)

Klientom sa v súčasnosti frekventovane prezentujú developerské projekty prostredníctvom virtuálnej reality. „*Zo statických vizualizácií plynule prechádzame k dynamickým a imerzným*¹⁴ *formám prezentácie projektov vo virtuálnej realite,*“ (Funtík, 2018) to znamená, že sa klient môže prechádzať po budúcej stavbe interaktívne (aj efektívne online), dostáva priame informácie o jej dispozícii, rozmeroch, orientácii na svetové strany, osvetlení v každom ročnom období a fáze dňa, výhľadoch z okien, balkónov či terás, farebnosti, povrchoch a príp. aj o cene a výmere. Mnohé z týchto informácií nie je možné klientom overiť inak ako vo virtuálnej realite. Zaujímaví o kúpu nehnuteľnosti ju týmto spôsobom dokážu vnímať viac intuitívne a viac realisticky. Ich predstavy sú oveľa jasnejšie. Veľkým benefitom využívania VR v architektonických vizualizáciách je tiež, že umožňuje porovnávať rôzne návrhy súčasne. „*Vnorenie*“ *a interakcia sú kľúčovými faktormi VR...*“ (Wang, 2018), ako aj umožnenie lacného prototypovania architektonických prvkov (Using virtual reality for prototyping interactive architecture, 2017). Klient tiež vie poskytnúť okamžitú spätnú väzbu k jednotlivým aspektom návrhu, čo dokáže výrazne zvýšiť efektivitu prerábania návrhov.

Stále viac podstatná je presnosť – „*čím realistickejší a dôkladnejší je zážitok, tým lepšie*“ (Riley, 2017). Dosiahnuť takú skutočnosť elektronického vyobrazenia reality, ako je to len možné, sa stalo priam posadnutosťou súčasnej doby. VR tak môže byť hodnotný nástroj pri návrhovom i nákupnom procese (Riley, 2017). Hoci však existujú 3D reprezentácie architektonických modelov, ich zažívanie ako kompletne postavenú stavbu je stále hlavnou výzvou (Using virtual reality for prototyping interactive architecture, 2017).

„*Virtuálna realita (VR) spôsobuje prevrat v profesionálnych postupoch pomocou technológie, ktorá umožňuje pracovať v mierke.*“ (Business Advantage, 2018) To umožňuje lepšie zhodnotenie návrhu. Pocit prítomnosti, spojenia, proporcie a mierky pri použití náhlavného displeja navyše nemožno porovnávať s tradičnými vizualizačnými prostriedkami (Fujitsu, 2017). Dosahuje sa ním pocit, že virtuálny objekt je skutočný. „*Technologický pokrok (tiež) urýchľuje produkciu a zvyšuje kreativitu.*“ (NVIDIA Corporation, 2018) Na druhej strane existujú výhrydy, že používanie VR pri navrhovaní stavieb môže obmedzovať ich pole kreativity a využívanie ich architektonickej predstavivosti (Whyte, 2003).

Michael Hansmeyer: „*Architektúra je na inflexnom bode. Sútok pokroku v počítačovom spracovaní a výrobných technológiách ponúka architektom možnosť navrhovať a stavať doposiaľ nepredstaviteľné formy. S nárastom výpočtového výkonu zhruba triangulované geometrie a jednoduché bloby z počiatku roku 2000, samotné ako produkt možností, ako aj obmedzení, raných softvérových balíkov nahradila možnosť zložitých geometrií mnohonásobných mierok a detailov približujúcich sa prahu ľudskej viditeľnosti... Mnohé roky to boli informačné technológie, ktoré obmedzovali architektov... dnes sú to architekti, ktorí držia na uzde možnosti informačných technológií...*“ (Lorenzo-Eiroa, 2013) Z hľadiska softvéru je zreteľný posun od CAD programov, cez parametrický k procedurálnemu¹⁵ prístupu.

¹⁴ umožňujúce „vnorenie sa“, základná charakteristika VR a AR; „imerzné médiá“ alebo „imerzné technológie“ – pozri Slovník na konci monografie; „*opisuje efekt, aký majú virtuálne alebo fiktívne svety na divákov: vnímanie sveta okolo nás sa obmedzí na minimum a človek sa identifikuje s fiktívnym svetom, do ktorého sa takpovediac úplne ponorí*“ (Mendelová, 2019)

¹⁵ „... *automatizované vytváranie procedurálnej grafiky a nových virtuálnych svetov pomocou neurálnych sietí určite ušetrí čas aj vynaloženú námahu.*“ (Mendelová, 2019)



Obrázok 5 Porovnanie reálneho priestoru kancelárií s virtuálnym modelom vo VR.
Autor: V. Zajíček, R. Hajtmanek (Hajtmanek, 2019).

Architekt Štefan Moravčík: „*Architektonické navrhovanie i následné projektovanie má dva aspekty. Tvorivý proces sa v zásade nemení. Technické prostriedky, ktoré nám pomáhajú dostať myšlienku do názornej a navonok prezentovateľnej podoby, sa však v ostatných rokoch mimoriadne dynamicky vyvíjajú.*“ (Od digitálneho navrhovania po digitálne stavenisko, čo bolo a čo nás (pravdepodobne) neminie, 2019) Je tiež zrejmé, že rôzne pracovné funkcie vedú rôznych

hráčov v tomto sektore k využívaniu VR rôznymi spôsobmi a, v oblasti stavebníctva, neexistuje jediný typický užívateľ VR (Whyte, 2003).

Stavebníctvo je jedným z najkonzervatívnejších odvetví. Realizácia akéhokoľvek typu inovácie je v ňom ťažká. „Každý typ neznámej aktivity sa považuje za vysoké riziko. V tomto prostredí je zavedenie novej technológie zvyčajne prijateľným opatrením, avšak posun v dobre zavedenom procese spolupráce sa stretáva s odporom.“ (Ľudský faktor v inovácii stavebného procesu založeného na príkladoch implementácie BIM, 2019)

Nové technológie, v každom ohľade, nesmierne zlepšujú pracovné postupy, čo umožňuje spoločnostiam pracovať efektívnejšie a súčasne šetriť náklady, napr. pri možnosti spolupráce na návrhu s členmi tímu na ľubovoľnom mieste, vykonávaní posudzovania návrhu vo virtuálnej realite, či rýchlejšom renderovaní zložitých 3D modelov. (Business Advantage, 2018) Vo virtuálnej realite možno odhaliť problémy, ktoré boli prehliadnuté v 2D i 3D. (Fujitsu, 2017) Riziká prekročenia rozpočtu, ako aj omeškania veľkých stavebných projektov, s množstvom premenných, môžu byť výrazne zmiernené technológiou BIM (Lea, 2019), o ktorej pojednáva nasledujúca podkapitola.

Architekti môžu ponúknuť lepšie výsledky osvojením si softvéru navrhnutého špeciálne pre ich potreby, ktorý napríklad umožňuje skúmať návrhové zmeny naživo s klientom. (Lea, 2019) K najvyužívanejším softvérom, aj v zmysle podpory BIM podrobnejšie prezentovanej v ďalšej kapitole, patria aktuálne Autodesk Revit, ArchiCAD či Allplan dostupné aj u nás, na Slovensku.

2.3 VR ako súčasť BIM

Vzhľadom na neustály pokrok vo všeobecnosti a technologický rozvoj, sa postupne výrazne menia trhové podmienky. Rastie tlak na navyšovanie kvality a znižovanie cien. Pomocnými silami sú inovatívne prístupy, systémy, výpočtová technika a softvérové vybavenie. „V oblasti plánovania a prípravy uskutočňovania stavieb predstavuje tento progres informačné modelovanie stavieb (BIM – z anglického „Building Information Model, resp. Modeling“), pomocou ktorého sme schopní zvládnuť náročné úlohy a predstavy investorov. Tento prístup úplne mení pohľad na doterajšie zaužívané postupy všetkých účastníkov výstavby a koncepčne prispieva k efektívnejšej a systematickejšej práci s vylúčením množstva omylov, resp. nezrovnalostí, simuláciou ešte pred fázou vlastnej realizácie objektu.“ (Funtík, 2018)

Informačné modelovanie stavieb je proces, ktorý sa zameriava na „tvorbu, používanie a prenos virtuálneho modelu stavby za účelom zlepšenia návrhu (projektu), optimalizácie výstavby a budúcej prevádzky“ (Formulácia požiadaviek na BIM projekt, 2018). Projektovanie v BIM umožňuje takmer úplnú kontrolu nad projektom, efektívnejšiu komunikáciu a koordináciu, a eliminuje chybovosť v projektovaní. Ide o inovatívny spôsob spolupráce, vrátane výmeny informácií a komunikácii medzi účastníkmi, založený na parametrickom modeli. Môže byť aplikovaný na ľubovoľnú stavbu. Projektanti¹⁶ stavajú spoločne vo virtuálnom prostredí (cloudové riešenie, ktoré využíva prístup na internet) zo špecifikovaných materiálov a komponentov, ktoré majú reálne fyzikálne, mechanické, energetické a iné vlastnosti. V tejto súvislosti môžeme hovoriť

¹⁶ sem spadajú aj tzv. profesisti (najmä statika a technické zariadenia budov); pri náročných stavbách ich prakticky nemožno koordinovať, ak projektujú v 2D

o prirodzenej reakcii stavebníctva na digitálnu dobu. „*Jednou z najväčších výhod VR založenej na BIM je schopnosť modelu reflektovať zmeny v reálnom čase.*“ (Wang, 2018) BIM model umožňuje overiť fungovanie objektu¹⁷, ďalej optimalizáciu výstavby a prevádzky pred jeho fyzickou realizáciou, ale v BIM prostredí možno napr. aj zautomatizovať identifikáciu konfliktov, pri návrhu fasád možno vyhodnocovať dáta v reálnom čase, ako osvetlenie, tienenie, izoláciu, energetickú náročnosť budovy a pod. Softvér pritom nenahrádza odborníkov, neposudzuje správnosť návrhu, iba zjednodušuje manuálnu či opakujúcu sa prácu. „*Simulácie môže zhotoviteľ využiť aj na efektívnu marketingovú prezentáciu postupu prác a celkovú lepšiu vizualizáciu koncového produktu.*“ (Funtík, 2018) Je potrebné si však uvedomiť, že vizualizácia je skôr prostriedok, ako výsledok. Nejde len o „pekny obrázok“. (Whyte, 2003) Tiež nie je cieľ vytvoriť trojrozmerný model, ale zoskupiť všetky dostupné informácie o stavbe (technické, ekonomické, iné) do spoločnej databázy, čo je dlhodobý proces. Tieto informácie sú určené na zdieľanie a uchovávanie. Simulácia, ktorú BIM umožňuje, môže navyše pomôcť identifikovať priestorové, bezpečnostné, časové i logistické nedostatky výstavby či harmonogramu.

V prípade BIM musia byť grafické údaje vytvorené výlučne ako telesá (objekty). Tie je následne možné prepojiť s dátami negrafickými. Ide teda o modely kombinované geometrickými entitami. „*Odhaduje sa, že v prípade CAD projektu je vyriešených v rámci projektu cca 50-60 % geometrie stavby. Oproti tomu pri BIM projekte, ktorého základom je 3D parametrický model stavby, je vyriešených takmer 100 % geometrie.*“ (Funtík, 2018) Geometrická presnosť objektov sa dnes najefektívnejšie dosahuje 3D laserovým skenovaním¹⁸ a fotogrametriou¹⁹, príp. ich kombináciou. Terestrické (pozemné) skenovanie²⁰ je pritom presnejšie ako letecké. Umožňuje vytvárať detailné a tvarovo komplikované modely. Presnosť v súčasnosti dosahuje ± 2 mm pri vzdialenosti 25 m a naraz možno obsiahnuť 350 m. Rýchlosť dosahuje nad 900 000 bodov za sekundu. Modely je, po vhodnom spravovaní, možné využiť vo virtuálnej, rozšírenej i zmiešanej realite, napr. aj s návrhom BOZP opatrení, vrátane BOZP školení (Health Safety Training for Industry in Virtual Reality, 2020).

BIM však neznamená len 3D model ani digitálne dvojča stavby. Virtuálne zoskupuje všetky informácie na jedno mieste – všetky detaily, technické listy, výmery, výpisy prvkov a pod. V praxi sa však pri stavbe stále takmer všade vyžadujú klasické tlačené výkresy, takže sa v súčasnosti plnohodnotne využíva iba pri projektovaní stavby. Čaká teda ešte na svoju plnohodnotnú implementáciu, ku ktorej nevyhnutne speje. Tá vyžaduje intenzívnu spoluprácu, vysokú úroveň komunikácie, interdisciplinárnej spolupráce, proaktivity a motivácie. „*Keďže celkovo ide o zložitú problematiku, ktorá zásadne mení pohľad na celé stavebníctvo a vyžaduje si zmenu myslenia zúčastnených, je veľmi podstatné, aby táto zmena prebiehala koncepčne.*“ (Funtík, 2018) Významná je v tomto zmysle existujúca podpora Európskej únie.

¹⁷ „*Jednou z najväčších výhod VR založenej na BIM je schopnosť modelu reflektovať zmeny v reálnom čase.*“ (Wang, 2018)

¹⁸ vytvárajúcim tzv. mračná bodov

¹⁹ „*proces vypočítavania priestorových vzdialeností a trojdimenzionálnych modelov len z klasických 2D fotografií*“ (Mendelová, 2019)

²⁰ terrestrial laser scanning (TLS)

„Česká republika: digitalizácia metódou BIM má byť od roku 2022 povinná u všetkých stavebných zákaziek nad 150 miliónov korún a pri projektových prácach nad 6 miliónov korún.“ (Digitalizácia stavebníctva – vízia a realita, 2019)

O BIM sa často hovorí ako o spoločnom jazyku medzi účastníkmi projektu. Najväčší zmysel má, keď ho používajú všetky zúčastnené strany v rámci celého životného cyklu stavby (návrh, plánovanie, výstavba, používanie, resp. prevádzka a údržba): investor, projektanti, orgány štátnej správy, stavebná firma a správca budovy/majetku. V súčasnej dobe je len málo odborníkov, ktorý ho vedia používať, príp. s ním pomôcť. Aj obstarávatelia sú zatiaľ neskúsení v definovaní projektu realizovaného v BIM. Výzvu predstavuje predovšetkým správne formulovanie všetkých požiadaviek objednávateľa v jasnom zadaní, ktorého plnenie je kontrolovateľné. (Formulácia požiadaviek na BIM projekt, 2018) *„Samotný model BIM v zdrojovom formáte ako výstup z BIM softvéru neponúka graficky dostatočne kvalitné výstupy na to, aby zaujali už dnes náročného klienta. Práve túto medzeru vyplňajú technológie virtuálnej reality (VR) v stavebníctve,“* (Funtík, 2018) ktoré podrobnejšie rieši nasledujúca kapitola.

„Prostredie VR je najčastejšie vytvorené v pamäti počítača, môže však existovať aj ako kombinácia skutočného sveta a počítačom doplnených objektov. Dosiahnutie pocitu prítomnosti užívateľa vo virtuálnom svete sa docieľuje ovplyvnením ľudských zmyslov, najčastejšie zraku a sluchu, vzácnejšie potom hmatu a v simulátoroch i rovnováhy. Svoju rolu tu zohráva aj predstavivosť a „ochota“ užívateľa prijať predstavu sveta prezentovanú počítačom...“

(Jiří Žára: Moderní počítačová grafika, 2004)

3 Riešenia pre VR

„Hlavným prínosom štvrtej priemyselnej revolúcie (označovanej aj ako digitálna) je možnosť prepojenia fyzického sveta s virtuálnym.“ (Funtík, 2018) Cieľom systémov pre virtuálnu realitu je poskytnúť jej užívateľom ilúziu, že sa nachádzajú v umelom prostredí – virtuálnom svete, virtuálnej scéne.

3.1 Základné charakteristiky

Imerzívny systém virtuálneho prostredia predstavuje viacúrovňové prostredie vytvorené prostredníctvom počítačovej grafiky, spracovania obrazu, rozoznávania vzorov, inteligentného technologického rozhrania, technológie AI²¹, snímačov, audia, videa, sietí, paralelného spracovania, spracovania reči a vysoko výkonných PC systémov (Song, 2018).

„Prostredie VR je najčastejšie vytvorené v pamäti počítača, môže však existovať aj ako kombinácia skutočného sveta a počítačom doplnených objektov. Dosiachnutie pocitu prítomnosti užívateľa vo virtuálnom svete sa docieľuje ovplyvnením ľudských zmyslov, najčastejšie zraku a sluchu, vzácnejšie potom hmatu a v simulátoroch i rovnováhy. Svoju rolu tu zohráva aj predstavivosť a „ochota“ užívateľa prijať predstavu sveta prezentovanú počítačom...“ (Žára, 2004)

Treba dbať na minimalizáciu narušenia koherencie a zmysluplnosti z hľadiska objektov, času a priestoru (Using virtual reality for prototyping interactive architecture, 2017). Digitálna realita má byť totiž čo najpresvedčivejšia a čo najviac konzistentná, teda vierohodná – ide o technickú vernosť stvárnenia²². Hovoríme o vizuálnej, akustickej a interakčnej vernosti. Stvárnenie sa však môže, v skutočnosti, priečiť všetkým fyzikálnym zákonom. Jediná požiadavka je, aby ho považovali za vierohodné naše zmysly. „Keďže nedokážeme digitálne reprodukovať skutočnosť v jej plnom rozsahu, úlohou imerzných technológií je zamerať sa na limity a nedokonalosti nášho vnemového aparátu.“ (Mendelová, 2019)

Správanie sa jednotlivých zložiek virtuálneho prostredia by malo byť v súlade s fyzikálnymi zákonmi, teda ťažké predmety sa pohybujú pomaly, funguje gravitácia atď. Systémy pre VR používajú najmä techniky pre zvýšenie čo najväčšej rýchlosti zobrazovania. Časté je používanie objektov s viacerými úrovňami detailu (tzv. level of detail). Niektoré slúžia k urýchleniu zobrazovania, ďalšie k prehĺbeniu ilúzie existencie virtuálneho prostredia, napr. prítomnosť podlahy a pozadia, ktoré slúžia aj na uľahčenie orientácie v trojrozmernom priestore.

