

KRZYSZTOF HERNER

Muzeum Górnictwa Węglowego w Zabrzu

Od szybu do silnika gry. Digitalizacja dziedzictwa poprzemysłowego Górnego Śląska jako źródło assetów dla przemysłu gier

Streszczenie

Artykuł omawia nowatorskie podejście do ochrony i upowszechniania dziedzictwa poprzemysłowego Górnego Śląska poprzez wykorzystanie zaawansowanej digitalizacji na potrzeby przemysłu gier wideo (*gamedev*), technologii VR/AR oraz sektora *Virtual Production*. Liderem tych procesów w regionie jest Muzeum Górnictwa Węglowego w Zabrzu, które łączy tradycyjną dokumentację (skany 2D, fotografie) z nowoczesnymi metodami przestrzennymi, takimi jak skanowanie trójwymiarowe oraz fotogrametria realizowana *in situ*. Górny Śląsk, ukształtowany przez przemysł ciężki, stanowi unikalny w skali świata przykład przemian społeczno-gospodarczych oraz naocznego świadka trzech rewolucji przemysłowych. Dzięki digitalizacji surowe przestrzenie i obiekty poprzemysłowe zyskują nowe, cyfrowe życie. Słowa kluczowe: digitalizacja dziedzictwa, Górny Śląsk, przemysł gier (*gamedev*), assety modułowe, Przemysł 4.0, fotogrametria, Sztolnia Królowa Luiza, silniki gier, wirtualna rzeczywistość (VR), ochrona zabytków, repliki cyfrowe.

Muzeum Górnictwa Węglowego w Zabrzu, jako wiodąca jednostka w regionie, staje na straży ochrony dziedzictwa poprzemysłowego. Wykorzystuje do tego celu różnorodne metody digitalizacji – zarówno tradycyjne skanery 2D i aparaty fotograficzne, przenoszące materiał źródłowy (mapy, fotografie, rysunki techniczne itp.) do przestrzeni cyfrowej, jak i innowacyjne rozwiązania (skanowanie trójwymiarowe, fotogrametria) służące do dokumentacji całych zakładów górniczych *in situ*, czyli w miejscu ich pierwotnego występowania.

Górny Śląsk to unikalny przykład zachodzących przemian technologicznych oraz społecznych. To tutaj od wieków koncentrował się przemysł ciężki, który głęboko doświadczył region pod względem społecznym, gospodarczym oraz przyrodniczym, jednocześnie determinując jego unikalny charakter. W ten sposób Górny Śląsk stał się naocznym świadkiem oraz bezpośrednim uczestnikiem trzech wielkich przełomów technologicznych: drugiej, trzeciej i czwartej rewolucji przemysłowej.

Dziś, jako instytucja, której statutowym zadaniem jest m.in. zachowanie efektów wytrwałej pracy wielu pokoleń, stajemy przed wyzwaniem, by funkcjonować już nie tylko jako świadek, ale jako aktywny uczestnik tych przemian. Niniejszy artykuł przedstawia efekty współpracy muzeum ze środowiskiem gamingowym. W tym miejscu autor pragnie ukazać, w jaki sposób nowoczesna jednostka kultury może i powinna dzielić się dziedzictwem w innowacyjnej formie.

Gry wideo to nie tylko rozrywka zarezerwowana dla młodzieży i najmłodszych użytkowników Internetu, ale to przede wszystkim jedno z najważniejszych mediów współczesnej kultury. W kontekście ochrony dziedzictwa i zachowania o nim pamięci stają się platformą, na której tradycja i surowe przestrzenie przemysłowe przenikają się z nowoczesnością. Implementacja zdigitalizowanych obiektów przemysłowych do silników gier pozwala na ich ochronę, ale i funkcjonowanie w świadomości graczy, jako ważny element kultury, który jako asset może stać się pomostem międzypokoleniowym.

