



Sprawozdanie merytoryczne

	<i>Autor</i>	<i>Data</i>
1	Beata Hejmanowska	30.06.2018
2	Janusz Dąbrowski	

Spis treści

Wprowadzenie	1
Koncepcja badań	2
State-of-the art.....	2
Zakres prac.....	4
Obszary testowe	5
POLIMINI.....	6
NCL	7
USAL	7
SSSA	7
Opracowanie modeli 3D na podstawie danych aktualnych D3.1.....	8
Metodyka opracowania modeli 3D na podstawie danych aktualnych	9
Wyniki modelowania 3D z wykorzystaniem danych aktualnych.....	11
Opracowanie modeli 3D na podstawie danych historycznych D3.2	11
Metodyka opracowania modeli 3D na podstawie danych historycznych.....	12
Wyniki modelowania 3D z wykorzystaniem danych historycznych	12
Publikacje modeli 4D w Internecie WP4	12
Badania literatury na temat technologii publikowania modeli 4D w Internecie D4.1	12
Środowiska <i>open-source</i>	13
Rozwiązania komercyjne	14
Oprogramowanie GIS.....	16
Praktyczne testowanie różnych rozwiązań do publikowania modeli 4D w Internecie cht2.eu	17
Prezentacja modeli 4D w Internecie dla wszystkich obszarów testowych D3.3, D3.4 , D4.2, D4.3	18
Ocena zakresu oddziaływania międzynarodowego projektu.....	22
Literatura	23



Cultural Heritage
Through Time



Wprowadzenie

Projekt: Cultural Heritage Through Time (CHT 2) był wykonywany przez konsorcjum międzynarodowe:

1. Politecnico di Milano, POLIMI, Mediolan, Włochy (lider projektu)
2. Newcastle University, NCL, Newcastle, UK
3. Salamanca University - Higher Polytechnic School of Avila, USAL, Avila, Hiszpania
4. Stowarzyszenie Naukowe im. Stanisława Staszica w Krakowie - Stanislaw Staszic Scientific Association SSSA (non profit organization), Kraków, Polska

Informacje na temat projektu można znaleźć na stronie internetowej: <http://cht2-project.eu/>.

Koncepcja badań

Głównym celem projektu była integracja informacji, pochodzących z różnych źródeł na potrzeby tworzenia cyfrowych modeli obiektów kulturowego dziedzictwa w czterech wymiarach (4D), określających zmienność położenia/kształtu obiektu/obiektów w przestrzeni (współrzędne XYZ) i czasie (t). W założeniu modele te, modele 4D, mają wspomagać prace związane z monitorowaniem i zachowaniem kulturowego dziedzictwa.

Integracja obejmowała istniejące dane archiwalne i wyniki pomiarów z wykorzystaniem, nowoczesnych, dostępnych obecnie technologii pozyskiwania danych 3D (skaning laserowy, metody fotogrametryczne etc.).

Cele szczegółowe obejmowały:

1. utworzenie modeli 4D dla wybranych obiektów kulturowego dziedzictwa wykorzystując pełną integrację danych,
2. opracowanie metodologii monitorowania zmienności kulturowego dziedzictwa (obiektów, struktur, krajobrazu) na potrzeby działalności w celu jego ochrony,
3. udostępnienie wieloczasowych danych w Internecie w celu upowszechniania informacji na temat kulturowego dziedzictwa, a w szczególności umożliwienia wykonywania, w sposób zdalny i powszechnie dostępny, analiz struktur już nieistniejących oraz analiz ich zmienności w czasie.