Základom VR je tvorba priestorových modelov a scén, manipulácia s nimi, pohyb v 3D priestore, detekcia kolízií a zobrazovanie v reálnom čase. Zážitok je umocnený použitím periférnych zariadení pre obrazovú, zvukovú a hmatovú interakciu – helmy s displejmi, stereoskopické projekčné plochy, snímače polohy v priestore, hmatové zariadenia, simulačné kabíny a pod.

Dnešné techniky zobrazenia okuliarov pre AR sa potýkajú s viacerými problémami, napr. s priehľadnosťou zobrazovaných virtuálnych prvkov, závislej od svetelných podmienok: „objekty sú na priamom slnečnom svetle čiastočne priesvitné.“ (Mendelová, 2019) Z toho dôvodu

²¹ artificial intelligence – umelá inteligencia

²² fidelity

treba myslieť na výber výraznejších farieb viditeľných aj pri vyššom jase. Pre priehľadné obrazovky tiež predstavuje problém čierna, ktorá pre projektor znamená „žiadna“ farba a výsledný virtuálny objekt je priehľadný, teda ho nie je vidieť.

3.2 Druhy VR aplikácií

Podľa využívaných technických prvkov daného systému môžeme hovoriť o nasledovných troch typoch aplikácií virtuálnej reality (Žára, 2004):

Pohlčujúca VR (immersive VR) – základom sú špeciálne technické periférne zariadenia (napr. helma so stereoskopickými okuliarmi a slúchadlami, snímače detegujúce polohu v priestore, dátová rukavica, simulátor pohybu, dotykové zariadenia pre vnem mechanických vlastností materiálu), ktoré majú v čo najväčšej miere odpútať užívateľa od vnemov skutočného sveta a čo najviac ho ponoriť do sveta virtuálneho²³; využíva sa v herných zariadeniach, trenažéroch či ako terapeutický prostriedok pre liečenie fóbii.

Rozširujúca VR (augmented VR) – informácie z reálneho sveta sú doplnené prvkami VR; súčasťou systému býva kamera synchronizovaná s pohybom užívateľa, pričom jeho aktivity sú snímané rôznymi senzormi; existujú projekty, kde sa užívatelia prechádzajú historickými miestami a cez špeciálne okuliare vidia počítačovo doplnené stavby, predmety a postavy z minulosti, ktoré im predstavujú scény, s ktorými možno komunikovať.

Jednoduchá VR (desktop VR, low-end VR) – ide o aplikácie nevyužívajúce špeciálne technické zariadenia, používa sa teda napr. obyčajný monitor²⁴, bežné stereofónne reproduktory, klávesnica a myš, z toho dôvodu sú tiež relatívne lacné, v porovnaní s inými technológiami; spoliehajú sa na priestorové a vnemové zručnosti užívateľov na porozumenie tomu, čo sa deje (Wang, 2018); ide o menej prirodzený zážitok ako pri reálnej chôdzi v 3D; škála takýchto aplikácií sa pohybuje od počítačových hier cez vzdelávanie až výskum, tréning a simulácie. Táto technológia sa považuje za relatívne najlacnejšiu, v porovnaní s predošlými dvoma druhmi.

3.3 Hardvérové zariadenia pre VR

Aby sme pomocou zmyslov dokázali vnímať vo VR, potrebujeme výstupné zariadenia (monitor/obrazovka, okuliare, hologram). Následne na vykonanie akcie potrebujeme vstupné zariadenia (klávesnica, myš, gamepad, senzor pre gestá) a túto dokážeme spätne vnímať prostredníctvom zariadení výstupných.

Zariadení na zobrazenie virtuálnej reality je viacero. „*Kým lacnejšie verzie virtuálnych okuliarov (do ktorých je potrebné vložiť smartfón zobrazujúci prostredie alebo video na duálnom displeji) umožňujú užívateľovi pozorovať virtuálne prostredie iba staticky – teda je možné iba otáčať hlavou a nie sa pohybovať (kráčať), tie drahšie disponujú aj touto vlastnosťou. Dokonca je možné pomocou ovládačov používať vo virtuálnom prostredí tiež ruky (virtuálne rukavice) – napríklad pre otváranie skrinky, dverí alebo na ovládanie ďalších funkcií.*“ (Funtík, 2018)

²³ pomocou obrazov, zvukov a príp. aj iných navodených vnemov

²⁴ neimerzívny systém; pri použití viacerých veľkých monitorov sa hovorí o poloimerzívnych systémoch, a za plne imerzívne systémy sa považujú napr. viaceré projekčné obrazovky typu CAVE a HMD displeje pripevňované na hlavu (Nam, 2018)

3.3.1 Anatómia

MR hardvér sa primárne sústreďuje na samostatné zariadenia (Huang, 2019). V rámci MR pozorujeme realitu cez okuliare so zabudovaným operačným systémom, na ktorých sklá sú premietané virtuálne prvky. Na stavbe môžu predstavovať budúce konštrukcie, predmety a iné prvky, napr. bezpečnostné (lešenie, debnenie, betonárske plošiny a pod.). V zariadení VR sledujeme obraz v okuliaroch cez zväčšovacie sklenené šošovky²⁵, okuliare AR „*premietajú obraz na sústavu priehľadných skiel pred našimi očami (tzv. see-through displej)...*“ (Mendelová, 2019)

Premietané objekty možno označiť a zistiť o nich viac informácií. Niektoré systémy umožňujú vizualizovať aj 4D BIM model. S tým súvisí aj možnosť vytvorenia vzorových bezpečnostných technologických postupov alebo simulácie osádzania niektorých prvkov. Okuliare dokážu „kontrolovať“ stavebného pracovníka alebo údržbára a softvér v nich mu určovať postup práce. Takéto využitie je dnes už pomerne rozšírené v továrňach²⁶, resp. strojárskom priemysle.

Tabuľka 1 Hlavné služby zobrazovacej jednotky (A Generic Architecture of Augmented and Virtual Reality in Classrooms, 2018)

Služba	Umožňujúce technológie
Vizuálne ²⁷ renderovanie	obrazovka/monitor, HMD displej, stenové projektory
Zvukové renderovanie	audio hardvér, reproduktory
Hmatové/haptické renderovanie ²⁸	špeciálne rukavice, oblek, vibračná odozva ovládačov (rôzne typy kinestetických a taktilných zariadení)

VR a AR je založená na binokulárnej stereoskopii – 3D stereoskopickom renderingu v reálnom čase. Jeho snahou je zaistiť verné zobrazenie hĺbky v 3D priestore na dvoch obrazovkách, ktoré máme pred očami. Scéna sa teda ráta pre každé oko samostatne, a to s posunom o vzdialenosť zreníc tak, aby obraz v mozgu splynul do jednej scény. Podobne je to aj so stereo slúchadlami, kde každé ucho počuje samostatný zvuk. S každou zmenou polohy sú prepočítavané obrazové i zvukové informácie. Pri nedostatočnej frekvencii záznamu pozície zvyčajne nastáva

²⁵ podobné tým v inteligentných telefónoch a projektoroch, musia však spĺňať väčšie nároky, napr. mať schopnosť meniť sa viac ako 90 krát za 1s; „aby sme sa vyhli rozmazaniu obrazu pohybom, je nevyhnutné zmeniť všetky pixely na obrazovke dostatočne rýchlo“ (Mendelová, 2019)

²⁶ využíva sa to v rámci konceptu Industry 4.0 v rôznych formách, pri vytváraní digitálnej kópie továrne, resp. jej digitálneho dvojčata, či využitie vzdialeného prístupu pri navigácii v AR

²⁷ technológie VR a AR sú založené na predpoklade, že „vizuálne vnemy sú jedny z najsilnejších. Zjednodušene povedané: ak nám zrak niečo „hovori“ a ostatné vnemy to odsúhlasia, budeme veriť tomu, čo vidíme.“ (Mendelová, 2019)

²⁸ priestoru zodpovedajúca haptická spätná väzba v rámci interakcie s architektúrou je stále málo prebádaná oblasť (Using virtual reality for prototyping interactive architecture, 2017)

tzv. kognitívna disonancia, zjednodušene povedané dochádza k rozporu medzi videným a cíteným, spôsobená kinetózou. Môže to spôsobovať stratu rovnováhy a nevoľnosť²⁹. V AR k tomu nedochádza, nakoľko sa v nej vieme ľahko stabilizovať pohľadom na „pevnú“ realitu a zobrazovací proces je iný, ako pri VR.

Všetko vo VR je vytvorené pomocou počítača, teda známe – je potrebné dodať len informácie o pohybe užívateľov. Túto úlohu máva tzv. externý tracking³⁰ – systém infračervených vysieláčov rozmiestnených v priestore, ktoré interagujú s helmou a ovládačmi s frekvenciou snímania 60-krát za 1 s. „Zariadenia prvej generácie VR majú tracking³¹ obmedzený na určitú plochu (napr. u HTC Vive je to 4 x 4 metre), no novšie zariadenia vďaka použitiu technológie tzv. „inside-out“ trackingu umožňujú úplne voľný pohyb, dokonca bez potreby priameho prepojenia s počítačom, keďže výpočet scény prebieha priamo v nosenom zariadení.“

Ďalšie zariadenie umožňujúce záznam pohybu vo VR predstavuje zotrvačná meracia jednotka IMU³². Používa akcelerometer, ako v mobiloch, ktorý využíva drobné silikónové pružinové závažia na meranie síl v troch smeroch (záznam lineárneho pohybu a gravitácie). Uhlopriečny pohyb meria gyroskop a magnetometer³³ – „poskytuje IMU informácie o orientácii zariadenia vzhľadom na polohu magnetického póla Zeme“. Kombinácia údajov zo sensorov, infračervených kamier umožňuje v reálnom čase stanoviť spôsob otáčania a pohybu zariadení (helma a ovládače).



Obrázok 6: Ukážka vybraných headsetov (Fuzor, 2018)

Vôľ a pohybu je udávaná v tzv. stupňoch voľnosti (DOF³⁴). Zariadenia VR majú minimálne tri (pre orientáciu v priestore – 3 Eulerove uhly): pohyb hlavou hore-dolu, do strán, vrátane otáčania (rotácia okolo osi X, Y a Z). Tie sa používajú v lacnejších systémoch, kde sa nedá určiť

²⁹ motion sickness

³⁰ outside-in tracking

³¹ sledovanie, zaznamenávanie polohy, napr. očí, kurzora alebo pohybu človeka (Mendelová, 2019)

³² inertial measurement unit

³³ podobá sa 3D kompasu

³⁴ degree(s) of freedom – voľný preklad: stupeň (stupne) pohybu/voľnosti

pozícia v priestore. Prevažujúce množstvo špecializovaných systémov³⁵ dovoľuje voľný pohyb v priestore – vtedy hovoríme o šiestich stupňoch voľnosti (Mendelová, 2019). Tie pridané 3 stupne voľnosti sú pre pozíciu v priestore pre osi X, Y a Z.

3.3.2 Podrobnejší prehľad

Vo všeobecnosti môžeme VR hardvér rozdeliť do troch základných kategórií, podľa druhu pripojenia a tracking metód (Huang, 2019) – pozri Tabuľku 2 nižšie, podrobnejšie v nasledujúcom texte.

Tabuľka 2 Prehľad súčasných headsetov pre VR a MR

	Headset		VR	MR
Prepojenie	Tracking			
PC	<i>6 DOF</i> <i>(pozícia a rotácia)</i>	<i>Pevné stanice</i>	Oculus Rift ³⁶	
			HTC Vive ³⁷ /Pro/Eye	
			Pimax 5K/8K	
			Valve Index	
		<i>Inside-out</i>	Oculus Rift S	Meta 2 ³⁸
			HTC Vive Cosmos	
			WMR VR headsety	
Samostatné	<i>6 DOF</i> <i>(pozícia a rotácia)</i>	<i>Inside-out</i>	Oculus Quest ³⁹	Microsoft HoloLens ⁴⁰ 1 a 2 ⁴¹
			HTC Vive Focus/Plus	Magic Leap One
			Lenovo Mirage Solo	Lenovo ThinkReality A6
	<i>3 DOF⁴²</i> <i>(rotácia)</i>		Oculus Go	
Mobil	<i>3 DOF</i> <i>(rotácia)</i>		Samsung Gear VR ⁴³	
			Google Daydream View ⁴⁴	
			Neznačkové VR headsety	

V prípade osobného počítača ide o káblové pripojenie. VR zariadenia prvej generácie, vrátane Oculus Rift, HTC Vive a novších pre náročnejších užívateľov (napr. HTC Vive Pro, Pimax

³⁵ Oculus Quest či Vive Cosmos

³⁶ samostatné stereoskopické zariadenie pre počítač, sedavý zážitok, umožňuje aj pohyb v rámci miestnosti

³⁷ aj pohybové ovládače, room-scale zážitok – detekcia pohybu po miestnosti

³⁸ ukončená výroba

³⁹ dnes už dostupný len Oculus Quest 2, ktorý ma vyššie rozlíšenie a je bezkáblový

⁴⁰ stereoskopické 3D okuliare, ktoré dokážu užívateľovi zobrazit' zmiešanú realitu

⁴¹ okuliare HoloLens 2 rozoznávajú fyzikálne prostredie aj užívateľov (Mendelová, 2019)

⁴² na porovnanie, sledovanie kurzora na obrazovke má 2 stupne voľnosti

⁴³ stereoskopické okuliare pre mobilné telefóny Samsung

⁴⁴ stereoskopické okuliare pre mobilné telefóny Android

5K/8K a Valve Index) vyžadujú oddelenie základných staníc pre trackovanie. Zariadenia druhej generácie (Oculus Rift S, HTC Vive Cosmos, rôzne Windows Mixed Reality VR headsety a i.) už používajú „inside-out“ tracking pomocou zabudovaných kamier, čím sa eliminuje potreba oddeľovania. Všetky VR zariadenia založené na prepojení s PC podporujú 6 stupňov pohybu – zahŕňa pozdĺžny pohyb a rotáciu okolo troch kolmých osí.

Hlavným trendom vývoja sú samostatné zariadenia s integrovanou výpočtovou jednotkou, a to pre pohodlnosť a prenosnosť. Okrem Oculus Go⁴⁵, všetky VR a MR zariadenia, využívajú tzv. inside-out prístup pre podporu 6 DOF trackovania. VR zariadenia založené na mobilných telefónoch (smartfónoch), ako nižšia stredná trieda, sú prakticky len puzdrom pre VR šošovky spoločiteľných telefónov. Tieto fungujú podobne ako Oculus Go.

Okrem uvedeného v tabuľke 2 by bolo možné k headsetom spojitelných s PC alebo konzolou doplniť zariadenie Playstation VR a k headsetom pre smartfóny Google CardBoard⁴⁶ a podobné deriváty z rôznych materiálov. Existujú tiež štandardizované headsety spojitelné s PC pod Windows Mixed Reality – napr. Acer, Lenovo a Samsung. K headsetom pre zmiešanú realitu tiež možno pridať Daqri Smart Glasses. (Kučera, 2019)

Tabuľka 3 Typologizácia VR/AR zariadení (Mendelová, 2019)

	VR	MR	AR
Hardvér	neautonómne virtuálne helmy vyžadujúce doplnkový HW na dopočítanie a renderovanie scén	interaktívne projekcie (Kinect), veľkoplošné projekcie na fasády budov	okuliare AR: Microsoft Hololens, MagicLeap Meta2, Daqri, Leap Motion ⁵⁰ , zväčša bez káblov a potreby externého HW, zabudované senzory, možnosť ovládania hlasom a gestami rúk
	nová generácia VR heliem funkčných aj bez pripojenia k PC (Oculus Quest, Shadow VR, Vive Focus, Cosmos...)	technológie zdieľaného videnia ⁴⁸ , chroma keying ⁴⁹ a iné techniky nahrávania prezentácií VR a MR	rôzne náhlavné displeje tzv. zmiešanej reality, ktoré vedia prepínať medzi VR a AR
	v minulosti viac využívané veľké 3D stereoskopické projekcie ⁴⁷ - výhodné pre možnosť využívania VR viac užívateľmi súčasne; drahé		

⁴⁵ Oculus Go, ako VR zariadenie najnižšej cenovej kategórie, nie je vybavené zabudovanými kamerami, a teda umožňuje len 3 DOF tracking (len rotáciu)

⁴⁶ stereoskopické okuliare pre mobilný telefón

⁴⁷ tzv. jaskyne (cave)

⁴⁸ shared view a spectator view

⁴⁹ postprodukčná technika vizuálnych efektov pre skladanie/vrstvenie 2 obrázkov alebo video strímov založená na farebných tónoch, používa sa na odstraňovanie pozadia (Wikipedia, 2020)