Przełom technologiczny określany mianem rewolucji przemysłowej to ciągły proces transformacji globalnej, którego początki sięgają XVIII stulecia. Stanowi on wypadkową skumulowanych przekształceń o charakterze technicznym, ustrojowym i społecznym, które sukcesywnie redefiniowały kolejne sektory wytwórczości. Implementacja pionierskich technologii oraz nowatorskich metod stanowiska pracy każdorazowo prowadziła do głębokiej rekonstrukcji struktur makroekonomicznych i relacji społecznych.

Biorąc pod uwagę dynamikę i specyfikę tych transformacji, w historii gospodarczej wyróżnia się cztery zasadnicze etapy rozwoju cywilizacyjnego. Obecnie uwaga badaczy koncentruje się przede wszystkim wokół paradygmatu Przemysłu 4.0 – koncepcji, która zdominowała współczesną debatę na temat innowacyjności, budowania przewagi konkurencyjnej oraz kierunków rozwoju nowoczesnej produkcji.

Pierwszy przewrót przemysłowy rozpoczął się w XVIII wieku na terenie Wielkiej Brytanii. Głównymi katalizatorami tych zmian były: gwałtowny przyrost demograficzny, rosnąca ranga sektora produkcyjnego w strukturze PKB oraz intensyfikacja wymiany handlowej. Najbardziej dynamiczny zwrot przypada na lata 1750–1840, kiedy to tradycyjną pracę ludzi oraz zwierząt zaczęto masowo zastępować napędem mechanicznym. Nowinki technologiczne w pierwszej kolejności rewolucjonizowały obszary wiejskie i tamtejsze manufaktury. Z kolei wypracowane w sektorze rolnym nadwyżki kapitałowe transferowano do ośrodków miejskich, gdzie inwestowano je w rozwój nowych gałęzi wytwórczości¹.

Druga rewolucja przemysłowa charakteryzowała się znacznie krótszym horyzontem czasowym, osiągając swoje apogeum w latach 1870–1914. W tym okresie epicentrum przemian przesunęło się definitywnie do aglomeracji miejskich. Skupiono się wówczas na optymalizacji procesów wewnątrzfabrycznych, co stało się możliwe dzięki upowszechnieniu energii elektrycznej oraz wdrożeniu systemów produkcji masowej².

Kolejny, znacznie bardziej zaawansowany etap – trzecia rewolucja przemysłowa – zainicjowany został w połowie XX wieku, osiągając punkt kulminacyjny w ostatniej dekadzie ubiegłego stulecia. Ta faza koncentrowała się wokół sektora naukowo-badawczego. Kluczowe stało się zintensyfikowanie projektów rozwojowych oraz poszukiwanie alternatywnych źródeł zasilania. Kamieniem milowym tego okresu było wprowadzenie szeroko pojętej automatyzacji do procesów przemysłowych³.

Czwarta rewolucja przemysłowa to proces, który wystartował na początku XXI wieku i trwa nieprzerwanie do dziś. W przeciwieństwie do wcześniejszych przełomów, jej wpływ ma charakter wielowymiarowy i spaja ze sobą płaszczyznę fizyczną, biologiczną oraz cyfrową. Dotychczasowy rozwój tej fazy opierał się głównie na sieciowej integracji rozproszonych

¹ H.K. Mohajan, *The First Industrial Revolution: Creation of a New Global Human Era*, „Journal of Social Sciences and Humanities” 2019, t. 5, nr 4, s. 377–387.

² K. Zamorska, *Różne oblicza pracy w czwartej rewolucji przemysłowej*, Łódź 2023.

³ W. Furmanek, *Najważniejsze idee czwartej rewolucji przemysłowej (Industrie 4.0)*, „Dydaktyka Informatyki” 2018, nr 13, s. 55–63.

systemów technologicznych. Cechą wyróżniającą Przemysł 4.0 jest skokowy postęp badawczy oraz powszechne wdrażanie zaawansowanych technologii informacyjno-komunikacyjnych (ICT). To jedyny moment w historii gospodarczej, w którym transformacja struktur społeczno-ekonomicznych następuje w tak głęboki i gwałtowny sposób⁴.

