

## Vplyv umelej inteligencie na vizuálnu rekonštrukciu archeologických nálezísk

Patrik HALADEJ

### Abstrakt

V tomto konferenčnom príspevku sa zameriame na využívanie umelej inteligencie v kontexte archeológie, konkrétne na rekonštrukciu archeologických nálezísk pomocou nástrojov umelej inteligencie. V úvode budeme hovoriť o spôsobe, akým sa umelá inteligencia v archeológii využíva. V prvej a druhej kapitole sa budeme venovať prípadovým štúdiám využitia umelej inteligencie v rekonštrukcii archeologických nálezísk, konkrétne digitálne rekonštrukcia Angkor Wat a projekt GlobalXplorer. V tretej kapitole budeme porovnávať nástroje umelej inteligencie, ktorá sa využívajú pri skúmaní archeologických nálezísk.

### Kľúčové slová

Umelá inteligencia. Archeológia. Vizuálna rekonštrukcia. Archeologické náleziská.

### Abstract

In this conference contribution, we will focus on the use of artificial intelligence in the context of archaeology, specifically on the reconstruction of archaeological sites using artificial intelligence tools. In the introduction, we will talk about the way in which artificial intelligence is used in archaeology. This will be followed by case studies of the use of artificial intelligence in the reconstruction of archaeological sites, specifically the digital reconstruction of Angkor Wat and the GlobalXplorer project. In the conclusion, we will compare artificial intelligence tools used in the investigation of archaeological sites.



## Keywords

Artificial intelligence. Archaeology. Visual reconstruction. Archaeological sites.

## Úvod

Umelá inteligencia v dnešnej dobe zasahuje už takmer do všetkých oblastí každodenných životov ľudí po celom svete. Tento fenomén 21. storočia neobišiel ani archeológov. Práca archeológa môže byť veľmi časovo náročná, hlavne čo sa týka objavovania nových archeologických nálezísk. Práve v tomto bode práce archeológa môže byť umelá inteligencia veľmi nápomocná. Má za úlohu nahradiť ľudskú činnosť pri odhaľovaní nových potenciálnych archeologických nálezísk. Archeológovia sa tým pádom môžu zamerať už na konkrétne miesta, kde by sa náleziská mohli nachádzať, bez toho, aby strávili desiatky, možno dokonca stovky hodín terénnym hľadaním takýchto miest. Cieľom tohto konferenčného príspevku bude oboznámiť čitateľa s možnosťami, ktoré ponúka umelá inteligencia v oblasti archeológie, aké technológie sa aktuálne využívajú, v akých reálnych projektoch tieto technológie boli využité.

Archeológia je len jednou z mnohých disciplín, ktoré umelá inteligencia transformuje. AI poskytuje nové nástroje a metódy, ktoré môžu archeológovia použiť na lepšie pochopenie a odhalenie ľudskej histórie, urýchlenie výskumu a ochranu nášho kultúrneho dedičstva. Archeológia sa tradične spolieha na starostlivé manuálne metódy objavovania, dokumentovania a analýzu historických artefaktov a lokalít. Tieto metódy, hoci sú účinné, môžu byť časovo náročné a náchylné na ľudské chyby. AI so svojou schopnosťou rýchlo a presne spracovať veľké množstvo údajov pomáha transformovať tieto procesy (Needhi 2024).

Integrácia AI do archeológie pomáha výskumníkom odhaľovať skryté miesta, analyzovať artefakty s väčšou presnosťou a dokonca predpovedať, kde by sa mohli nachádzať budúce objavy. Jednou z najčastejšie využívaných techník AI pri objavovaní miest a celkovo v archeológii je prediktívne modelovanie. Prediktívne modelovanie využíva algoritmy AI na obrovské množstvo údajov a predpovedanie, kde môžu nachádzať archeologické náleziská.



Hľadáním vzorov v historických, geografických a environmentálnych údajoch môže AI nájsť prehliadnuté možné miesta vykopávok (Vina 2024).