⁵⁰ open-source experiment

	VR	MR	AR
Účinky	<p>úplné prekrytie sveta naokolo PC vytvorenou interaktívnou simuláciou 3D okolia</p> <p>vizuálne, akustické aj haptické vnemy sú nahrádzané čo najrealistickejšími simulačnými podnetmi</p> <p>pocit nachádzania sa inde – silná prezencia</p>	<p>čiastočné nahradenie okolitého sveta digitálnou projekciou, ktorá je presne a vierohodne vsadená do skutočného prostredia</p> <p>zmyslové vnemy dostávajú podnety z fyzikálnej reality, do ktorej sú digitálne objekty premietané</p> <p>sme si vedomí, že okolité prostredie sa mení, ale digitálne informácie sú jednoznačne identifikovateľné</p>	<p>čiastočné nahradenie okolitého sveta PC simuláciou, digitálne objekty sú presne a vierohodne vsadené do skutočného prostredia</p> <p>zmyslové vnemy sú podnecované obomi zdrojmi</p> <p>uvedomujeme si zmeny okolitého prostredia, ale máme pocit, že okolité objekty sú jeho pevnou súčasťou a veríme, že sú tam, kde nie sú - silná prezencia</p>
Vlastnosti	<p>3D stereoskopické zobrazenie</p> <p>binaurálny⁵¹ stereoskopický zvuk</p> <p>interakcia s virtuálnymi objektmi, často aj s elementárnou haptickou odozvou⁵²</p> <p>pohyb 3-6 DOF</p>	<p>2D/3D video</p> <p>stereo-zvuk, niekedy binaurálne stereoskopický zvuk, príp. iný</p> <p>interakcia možná, nie nevyhnutná⁵³</p> <p>priestorový sken a priestorová analýza pomocou prídavných zariadení</p>	<p>3D stereoskopické zobrazenie</p> <p>prieľadný⁵⁴ displej</p> <p>stereo a binaurálne audio</p> <p>interakcie s virtuálnymi objektmi v reálnom priestore</p> <p>priestorový sken a chápanie⁵⁵, t.j. 3D sken a analýza fyzikálneho priestoru naokolo v reálnom čase</p> <p>inside-out tracking⁵⁶ umožňuje voľný pohyb v priestore</p> <p>pohyb 3-6 DOF</p>
Odvetvie	<p>veda a výskum, kreatívna tvorba, architektúra, výroba a produkcia, herný priemysel a vzdelávanie...</p>	<p>reklama a marketing, komunikácia, zábavný priemysel, umenie...</p>	<p>výroba a produkcia (stavebníctvo, architektúra), veda a výskum, medicína, komunikácia, marketing, vzdelávanie, umenie a kultúra...</p>
Druhy aplikácií	<p>virtuálny tréning, abstraktné dátové vizualizácie a simulácie v stavebníctve, architektúre, medicíne</p>	<p>prezentácia VR a MR aplikácií, veľkoplošné projekcie</p> <p>videá prezentujúce ukážky používania aplikácií VR/MR, keď je v reálnom čase pomocou techniky</p>	<p>tréning, asistencia, servis a inšpekcie, komplexné vizualizácie a konfigurácie</p> <p>okuliare AR sú vhodné na tréning a inšpekcie, pretože dovoľujú</p>

⁵¹ určený pre obe uši

⁵² v súčasnosti riešená vibráciou ovládača držaného v rukách

⁵³ interaktívne projekcie

⁵⁴ see-through

⁵⁵ v závislosti od zariadenia

⁵⁶ snímanie okolia zvnútra navonok – z helmy von

	VR	MR	AR
	vhodné aj ako pracovný nástroj kreatívnej tvorby ⁵⁷ alebo komunikácie, či ako prostriedok zábavy prostredníctvom hier či sociálnych sietí a zdieľaných spoločenských udalostí vo virtuálnych svetoch	chroma keying (VR) alebo zdieľaného videnia (MR) spájaný obraz z virtuálneho a reálneho sveta do 1 celku pôvodne označoval pojem MR veľkoplošné projekcie ⁵⁸	prácu s voľnými rukami a inštinktívnu interakciu s reálnymi aj virtuálnymi objektami, čím minimalizujú čas potrebný na zaučenie, sú vhodné tiež na realistické konfigurácie fyzikálnym objektov a priestorov, ako aj komplexné vizualizácie priamo vo fyzikálnej realite ⁵⁹ aplikácie AR dostupné v mobiloch vedia pokryť veľa každodenných situácií ⁶⁰
Príklady použitia	všade, kde prostredie chceme zobraziť, neexistuje alebo nie je dostupné ⁶¹ , tiež pri zobrazovaní javov, ktoré nemajú v realite obdobu ⁶² vhodné pre komplexné situácie s využitím interakcie, vysokej imerzie a kvalitnej grafiky	všade, kde treba prezentovať svoju VR/MR aplikáciu, príp. využitie týchto technológií ⁶³ o tradičnej MR hovoríme skôr, keď chceme pomocou presne umiestnenej videoprojekcie okolitú realitu zmeniť natoľko, že publikum má pocit, akoby sa prenieslo do iného sveta	vhodné pre všetky odvetvia, ktorých aplikácie potrebujú rozpoznanie objektov a plôch v reálnom priestore ⁶⁴ vhodné aj tam, kde okrem priestorového umiestnenia potrebujeme aj 3D zobrazenie virtuálnych hologramov ⁶⁵

3.3.3 Požiadavky

Pomocou imerznej technológie VR vytvára úroveň zmyslovej vernosti závislej od merateľných systémových atribútov, ako napr. zorné pole (FOV⁶⁶), veľkosť displeja, priestorového videnia, rozlíšenia displeja, snímanie pohybov hlavy alebo vstupných zariadení (Nam, 2018). Je tiež potrebné stereoskopické 3D zobrazenie a zvuk, plynulosť, vysoká frekvencia snímok za 1s, ako aj okamžitá a presná interakcia (Mendelová, 2019).

⁵⁷ modelovanie, animácia, komponovanie hudby

⁵⁸ napr. fasády domov alebo interaktívne projekcie vo verejnom priestore

⁵⁹ akustické vizualizácie

⁶⁰ presná navigácia alebo simultánny vizuálny preklad

⁶¹ projekt nového bytového domu, urýchľovač častíc CERN

⁶² fantastické svety, náučné simulácie vied či historických štúdií, zábavný priemysel, umenie, dizajn a modelovanie

⁶³ takého videá sú často jediným spôsobom, ako pomocou tradičných médií komunikovať, čo vlastne VR/MR dokážu

⁶⁴ ak potrebujeme vedieť, ktorý ventil konkrétne utiahnuť/odskúšať, aká skriňa sa hodí do izby a pod.

⁶⁵ pozrieť vzhľad nového domu priamo na pozemku či si na ČOV nechať zobraziť 3D grafy nameraných hodnôt priamo pri senzoroch a pri poruche si načítať priestorový model stroja s animovaným návodom na opravu

⁶⁶ field of view; malo by byť čo najširšie

„*Imerzia je primárnym benefitom VR. Je obzvlášť účinná pre vyhodnocovanie návrhov...*“ (Hill, 2019) Plne imerzívny systém by mal poskytovať široké pole pohľadu, aby sa dosiahol čo najrealistickejší vizuálny zážitok (Wang, 2018). Potvrďuje to aj Catronovo et al. (2013).

Požaduje sa vysoké rozlíšenie zobrazenia a vysoký počet polygónov 3D modelu (Relief Mapping on Facade of Sino Portuguese Architecture in Virtual Reality, 2014), ktoré vyžadujú vysoko výkonné počítače pre renderovanie v reálnom čase. VR je extrémne výpočtovo náročná, pretože každý obraz (frame) musí byť renderovaný v reálnom čase (Fujitsu, 2017). „*Každý jeden bit a bajt potrebujú energiu, každý jeden shader potrebuje dostatok výpočtového výkonu.*“ Na dosiahnutie realizmu 3D zobrazenia je nutný dostatočný výkon i úložiská dát (Mendelová, 2019). V prípade rozšírenej reality je objem potrebných údajov väčší ako pri VR. „*Je totiž potrebné doplniť chýbajúce informácie o fyzikálnom prostredí, aby si počítač mohol vytvoriť model tohto prostredia a tým zabezpečiť interakciu a realistické prepojenie digitálneho sveta s fyzikálnym.*“ (Mendelová, 2019)

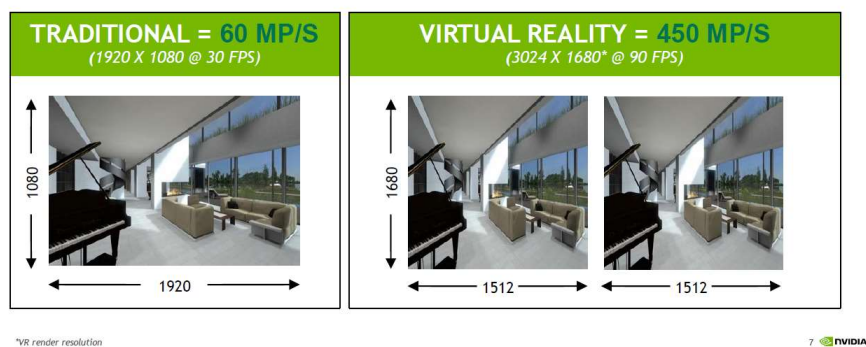
AR je náročnejšia na optiku a sledovanie pohybu. Vyžaduje kameru na skenovanie reálneho pohľadu a priehľadnú obrazovku na zachovanie spojenia so skutočným svetom. Rapídny technologický pokrok vytvára nové možnosti, ale i výzvy. HD monitory sú nahrádzané 4K, s čím narastá potreba väčšieho grafického výkonu na zobrazovanie 3D modelov. Pri imerzívnej VR v CAVE systémoch a používaní HMD, ako aj pri digitálnych úpravách väčších modelov je extrémne vysoký. (NVIDIA Corporation, 2018) VR teda vyžaduje aj vysoko výkonnú grafický procesor (GPU), a to oveľa silnejší ako pre typicky používaný pre CAD. GPU tradične používané pre 3D CAD nemajú pre VR dostatočný výkon. Časté je používanie viacerých grafických procesorov, predovšetkým v prípade veľkých sád dát (datasetov), pre zvýšenie realizmu (fyzické materiály, dynamické osvetlenie, ambient occlusion) a hladšie línie v rámci antialiasingu⁶⁷. Viacjadrové (všeobecné) procesory (CPU) pritom môžu znížiť čas renderovania, napr. pri importe alebo „vypaľovaní“ osvetlenia do scény. Dôležitá je aj výška ich frekvencie nad 3 GHz. (Fujitsu, 2017) Ďalšie požiadavky sú prezentované na **Obrázku 7**.

Latencia je známa spôsobovaním pohybovej nevoľnosti vo VR (Using virtual reality for prototyping interactive architecture, 2017). Mala by zodpovedať údajom na obrázku vyššie. Pre haptickú spätnú väzbu je tolerovaných 50 ms (Using virtual reality for prototyping interactive architecture, 2017).

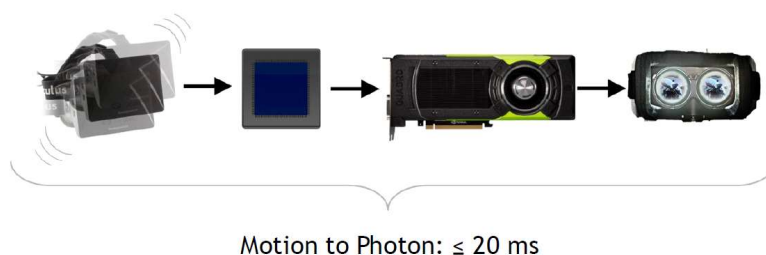
Objavujú sa však aj kritiky (napr. Lang, 2011; Bullinger, Bauer, Wenzel, Blach, 2010; Gill, Lange, Morgan, Romano, 2013), že VR výrazne separuje návrhára od fyzického miesta, čo môže viesť k vyvodzovaniu nesprávnych záverov o ňom. Je preto zrejme na mieste istá obozretnosť v nespoliehaní sa výhradne na VR pri rozhodnutiach o návrhu. (Hill, 2019) Poznámka k nejasnosti možných dôsledkov dlhodobého používania VR na náš senzomotorický systém: deti do 13 rokov by sa mu mali úplne vyhnúť a dospelým sa odporúča stráviť vo VR jednorazovo najviac 20 minút (Mendelová, 2019).

⁶⁷ pozri Slovník

Ultra-High Resolution and Frame Rate



Ultra-Low Latency



Obrázok 7 Vysoké požiadavky na výkon VR (NVIDIA, 2019)

3.4 Softvérové riešenia pre VR

„Výrobcovia grafických procesorov intenzívne pracujú na výskume a vývoji inteligentných softvérov schopných vytvárať komplexné 3D svety a animácie automatizovane.“ (Mendelová, 2019) VR vyžaduje pre svoje používanie špecializovaný softvér (Fujitsu, 2017). Existujú viaceré softvéry pre vytvorenie virtuálnej reality. Táto kapitola prezentuje základný vývoj týchto aplikácií, a stručne prezentuje vybrané z nich, vrátane MR, na základe zvolených kategórií. V stručnosti pojednáva aj o ich spoločných znakoch a vzájomnej súborovej kompatibilite. Pre úplnosť sú spomenuté aj iné typy VR technológií, napr. pre účely vzdelávania v oblasti stavebného inžinierstva.

3.4.1 Všeobecný vývoj

Počítačom podporované projektovanie: CAD systémy, prvá generácia aplikácií pre automatizáciu opakovaných kresliarskych úloh, 60. roky 20. storočia; projekt je primárne zložený z 2D prvkov, pomocou vizualizačných programov je možné im priradiť plochy, rastrové obrázky a tak získať 3D reprezentáciu stavby; takýto model je málo informačný a ťažko čitateľný PC pre ďalšie spracovanie; najmenej efektívny spôsob spomedzi používaných programov. „Problém pri CAD systémoch je, že sa vytvárajú izolované „dáta“ a jednotlivé výkresy, ktoré sú výstupom projektu, nie sú medzi sebou referenčne prepojené, čo napomáha množstvo omylov. V prípade zapracovania zmeny je teda nutné opraviť všetky výkresy samostatne, čím sa stáva koordinácia projektu veľmi náročná, a to nielen medzi profesiami, ale aj v rámci jednotlivých výkresov.“ (Funtík, 2018)

Niektoré VR aplikácie umožňujú automatizovaný import CAD dát, iné vyžadujú ich manuálnu prípravu. Z tohto hľadiska sa často robí aj optimalizácia geometrie modelov pre zlepšenie výkonu systému. Materiály možno mapovať a osvetlenie prebrať z CAD alebo aplikovať priamo vo VR. V niektorých prípadoch je možné osvetlenie vypočítať vopred a „vypáliť“ do scény, čo je ďalšia z techník zníženia náporu na systém. (Fujitsu, 2017)

Objektovo orientované projektovanie: od 70. rokov 20. storočia, využíva stavebné objekty (stena, okno, dvere atď.) doplnené o 2D informácie (popisy, šrafoy, kóty atď.), ktoré tvoria 3D model; výhodné je aktívne prepojenie výkresov na model stavby, s čím je spojená vysoká koordinácia, projektová dokumentácia sa generuje z modelu vysoko automatizovane; pomerne efektívne.

Informačné modelovanie stavieb: nejde len o 3D geometriu stavby, využíva tzv. inteligentné objekty, ktoré tvoria stavbu (*„Objekty sú znázornením skutočných konštrukčných konceptov alebo fyzických predmetov. Obyčajne sú definované na rôznych úrovniach abstrakcie a zoskupenia.“* (Funtík, 2018)) – preddefinované alebo definované užívateľom, existujú rôzne objektové knižnice (virtuálne katalógy pre tvorcu digitálneho modelu v 3D, ktoré sú jednou zo základných podmienok využívania výhod, ktoré BIM ponúka); môžu obsahovať informácie o vlastnostiach, správajú sa parametricky (ak zmeníme jeden parameter, spôsobí to rad jasne identifikovateľných zmien); najzásadnejšou zmenou voči predošlým formám projektovania je interoperabilita (otvorená dátová výmena), ktorá zabezpečuje efektívnu výmenu dát medzi rôznymi softvérmi – konverzné programy a pluginy, individuálne formáty pre výmenu špecifických súborov (DXF), štandardy a otvorené dátové modely (XML, IFC) – od roku 2010 už možné bez potreby výmeny celého objemu BIM modelu. *„Odhaduje sa pritom, že geometrická, resp. grafická reprezentácia stavby predstavuje iba 5 % informácií o projekte.“* (Funtík, 2018)

3.4.2 Aplikácie pre tvorbu VR a MR

3.4.2.1 Vybrané spoločné charakteristiky

V miniatúrnom zobrazení, ktoré môže vyzeráť aj ako na **Obrázku 8**, dovoľuje väčšina VR softvérov rotovať model a meniť jeho mierku. MR softvér pritom podporuje pohyb tohto miniatúrneho modelu a jeho ukotvenie na pevnú pozíciu vo fyzickom priestore. Kombinácia pohybu, rotácie a škálovania poskytuje slobodu v prehliadaní miniatúrnych modelov ľubovoľnej veľkosti, pod ľubovoľným uhlom a na ľubovoľnom mieste.

Väčšina VR a MR softvérov má utility pre účely architektúry a stavebníctva, napr. meranie vzdialeností medzi dvoma bodmi na plochách alebo veľkosť plôch, textové a/alebo obrázkové anotácie, podporu zapínania/vypínania vytvorených vrstiev a informácie o vlastnostiach objektov.

Funkčné nástroje pre zobrazenie v plnej mierke (napr. zmena veľkosti alebo automatické zarovnanie/umiestnenie) sú aplikovateľné len v MR softvéri, pretože model musí byť prekrytý fyzickým priestorom. HoloLens zvykne zobrazovať 3D modely asi o 1 – 2 % menšie, ako je ich skutočná veľkosť. Pre malé objekty je to zanedbateľné, ale pre veľké BIM modely rozdiel môže dosiahnuť aj niekoľko centimetrov.

Momentálne len SketchUp Viewer a Trimble Connect podporujú zmenu/korekciu veľkosti v mierke 1 : 1. Automatické zarovnanie (v Trimble Connect, BIM Holoview, MR Builder, Ho-LoLive 3D, Fuzor AR) umožňuje automatické umiestnenie BIM modelov na správne miesto priamo na mieste v reálnej mierke. Ide napr. o prípady zarovnania stien a podláh. Užívateľ sa môže voľne pohybovať a prehliadať model vo fyzickom priestore, pričom model je nehybný.