Przemysł 4.0 jest nie tylko procesem, który ma bezpośredni wpływ na strukturę gospodarczą, ale zmienia podejście do ochrony dziedzictwa materialnego i niematerialnego. W tej przestrzeni Muzeum Górnictwa Węglowego upatruje swoje miejsce jako aktywny uczestnik dostarczający odpowiednich treści. Jednak, jak wskazują niektórzy badacze, czwarta rewolucja niesie ze sobą wyzwania z samym wykorzystaniem technologii, m.in. w konserwacji czy w kwestii rozwoju kultury cyfrowej. Sprostanie tym wyzwaniom wymaga wspólnego wysiłku, instytucji i społeczności, aby zapewnić, że dziedzictwo kulturowe zostanie zachowane dla przyszłych pokoleń. Ochrona dziedzictwa kulturowego w erze Przemysłu 4.0 wymaga wieloaspektowego podejścia, które skutecznie wykorzystuje technologię, wspiera zrównoważony rozwój, rozwija kulturę cyfrową oraz promuje współpracę i partnerstwo. Działając razem i podnosząc świadomość, możemy zagwarantować, że dziedzictwo kulturowe przetrwa dla przyszłych pokoleń⁵.

Gry wideo okazały się atrakcyjnym medium do prezentowania zagadnień dziedzictwa kulturowego. Mogą one wykorzystywać wirtualne światy do prezentowania informacji kulturowych i historycznych w niezwykle i niezwykle atrakcyjny sposób. Gry wideo implementują zestawy danych z wykorzystaniem cennych artefaktów (komponentów) odzwierciedlających zagadnienia technologiczne, społeczno-ekonomiczne i historyczne⁶. Te komponenty oprogramowania znane są jako zasoby programowe (software assets), które stanowią kluczowy produkt m.in. projektu „Digitalizacja Sztolni Królowa Luiza – Modularne zasoby kreatywne dla branży gier i virtual production”, zrealizowanego w Muzeum Górnictwa Węglowego w 2026 roku. Zestawy assetów mogą być wykorzystywane przez twórców gier do zwiększenia wartości pedagogicznej i edukacyjnej ich gier. Te zasoby programowe obejmują szerokie spektrum funkcjonalności, w tym wykrywanie emocji, inteligentną adaptację i grywalizację społeczną. Aby ułatwić integrację i interoperacyjność, wszystkie te zasoby są zgodne ze wspólnym modelem, który opisuje ich właściwości za pomocą zestawu metadanych.

Wspomniany projekt był nowatorskim przedsięwzięciem łączącym ochronę śląskiego dziedzictwa przemysłowego z nowoczesnymi technologiami cyfrowymi. Projekt polegał na przeniesieniu autentycznych, zabytkowych przestrzeni kopalnianych do świata wirtualnego w formie gotowych zasobów programowych (tzw. assetów), które w przyszłości mogą być bezpośrednio wykorzystywane przez twórców gier wideo (*gamedev*) lub filmowców oraz sektor VR/AR. W tytule projektu został użyty termin „modularny”, co oznaczało, że elementy podziemnej infrastruktury – fragmenty korytarzy, obudowy górnicze, maszyny, narzędzia zostały podzielone na mniejsze „klocki”. Zrobiono to w taki sposób dlatego, by twórcy gier mogli je dowolnie łączyć, modyfikować i układać, tworząc w ten sposób własne scenografie w takich silnikach gier, jak np. Unreal Engine czy Unity.

4 M. Ratajczak, B. Woźniak-Jęchorek, *Rewolucje przemysłowe i ich wpływ na rozwój ekonomii*, „Studia BAS” 2020, nr 3(63), s. 25–41.