Prediktívne modelovanie zahŕňa tri kroky – zber údajov, rozpoznávanie vzorov a predpoveď. Na začiatku celého procesu je zhromažďovanie obrovského množstva údajov z rôznych zdrojov. Patria sem napríklad satelitné snímky, klimatické údaje, geografické informačné systémy, mapy zloženia pôdy a dokonca aj historické záznamy a texty. Nasleduje druhý krok, ktorým je rozpoznávanie vzorov. Algoritmy strojového učenia majú za úlohu analyzovať súbory údajov, aby identifikovali vzory a korelácie. Napríklad, ak sa v blízkosti vodných zdrojov alebo na určitých typoch terénu našiel značný počet starých osád, AI tieto trendy zistí a použije ich na predpovede. To je zároveň aj tretí, posledný krok prediktívneho modelovania. AI dokáže pomocou identifikovaných vzorov predpovedať, kde sa môžu nachádzať neobjavené archeologické náleziská. Vytvára teplotné mapy alebo prediktívne modely, ktoré zvyrazňujú potenciálne miesta vykopávok (Gonzalez 2023).



Obrázok 1 3D model Palmiyya v Sýrii (Vina 2024)

Prediktívne modelovanie prináša niekoľko výhod, pričom ide hlavne o efektívnosť, nákladovú efektívnosť, uchovávanie a široký rozsah. Čo sa týka efektivity, tradičné archeologické metódy,



ktoré boli využívané v minulosti, môžu byť časovo náročné a veľmi pracné. Vďaka prediktívnemu modelovaniu sú archeológovia nasmerovaní na najslubnejšie lokality, kde by sa mohli nachádzať náleziská, a tým sa výrazne urýchľuje proces ich vyhľadávania a odhaľovania. Vďaka tomu je možné lepšie pridelovanie zdrojov a financovania, čím sa archeologické projekty stávajú udržateľnejšími (Vina 2024).

Ďalšou výhodou prediktívneho modelovania je uchovávanie. Prediktívne modelovanie pomáha zachovať jemné historické artefakty a štruktúry identifikáciou lokalít bez rozsiahleho výkopu. Tento neinvazívny prístup zabezpečuje, že lokality zostanú nedotknuté pre budúce štúdiá a cestovný ruch. Štvrtým krokom je široký rozsah. AI dokáže spracovať veľké množstvo údajov, ktoré by ľudia museli analyzovať manuálne. Táto schopnosť umožňuje preskúmať veľké, odľahlé oblasti, ktoré môžu zostať nepreskúmané (Gonzalez 2023).

## **Digitálna rekonštrukcia Angkor Wat**

Digitálna rekonštrukcia Angkor Wat, ktorá bola vykonaná za pomoci umelej inteligencie predstavuje jeden z najsofistikovanejších prístupov pri snahe o zachovávanie a šírenie kultúrneho dedičstva vďaka využívaniu moderných technológií, ktoré prináša 21. storočie. Angkor Wat je chrámový komplex vybudovaný v Kambodži počas 12. storočia za vlády khmerského impéria a je považovaný za jedno z najvýznamnejších historických miest na svete. O pokročilej kultúre, umení a architektúre starovekých Khméroov vypovedajú komplexné reliéfy, architektonické prvky a monumentalita tohto chrámu. Avšak kvôli vplyvu prírodných živlov a zásahov ľudskej činnosti mnoho častí tohto komplexu utrpelo výrazné poškodenia. Práve z tohto dôvodu je rekonštrukcia a pokus o zachovanie Angkor Wat kritickým cieľom nielen pre Kambodžu, ale aj pre celosvetové kultúrne dedičstvo (Angkor ©1992-2024).





Obrázok 2 Angkor (Unesco ©1992-2024)

AI v tomto projekte umožnila využitie digitálnych technológií na precízne spracovanie údajov, vďaka čomu bolo možné virtuálne zrekonštruovať chrám Angkor Wat tak, aby vyzeral ako počas časov svojej najväčšej slávy. Východiskovým bodom v tomto projekte bol zber obrazových údajov pomocou fotogrametických metód, kedy boli využité špeciálne drony a vysokokvalitné kamery, ktoré snímali chrám spolu s jeho okolím z rôznych uhlov. Tieto fotografie boli následne spracované pomocou AI algoritmov, ktoré sú schopné identifikovať vzory a tvary zo štruktúr chrámu, dokonca aj z takých častí, ktoré boli poškodené alebo inak zdeformované (Visualising Angkor: Part ... 2024).