Obrázok 8 Príklad technickejšieho zobrazenia architektonického modelu vo VR (Game Development Services, 2019)

Simulačné nástroje (dynamické objektové – planúci plameň, vlnenie vody, odrazy na vodnej ploche, dym, hojdajúce sa lístie, rotujúce ventilátory, televízne prehrávanie; osvetlenie, rendering) sú, naopak, použiteľné skôr len vo VR softvéri, keďže VR zariadenia založené na spojení s PC sa špecializujú na 3D renderovanie obrázkov s využitím pripojeného počítača. Zvyšovanie kvality renderu za použitia technológií ako dynamické osvetlenie, ambient occlusion (zatieneenie okolím) a fyzikálnych materiálov zvyšujú mieru uveriteľnosti pozorovateľa, že to, čo vidí, je skutočné (Fujitsu, 2017). Scény vyrenderované v Revit Live⁶⁸, Enscape, Fuzor a Composer pôsobia, vzhľadom na dané renderovacie enginy a používané materiály, najrealistickejšie, s čím sú úzko spojené aj nároky na výpočtové zdroje, predovšetkým pre neustále sa meniace dynamické efekty. Simulácia osvetlenia poskytuje užívateľom VR možnosť navoliť čas pre zmenu polohy slnka a pozorovať zmeny v prostredí danej scény. Podobne je možné pracovať aj s umelým osvetlením, napr. aj počas noci. Všetky VR softvéry podporujú ako simuláciu denného, tak i umelého osvetlenia.

⁶⁸ softvér už nie je dostupný



Obrázok 9 Príklad zobrazenia prítomnosti viacerých účastníkov v scéne v reálnom čase (SmartVizX, 2019)

VR aj MR softvér tiež umožňuje spoluprácu (zdieľanie, spoločné sídlo/miesto) viacerých užívateľov, z ktorých každý má vlastný headset – vidieť rovnaký priestor/prostredie v rovnakom čase – pozri **Obrázok 9**. Každý z nich sa môže voľne pohybovať v zdieľanom virtuálnom prostredí, pozorovať sa⁶⁹ navzájom v danej scéne, ako si aj vzájomne signalizovať potrebné/želané pomocou ovládačov. MR softvér, napr. SketchUp Viewer, Fuzor AR a Vyzn, navyše podporuje tzv. kolokáciu (co-location), ktorá zdieľa polohu každého HoloLens pripojeného zariadenia. Všetci účastníci musia identifikovať spoločný bod vo fyzickom priestore pre umožnenie umiestnenia modelu na rovnaké miesto a v rovnakom natočení pre všetkých. (Huang, 2019)

Tabuľka 4: Prehľad súčasného (najznámejšieho) softvéru pre VR a MR (Huang, 2019)

VR			MR		
Vývojár	Názov aplikácie	Účel	Vývojár	Názov aplikácie	Účel
SimLab	<i>Composer</i>	3D	Microsoft	<i>3D Viewer Beta</i>	3D
Autodesk	<i>Revit Live</i>	BIM	Trimble	<i>SketchUp Viewer</i>	BIM
Enscape	<i>Enscape</i>	BIM	Trimble	<i>Trimble Connect</i>	BIM
Kalloc	<i>Fuzor</i>	BIM	Kalloc	<i>Fuzor AR</i>	BIM

⁶⁹ zvyčajne vo forme avatara s menom

VR			MR		
Vizerra	<i>Revizto</i>	BIM	BIM Holoview	<i>BIM Holoview</i>	BIM
Vrban	<i>InsiteVR</i>	BIM	Holo Group	<i>MR Builder</i>	BIM
IrisVR	<i>Prospect</i>	BIM	VisualLive	<i>HoloLive 3D</i>	BIM
Kubity	<i>Kubity</i>	BIM	Zengalt	<i>Vyzn</i>	Prezentácia
			Object Theory	<i>Prism</i>	Prezentácia

3.4.2.2 VR aplikácie

3.4.2.2.1 Vyvinuté pre účely BIM



Revit Live⁷⁰ bol určený na vytváranie imerzívnych architektonických vizualizácií. Bol dostupný len pre Windows 7 a vyšší, a to len v rámci balíka Architecture Engineering Construction, ktorý v súčasnosti zahŕňa nasledovné produkty: 3ds Max, Advance Steel, AutoCAD, Autodesk Drive, Autodesk Rendering, Civil 3D, Dynamo Studio, Fabrication CADmep, FormIt, InfraWorks, Insight, Navisworks Manage, ReCap Pro, Revit, Robot Structural Analysis Professional, Structural Bridge Design a Vehicle Tracking. Požadovaný procesor: Multi-Core Intel Xeon, i-Series alebo AMD ekvivalent. Grafická karta musela podporovať DirectX 11 so Shader Model 3. Išlo o pravidelne platenú cloudovú službu s cenou od 466 EUR na mesiac.

Poznámka: Poskytovanie služby bolo ukončené 30. 3. 2020. Výrobca v súčasnosti uvádza nasledovné alternatívy: Autodesk Cloud Rendering pre statické renderovanie a panoramatické pohľady, 3ds Max pre animácie a nástroje tretích strán od Autodesk AEC Industry Partners⁷¹ a z Autodesk App Store⁷².

⁷⁰ <https://www.autodesk.com/products/revit-live/overview>

⁷¹ <https://www.autodesk.com/partners/aec-partners>

⁷² <https://apps.autodesk.com/en>



ENSCAPE™

Enscape⁷³ je jednoduchý plugin pre Autodesk Revit 2015⁷⁴ a vyšší, SketchUp Make a Pro 2016 a novší, Rhinoceros 5.0 alebo novší a od verzie ArchiCAD 21, so „živým“ spojením a VR určený pre renderovanie v reálnom čase. Nevyužíva nutne cloud, nie je potrebné exportovanie ani do iného programu. Podporovaný operačný systém (OS): od Windows 7. Takmer všetky výpočty sa robia na grafickej karte NVIDIA alebo AMD, ktorá vyžaduje dedikovanú, nezdieľanú VRAM s podporou OpenGL 4.3. Používa ray tracing. Je optimalizovaný na prácu s dvoma monitormi. Dostupný od 47 USD za mesiac.

Poznámka: Výrobca poskytuje aj študentské/akademické licencie⁷⁵.



Fuzor⁷⁶ predstavuje integrované návrhové prostredie pre AEC⁷⁷ profesionálov s patentovanou technológiou dvojsmerného živého spojenia, kombinovateľné so súbormi z Revitu od verzie 2014, ArchiCAD od v18, Navisworks 2014 a viac, Rhino 5 a vyšší, SketchUpu 2016 a novšej, ďalej podporuje súbory FBX, 3DS, Pointcloud scan, FARO Laser Scan a Recap. Požiadavky: Windows 7 a novší, procesor minimálne Intel Core i5-6500 alebo AMD ekvivalent, grafická karta NVIDIA GTX 950 Ti alebo AMD ekvivalent. Stránka výrobcu udáva, že ide o virtuálne dátové centrum nasledujúcej generácie pre stavebný priemysel. Umožňuje real-time rendering a obsahuje aj nástroje pre manažment výstavby. V ponuke ako viaceré balíky riešení, vrátane celého životného cyklu projektov, od 80 USD na mesiac.

Poznámka: Výrobca poskytuje aj študentské/akademické licencie⁷⁸.



Revizto⁷⁹ je softvér určený pre architektúru, inžinierstvo a zhotovovanie stavieb, pre sledovanie problémov v reálnom čase so zreteľom na spoluprácu cez cloud a BIM koordináciu projek-

⁷³ <https://enscape3d.com/>

⁷⁴ Revit LT nie je podporovaný

⁷⁵ <https://enscape3d.com/educational-license/>

⁷⁶ <https://www.kalloctech.com/>

⁷⁷ architecture, engineering, construction

⁷⁸ <https://www.kalloctech.com/contact.jsp?origin=purchase>

⁷⁹ <https://revizto.com/en/>

to. Ide o integrované riešenie v rámci BIM360, Box a Procore, a plugin pre ArchiCAD, AutoCAD, Civil 3D, Inventor, Navisworks, Revit, Rhinoceros, SketchUp, Tekla a Vectorworks. Revizto je dostupný pre Windows, iOS, iPad a Android tablety, v rámci VR pre HTC Vive a Oculus Rift. Cena: od 5000 EUR ročne.

Poznámka: Výrobca poskytuje aj študentské/akademické licencie⁸⁰.



InsiteVR⁸¹ bol vyvinutý pre VR stretnutia pre AEC sektor pre účely obhliadky a koordinácie. Kompatibilný s BIM 360, Navisworks, Revit a SketchUp modelmi, a desktop aj standalone, mobile VR (HTC Vive, Windows Mixed Reality, Oculus Rift, Oculus Quest a Oculus Go). Zaujímavosťou sú hovorené anotácie prevedené do textovej podoby. Ide o službu predplácanú na isté obdobie.

Poznámka: Výrobca momentálne neposkytuje študentské/akademické licencie a aplikácia je v ponuke len ako beta verzia pre vybraných partnerov. Bude nahradená produktom Resolve,⁸² v súčasnosti pre Oculus Quest a Autodesk BIM 360.



Plugin **Prospect⁸³** využíva import natívnych BIM metadát do VR a automatickú optimalizáciu geometrie. Kompatibilné formáty: Navisworks, Revit, Rhino, Grasshopper, SketchUp, FBX, OBJ. Podporované headsety: HTC Vive, Oculus Rift, Oculus Quest, Windows MR VR, Valve Index a Pimax. Umožňuje prehliadanie návrhov a kolaboráciu vo VR. Prídavnou funkciou sú slnečné štúdie. Aktuálne k dispozícii od 1800 USD ročne.



Kubity⁸⁴ je webová a mobilná aplikácia pracujúca s modelmi v súborovom formáte SketchUpu pre VR a AR. Pre užívateľov Revitu je pre tieto účely k dispozícii konverter. Využíva technológiu umelej inteligencie, konkrétne ide o agilnú 3D technológiu, ktorá automaticky optimalizuje a transformuje modely pre vizualizáciu a preskúmanie na ľubovoľnom zariadení. Zaujímavou funkciou je zrkadlenie scény. Modely možno zdieľať prostredníctvom e-mailu, sms, QR kódu, sociálnych médií, medzi zariadeniami či vstavané do webovej stránky. Kompatibilita: prehliadače Firefox, Chrome, Safari a Edge, väčšina inteligentných telefónov a tabletov (iOS

⁸⁰ <https://revizto.com/en/contact-us/>

⁸¹ <https://www.insitevr.com/>

⁸² <https://www.resolvebim.com>

⁸³ <https://irisvr.com/prospect/>

⁸⁴ <https://pro.kubity.com/>

od verzie 12.1 – iPhone, iPad a iPad Touch; AR iOS je kompatibilný so všetkými ARKit kompatibilnými zariadeniami s iOS 11; Android 4.4 a vyššie, pre AR od 7.0), nevyžaduje sa špeciálne vybavenie, podporované VR zariadenia: Google Cardboard, Homido Mini a im dvom podobné okuliare, Samsung Gear VR a Oculus Go. V cenovej hladine od 19 EUR. Je k dispozícii aj bezplatná verzia pre mobilné telefóny a tablety (Kubity Go).

3.4.2.2.2 Vyvinuté pre účely 3D navrhovania v rôznych oblastiach



SimLab Composer⁸⁵ je samostatný softvér určený pre renderovanie v reálnom čase, animovanie, 360-stupňové obrázky a VR. K dispozícii aj ako bezplatný plugin pre tieto softvéry⁸⁶: 3Ds Max, Alibre, AutoCAD, Creo, Fusion 360, Inventor, Maya, Modo, Navisworks, Onshape, Revit, Rhino, SkechUp, Solid Edge, SolidWorks, Spirit, ZW3D a Zbrush. V základnej verzii je dostupný bezplatne, existuje aj profesionálna verzia pre architektov a interiérových dizajnérov za 199 USD, ďalej špeciálna verzia pre pokročilejšiu VR (aj bezplatný prehliadač VR/AR) za 399 USD, strojárrov a s možnosťou automatizácie (Javascript, vizuálne skriptovanie, dávkové spracovanie, serverová licencia).

Softvér je navrhnutý pre MS Windows od verzie 7 a macOS 10.9 a vyššiu. PC verzia vyžaduje procesor Intel alebo AMD, Mac verzia procesor Intel, Core 2 Duo alebo vyšší. Pre obe verzie sa požaduje rozlíšenie monitora minimálne 1440x900. Mobilná aplikácia je pre Android, iOS, Oculus Go a Oculus Quest.

3.4.2.3 MR aplikácie

3.4.2.3.1 Vyvinuté pre účely BIM



SketchUp Viewer⁸⁷ je prehliadač SketchUp modelov pre VR a AR spojený s cloudovým úložiskom. Pre mobilné zariadenia (s iOS alebo Android) bezplatný, pre web za 119 USD ročne, pre desktopy (s Windows alebo Mac OSX) od 299 USD za rok (táto verzia má podporu pre HTC Vive, Oculus Rift, Oculus Quest, Hololens, Windows Mixed Reality a SteamVR) – zahŕňa SketchUp Pro alebo Studio.

Poznámka: Výrobca poskytuje aj študentské/akademické licencie za 55 USD / rok⁸⁸.

⁸⁵ <https://www.simlab-soft.com/3d-products/simlab-composer-main.aspx>

⁸⁶ zoznam sa priebežne rozširuje

⁸⁷ <https://www.sketchup.com/products/sketchup-viewer>

⁸⁸ <https://www.sketchup.com/plans-and-pricing#for-higher-education>

Trimble Connect

Trimble Connect⁸⁹ je otvorený kolaboračný nástroj s cloudovým úložiskom, navrhnutý pre celý životný cyklus projektu. Softvér umožňuje vzájomné zdieľanie, prehliadanie, koordinovanie, komentovanie a pripomienkovanie v reálnom čase. Podporuje najmä modelové formáty SketchUpu, Revitu, AutoCADu a Tekly. V ponuke je aj špeciálna verzia pre Hololens Mixed Reality. Aktuálne v cene od 10 USD mesačne na užívateľa. Systémové požiadavky: pre webovú aplikáciu Google Chrome, grafická karta pre web minimálne integrovaná kompatibilná s DX 10, pre Windows minimálne integrovaná kompatibilná s DirectX 10.1, pre mobily OS Android 4.4 a vyšší, príp. iOS od verzie 9, 4-jadrový procesor a internetové pripojenie (WiFi, 3G alebo 4G).

Poznámka: Výrobca poskytuje aj študentské/akademické licencie⁹⁰.



Fuzor AR⁹¹ je bezplatná 4D AR aplikácia pre Windows HoloLens. Podporuje BIM, používanie QR kódov aj hlasové príkazy, anotácie, kolaboráciu viacerých užívateľov či zobrazenie modelu v mierke od 1 : 1000 ku 1 : 1. Požiadavky: architektúra x86.



BIM Holoview⁹² je produkt vyvinutý špeciálne pre stavebníctvo – pre prehliadanie BIM modelov na stavenisku. Využíva HoloLens, technológiu zmiešanej reality Microsoftu, na projekciu holografických obrázkov 3D modelov z Autodesk Revit a Navisworks do reálneho sveta. Stránka výrobcu uvádza, že ide o jediný produkt AR, ktorá dosahuje takú vysokú presnosť umiestnenia (do 2cm). Aktuálna cena je od 195 USD mesačne.



MR Builder⁹³ je mobilná Windows aplikácia pre architektov, dizajnérov a konštruktérov, ktorá zobrazuje hologramy 3D modelov z 3dsMax, Revit, SketchUp a i. pomocou Hololens, a to

⁸⁹ <https://connect.trimble.com/>

⁹⁰ <https://connect.trimble.com/storefront>

⁹¹ <https://www.microsoft.com/en-us/p/fuzor-ar/9p54zgzz8bl>

⁹² <http://www.bimholoview.com/>

⁹³ <http://www.mrbuilder.pro/>

v ľubovoľnom prostredí viacerým užívateľom. Hlavné požiadavky: architektúra x86, modely v .fbx formáte, maximálne 20 000 polygónov na vyrenderovaný frame, štvorcové textúry, štandardné materiály základných 3D editorov (farba, textúra, priehľadnosť), tagy vo forme postřixov, mierka modelu v metrickom systéme 1:1. Cena je v súčasnosti 1000 USD.



HoloLive 3D⁹⁴ je CAD/BIM AR aplikácia pre HoloLens určená pre AEC sektor. Zahŕňa pluginy pre Revit (2015-2020) a Navisworks (2016-2020) a integráciu s Procore a Autodesk BIM 360. Poskytuje aj manažérske nástroje pre projektový manažment a správu budov. Je možné ho používať aj offline. Pripravuje sa prehliadač a uploader pre PC s Windows 8-10. Dostupný aj ako bezplatná mobilná aplikácia pre iOS iPhone, iPad, Android telefóny a tablety. Cena štandardnej verzie sa pohybuje od 99 USD mesačne.

3.4.2.3.2 Vyvinuté pre prehliadanie 3D objektov



3D Viewer Beta⁹⁵ je bezplatná Windows aplikácia (do verzie 10) pre HoloLens určená pre prehliadanie 3D modelov prostredníctvom MS Edge, OneDrive a pod. Vyžaduje fbx súbory, x86 architektúru a inštaláciu na internom pevnom disku.

3.4.2.3.3 Zamerané na MR prezentácie



Vyzn⁹⁶ umožňuje vytvárať a spúšťať interaktívny obsah pre AR, HoloLens prezentácie, bez potreby písania kódu. Pracuje s jednotlivými .fbx súborami v metrickom formáte (napr. z Autodesk 3ds Max, Maya, Revit, Fusion, Modo, Cinema 4D, Blender, LightWave alebo SketchUp) a QR kódmi. Aplikácia⁹⁷ je dostupná pre mobily, PC a tablety. Umožňuje pracovať aj offline. Cena: 99 USD na mesiac na zariadenie.