5 S. Abd Rahman, *A Review on the Issues and Challenges of Heritage Preservation in the Industry Revolution 4.0*, „International Journal of Academic Research in Business & Social Sciences” 2023, t. 13, nr 12, s. 983–993.

6 K. Sotirova, J. Peneva, S. Ivanova, R. Doneva, M. Dobрева, *Digitization of Cultural Heritage – Standards, Institutions, Initiatives*, Chapter 1: *Access to Digital Cultural Heritage: Innovative Applications of Automated Metadata Generation*, Plovdiv 2012.

Kluczowym celem projektu było stworzenie elastycznego, w pełni funkcjonalnego ekosystemu narzędzi dla twórców gier wideo, doświadczeń VR oraz producentów filmowych korzystających z technologii Virtual Production. Sam proces dzielił się na kilka ściśle zdefiniowanych etapów inżynierii 3D.

I. Fundament cyfrowy. Opracowanie danych źródłowych

Głównym zadaniem projektu było przeniesienie fizycznych obiektów odnalezionych w podziemiach Sztolni Królowa Luiza do przestrzeni cyfrowej. Wykonawca zadania, który został wyłoniony na podstawie postępowania ZP, wykonał obróbkę przygotowanych przez pracowników digitalizacji muzeum surowych materiałów do formy gotowej, tzn. takiej, która będzie stanowić elementarną część projektu w postaci modularnych assetów. Dane zostały przekazane w postaci gęstych chmur punktów oraz surowych siatek 3D (w formatach *.ply, *.obj, *.stl), uzupełnionych o bogatą dokumentację fotograficzną, pełniącą rolę materiału referencyjnego.



Ryc. 1. Zespół w trakcie wykonywania fotogrametrii

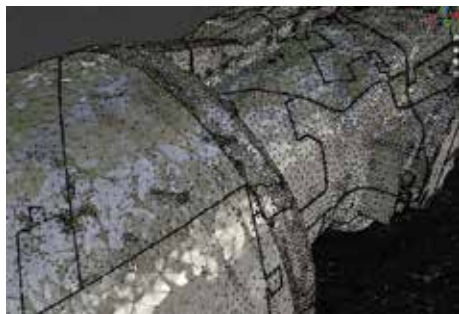
II. Zaawansowana optymalizacja geometrii i tekstur PBR

Surowe skany 3D obiektów historycznych charakteryzują się ogromną, nieoptymalną liczbą wielokątów, która uniemożliwiłaby płynne działanie aplikacji w czasie rzeczywistym. Dlatego sercem projektu była głęboka optymalizacja modeli. Obejmowała ona:

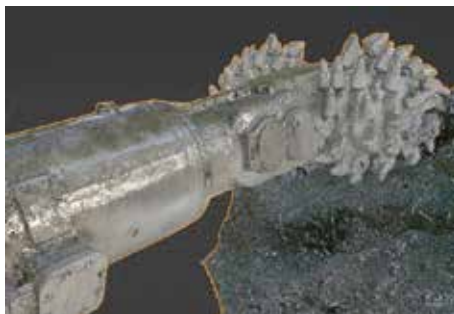
- **czyszczenie siatek i retopologię:** usuwanie błędów geometrycznych oraz budowanie nowej, czystej struktury wielokątów z unifikacją skali i orientacji osi,
- **wdrażanie technologii LOD (Level of Detail):** przygotowanie dla każdego obiektu trzech poziomów szczegółowości (LOD 0–2). Ze względu na wymagające środo-

wiska Wirtualnej Rzeczywistości (VR), maksymalna gęstość siatki dla najbardziej szczegółowego poziomu (LOD 0) została rygorystycznie ograniczona do 150 tysięcy trójkątów,

- **mapowanie UV i teksturowanie PBR:** pokrycie modeli fotorealistycznymi teksturami w standardzie PBR (zawierającymi mapy BaseColor, Normal, Roughness oraz AO) w wysokiej rozdzielczości – minimum 4K.