State-of-the art

Dziedzictwo kulturowe może pełnić znaczącą rolę socjologiczną i ekonomiczną jeśli nie będzie rozumiane jedynie jako wyjątkowy obiekt, z którym kontakt mamy tylko od święta, ale będzie się spletało ze życiem codziennym. Zgodnie z taką interpretacją „nowe” dziedzictwo kulturowe nie jest ograniczone do miejsc szczególnych ale obejmuje wszystko co nas otacza. Takie pojmowanie dziedzictwa kulturowego wpisuje się w inicjatywy o charakterze formalnym, intencyjnym: Faro Convention i European i Landscape Convention (Cultural_Heritage_CoE 2018, European_Landscape_Convention_CoE 2018), ale także praktycznym (Google Arts&Culture 2018, Pastguide 2016, TEM 2017). Realizacja zapisów konwencji jest możliwa poprzez różne działania. Niektóre działania dotyczą spraw organizacyjnych, formalno-prawnych dotyczących bezpośredniego dostępu do dóbr historycznych, czy w jakimś stopniu cennych. Innym sposobem zbliżenia się dziedzictwa narodowego do życia codziennego jest dostęp do niego w sposób zdalny, wirtualny poprzez różnego rodzaju media, obecnie głównie przez Internet. Sposób odbioru jest zależny od zastosowanej technologii. W najprostszym przypadku może to być strona internetowa, na której znajdują się informacje opisowe i np. zdjęcia, czasem filmy. Można powiedzieć, że rozpowszechnianie informacji na temat dziedzictwa kulturowego powoduje jego zbliżenie do życia codziennego, ludzie mają możliwość odbioru informacji na ten temat, i o ile ją odbierają, zwiększa się ich świadomość społeczna, kulturowa, rozwijają oni swoje zdolności kognitywne. W pewnym sensie media społecznościowe, takie jak *facebook* spełniają tę rolę,



**Cultural Heritage
Through Time**



ludzie publikują informacje i zdjęcia z miejsc, które odwiedzili w czasie wakacji. Wiarygodność i kompletność informacji, mimo dużego zasięgu oddziaływania tych mediów jest znikoma. Znaczenie mediów internetowych zostało oczywiście dostrzeżone przez instytucje: muzea czy instytuty zajmujące się profesjonalnie dziedzictwem, kulturowym, narodowym. Wykorzystują one Internet do zamieszczania informacji na temat zasobów, które można oglądać bezpośrednio. Powstały również specjalne organizacje działające w tym zakresie: rządowe, prywatne, najczęściej no-profit. Informacje, które są standardowo udostępniane to: informacja opisowa na temat okazu muzealnego i zdjęcie, skan planu, mapy. Taka informacja umożliwia bierne korzystanie, można tekst przeczytać, a zdjęcie czy film obejrzeć. Zaletą jest fakt, że po pierwsze możemy nie wychodząc z domu zobaczyć zasoby muzeum i przeczytać o nim jakąś informację. Po drugie możemy zaplanować kontakt bezpośredni. To bardzo dużo, ale oczywiście chcielibyśmy więcej, w szczególności oczekiwaliśmy jakiejś interakcji pomiędzy nami, a tymi udostępnionymi danymi. Na przeciw wychodzą technologie wirtualnej rzeczywistości (VR virtual reality) rozwijane na potrzeby tworzenia filmów i gier komputerowych. Obecnie najbardziej zaawansowane technologie VR umożliwiają, za pomocą specjalnych okularów i ogólnie innych sposobów/narzędzi, zanurzenie się w wirtualnej rzeczywistości poprzez różne doznania: wzrokowe, słuchowe, węchowe, ruchowe etc. W tym przypadku oczywiście następuje interakcja pomiędzy obiektem a obserwatorem. Niewątpliwie obecnie jest to najbardziej zaawansowana technologia. Przechodząc do szczegółów. To co w VR jest udostępniane, to są modele 3D zmienne w czasie, czasem bardzo szybko zmienne, co ma miejsce w grach komputerowych i filmach animowanych. Obecnie twórcy gier czasem nawet nie tworzą własnych postaci 3D, oni je kupują.

Na potrzeby kulturowego dziedzictwa zaczęto również wykorzystywać technologię VR. Należy ją uznać za bardzo obiecującą, ale mającą pewne ograniczenie: konieczne są specjalne okulary, jeśli mówimy tylko o doznaniach wizualnych lub całego stanowiska jeśli mówimy o innych zmysłach. Jest to na pewno doskonałe rozwiązanie w miejscach, gdzie ten sprzęt jest dostępny, np. w muzeach, jakiś instalacjach etc. Jeśli natomiast zrobimy krok wstecz znajdziemy się w rzeczywistości gdzie:

1. istnieje dziedzictwo kulturowe, które możemy przeżywać jedynie obcując z nim bezpośrednio (i wydaje się, że jednak w skali świata jest ogromny obszar)
2. są obiekty, o których informacje można znaleźć w Internecie (trudno przytoczyć przykładowe strony internetowe z uwagi na ich powszechność)
3. dla wielu obiektów muzealnych przygotowano profesjonalne informacje opisowe i obrazowe (większość muzeów, np. MHL_2018, V_MUST 2015, zasoby projektów: 3D-ICONS 2015, Europeana 2018)
4. dla niektórych wykonano modele 3D i udostępniono je w Internecie w sposób statyczny (bez możliwości animacji) i w sposób dynamiczny (tzn. model 3D można powiększać, pomniejszać, i obracać, często w technologii/sklepie – Sketchfab, bardzo bogaty zbiór można znaleźć na stronie: Sketchfab_CH 2018)
5. dla niektórych wykonano modele 3D i udostępniono je w Internecie w połączeniu z danymi przestrzennymi, mapami, ortofotomapami, numerycznymi modelami terenu (Schwerin i in. 2015, MayaArch3D, 2018, Nocerino i in. 2017, 3DOM_GIS 2018, 3DOM_3DModel 2018, 3DOM_GIS_VIS 2018)
6. dla stosunkowo nielicznych przypadków są dostępne modele w wirtualnej rzeczywistości (TEM 2018, Clini i in. 2017, Fernandez-Palacios i in. 2016, Kersten i in. 2017) .

Wykorzystanie VR na potrzeby dziedzictwa kulturowego może być dwutorowe. Jednym z celów jest uatrakcyjnienie ekspozycji, np. poprzez animacje 3D. Przykładem jest Trick Eye Museum (TEM 2018), komentarz z przykładami można również znaleźć w różnych miejscach (np. TEM 2017), z tym, że odwiedzając to muzeum możemy być nieco zdziwieni.

Inna droga wykorzystuje architektoniczne/historyczne/archeologiczne modele 3 D wykonane w oparciu o wiedzę specjalistów, które mogą służyć celom naukowo-badawczym (Clini i in. 2017, Fernandez-Palacios i in.



**Cultural Heritage
Through Time**



2016, Kersten i in. 2017), oraz nie profesjonalistom: turystom, mieszkańcom, uczniom, studentom do różnorodnych innych celów.

Podsumowując, z technologicznego punktu widzenia, wsparcie dziedzictwa kulturowego przez media internetowe nie stanowi obecnie żadnego problemu na poziomie 2 i 3, bardzo łatwo można udostępnić informacje opisowe, zdjęcia i filmy.

Jeśli chodzi o modele 3D, które różnią się od realistycznych fotografii interaktywną możliwością animacji to istnieją różne technologie wykorzystywane w tym celu, z czego bardzo popularny Sketchfab.

Problem pojawia się podczas integracji tych modeli 3D z innymi danymi przestrzennymi: mapami, ortofotomapami i NMT, czyli tzw. danymi GIS. Udostępnianie odbywa się oddzielnie dla różnych typów danych, np. dane GIS: 3DOM_GIS 2018, modele 3D: DOM_3DModel 2018, analizy GIS, w tym przypadku analizy widoczności: 3DOM_GIS_VIS 2018. W VR integracja jest jeszcze trudniejsza.

W kontekście state-of-the art można ostatecznie sprecyzować następujące problemy:

- **problem optymalnej prezentacji modeli 4D, w tym udostępnienia ich w Internecie**
- **integracja modeli 4D z danymi GIS na platformie WebGIS.**

Przegląd literatury przedstawiony powyżej jest aktualny i różni się od przeglądu znajdującego się we wniosku: część A, podpunkt A2 - *Research Context and progress beyond the state-of-the art*, ponieważ uwzględniono literaturę i wyniki innych projektów z okresu od przygotowania wniosku do czerwca 2018. Można stwierdzić nadal, że niniejszy projekt wpisuje się w badania prowadzone w innych ośrodkach, dotyczące tematyki wykorzystania modeli 3D na potrzeby kulturowego dziedzictwa. Program badań w projekcie CHT2 został zaplanowany z nadzieją na rezultat stanowiący przyczynek do istniejącego stanu wiedzy w tym zakresie.