⁹⁴ <https://www.visuallive.com/products>

⁹⁵ <https://www.microsoft.com/en-us/p/3d-viewer-beta/9nblggh5pm4z>

⁹⁶ <https://vyzn.io/>

⁹⁷ <https://www.microsoft.com/en-us/p/vyzn/9n3pd2qrhk7m>

Prism

by **object theory**

Prism⁹⁸ je MR biznis platforma pre zvýšenie produktivity obchodu. Umožňuje predaj, vizualizáciu dát, produktový dizajn, priestorové plánovanie, tréning, kolaboráciu v reálnom čase či 3D audio chat. Ide o bezplatnú aplikáciu pre HoloLens (verzia pre firmy je platená). Využíva cloudové služby od Microsoft Azure. Kompatibilita: OS Windows od verzie 10240.0, Xbox One, architektúra x86.

3.4.2.4 Kompatibilita

Väčšina VR a MR softvéru podporuje populárne 3D a BIM súborové formáty, vrátane formátov Revitu, SketchUpu a fbx súborov. Súbor Revitu a SketchUpu sú bežne podporované VR softvérom pomocou VR pluginov. Fbx súbory⁹⁹ sú lepšie podporované MR softvérom. Niektoré iné 3D formáty sú tiež podporované niektorými VR softvérmi ako napr. Rhino, 3ds Max, Navisworks a ArchiCAD. (Huang, 2019)

3.4.2.5 Iné druhy VR

Možno hovoriť aj o web VR, príp. aj real-time VR (zmiešaná realita cez displej smartfónu: Android ARCore – pre Android; Apple ARKit – pre iOS) (Kučera, 2019). Pre účely vzdelávania boli postupne k dispozícii technológie založené na stolových počítačoch, pohlcujúca virtuálna realita, 3D VR založené na hrách¹⁰⁰, VR umožňujúca BIM a, napokon, sesterská technológia AR¹⁰¹ – táto kategorizácia je založená na rozdielnosti používania vizualizačných prostriedkov (Wang, 2018).

3.4.2.5.1 Pre účely vzdelávania

BIM technológia, o ktorej sa verí, že nahradí tradičné CAD navrhovanie, vie byť užitočná aj pri tréningu študentov v zručnom používaní 3D modelovacích techník, či pri výuke v rámci simulácie výstavby. Park et al. napríklad vyvinul interaktívny modelovací systém pre anatómiu budov (IBAM), ktorý umožňuje študentom interagovať so stavebnými prvkami vo virtuálnom prostredí. Rovnako sa tu naskytá možnosť prídavného integrovania hry typu otázka-odpoveď, ktorá by potenciálne zlepšila výukový zážitok.

Vo svete múzeí sú tiež badateľné trendy vývoja interaktívnych modelov prezentácie prírodných zákonov a technológií. S podobným účelom bol vytvorený aj trojrozmerný VR model piešťanskej elektrárne z roku 1906, ktorý bol neskôr použitý aj ako VR hra na riešenie fyzikálnych,

⁹⁸ <https://objecttheory.com/platform/>

⁹⁹ typický 3D formát pre konverziu

¹⁰⁰ resp. na interakcii s objektami podobnej hry, napr. fyzikálna simulácia kolízií v hernom engine, objektom sa definujú geometrické a kolízne hranice (Wang, 2018); pozri aj Slovník vzadu – „herný engine“

¹⁰¹ Rozšírená realita používa senzorickú technológiu (zvuk, video alebo grafika) pre živý alebo nepriamy náhľad na fyzické prostredie s doplnenými virtuálnymi informáciami. (Wang, 2018)

chemických a elektrických úloh. Tento prístup k učeniu je preukázateľne efektívny a reprodukovateľne využiteľný. (Industrial heritage education and user tracking in virtual reality, 2019) Hoci každý z nás preferuje iný spôsob učenia a pamätáme si veci inak, vo všeobecnosti zdravý človek prijíma najviac vizuálnych informácií a pamätáme si približne 20 % z toho, čo počujeme, 30 % z videného a 90 % z toho, čo aktívne robíme, a najefektívnejší spôsob učenia predstavuje ich kombinácia, ktorou dosahujeme do 80-90 % zapamätania (Mixed reality in the presentation of industrial heritage development, 2020).

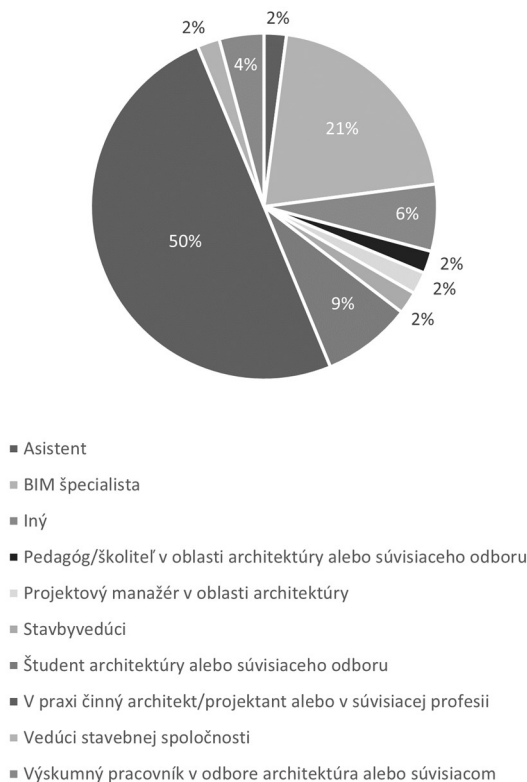
Je známe, že náhlavné displeje môžu spôsobovať nepohodlie a slabý vnem hlúbky. Tento problém možno prekonať používaním prenosných zariadení, ktoré spôsobujú slabšie „ponorenie“. (Wang, 2018)

4 Dotazníkový prieskum

Dotazník skúma aktuálne a plánované využívanie VR pre architektonické účely, vrátane motivácie, skúseností, preferencií, postojov, hardvérového a softvérového vybavenia. Bol vytvorený cez webovú aplikáciu Google Forms (Formuláre Google), spustený 16. 2. 2020 a link naň zdieľaný formou súkromných správ a vo vybraných skupinách na sociálnych sieťach Facebook a LinkedIn cieľovej skupine respondentov, ktorú predstavovali osoby pôsobiace v stavebníctve, resp. architektúre, a príbuzných odboroch, hovoriace po slovensky alebo česky. Zber dát bol ukončený 27. 4. 2020.

Prieskumu sa k danému dátumu zúčastnilo 48 respondentov. Podľa **Grafu 1** 50 % z nich predstavuje v praxi činných architektov/projektantov alebo v súvisiacej profesii. Druhé najväčšie zastúpenie majú BIM špecialisti podielom 20,8 %. Tretiu najväčšiu skupinu (8,3 %) tvoria študenti architektúry alebo súvisiaceho odboru. V prípade voľby Iný (v otázke „Aký je Váš súčasný zamestnanecký status?“) respondenti uvádzali kombinácie ponúkaných možností, v jednom prípade išlo o úplne inú pozíciu, ktorá bola však obsadená v stavebnej firme, a v jednom prípade o uvedenie relevantného minulého pracovného zamerania. Svoje odpovede poskytli aj dvaja výskumní pracovníci v odbore architektúra alebo súvisiacom, jeden pedagóg/školiteľ v oblasti architektúry alebo súvisiaceho odboru, jeden projektový manažér v oblasti architektúry, jeden vedúci stavebnej spoločnosti, jeden stavbyvedúci a jeden asistent.

Aký je Váš súčasný zamestnanecký status?
48 responses

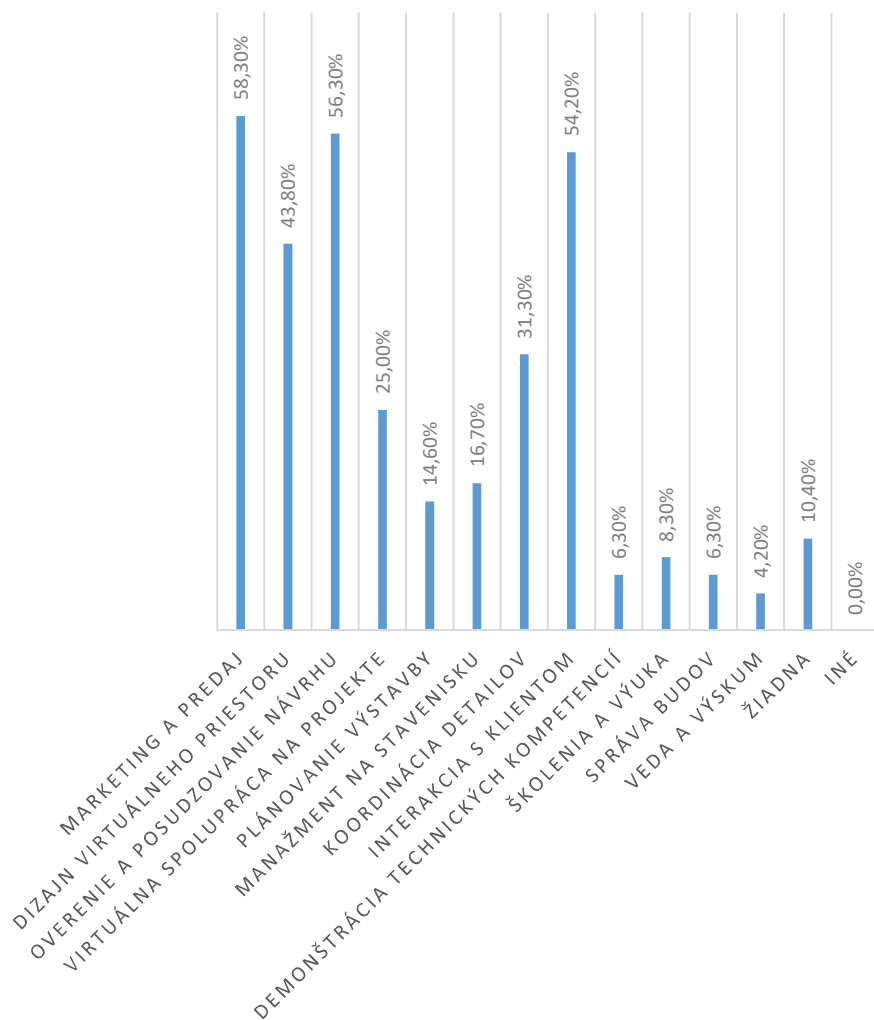


Graf 1 (Lucia Benkovičová, 2020)

Pri skúmaní motivácie využívania VR v architektúre (**Graf 2**) sa zistilo, že marketing a predaj, overenie a posudzovanie návrhu a interakcia s klientom majú najväčšie a súčasne približne rovnaké zastúpenie – v priemere 56,3 %. Na druhom mieste je samotný dizajn virtuálneho priestoru (43,8 %). Tretie miesto obsadila koordinácia detailov (31,3 %). Štvrtinové zastúpenie má virtuálna spolupráca na projekte. Pre 16,7 % je motiváciou manažment na stavenisku. Pre plánovanie výstavby a simuláciu výstavby a prevádzky má motiváciu využívať VR 14,6 % respondentov. Žiadna motivácia je v tomto zmysle uvedená v 10,4 % odpovedí, čo je o 2,1 % menej ako v predošlej otázke podobného charakteru. Motivácia pre využitie pri školeniach a výuke predstavuje 8,3 %. Demonštrácia technických kompetencií a správa budov dosahuje hodnotu 6,3 %. Najmenšie, 4,2 %-né zastúpenie vykázala motivácia pre vedu a výskum v tejto oblasti.

Aká je Vaša motivácia využívania VR v architektúre?

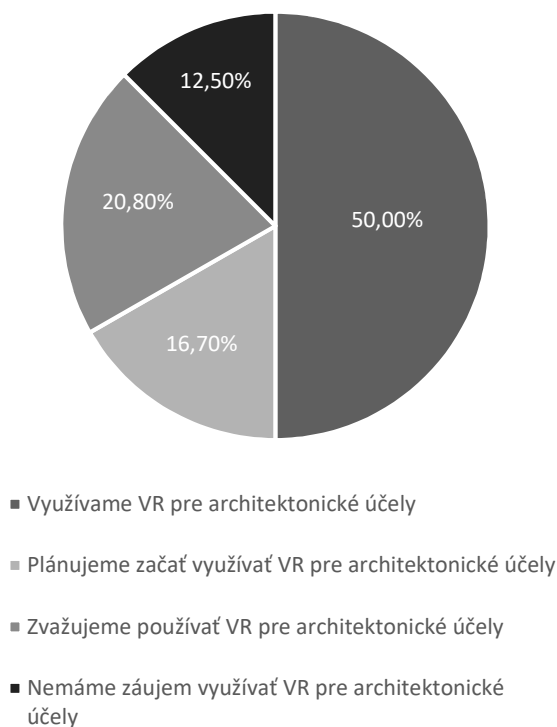
48 responses



Graf 2 (Lucia Benkovičová, 2021)

Zo získaných údajov možno ďalej vyčítať, že 50 % respondentov v súčasnosti už využíva VR pre architektonické účely (**Graf 3**). Tento záujem nemá 12,5 % z celkového počtu účastníkov prieskumu. Spolu 37,5 % odpovedí reflektuje intencie používať VR pre tieto účely.

Vyberte možnosť, ktorá najlepšie vystihuje Vašu súčasnú situáciu:
48 responses

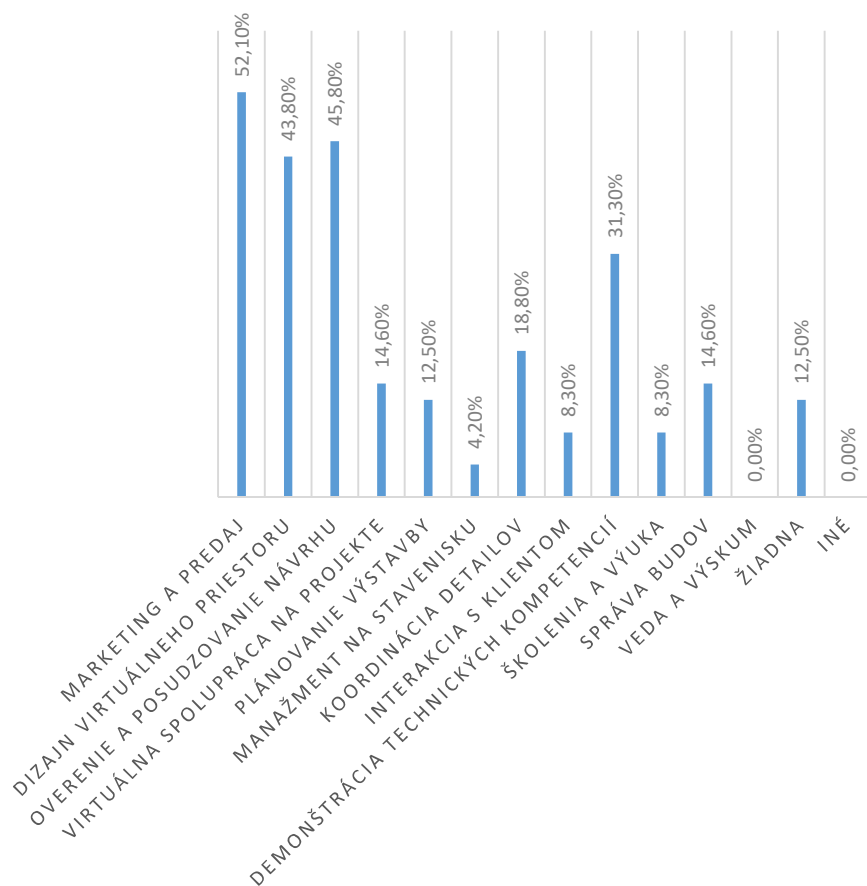


Graf 3 (Lucia Benkovičová, 2021)

Skúsenosti s niektorou formou využitia VR v architektúre (**Graf 4**) korelujú s motiváciou jej využívania. Najviac skúseností je s jej využitím v rámci marketingu a predaja (52,1 %), nasleduje overenie a posudzovanie návrhu (45,8 %) a dizajn virtuálneho priestoru (43,8 %). S klientom už touto formou interagovalo 31,3 % respondentov. Detaily vo VR koordinovala zhruba pätina. 14,6 % osôb virtuálneho spolupracovalo na projekte, ako aj využili VR pri školeniach alebo výuke. Pri plánovaní výstavby bola využitá v 12,5 % prípadov. Rovnaké percento nemá žiadnu skúsenosť so žiadnou formou využitia VR v architektúre. Výstavbu a prevádzku vo VR simulovalo, a týmto spôsobom demonštrovalo technické kompetencie 8,3 % osôb. 4,2 % ma-
nažovalo stavenisko a pri vede a výskume aplikovalo alebo riešilo VR. Pri správe budov zatiaľ VR nevyužil nik.

Máte skúsenosť s niektorou z týchto foriem využitia VR v architektúre?

48 responses

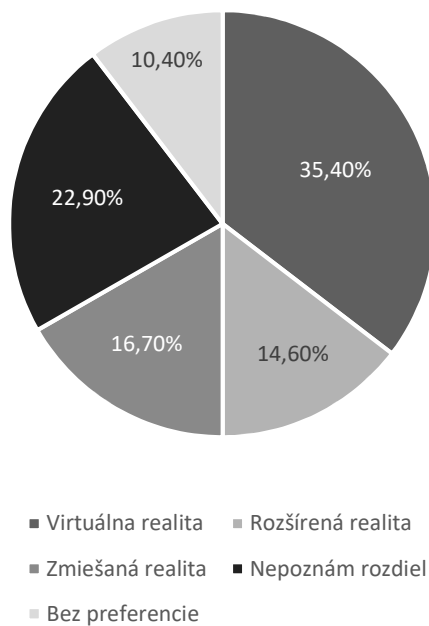


Graf 2 (Lucia Benkovičová, 2021)

Prieskum preferencií druhov VR (**Graf 5**) preukázal najväčšiu obľúbenosť čistej virtuálnej reality. Druhá najpreferovanejšia je zmiešaná realita. Ako posledná sa, s malým rozdielom, umiestnila rozšírená realita. Takmer štvrtina respondentov pritom uviedla, že tieto druhy nevedia s istotou odlíšiť. 10,4 % vyjadrilo, že nemajú v tomto ohľade žiadnu preferenciu.