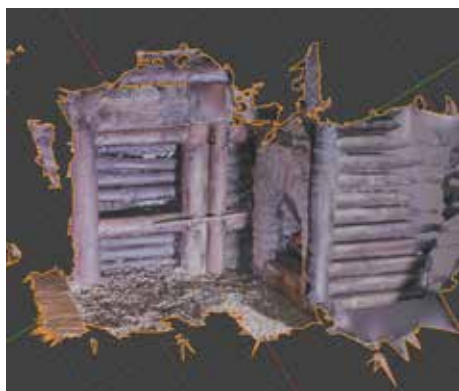
Ryc. 2. Proces retopologii, czyli nakładania nowej, czystej i zoptymalizowanej geometrii (Low-Poly). Widoczne linie to krawędzie wielokątów, które w przypadku ustandaryzowanego assetu do VR nie mogą przekraczać limitu 150 tysięcy trójkątów dla poziomu LOD 0



Ryc. 3. Ten sam model z nałożonymi mapami materiałowymi w rozdzielczości 4K. Dzięki mapie normalnej (Normal Map) silnik graficzny oszukuje oko ludzkie – model wygląda na niezwykle szczegółowy i chropowaty, mimo że jego struktura geometryczna pod spodem pozostaje lekka i wydajna

III. Budowa modularnej biblioteki assetów 3D

Zamiast tworzyć pojedyncze, zamknięte makiety podziemi, projekt stawiał na pełną modularność. Wykonawca miał za zadanie opracować powtarzalne, uniwersalne moduły konstrukcyjne na bazie precyzyjnej listy 25 obiektów i elementów architektonicznych. Wśród nich znajdowały się m.in. korytarze, skrzyżowania, komory, szybiki oraz zakończenia wyrobisk.



Ryc. 4. Asset przedstawiający fragment obudowy drewnianej

Dzięki ujednoliconemu systemowi skalowania oraz precyzyjnemu rozmieszczeniu punktów zakotwiczenia (tzw. pivotów) poszczególne elementy będzie można bezproblemowo łączyć ze sobą niczym cyfrowe klocki bezpośrednio w środowiskach silników graficznych. Bibliotekę uzupełni dedykowany zestaw assetów technicznych, dekoracyjnych i kontekstowych, oddających unikalny klimat śląskiej kopalni.

Jednym z najbardziej innowacyjnych elementów projektu było stworzenie specjalnego modułu programistycznego – skryptu automatyzującego proces kreacji. Narzędzie to pozwoliło na automatyczne generowanie



Ryc. 5. Asset przedstawiający fragment skrzyżowania



Ryc. 6. Asset przedstawiający chodnik pod ziemią

nowych, unikalnych układów kopalnianych korytarzy z przygotowanych wcześniej modułów 3D. Co ciekawe, logika działania tego algorytmu ma opierać się na teoretycznych schematach i regułach Polskiej Szkoły Budowy Kopalń, co zagwarantowało, że generowane wirtualnie przestrzenie były nie tylko atrakcyjne wizualnie, ale też poprawne pod względem inżynierskim i historycznym.

IV. Finalne standardy wdrożeniowe i dokumentacja

Efektem końcowym projektu było stworzenie uniwersalnych, interoperacyjnych zasobów przygotowanych do natychmiastowej implementacji w najpopularniejszych środowiskach deweloperskich, takich jak Unreal Engine 5 czy Unity 2022+. Modele zostały wyeksportowane do nowoczesnych formatów branżowych: .FBX, .GLB oraz .USDZ.