Hlavný prínos, ktorý umelá inteligencia priniesla do tohto projektu, spočíva v schopnosti analyzovať veľké množstvo vizuálnych údajov a na ich základe vyvodíť súvislosti medzi rôznymi črtami chrámu. Využité boli napríklad algoritmy neurónových sietí, ktoré boli



špeciálne navrhnuté tak, aby dokázali rozpoznať vizuálne vzory a identifikovať symetrické prvky, ktoré by inak boli pre ľudský zrak len veľmi ťažko rozoznateľné. Tieto algoritmy pracovali na základe podobnosti poškodených reliéfov a dekorácií s inými časťami chrámu Angkor Wat a boli schopné ich rekonštruovať (Chandler, McKee, Wilson, Yeates, Polkinghorne 2018).



Obrázok 3 Digitálna rekonštrukcia Angkor Wat (Virtualangkor 2024)

Virtuálny Angkor je komplexná, interaktívna, vizuálna reprezentácia života v predmodernom Angkore a pozostáva z troch odlišných aplikácií, ktoré sú všetky zostavené v Unity. Prvou aplikáciou je simulácia 24-hodinového cyklu v Angkor Wat, ktorej cieľom je vizualizovať každodennú prevádzku komplexu pred takmer tisícročím. Súčasná archeologická odhady naznačujú, že na vrchole komplexu Angkor Wat pracovalo viac ako 20 000 zamestnancov, ktorí boli zase podporovaní populáciou až 125 000 ľudí. Zatiaľ čo historici zvyčajne modelujú udalosti v priebehu rokov alebo storočí, časový rámec simulácie Virtual Angkor je 24 hodín. Predstavuje veľkú populáciu autonómnych „agentov“, teda pôvodných animovaných postáv, podľa algoritmov hľadania cesty (Virtual Angkor 2024).

Druhou aplikáciou je interaktívna navigačná virtuálna mapa Angkoru, ktorá sa rozprestiera na ploche takmer 3 500 štvorcových kilometrov. Ide o komplexný zdroj, ktorý zahŕňa prvky od krajinej mierky až po úroveň jednotlivých domácností a artefaktov v archeologických



záznamoch. Treťou aplikáciou je zážitok z virtuálnej reality Angkoru. Ide o prispôsobenú kartografiu virtuálnej mapy pre prehliadač virtuálnej reality. Vďaka náhlavnej súprave VR sa môžete prechádzať po celej virtuálnej mape (Virtual Angkor 2024).