Aký druh preferujete?

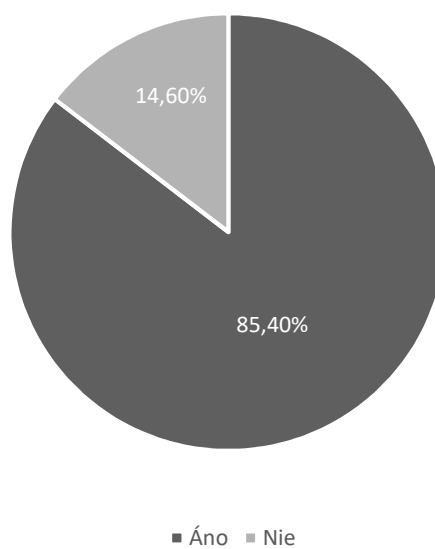
48 responses



Graf 3 (Lucia Benkovičová, 2021)

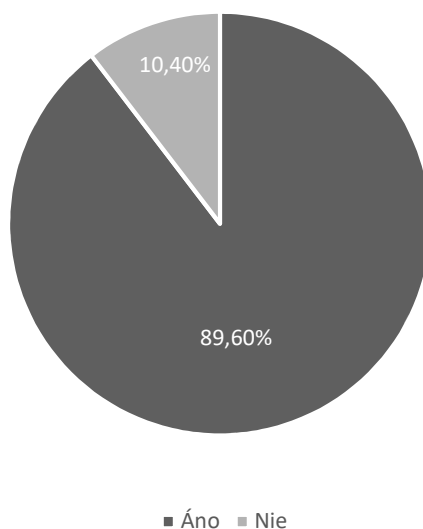
Považujete VR za nástroj užitočný pre Vašu prácu?

48 responses



Považujete VR za efektívny komunikačný nástroj na prezentáciu svojich nápadov/návrhov, vrátane spolupráce v rámci architektonického tímu?

48 responses



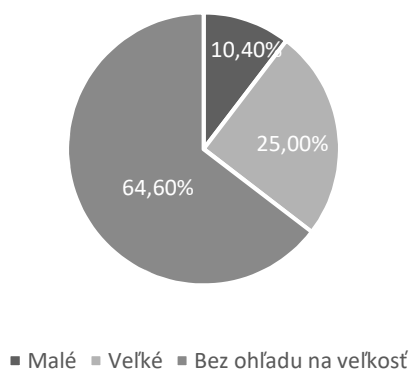
Graf 6, 4 (Lucia Benkovičová, 2021)

Graf 6 a 7 jasne preukazujú, že VR je považovaná za nástroj užitočný pre prácu cieľovej skupiny dopytovaných, ako aj špecifickejšie za efektívny komunikačný nástroj pri prezentácii návrhov, vrátane spolupráce v rámci architektonického tímu.

Veľkosť projektov v zásade výrazne neovplyvňuje aplikovanie VR (**Graf 8**), hoci vidieť istú prevahu jej používania pri veľkých projektoch. 35,4 % respondentov uviedlo, že VR v niečom zmenila ich prístup či postoj k architektonickému navrhovaniu – dominantne v pozitívnom zmysle (**Graf 9**).

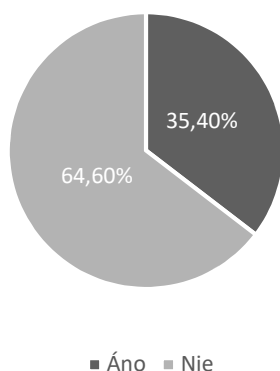
Aké sú architektonické projekty, pri ktorých využívate, chcete používať alebo by ste zvažovali aplikovať VR?

48 responses



Graf 5 (Lucia Benkovičová, 2021)

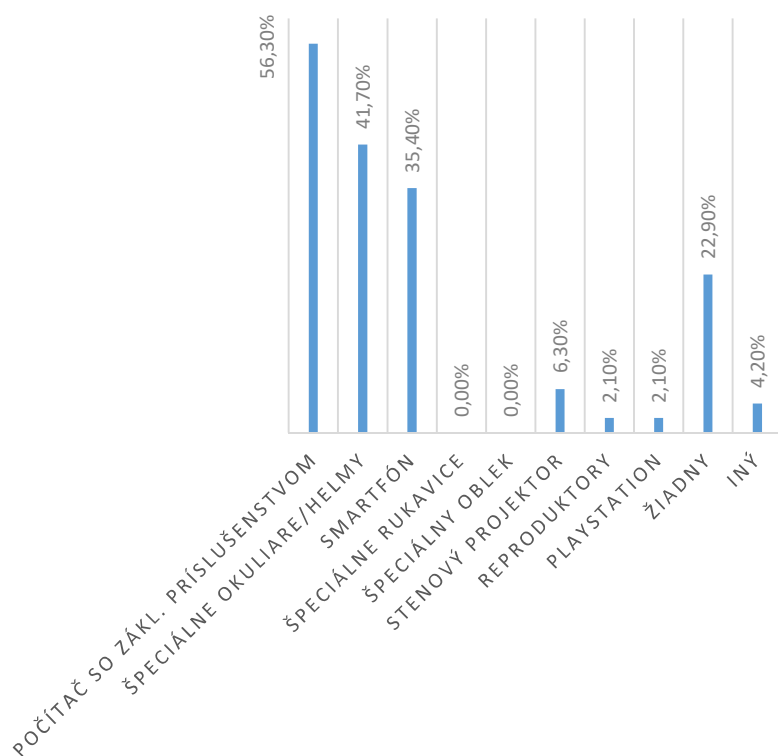
Zmenila v niečom VR Váš prístup či postoj k architektonickému navrhovaniu?
48 responses



Graf 6 (Lucia Benkovičová, 2021)

Ako príklady uvádzajú väčšiu pôsobivosť pre klienta, zmenu celkového pohľadu na stavbu, koncepcie navrhovania, spôsobu konzultovania a prijímania rozhodnutí, v kontrole vlastného návrhu, PR prezentovania, potrebu zaoberať sa viac detailmi, zlepšenie komunikácie s klientom, zjednodušenie práce, zvýšenie prehľadnosti a motivácie študentov k modelovaniu a posudzovaniu stavebných konštrukcií, výber materiálov preferovaných klientom, ale aj vzbudenie skepsy voči tejto forme marketingu.

Aký hardvér používate pre VR?
48 responses



Graf 7 (Lucia Benkovičová, 2021)

Na **Grafe 10** vidíme, že najviac opýtaných používa v rámci hardvéru pre VR počítač so základným príslušenstvom, ďalej špeciálne okuliare alebo helmy, voči nim asi o 6,3 % menej inteligentný telefón. 6,3 % využíva aj stenový projektor a 2,1 % osôb aj reproduktory a PlayStation. Iné používané zariadenia predstavujú iPad a interaktívna smart obrazovka s možnosťou priamej kresby.

Dotazník skúmal aj známosť vybraných druhov softvérov, aplikácií a pluginov pre virtuálnu a zmiešanú realitu v stavebníctve (**Graf 11**). 39,6 % účastníkov prieskumu nepoznalo žiaden z nich. V našej lokalite sú najznámejšie Revit Live, Enscape, SketchUp Viewer a Trimble Connect – v tomto poradí. S nimi mali aj priamu skúsenosť (**Graf 12**). Ako iné alternatívy boli uvedené prehliadače modelov (mobilné aplikácie) BIMx¹⁰² (dostupný aj ako webová verzia) a Dalux¹⁰³, softvér Twinmotion¹⁰⁴ a platforma Wild¹⁰⁵.

Záverečná časť dotazníka bola venovaná prekážkam pre používanie VR v stavebníctve. Bola realizovaná formou otvorených odpovedí a vyjadřila sa v rámci nej polovica opýtaných. Najviac ľudí uviedlo vyššie náklady či investície, a to finančné i časové. Objavila sa aj úroveň vzdelania pracovníkov, veľmi frekventovane aj neochota využívať moderné technológie a zavádzať nové riešenia a procesy, ako i „*slabá kooperácia dotknutých odvetví v celom procese*“. Jeden až dvaja respondenti uviedli, že „*BIM je stále len v plienkach pre väčšinu architektov a zaangažovaných...*“, spomína aj problémy s exportom z rôznych softvérov. Iné spomínané technické problémy sú kvalita zobrazenia, malá praktickosť pre prácu v nej (skôr na prezeranie a prezentovanie) a obmedzená mobilita. Viacerí iní sa tiež prikláňajú k názoru, že máme v tejto oblasti málo vedomostí, podkladov a absentujú konkrétne školenia ako zapracovať VR do projektov.

¹⁰² <https://bimx.archicad.com/en/>

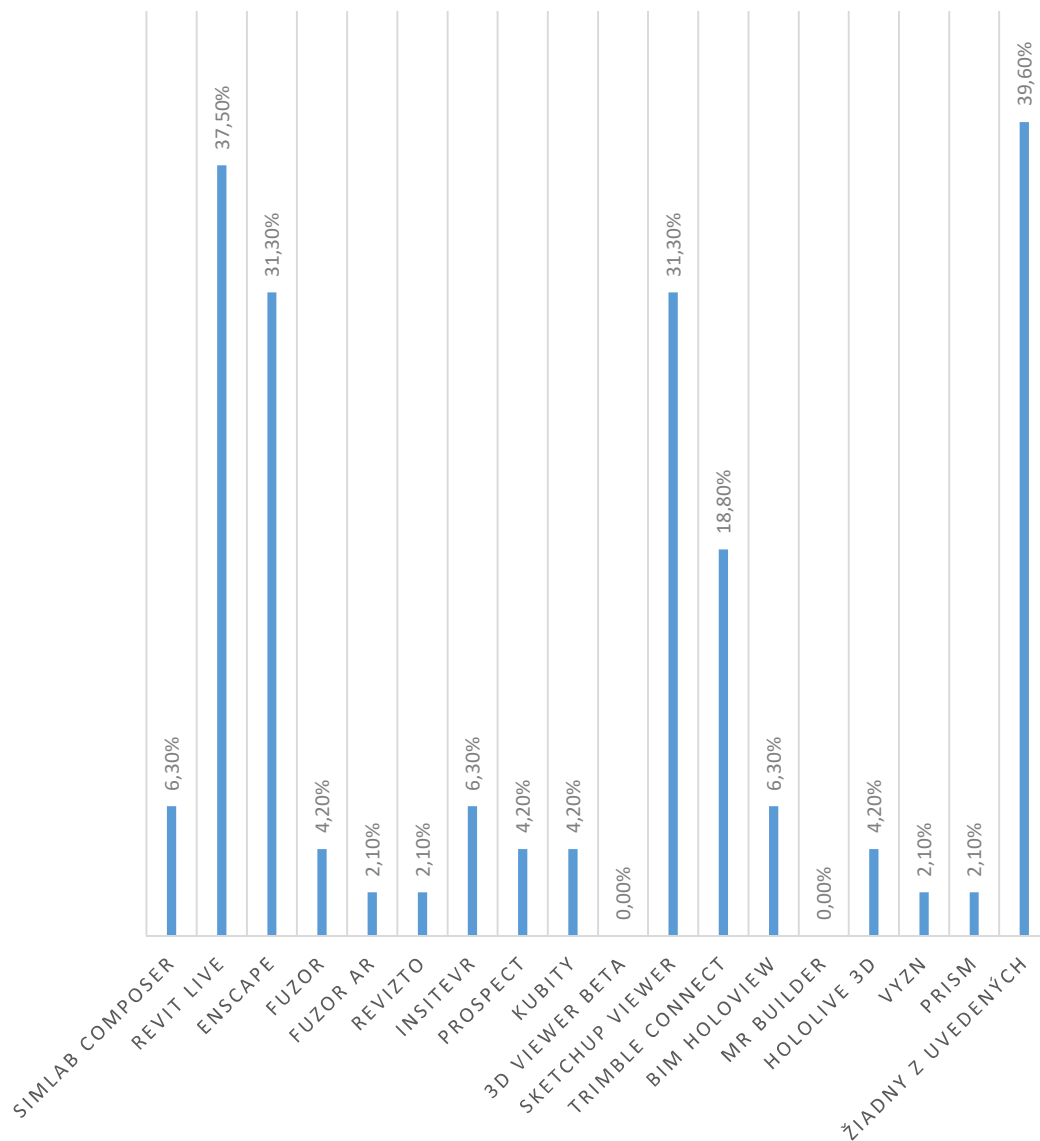
¹⁰³ <https://www.dalux.com/>

¹⁰⁴ <https://www.unrealengine.com/en-US/twinmotion>

¹⁰⁵ <https://thewild.com/integrations/bim-360>

Poznáte niektorý z nasledovných softvérov/aplikácií/pluginov pre virtuálnu a zmiešanú realitu v stavebníctve?

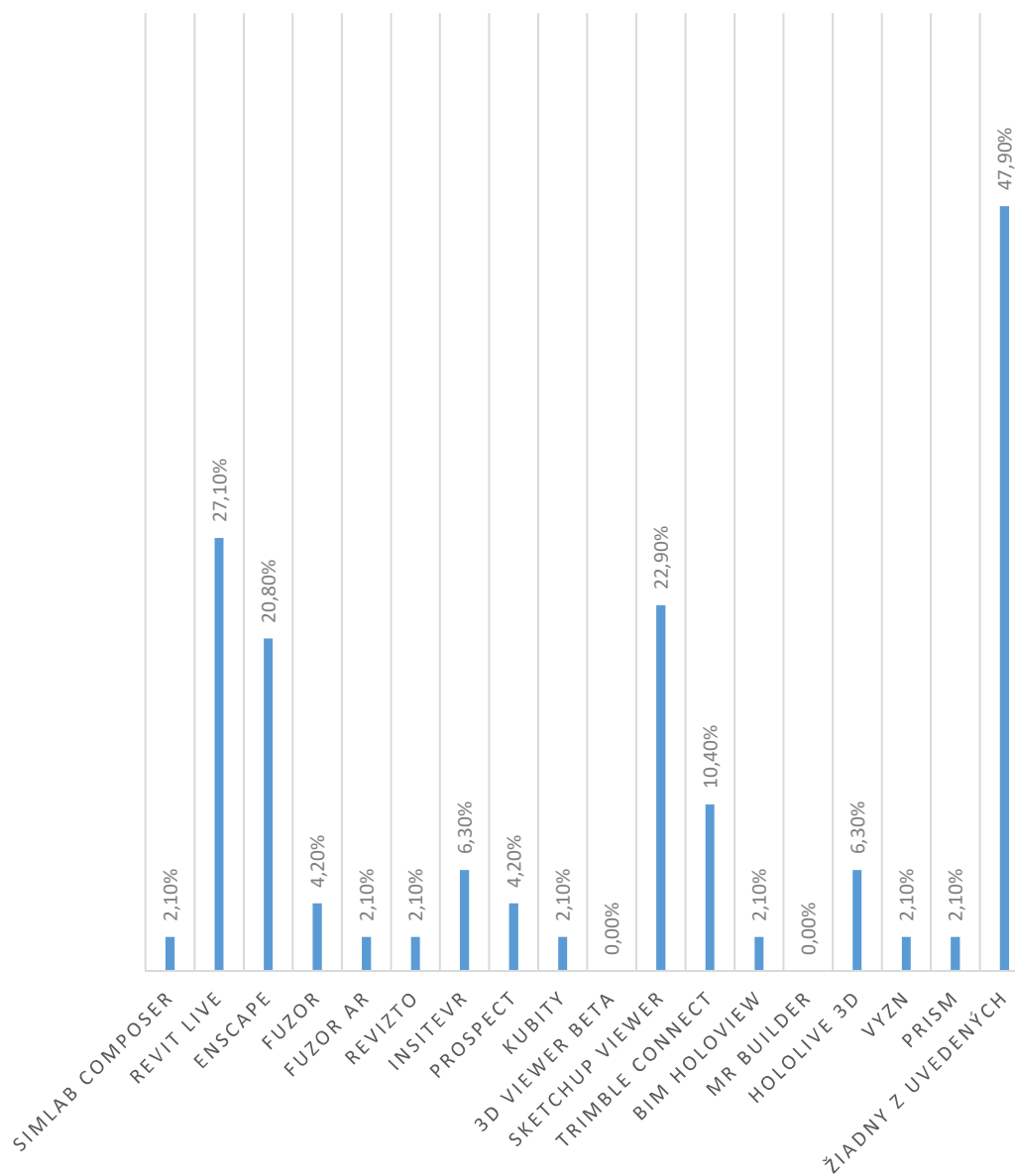
48 responses



Graf 8 (Lucia Benkovičová, 2021)

Ktoré z nich ste už niekedy vyskúšali?

48 responses



Graf 9 (Lucia Benkovičová, 2021)

Digitálna technológia ovplyvňuje množstvo sektorov po celom svete. Väčšina stavebných firiem funguje stále rovnakým spôsobom, ako pred desiatkami rokov. Svet sa však stále mení a je potrebné sa prispôbiť novým trendom. (LetsBuild, 2019) „*Man et al. tvrdí, že VR je jednou z troch najslubnejších počítačových technológií 21. storočia, spolu s internetovou a multimediálnou technológiou.*“ (Virtual Reality Meets Intelligence in Large Scale Architecture, 2017)

„*Zdá sa, že stojíme na prahu novej paradigmy komunikácie, ovládania a riadenia – a v jej centre sú imerzné médiá.*“ (Mendelová, 2019) 3D modely sú oveľa kvalitnejšie a zobrazujú realitu tak, ako nikdy predtým. Dajú sa kombinovať s VR, AR a BIM. Zmeny možno vykonávať v reálnom čase. Dnes je tiež možné sledovať priebeh prác z kancelárie a navzájom spolu komunikovať veľmi efektívnym a produktívnym spôsobom, bez potreby cestovať na vzdialené stavbniská. Väčšina súvisiaceho softvéru je založená na cloude, ktorý umožňuje prístupovať k dátam v reálnom čase. Odhaduje sa, že toto riešenie dokáže ušetriť stovky hodín ročne. Softvér pre manažment stavby tiež poskytuje transparentnosť - všetky fázy projektu sú nahrávané a strímované. Existujú analytické nástroje pre zvyšovanie produktivity, efektívnosti i počtu projektov. (LetsBuild, 2019)

Budúcnosť aktuálne predstavuje spracovanie modelov rýchlosti hry, implementácia algoritmov, generatívny dizajn/modelovanie¹⁰⁶ (vizuálne programovanie), ontológia nahrádzajúca štandardizáciu, hyper realita, neobmedzené sieťové odovzdávanie dátových informácií, internet vecí, 5G, prístupnosť všetkého online, zrušenie viacerých dátových úložísk, párovanie interakcie a automatizácie, umelá inteligencia a strojové učenie (Insight Strabag, 2019).