Zakres prac

Praca w projekcie CHT2 została zorganizowana w pięciu pakietach roboczych (Working Packages, WP):

- WP1 – Management
- WP2 – Methodology definition
- WP3 - Data collection and 4D model creation
- WP4 - 3D/4D model publication
- WP5 - Dissemination and exploitation

Lider projektu POLIMINI był odpowiedzialny za zarządzanie całym projektem, koordynację i sprawozdawczość na poziomie UE (WP1) oraz badania własne. Poszczególni partnerzy: NCL, USAL i SSSA byli odpowiedzialni za badania prowadzone na własnych obszarach testowych oraz za poszczególne pakiety:

- WP2 – USAL,
- WP3 – POLIMINI
- WP4 – SSSA
- WP5 – NCLA.

Każdy pakiet roboczy miał dokładnie sprecyzowane we wniosku raporty, które miały być wynikiem badań. Na stronie projektu <http://cht2-project.eu/>, w zakładce *Resources Deliverables*, znajdują raporty z poszczególnych pakietów roboczych.

Pakiet WP1 obejmował czynności związane z zarządzaniem projektem i był raportowany głównie przez lidera projektu.



**Cultural Heritage
Through Time**



Pakiet WP 2 dotyczył opracowania metodyki tworzenia modeli 4D. Wszystkie raporty cząstkowe w tym WP zostały zebrane w jednym dokumencie ([D2.1](#), [D2.2](#) i [D2.3](#)). Treści tego raportu zostały również opublikowane (Rodríguez-Gonzálvez i in. 2017, Rodríguez-Gonzálvez i in. 2018).

Pakiet WP3 dotyczył zbierania danych i tworzenia modeli 4D. W ramach tego pakietu wykonano prace związane z:

- pozyskaniem aktualnych danych o obiekcie, [D 3.1 – Report on 3D digitization of the 4 case studies](#)
- pozyskaniem danych historycznych, [D 3.2 – Report on the collection of historical/complementary data for the 4 case studies](#)
- opracowaniem modeli 4D, [D 3.3 – Report on the final 4D results for the four case studies](#)
- walidacją, [D 3.4 – Report on Validation](#)

Pakiet WP4 dotyczył publikacji modeli 3D/4D. Poszczególne raporty są dostępne na stronie projektu:

- przegląd literatury na temat innowacyjnych metod integracji modeli 4D, [D 4.1 – Report on state of the art of innovative interaction environments for 4D models](#)
- publikowanie modeli 4D w Internecie dla wszystkich obszarów testowych, [D 4.2 – Report on 4 D models in World Wide Web of all test areas](#)
- aplikacja do analiz GIS poprzez www, [D 4.3 – Application for GIS analysis through www access](#)

Pakiet WP5 dotyczył upowszechniania i wykorzystania wyników projektu. Poszczególne raporty są dostępne na stronie projektu:

- [D 5.1 – Dissemination and Exploitation](#)
- [D 5.2 – Regular promotion material](#)
- [D 5.3 – Publications](#)
- [D 5.4 – Project website](#)

W niniejszym raporcie przedstawione zostały wyniki z WP3 dla obszaru testowego z Polski oraz wyniki WP4 dla wszystkich obszarów testowych. Kompletną informację dla pozostałych partnerów można znaleźć w załączonych materiałach internetowych.

Partner polski, SSSA był odpowiedzialny w tym projekcie, oprócz zadań związanych z tworzeniem modeli 4 D dla wybranych fortów Twierdzy Kraków, głównie za publikację modeli 4 D w Internecie. W pierwszym etapie przeprowadzono studia literaturowe na temat dostępnych metod wykorzystywanych obecnie do publikowania modeli 4D w Internecie. Następnie przeanalizowano potrzeby i wymagania związane z technologią udostępnienia tych modeli w sieci. Ostatecznie wykonano różne testy praktyczne i stworzono stronę internetową: <https://cht2.eu/>, na której znajdują się udostępnione w Internecie modele 4D dla wszystkich partnerów projektu.

Obszary testowe

Badania prowadzono na 3 poziomach szczegółowości zgodnie ze standardami CityGML dotyczącymi modeli 3D: LoD0 – poziom regionalny, krajobrazu, LoD1/LoD2 – skala miejska, LoD3 – skala architektoniczna, poziom szczegółowości - budynek (na zewnątrz).