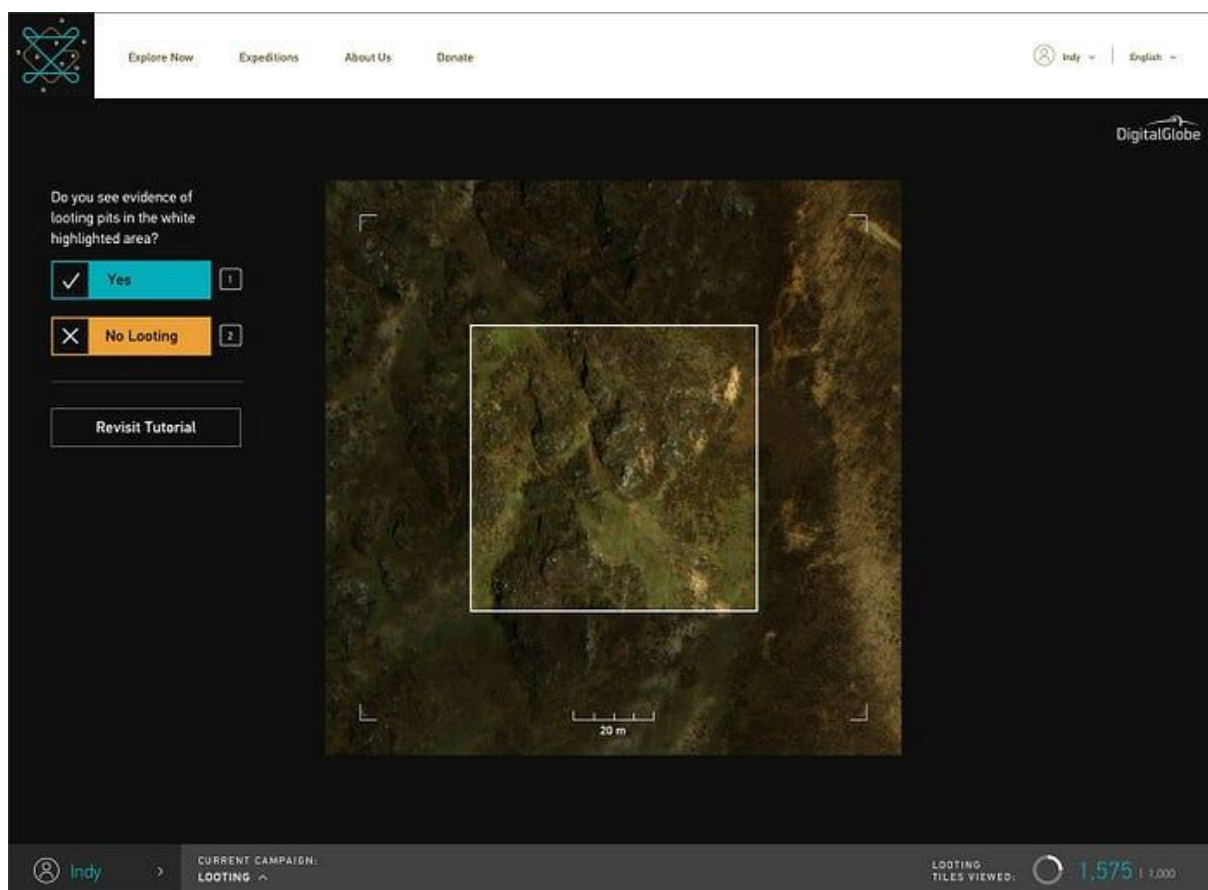
Obrázok 4 Virtuálna prehliadka Angkor Wat (Virtualangkor 2024)

## Projekt GlobalXplorer

Na našej planéte stále existuje enormné množstvo neobjavených archeologických nálezísk, ktoré stále čakajú na to, až ich niekto objaví. Mnohým takýmto neobjaveným náleziskám hrozí zničenie v dôsledku rôznych konfliktov, rabovania, zasahovania a zmien spôsobených životným prostredím. Pokiaľ by sme chceli obmedziť deštrukciu týchto nálezísk, ku ktorej dochádza v globálnom meradle, vyžadovalo by to viac ako len úsilie malej hŕstky archeológov na našej planéte. Práve z tohto dôvodu bola v januári 2017 spustená online platforma GlobalXplorer<sup>o</sup>, ktorá je dostupná pre širokú verejnosť za cieľom pomôcť archeológom pri hľadaní doteraz nezmapovaných a ukrytých lokalít po celom svete (Welcome to GlobalXplorer<sup>o</sup>! 2018).



Táto platforma býva často označovaná ako spojenie Indiana Jonesa a Google Earth. GlobalXplorer<sup>o</sup> sa snaží chrániť a zachovávať svetové kultúrne dedičstvo za pomoci inovatívnych technológií, akými sú satelitné snímky, crowdsourcing, 3D mapovanie, neurónové siete, strojové učenie a najmodernejšie geopriestorové nástroje. V tomto prípade je umelá inteligencia trénovaná na rozpoznávanie archeologických prvkov práve na základe neurónových sietí a na strojovom učení. V získaných satelitných snímkach umelá inteligencia vyhľadáva pravidelné a nepravidelné vzory, ktoré by mohli naznačovať ľudskú aktivitu, ako sú napr. geometrické tvary, cesty, zmeny v teréne spôsobené eróziou alebo vegetáciou nad zakopanými štruktúrami. GlobalXplorer<sup>o</sup> má snahu o transformovanie oblasti archeológie takým spôsobom, aby bola prístupnejšia a otvorenejšia nielen pre archeológov, ale aj pre ľudí po celom svete (GlobalXplorer © 2024).