Mendelová (2019) tvrdí, že je pravdepodobné, že prvou fázou vývoja imerzných technológií v najbližších rokoch bude, okrem lacných VR heliem bez externého pripájania k PC, web VR, a že rozšírená realita jedného dňa nahradí inteligentné telefóny. Najprv však budú zrejme externé počítače nahradené silnými smartfónmi¹⁰⁷. Tie budú zbierať údaje z ľahkých okuliarov zobrazujúcich virtuálne objekty, schopných prepínať medzi VR a AR. Napokon nastúpia okuliare napojené na cloudové služby¹⁰⁸ a šošovky AR.

Startup Mojo Vision nedávno predstavil funkčné inteligentné kontaktné šošovky - prvý funkčný prototyp s AR na svete¹⁰⁹ (**Obrázok 10**). Umožňujú premietat' informácie do reálneho sveta, a to podľa potreby alebo požiadavky. Pre tento účel sú osadené drobným MicroLED displejom. Majú v sebe zabudované elektrické obvody, zreničku tvorí batéria, procesor, hardvér na detek-

¹⁰⁶ „*Generatívny model je model pre náhodné generovanie ohraničených hodnôt dát typicky vzhľadom na jednotlivé parametre konštrukčného návrhu... Typickými predstaviteľmi takýchto softvérov sú Grasshopper a Dynamo. Netvorí však len 3D geometriu, ale pomáhajú riešiť na základe algoritmov*“ napr. aj výpočty istých vlastností prvkov či celého systému. (Funtík, 2018)

¹⁰⁷ je tiež možné, že sa objavia VR služby, za ktorých využívanie sa bude platiť podobne ako za služby telefonické

¹⁰⁸ pre zdieľanie a strímovanie dát

¹⁰⁹ v najbližšom časovom období by mala byť k dispozícii reálna demonštračná verzia vložiteľná do oka (High-tech šošovky zobrazia aj text a umožnia vidieť v tme, 2020)

ciu okrajov, snímač obrazu a pohybu. V porovnaní s okuliarmi, bude obraz viditeľný aj po ztvorení očí. Disponujú najvyššou hustotou pixelov na svete (14 000 ppi¹¹⁰). „Batéria v šošovkách by mala vydržať celý deň a nabíjať by sa mala v noci, kedy sa dávajú kontaktné šošovky dole... Okrem tejto technológie sú šošovky vybavené aj senzorom na sledovanie pohybu očí či vyspelým stabilizátorom obrazu.“ (Šimovič, 2020) Hotový produkt by tiež mal mať rozhranie ovládateľné okom prepojené na údaje z inteligentných hodín alebo okuliarov (High-tech šošovky zobrazia aj text a umožnia vidieť v tme, 2020).



Obrázok 10 Očné šošovky podporujúce AR (Šimovič, 2020)

Zdá sa, že rozpoznávanie polohy očí¹¹¹ sa, skôr či neskôr, stane bežnou súčasťou zariadení VR a AR¹¹². Údaje získané týmto spôsobom budú umožňovať analýzu preferencií a reakcií na daný obsah, čo predstavuje silný marketingový nástroj.

Nové VR okuliare HTC VIVE Pro Eye¹¹³ už dnes disponujú inteligentným renderingom, ktorý „vykreslí grafiku s vysokým rozlíšením práve na mieste, kde sa pozeráme, a zároveň umožní počítaču „relaxovať“ tam, kde detail až tak netreba“ (Mendelová, 2019), podobne ako pri periférnom videní ľudského oka.

„Väčšina súčasných VR heliem momentálne zaznamenáva len polohu senzorov na helme a ovládačoch...“ (Mendelová, 2019) Tracking VR zariadení bude v budúcnosti používať priestorové skenovanie prostredia.

Cieľom publikácie bolo analyzovať súčasné potreby, nároky, možnosti, spôsoby, techniky uplatnenia a trendy využitia VR pre architektonické účely. Jej význam tkvie predovšetkým

¹¹⁰ „Iba pre porovnanie, smartfón s najvyššou hustotou pixelov je podľa stránky pixensity Sony Xperia XZ Premium s hodnotou 806 ppi, čo je zhruba 17-krát menej, ako v prípade šošoviek od Mojo Vision.“ (Šimovič, 2020)

¹¹¹ eye tracking

¹¹² v súčasnosti má vstavané len veľmi málo VR heliem

¹¹³ <https://www.vive.com/uk/product/vive-pro-eye/overview/>

vo vytvorení objektívneho, syntetického prehľadu súčasných dostupných poznatkov pre teóriu a najmä pri výkone povolania a uľahčenie orientácie sa v predmetnej problematike – pre stavebníkov, ale aj odborníkov v oblasti spracovania vizuálnych informácií vo forme aplikácií pre virtuálnu, rozšírenú či zmiešanú realitu, ako aj pre iné príbuzné profesie.

Problematika prekračuje rámec akademickej pôdy a má vysoký potenciál využitia v spoločenskej a hospodárskej praxi. Vykazuje tiež predpoklady pre multidisciplinárnu spoluprácu iných odborov.

Antialiasing: globálna alebo lokálna metóda na odstraňovanie chýb, resp. artefaktov napr. pri rasterizácii v priestorovej a časovej doméne, ktorými môžu byť napr. „zubaté“ hrany

Binaurálny: určený pre obe uši

Cave (systém): v preklade jaskyňa, veľká stereoskopická 3D projekcia VR výhodná pre možnosť využívania VR viac užívateľmi súčasne, viacero projekčných obrazoviek, resp. skupina projektorov, plne imerzívny systém, finančne nákladné riešenie

Chroma keying: postprodukčná technika vizuálnych efektov pre skladanie, resp. vrstvenie dvoch obrázkov alebo video strímov založená na farebných tónoch, používa sa na odstraňovanie pozadia

Cloud: internetové úložisko pre zdieľanie a strímovanie dát, *cloud computing*: ukladanie a prístup dátam a programom cez internet

Degree(s) of freedom (DOF): stupeň voľnosti udávajúci vôľu pohybu, zariadenia VR majú minimálne tri (pre orientáciu v priestore – 3 Eulerove uhly): pohyb hlavou hore-dolu, do strán a otáčanie (rotácia okolo osi X, Y a Z); väčšina špecializovaných systémov dnes dovoľuje voľný pohyb v priestore, vtedy hovoríme o šiestich stupňoch voľnosti (3 stupne pre orientáciu v priestore a 3 stupne pre pozíciu v priestore pre osi X, Y a Z)

Field of view (FOV): zorné pole, pre účely VR, AR alebo MR by malo byť čo najširšie – pre VR min. 110°

Fotogrametria: výpočet priestorových vzdialeností a 3D modelov iba z 2D fotografií, v súčasnosti veľmi rozšírená a populárna forma geometricky presného objektového a priestorového skenovania, najefektívnejšia v kombinácii s laserových skenovaním, predovšetkým pozemným, využívajú ju tzv. fotogrametrické softvéry¹¹⁴

Generatívny model: model pre náhodné generovanie ohraničených hodnôt dát typicky vzhľadom na jednotlivé parametre konštrukčného návrhu, typickými predstaviteľmi takýchto softvérov sú Grasshopper a Dynamo, netvorí však len 3D geometriu, ale pomáhajú riešiť na základe algoritmov napr. aj výpočty istých vlastností prvkov či celého systému

Headset (HMD, head mounted display): náhlavný displej, výraz pre VR okuliare

Herný engine: softvér (napr. Unity3D alebo Unreal Engine) navrhnutý na programovanie hier, použiteľný aj na vývoj priemyselných aplikácií VR a AR

Imerzné médiá (imerzné technológie): súhrnné označenie pre technológie virtuálnej, rozšírenej a zmiešanej reality, médiá, ktoré ľudí dokážu doslova „pohltnúť“, z lat. *immersio*

Laserové skenovanie (laser scanning): profesionálny spôsob dosiahnutia geometrickej presnosti fyzických objektov, vytvára tzv. mračná bodov (point clouds), terestrické (pozemné -

¹¹⁴ ku svetovej špičke posledné roky patrí softvér RealityCapture (od slovenskej spoločnosti Capturing Reality s.r.o.), na tvorbe tutoriálov ku ktorému, na lokalizácii a zákazníckej podpore ktorého sa v období rokov 2016 – 2020 primárne podieľala autorka tejto monografie; spoločnosť je od marca 2021 vo vlastníctve americkej spoločnosti [Epic Games](https://www.epicgames.com/capturingreality); [capturingreality.com](https://www.capturingreality.com)

terrestrial) je presnejšie ako letecké, umožňuje vytvárať detailné a tvarovo komplikované modely, presnosť laserových skenerov v súčasnosti dosahuje ± 2 mm pri vzdialenosti 25 m a naraz možno obsiahnuť 350 m, rýchlosť dosahuje nad 900 000 bodov za sekundu, modely je možné využiť vo virtuálnej, rozšírenej i zmiešanej realite; pozri aj *fotogrametria*, s ktorou sa dá kombinovať pre ešte lepšie výsledky

Motion sickness: pohybová nevoľnosť pri nedostatočnej frekvencii záznamu pozície vo VR súvisiaca s kognitívnou disonanciou (rozpor medzi videním a cítením spôsobený kinetózou, môže spôsobovať aj poruchu až stratu rovnováhy), v AR k nej nedochádza, pretože sa v nej vieme ľahko stabilizovať pohľadom na „pevnú“ realitu a zobrazovací proces je iný ako pri VR

Sférický: 360°-vý, panoramatický, napr. obrázkov alebo video

Statické vizualizácie: jedna z dvoch základných kategórií VR v stavebníctve, bez dynamiky užívateľa, ktorými sa nedá manipulovať v reálnom čase, nepohyblivé obrázky renderované z 3D modelu, ich kvalita závisí najmä od kvality renderingu a grafickej postprodukcie. Investor dnes prezentuje projekt primárne cez takéto druhy vizualizácií, opak dynamických vizualizácií

Tracking: sledovanie, resp. zaznamenávanie polohy, napr. očí, kurzora alebo pohybu človeka; *externý (outside-in):* systém infračervených vysielačov rozmiestnených v priestore, ktoré interagujú s helmou a ovládačmi, obmedzený na istú plochu, dodáva informácie o pohybe užívateľov, typický pre prvé VR zariadenia; *interný (inside-out):* snímanie okolia zvnútra navonok - z helmy von, umožňuje úplne voľný pohyb, a to bez potreby priameho prepojenia s PC, pretože výpočet scény prebieha priamo v nosenom zariadení, typický pre moderné VR zariadenia, výpočet však môže prebiehať aj v PC

Zoznam použitej literatúry

1. *Fuzor*. [Online] Kalloc Studios. [Dátum: 14. február 2020.] <https://www.kalloctech.com/>.
2. 3D Modeling Online Free | 3D Warehouse Models | SketchUp. *SketchUp*. [Online] Trimble. [Dátum: 15. február 2020.] <https://www.sketchup.com/products/sketchup-viewer>.
3. *A Generic Architecture of Augmented and Virtual Reality in Classrooms*. **Elkoubaiti, Houda - Mrabet, Radouane**. 2018. s.l. : IEEE, 2018. International Conference on Multimedia Computing and Systems - Proceedings. ENSIAS, Maroko. 8525976.
4. **BBC News**. 2016. 'Less than 1%' of PCs can run virtual reality. *BBC News*. [Online] 4. január 2016. [Dátum: 1. november 2019.] <https://www.bbc.com/news/technology-35220974>.
5. BIM collaboration tool for project coordination in real time. *revizto*. [Online] revizto. [Dátum: 14. február 2020.] <https://revizto.com/en/>.
6. BIM Holoview. *BIM Holoview*. [Online] BIM Holoview. [Dátum: 15. február 2020.] <http://www.bimholoview.com/>.
7. **Business Advantage**. 2018. New Trends and Technologies Impacting Design Review in AEC. *nvidia*. [Online] 2018. [Dátum: 1. november 2019.] <https://www.nvidia.com/content/g/pdfs/AEC-Design-Review-and-Technology-Interactive.pdf>.
8. **Design Visualization Team**. 2017. Why VR Will Become Part of Everyone's Architectural 3D Workflow. *AREA by Autodesk*. [Online] 22. január 2017. [Dátum: 1. november 2019.] blog 3ds Max. <https://area.autodesk.com/blogs/design-in-motion/from-3ds-max-to-vr/>.
9. *Digitalizácia stavebníctva – vízia a realita*. **Lelovský, Mário**. 2019. Bratislava : s.n., 2019.
10. **Ditrichová, Martina**. 2016. Capturing Reality – spoločnosť budúcnosti zo Slovenska, ktorá ponúka softvér na modelovanie 3D objektov. *STARTITUP*. [Online] 3. august 2016. [Dátum: 1. november 2019.] <https://www.startitup.sk/capturing-reality-spolocnost-buducnosti-zo-slovenska-ktora-ponuka-softver-na-modelovanie-3d-objektov/>.
11. Enscape - Real-Time Rendering for Revit, SketchUp, Rhino & ArchiCad. *Enscape*. [Online] Enscape. [Dátum: 14. február 2020.] <https://enscape3d.com/>.
12. *Forgotten Industrial Heritage in Virtual Reality—Case Study: Old Power Plant in Piešťany, Slovakia*. **Hain, Vladimír - Ganobjak, Michal**. 2018. 4, 2018, Presence: Teleoperators and Virtual Environments, Zv. 26, s. 355-365. 1054-7460.
13. *Formulácia požiadaviek na BIM projekt*. **Funtík, Tomáš**. 2018. 4, Bratislava : Eurostav, 12. apríl 2018, s. 52-53. 1335-1249.

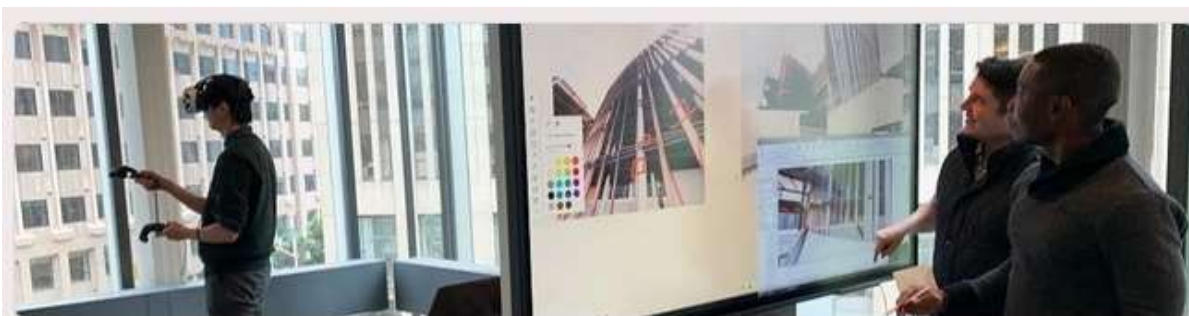
14. **Fujitsu. 2017.** Virtual reality for professionals. *nvidia*. [Online] 26. október 2017. [Dátum: 1. november 2019.] <https://www.nvidia.com/content/dam/en-zz/Solutions/design-visualization/solutions/vr/br-Fujitsu-Develop3D-Special-Report-Virtual-Reality.pdf>.
15. **Funtík, Tomáš a kol. 2018.** *BIM: Building Information Modeling*. Bratislava : Eurostav, 2018. ISBN 978-80-89228-56-0.
16. **Fuzor. 2018.** Fuzor. *Fuzor*. [Online] 30. november 2018. [Dátum: 26. december 2020.] <https://www.kalloctech.com/support.jsp#linkgDevice>.
17. **Game Development Services. 2019.** What are the 7 Best uses for Augmented Reality, Virtual Reality and Mixed Reality software development? *Medium*. [Online] 17. júl 2019. [Dátum: 18. február 2020.] <https://medium.com/@officialchetumarketing/what-are-the-7-best-usage-for-augmented-reality-virtual-reality-and-mixed-reality-software-3608729c9bb3>.
18. Get 3D Viewer Beta - Microsoft Store. *Store*. [Online] Microsoft. [Dátum: 15. február 2020.] <https://www.microsoft.com/en-us/p/3d-viewer-beta/9nblggh5pm4z?activetab=pivot:overviewtab>.
19. Get Fuzor AR - Microsoft Store. *Store*. [Online] Microsoft. [Dátum: 15. február 2020.] <https://www.microsoft.com/en-us/p/fuzor-ar/9p54zgrrz8bl?activetab=pivot:overviewtab>.
20. **Hajtmanek, Roman. 2019.** Subjektivita virtuálnej architektúry. *CRZP - Prehliadanie prác*. [Online] 2019. [Dátum: 26. december 2020.] <http://opac.crzp.sk/?fn=docviewChild000532AD.FA-10804-43313>.
21. *Health Safety Training for Industry in Virtual Reality*. **Lacko, Ján. 2020.** Velké Karlovice : IEEE, 2020.
22. *High-tech šošovky zobrazia aj text a umožnia vidieť v tme*. **2020.** 1-2, 2020, Nextech, s. 4. 1335-0226.
23. **Hill, Drew M. 2019.** *How Virtual Reality Impacts the Landscape Architecture Design Process at Various Scales*. s.l. : All Graduate Theses and Dissertations, Utah State University, august 2019. 7519.
24. Homepage | Trimble Connect. *Trimble Connect*. [Online] Trimble. [Dátum: 15. február 2020.] <https://connect.trimble.com/>.
25. **Huang, Yilei a kol. 2019.** *Comparing the Functionality between Virtual Reality and Mixed Reality for Architecture and Construction Uses*. s.l. : Journal of Civil Engineering and Architecture, Department of Construction & Operations Management, South Dakota State University, 2019. Zv. 13. 409-414.
26. *Industrial heritage education and user tracking in virtual reality*. **Hain, Vladimír - Hajtmanek, Roman. 2019.** London, UK : IntechOpen, 2019. Virtual Reality. s. 56-65. 978-1-83880-861-7.
27. *Insight Strabag*. **Strohal, Theodor Sansakrit. 2019.** Bratislava : s.n., 2019.