Oprócz wersji zoptymalizowanych pod kątem VR i platform webowych przygotowane zostały pełne pakiety plików źródłowych (np. .BLEND), skrypty wraz z dostępem do repozytorium oraz kompleksowa dokumentacja techniczna, opisująca architekturę metadanych, strukturę folderów oraz wytyczne wdrożeniowe, ułatwiając twórcom z całego świata bezproblemową pracę ze zdigitalizowanymi skarbami Sztolni Królowa Luiza.

Konkluzje

Transformacja górnictwa staje się faktem. Śląskie przestrzenie miejskie, które kiedyś wypełnione były zakładami wydobywczymi, dziś potrzebują nowego tchnienia. Kopalnie, takie jak KWK Wieczorek czy słynna KWK Wujek w Katowicach, postawione w stan likwidacji, dostaną nowe życie. Pierwsza z nich zmieni się w Hub Gamingowo-Technologiczny, natomiast druga – w ramach wstępnej koncepcji – ma posłużyć jako baza do symulacji osiedlania się na Marsie⁷. Dziedzictwo przemysłowe, tworzące unikatowy krajobraz kulturowy,

⁷ W. Furmanek, dz. cyt.

ma znaczącą wartość historyczną, artystyczną i naukową, co zostało dostrzeżone m.in. przez sektor gamingowy. To, co niesie za sobą to dziedzictwo, to przede wszystkim autentyczność i brak konieczności wymyślania przestrzeni na nowo – zdigitalizowane artefakty są w pełni oryginalne. Powyższy artykuł udowadnia, że dziedzictwo może zostać odczytane na nowo.

Bibliografia

- Furmanek W., *Najważniejsze idee czwartej rewolucji przemysłowej („Industrie 4.0”)*, „Dydaktyka Informatyki” 2018, nr 13, s. 55–63.
- Mohajan H.K., *The First Industrial Revolution: Creation of a New Global Human Era*, https://mpr.ub.uni-muenchen.de/96644/1/MPRA_paper_96644.pdf [dostęp: 10.04.2026].
- Rahman Abd S., *A Review on the Issues and Challenges of fHeritage Preservation in the Industry Revolution 4.0*, https://www.researchgate.net/publication/376502385_A_Review_on_the_Issues_and_Challenges_of_Heritage_Preservation_in_the_Industry_Revolution_40 [dostęp: 11.04.2026].
- Ratajczak M., Woźniak-Jęchorek B., *Rewolucje przemysłowe i ich wpływ na rozwój ekonomii*, „Studia BAS” 2020, nr 3(63), s. 25–41, <https://open.icm.edu.pl/items/1e8e8769-9f99-4774-84f0-a36b1dd20f9f> [dostęp: 8.03.2026].
- Sotirova K., Peneva J., Ivanova S., Doneva R., Dobрева M., *Digitization of Cultural Heritage – Standards, Institutions, Initiatives*, Chapter 1: *Access to Digital Cultural Heritage: Innovative Applications of Automated Metadata Generation*, Plovdiv 2012.
- Zamorska K., *Różne oblicza pracy w czwartej rewolucji przemysłowej*, Łódź 2020.

KRZYSZTOF HERNER

From Mine Shaft to Game Engine. Digitizing Upper Silesia's Post-Industrial Heritage as a Source of Assets for the Game Industry

This article discusses an innovative approach to preserving and promoting the post-industrial heritage of Upper Silesia through the use of advanced digitization for the video game industry, VR/AR technologies, and the virtual production sector. The Coal Mining Museum in Zabrze leads these regional efforts, combining traditional documentation, e.g. 2D scans and photographs, with modern spatial methods like 3D scanning and in-situ photogrammetry. Shaped by heavy industry, Upper Silesia stands as a globally unique example of socio-economic transformation and a witness to three industrial revolutions. Thanks to this digitization, these raw post-industrial spaces and structures are gaining a new digital life.

Keywords: heritage digitization, Upper Silesia, game industry (gamedev), modular assets, Industry 4.0, photogrammetry, Queen Louise Adit, game engines, virtual reality (VR), heritage preservation, digital replicas.