Obrázok 5 Ukážka platformy GlobalXplorer (GlobalXplorer 2018)





Už po prvom roku od spustenia platformy GlobalXplorer<sup>o</sup> a prvej expedícii, ktorá sa odohrávala v Peru, sa globálna komunita nadšencov archeológie na tomto projekte rozrástla na takmer 70 000 používateľov, ktorí spolu preskúmali 14 620 932 úplne nových satelitných snímok. Tieto snímky boli z oblasti Peru, pokrývali 20% krajiny z časti, kde si archeológovia mysleli, že by mohlo byť výsledky hľadania najplodnejšie. Pátranie zahŕňalo približne 150 000 štvorcových kilometrov krajiny, od pobrežia Tichého oceánu v Peru až po Sacred Valley (GlobalXplorer<sup>o</sup> Completes Its ... 2018).

Fungovanie GlobalXplorer<sup>o</sup> je založené na spolupráci so spoločnosťou DigitalGlobe, ktorej flotila satelitov poskytuje snímky Zeme vo vysokom rozlíšení, ktoré následne používatelia GlobalXplorer<sup>o</sup> skúmajú. Z DigitalGlobe sa snímky načítavajú priamo na portál GlobalXplorer<sup>o</sup> ako jednotlivé dlaždice, s rozmerom 300 x 300 metrov a každý používateľ platformy sa rozhoduje, či podľa neho je alebo nie je zobrazené miesto zaujímavé pre archeológov a vhodné na ďalší výskum. Avšak každý obrázok musí byť ohodnotený minimálne šiestimi ľuďmi, pričom aspoň 80% ľudí musí súhlasiť s tým, že daný snímok môže ukrývať archeologické nálezisko a až potom je obrázok odoslaný tímu GlobalXplorer<sup>o</sup> (Welcome to GlobalXplorer<sup>o</sup>! 2018).

### **Prvá expedícia**

Pred prvou expedíciou panovala ťažká voľba – na ktorom mieste začať. Túto voľbu nakoniec vyhralo Peru najmä z dôvodu, že táto krajina je veľmi známa ako krajina bohatá na archeologické dedičstvo, napríklad Machu Picchu, línia Nasca a pod. Bolo teda jasné, že toto miesto vzbudí záujem používateľov po celom svete. GlobalXplorer<sup>o</sup> bolo tiež nutné otestovať v krajine, ktorá má svoje archeologické náleziská na otvorenom priestranstve, čiže napríklad bez prílišného lesného pokrytia, čomu pobrežná púštna krajina v Peru zodpovedá. Nevyhnutné taktiež bolo, aby boli archeológovia v bezpečí, čiže v danej krajine nesmeli hroziť riziko vojny alebo iného konfliktu (GlobalXplorer<sup>o</sup> Completes Its ... 2018).





Obrázok 6 Prehľadovaná oblasť Peru (GlobalXplorer 2018)

Po expedíciách začali používatelia preskúvať viac ako 14 miliónov jednotlivých dlaždíc a hlasovali o tých, na ktorých sa mohlo zdať, že obsahujú stopy po ľudskej činnosti. Počas celého tohto procesu dav identifikoval 19 084 archeologicky zaujímavých prvkov, ktoré sa datujú od najstaršej civilizácie v Peru, Caral, r. 3200 p.n.l., až po pád Inkov v roku 1572 n.l. Všetky identifikované prvky boli rozdelené do kategórií, vrátane 342 lokalít, ktoré boli zaradené do kategórie potenciálne veľkých a dôležitých sídiel. Následne zamestnanci v ústredí GlobalXplorer<sup>o</sup> pretriedili a zorganizovali pozitívne identifikované obrázky a odovzdali ďalej prvú časť potvrdených zaujímavých miest, ktorých bolo 400. Následne bolo vybraných 40 na prvé kolo pozemných prieskumov, zostavil sa prieskumný tím archeológov, ktorý bol následne vyslaný na preskúmanie vybraných potencionálnych nálezísk (GlobalXplorer<sup>o</sup> Completes Its ... 2018).