28. InsiteVR. *InsiteVR*. [Online] InsiteVR. [Dátum: 14. február 2020.] <https://www.insitevr.com/>.
29. **Ivanová-Šalingová, Mária - Maníková, Zuzana. 1983.** *Slovník cudzích slov*. Bratislava : Slovenské pedagogické nakladateľstvo, 1983. druhé, revidované vydanie.
30. **Jazykovedný ústav Ľ. Štúra SAV. 2003.** *Krátky slovník slovenského jazyka*. Bratislava : s.n., 2003.
31. —. **2005.** *Slovníkový portál Jazykovedného ústavu Ľ. Štúra SAV*. Bratislava : s.n., 2005.
32. Kubity | AI-powered Interactive 3D Models from your SketchUp. *kubity*. [Online] kubity. [Dátum: 14. február 2020.] <https://pro.kubity.com/>.
33. **Kučera, Erik. 2019.** Prednaska 11 VR_0.pdf. Bratislava : s.n., 2019. predmet Programovanie GUI.
34. **Lang, Ben. 2020.** Road to VR. *Analysis: An Estimated 58 Million Steam Users Now Have VR Ready Graphics Cards* . [Online] 9. máj 2020. [Dátum: 7. marec 2021.] <https://www.roadtovr.com/estimated-25-million-steam-users-now-vr-ready-gpus>.
35. **Lawrie, Eleanor. 2020.** What went wrong with virtual reality? *BBC News*. [Online] 10. január 2020. [Dátum: 21. február 2021.] <https://www.bbc.com/news/business-50265414>.
36. **Lea, Kevin. 2019.** *The Benefits of BIM Are Now Proven*. s.l. : GEO4construction, 1. november 2019.
37. **LetsBuild. 2019.** *How digital technology is changing the construction industry*. s.l. : LetsBuild, 1. máj 2019.
38. **Lorenzo-Eiroa, Pablo - Sprecher Aaron. 2013.** *Architecture in Formation: On the Nature of Information in Digital Architecture*. New York : Routledge, 2013. ISBN 978-0-415-53490-1.
39. *Ľudský faktor v inovácii stavebného procesu založeného na príkladoch implementácie BIM*. **Świerz, Marcin. 2019.** Bratislava : Eurostav, 2019. BIM a digitalizácia v stavebníctve. s. 10.
40. **Lugmayr, Luigi. 2016.** BIM Tools, Virtual Reality And Wearables Safe Construction Workers Lives. *I4U News*. [Online] 17. október 2016. [Dátum: 1. november 2019.] <https://www.i4u.com/2016/10/116315/bim-tools-virtual-reality-and-wearables-safe-construction-workers-lives>.
41. **Mendelová, Lucia. 2019.** *Realita virtuálna*. Krásno nad Kysucou : Kalligram, 2019. 978-80-89916-79-5.
42. *Mixed reality in the presentation of industrial heritage development*. **Hain, Vladimír - Hajtmanek, Roman. 2020.** London, UK : IntechOpen, 2020. Mixed Reality and Three-Dimensional Computer Graphics. s. 102-127. 978-1-83962-622-7.

43. **Mottle, Jeff. 2016.** Virtual Reality in Arch Viz - Hype or Reality? *CGarchitect - Professional 3D Architectural Visualization User Community*. [Online] 5. júl 2016. [Dátum: 1. november 2019.] <http://www.cgarchitect.com/2016/07/virtual-reality-in-arch-viz---hype-or-reality>.
44. MR Builder. [Online] Holo Group. [Dátum: 15. február 2020.] <http://www.mrbuilder.pro/>.
45. **Nam, SanHun a kol. 2018.** *A Study on the Architecture of Virtual Reality System for Art*. s.l., Južná Kórea : International Journal of Advanced Science and Technology, Department of Newmedia, Seoul Media Institute of Technology, 2018. Zv. 114.
46. **Nova, Maria. 2018.** *Medium*. 13. február 2018. 4R's or get your head around Virtuality Continuum.
47. **NVIDIA Corporation. 2018.** Quadro for AEC Brochure. *Leading-edge solutions for AEC workflows*. [Online] november 2018. [Dátum: 25. december 2020.] <https://www.nvidia.com/content/dam/en-zz/Solutions/design-visualization/industries/architecture-eng-const/quadro-aec-brochure-us-nvidia-681410-FNL-web-nov.pdf>.
48. —. **2018.** The future of storytelling starts now. *Quadro for Media and Entertainment Brochure*. [Online] 18. november 2018. [Dátum: 1. november 2019.] <https://resources.nvidia.com/en-us-media-and-entertainment/photorealistic-rendering-brochure>.
49. **NVIDIA. 2019.** ROCKING DESIGN REVIEWS WITH VIRTUAL REALITY. *NVIDIA*. [Online] január 2019. [Dátum: 1. november 2019.] <https://info.nvidia.com/suffolk-yates-aec-reg-page.html>.
50. Object Theory - Platform. *object theory*. [Online] Object Theory. [Dátum: 15. február 2020.] <https://objecttheory.com/platform/>.
51. *Od digitálneho navrhovania po digitálne stavenisko, čo bolo a čo nás (pravdepodobne) neminie*. **Moravčík, Štefan. 2019.** Bratislava : Eurostav, 2019. BIM a digitalizácia v stavebníctve. s. 9.
52. Prospect - Immersive VR Walkthroughs | View 3D Models in VR. *IrisVR*. [Online] IrisVR. [Dátum: 14. február 2020.] <https://irisvr.com/prospect/>.
53. *Relief Mapping on Facade of Sino Portuguese Architecture in Virtual Reality*. **Kalarat, Kosin. 2014.** s.l. : DICTAP, 2014. 4th International Conference on Digital Information and Communication Technology and Its Applications. s. 333-336. 6821706.
54. Revit Live | Immersive Architectural Visualization | Autodesk. *Autodesk*. [Online] Autodesk. [Dátum: 14. február 2020.] <https://www.autodesk.com/products/revit-live/overview>.
55. **Riley, Thomas. 2017.** *nvidia*. 30. marec 2017. NVIDIA-Powered VR Slices and Dices Guesswork Out of IKEA Kitchen Remodels.

56. Simlab Cmposer Features. *SimLab Soft*. [Online] SimLab. [Dátum: 14. február 2020.] <https://www.simlab-soft.com/3d-products/simlab-composer-main.aspx>.
57. **SmartVizX. 2019.** Meet Trezi: the VR-first architectural design visualization and collaboration platform. *Unreal Engine*. [Online] 20. september 2019. [Dátum: 18. február 2020.] <https://www.unrealengine.com/en-US/spotlights/meet-trezi-the-vr-first-architectural-design-visualization-and-collaboration-platform>.
58. **Song, Jialu - Huang, Sijia. 2018.** s.l. : ICCT, 2018. MATEC Web of Conferences. Zv. 227. Sichuan Agricultural University. 02005.
59. **Šimovič, Mário. 2020.** *Toto sú vôbec prvé kontaktné šošovky s rozšírenou realitou. Majú najjemnejší displej na svete.* s.l. : FONTECH Startitup, 17. január 2020.
60. **Šramka Miron - Lacko, Ján - Ružický, Eugen - Mašán Ján. 2020.** Combined methods of rehabilitation of patients after stroke: virtual reality and traditional approach. *Neuroendocrinology Letters*. 2. júl 2020, Zv. 41, 3.
61. *Using virtual reality for prototyping interactive architecture.* **Wolf, Katrin a kol. 2017.** Stuttgart : MUM, 2017. Proceedings of the 16th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia. s. 457-464. 978-1-4503-5378-6/17/11.
62. **Vaško, Imrich. 2014.** *Architektúra pohyblivého obrazu.* Praha : UMRUM, 2014. ISBN 978-80-86863-88-7.
63. *Virtual Reality as a Tool.* **Loures Brandão, Guilherme Valle a kol. 2018.** s.l. : LNCS, 2018. Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics). s. 73-82. 10919.
64. *Virtual Reality Meets Intelligence in Large Scale Architecture.* **Kose, Ahmet a kol. 2017.** s.l. : LNCS, 2017. Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics). s. 297-309. 10325.
65. VisualLive | Push 3D content to HoloLens / Mobile / VR. *VisualLive*. [Online] VisualLive. [Dátum: 15. február 2020.] <https://www.visuallive.com/products>.
66. *VR + BIM v stavebníctve.* **Krč, Juraj. 2019.** Bratislava : s.n., 2019.
67. Vyzn. *Vyzn*. [Online] Zengalt. [Dátum: 15. február 2020.] <https://vyzn.io/>.
68. **Wang, Peng a kol. 2018.** *A Critical Review of the Use of Virtual Reality in Construction Engineering Education and Training.* Improving Safety, Health, and Wellbeing in Construction, Chongqing, Čína : International Journal of Environmental Research and Public Health, School of Engineering and Technology, Southwest University, jún 2018. Zv. 15. 1204.
69. **Watson, Martin. 2016.** Virtual Reality in Construction! *theBIMhub*. [Online] 4. máj 2016. [Dátum: 1. november 2019.] <https://thebimhub.com/2016/05/04/virtual-reality-in-construction/#.XbwlTdVCeUm>.
70. **Whyte, Jennifer. 2003.** *Industrial applications of virtual reality in architecture and construction.* [ed.] Kalle Kahkonen. s.l. : ITcon, máj 2003. Zv. 8.

71. **Wikipedia. 2020.** Chroma key - Wikipedia. *Wikipedia*. [Online] 2020. [Datum: 18. február 2020.] https://en.wikipedia.org/wiki/Chroma_key.
72. **Zhu, Henry. 2015.** How This 150-Year-Old Company Uses Virtual Reality. *theBIMhub*. [Online] 23. november 2015. [Datum: 1. november 2019.] zdroj: <https://fortune.com/2015/08/25/mccarthy-construction-vr/>.
<https://thebimhub.com/2015/11/23/how-this-150-year-old-company-uses-virtual-reality/#.Xbwg59VCeUl>.
73. **Žára, Jiří a kol. 2004.** *Moderní počítačová grafika*. Brno : Computer Press, 2004. ISBN 80-251-0454-0.



Dotazníkový prieskum o využívaní virtuálnej reality (VR) v stavebníctve

Tento krátky dotazník je realizovaný ako jeden z výstupov bakalárskej práce Virtuálna realita v architektúre realizovanej na Fakulte informatiky PEVŠ v Bratislave k akademickom roku 2019/2020.

Získané údaje nebudú nijakým spôsobom spájané ani uvádzané s konkrétnou osobou.

Predbežný termín ukončenia zberu údajov: 17.4.2020. Ďakujem za včasné vyplnenie a zdieľanie s relevantnými respondentmi.

Realizátorka: <https://www.linkedin.com/in/lubenko/>

* Required

Aký je Váš súčasný zamestnanecký status? *

- Študent architektúry alebo súvisiaceho odboru
- V praxi činný architekt/projektant alebo v súvisiacej profesii
- Pedagóg/školiťel' v oblasti architektúry alebo súvisiaceho odboru
- Výskumný pracovník v odbore architektúra alebo súvisiacom
- Projektový manažér v oblasti architektúry
- Vedúci stavebnej spoločnosti
- Stavebný developer
- Stavbyvedúci
- Stavebný robotník/montážnik
- Stavebný technik
- Správca budov(y)
- BIM špecialista
- Rozpočtár/prípravár stavieb
- Realitný maklér
- Asistent
- Iný

V prípade voľby Iný, prosím špecifikujte:

Your answer _____

Vyberte možnosť, ktorá najlepšie vystihuje Vašu súčasnú situáciu: *

- Využívam(e) VR pre architektonické účely
- Plánujem(e) začať využívať VR pre architektonické účely
- Zvažujem(e) používať VR pre architektonické účely
- Nemám(e) záujem využívať VR pre architektonické účely

Aká je Vaša motivácia využívania VR v architektúre? *

- Marketing a predaj
- Dizajn virtuálneho priestoru
- Overenie a posudzovanie návrhu
- Virtuálna spolupráca na projekte
- Plánovanie výstavby
- Manažment na stavenisku
- Koordinácia detailov
- Simulácia výstavby a prevádzky
- Interakcia s klientom
- Demonštrácia technických kompetencií
- Školenia a výuka
- Správa budov
- Veda a výskum
- Žiadna
- Iné

V prípade voľby Iné, prosím špecifikujte:

Your answer _____

Máte skúsenosť s niektorou z týchto foriem využitia VR v architektúre? *

- Marketing a predaj
- Dizajn virtuálneho priestoru
- Overenie a posudzovanie návrhu
- Virtuálna spolupráca na projekte
- Plánovanie výstavby
- Manažment na stavenisku
- Koordinácia detailov
- Simulácia výstavby a prevádzky
- Interakcia s klientom
- Demonštrácia technických kompetencií
- Školenia a výuka
- Správa budov
- Veda a výskum
- Žiadna
- Iné

V prípade voľby Iné, prosím špecifikujte:

Your answer _____

Aký druh preferujete? *

- Virtuálna realita
- Rozšírená realita
- Zmiešaná realita
- Nepoznám rozdiel
- Bez preferencie

Považujete VR za nástroj užitočný pre Vašu prácu? *

- Áno
- Nie

Považujete VR za efektívny komunikačný nástroj na prezentáciu svojich nápadov/návrhov, vrátane spolupráce v rámci architektonického tímu? *

- Áno
- Nie

Aké sú architektonické projekty, pri ktorých využívate, chcete používať alebo by ste zvažovali aplikovať VR? *

- Malé
- Veľké
- Bez ohľadu na veľkosť

Zmenila v niečom VR Váš prístup či postoj k architektonickému navrhovaniu? *

- Áno
- Nie

V prípade voľby Áno, prosím špecifikujte:

Your answer _____

Aký hardvér používate pre VR? *

- Počítač so základným príslušenstvom
- Špeciálne okuliare/helmy
- Smartfón
- Špeciálne rukavice
- Špeciálny oblek
- Stenový projektor
- Reproduktory
- Playstation
- Žiadny
- Iný

V prípade voľby Iný, prosím špecifikujte:

Your answer _____

Poznáte niektorý z nasledovných softvérov/aplikácií/pluginov pre virtuálnu a zmiešanú realitu v stavebníctve? *

- SimLab Composer
- Revit Live
- Enscape
- Fuzor
- Fuzor AR
- Revizto
- InsiteVR
- Prospect
- Kubity
- 3D Viewer Beta
- SketchUp Viewer
- Trimble Connect
- BIM Holoview
- MR Builder
- HoloLive 3D
- Vyzn
- Prism
- Žiadny z uvedených

Ktoré z nich ste už niekedy vyskúšali? *

- SimLab Composer
- Revit Live
- Enscape
- Fuzor
- Fuzor AR
- Revizto
- InsiteVR
- Prospect
- Kubity
- 3D Viewer Beta
- SketchUp Viewer
- Trimble Connect
- BIM Holoview
- MR Builder
- HoloLive 3D
- Vyzn
- Prism
- Žiadny z uvedených

Aké vnímate prekážky pre používanie VR v stavebníctve?

Your answer

Priestor pre Vaše postrehy a pripomienky:

Your answer

Submit

Page 1 of 1

Never submit passwords through Google Forms.

This content is neither created nor endorsed by Google. [Report Abuse](#) - [Terms of Service](#) - [Privacy Policy](#)

Google Forms

O autorke



Bc. Ing. arch. Lucia Benkovičová, PhD.

Je absolventkou Fakulty architektúry STU v Bratislave (od septembra 2020 Fakulta architektúry a dizajnu) a Fakulty informatiky PEVŠ v Bratislave. Študovala v 6 krajinách. Titul PhD. získala v odbore Architektúra. V rámci odboru Aplikovaná informatika získala špecializáciu na *Technológie virtuálnej reality a dizajn*. Má 9 rokov skúseností v projekčnej praxi, 5 rokov vo výskume a 4 roky v softvérovej sfére. Vystupovala ako pozvaná spíkerka na 6. ročníku medzinárodnej odbornej konferencie *BIM a digitalizácia v stavebníctve* vydavateľstva Eurostav. Je autorkou 1 vedeckej monografie, 1 učebných textov (odbornej príručky) a množstva článkov. Je výkonnou a technickou redaktorkou medzinárodného vedeckého recenzovaného časopisu *Architecture Papers of the Faculty of Architecture and Design STU (ALFA)* a expertkou registrovanou v databáze Agentúry na podporu výskumu a vývoja a Európskej komisie.

Bc. Ing. arch. Lucia Benkovičová, PhD.

VIRTUÁLNA, ROZŠÍRENÁ A ZMIEŠANÁ REALITA V ARCHITEKTÚRE

Vydala Slovenská technická univerzita v Bratislave vo Vydavateľstve SPEKTRUM STU, Bratislava, Vazovova 5, v roku 2021.

Edícia skrípt

Rozsah 74 strán, 58 obrázkov, 4 tabuľky, 5,718 AH, 5,870 VH, 1. vydanie, edičné číslo 6092, vydané v elektronickej forme.

85 – 226 – 2021

ISBN 978-80-227-5132-2