## Porovnanie nástrojov umelej inteligencie využívaných pri skúmaní

Vďaka čoraz rozsiahlejšiemu uplatňovaniu umelej inteligencie v archeológii, je v dnešnej dobe možné urýchliť procesy skúmania, analyzovania a rekonštrukcie archeologických nálezísk. Existuje veľké množstvo AI nástrojov, ktoré majú rôzne úlohy a sú určené na rôzne oblasti archeológie, v ktorých dokážu archeológom a historikom urýchliť, a zároveň častokrát aj uľahčiť prácu. Nasledujúca tabuľka obsahuje porovnanie rôznych nástrojov, ich použitie, výhody, nevýhody a príklady aplikácie.

Tabuľka 1 Porovnanie nástrojov AI používaných v archeológii (Haladej 2024)

Nástroj	Použitie	Výhody	Nevýhody	Príklady aplikácie
RealityCapture	Tvorba 3D modelov archeologických objektov a lokalít na základe fotogrametrie a laserového skenovania.	Rýchle spracovanie veľkých datasetov, vysoká presnosť detailov.	Vyššia cena softvéru a hardvérové nároky (výkonné počítače).	Rekonštrukcia chrámov, hrobiek a miest zrúcanín.
Meshroom	Open-source fotogrametrický softvér na spracovanie 2D obrazov do 3D modelov.	Bezplatný prístup, vhodný pre menšie projekty.	Vyžaduje väčšie množstvo fotografií pre presné výsledky, obmedzená podpora špecifických AI algoritmov.	Tvorba jednoduchých 3D modelov artefaktov.
Deep Learning Algoritmy	Analýza leteckých snímok, radarových a lidarových dát na identifikáciu neznámych archeologických štruktúr.	Automatická detekcia nálezísk, schopnosť identifikovať anomálie v teréne.	Vyžaduje odbornú znalosť pri tvorbe modelov a kvalitné dátové vstupy.	Objavovanie nových nálezísk pod povrchom alebo v ťažko prístupných oblastiach.



<b>ArcheoPack</b>	Tvorba 3D rekonštrukcií a vizualizácií archeologických lokalít; kombinácia AI a fotogrametrie.	Jednoduché rozhranie, vhodné pre vedcov aj študentov.	Menej pokročilé funkcie oproti komerčným nástrojom, obmedzené možnosti pre rozsiahle projekty.	Vzdelávanie a malé vedecké projekty.
<b>Neural Radiance Fields (NeRF)</b>	Rekonštrukcia 3D štruktúr z fotografií; využíva neurónové siete na interpoláciu medzi obrazmi a realistickú vizualizáciu povrchov.	Vytvára realistické modely s detailnými textúrami, menší počet potrebných vstupných dát.	Vyžaduje presné nastavenie a kvalitné fotografie, menej rozšírené v archeológii oproti iným odvetviam.	Rekonštrukcia menších lokalít alebo artefaktov, kde je dôležitá vizuálna presnosť.
<b>Pix4Dmapper</b>	Nástroj na spracovanie fotogrametrických údajov a generovanie 3D modelov pre mapovanie archeologických nálezísk.	Vhodný na veľké projekty, prepojenie s dronmi a inými modernými technológiami.	Vyššia cena licencie, závislosť na kvalitných dátach zo snímkovania (drony, kamery).	Mapovanie rozsiahlych nálezísk, ako sú staroveké mestá alebo hrobky.



## Záver

V tomto konferenčnom príspevku sme sa zameriavali na využívanie umelej inteligencie v kontexte archeológie, konkrétne na rekonštrukciu archeologických nálezísk pomocou nástrojov umelej inteligencie. V úvode sme sa zamerali na spôsob, akým sa umelá inteligencia v archeológii využíva. V prvej a druhej kapitole sme sa venovali prípadovým štúdiám využitia umelej inteligencie v rekonštrukcii archeologických nálezísk, konkrétne digitálne rekonštrukcia Angkor Wat a projekt GlobalXplorer. V tretej kapitole sme porovnávali nástroje umelej inteligencie, ktorá sa využívajú pri skúmaní archeologických nálezísk.

## Zoznam použitých zdrojov

DRAPER RICHARDS KAPLAN, [bez dátumu]. *Globalxplore*. Online. Dostupné na: <https://www.drkfoundation.org/organization/globalexplorer/>. [zobrazené 2024-11-17].

GONZALEZ, P., (2023). *Artificial Intelligence In The Field Of Archeology*. Bakalárska práca. Christian HORN (vedúci záverečnej práce). University of Gothenburg, 2023.

GOOGLE ARTS & CULTURE, [s. a.]. *Visualising Angkor: Part 2 - A New Reconstruction of Angkor Wat*. Online. Dostupné na: <https://artsandculture.google.com/story/cAWRRNSRibIZKg?hl=en>. [zobrazené 2024-11-09].

CHANDLER, Tom; Brent MCKEE; Elliott WILSON; Mike YEATES a Martin POLKINGHORNE, (2017). *A New Model of Angkor Wat: Simulated Reconstruction as a Methodology for Analysis and Public Engagement*. Australian and New Zealand Journal of Art, 2017, 17 (2), s. 182-194. Dostupné na: [https://www.researchgate.net/publication/325571967\\_A\\_New\\_Model\\_of\\_Angkor\\_Wat\\_Simulated\\_Reconstruction\\_as\\_a\\_Methodology\\_for\\_Analysis\\_and\\_Public\\_Engagemet](https://www.researchgate.net/publication/325571967_A_New_Model_of_Angkor_Wat_Simulated_Reconstruction_as_a_Methodology_for_Analysis_and_Public_Engagemet). [zobrazené 2024-11-09].

MEDIUM, (2018). *GlobalXplorer<sup>o</sup> Completes Its First Expedition: What the Crowd Found in Peru*. [2018-04-10]. Online. Dostupné na: <https://medium.com/@globalexplorer/globalexplorer->



[completes-its-first-expedition-what-the-crowd-found-in-peru-7897ed78ce05](#). [zobrazené 2024-11-17].

MEDIUM, (2018). *Welcome to GlobalXplorer!*. [2018-04-04]. Online. Dostupné na: <https://medium.com/@globalxplorer/welcome-to-globalxplorer-7bfb555260a1>. [zobrazené 2024-11-17].

NEEDHI, Jeyadev, (2024). *Uncovering the Past: How AI is Transforming Archaeology*. [2024-06-25]. Online. Dostupné na: [https://medium.com/@jeyadev\\_needhi/uncovering-the-past-how-ai-is-transforming-archaeology-38ded420896d](https://medium.com/@jeyadev_needhi/uncovering-the-past-how-ai-is-transforming-archaeology-38ded420896d). [zobrazené 2024-11-03].

UNESCO, [bez dátumu]. *Angkor*. Online. Dostupné na: <https://whc.unesco.org/en/list/668/>. [zobrazené 2024-11-03].

VINA, Abirami, (2024). *AI in Archaeology Paves the Way for New Discoveries*. [2024-08-29]. Online. Dostupné na: <https://www.ultralytics.com/blog/ai-in-archaeology-paves-the-way-for-new-discoveries>. [zobrazené 2024-11-03].

VIRTUALANGKOR, [s. a.]. *Virtual Angkor*. Webové sídlo. Dostupné na: <https://www.virtualangkor.com/#>. [zobrazené 2024-11-09].

## Autor

Bc. Patrik Haladej  
patrikhaladej@gmail.com

SNP 1457/78  
017 07 Považská Bystrica  
SLOVENSKÁ REPUBLIKA



Autorom konferenčného príspevku je študentom na Žilinskej univerzite v Žiline, Fakulta humanitných vied, Katedra mediamatiky a kultúrneho dedičstva, zameranie na digitálne humanitné vedy. Autor doteraz publikoval jednu vedeckú prácu – bakalárska práca na tému *Nositel'ná technika v športe*. Vo svojej diplomovej práci sa autor bude venovať téme *Využitie deepfake technológií na obnovu a animáciu historických fotografií*.