Zgodnie z tym założeniem wybrane zostały 4 obszary testowe:





**Cultural Heritage
Through Time**



- Centrum Mediolanu (Włochy) – skala miejska
- Centrum historyczne miasta Avila (Hiszpania) – skala miejska/architektoniczna
- Mur Hadriana (UK) – skala regionalna
- Twierdza Kraków – skala architektoniczna

Dwa różne podejścia zostały wykorzystane w tworzeniu zmiennych w czasie scenariuszy 3D:

1. W skali regionalnej, krajobrazu (LoD0) wykorzystana została fotogrametria lotnicza i lotniczy skaning laserowy w połączeniu z systemami GIS, co pozwala na równoczesną analizę treści map i zdjęć historycznych, które w postaci zeskanowanych i skalibrowanych map, ortofotomap ze zdjęć są integrowane z numerycznymi modelami terenu (NMT). Wykorzystując podejście 4D jest możliwe uwidocznienie przekształcania się krajobrazu w czasie i stawianie hipotez na temat przyszłych zmian uwarunkowanych czynnikami naturalnymi i antropogenicznymi. Wiedza ta jest kluczowa w zarządzaniu środowiskiem na poziomie regionalnym dla podmiotów z różnych dziedzin (kulturowe dziedzictwo, polityka, administracja itp.).

2. W skali architektonicznej (LoD3) wykorzystano naziemny skaning laserowy i fotogrametrię bliskiego zasięgu, która umożliwia tworzenie dokładnych modeli 3D i jest np. punktem wyjścia do prac rekonstrukcyjnych, czy analiz transformacji obiektu na przestrzeni lat. W tej skali należy zauważyć duży wpływ specjalistów z dziedzin humanistycznych (np. historii, archeologii) oraz udziału w tworzeniu modeli 4D danych archiwalnych, planów historycznych, ikonografii itp. Współpraca ze specjalistami z dziedzin humanistycznych ma kluczowe znaczenie dla stworzenia wiarygodnych modeli z różnych epok historycznych i oceny niepewności uzyskiwanych wyników.

3. Skala miejska (LoD1/LoD2) znajduje się pomiędzy skalą regionalną a architektoniczną i dlatego wszystkie wyżej wymienione technologie są wykorzystywane w tym przypadku w różnym stopniu, a stosowana metoda nazywana jest hybrydową.

POLIMINI

Partner włoski wybrał do badań Cyrk Rzymski w Mediolanie. Obecnie widoczne są tylko fragmenty budowli: wieża murów miejskich, wieża Carceres ponownie wykorzystywana jako dzwonnica należąca do Monastero Maggiore, oraz niektóre sekcje ścian lub fundamentów położone w obrębie prywatnych nieruchomości, czasem ukryte w ich wnętrzach lub w piwnicach.

Źródła historyczne mówią o istnieniu cyrku aż do czasów Longobardzkich. Od tego czasu części cyrku były włączane do innych budowli. Jako obiekt testowy wybrano cyrk, ponieważ idealnie nadawał się do zaprezentowania nowej technologii, obecnie nie można go zobaczyć i nie jest znany większości mieszkańców, z wyjątkiem ekspertów. Rekonstrukcje 4D rozszerzają wiedzę na temat jego struktury i są użyteczne dla archeologów ale również pozwalają lepiej zrozumieć mieszkańcom Mediolanu i turystom miniony okres starożytności. Najważniejszą częścią prac było zgromadzenie danych archiwalnych: map historycznych, starych rysunków i dokumentów prac archeologicznych prowadzonych od zakończenia II wojny światowej. Rola danych historycznych była kluczowa ze względu na to, że obecnie istnieją jedynie szczątki budowli.

Następny etap badań obejmował pomiary 3D z wykorzystaniem nowoczesnych technologii takich jak skaning laserowy i fotogrametria. Dane pomiarowe zostały zintegrowane z klasycznymi pomiarami geodezyjnymi: tachimetrycznymi i GPS w celu nadania modelom 3D georeferencji i umieszczenia ich w przestrzeni geograficznej w określonym układzie współrzędnych. Umożliwiło to wprowadzenie modeli do bazy danych przestrzennych GIS i nałożenie na mapę katastralną. Szereg czasowy modeli 3D (modele 4D) nałożony na różne mapy: aktualne i historyczne umożliwia lepsze interpretacje kształtu i rozmiaru cyrku oraz analizy jego zmian w czasie.



**Cultural Heritage
Through Time**



NCL

Obszarem testowym partnera z Wielkiej Brytanii był wybrane fragmenty Muru Haryana, dwa forty i jedna osada: Birdoswald, Corbridge and Beckfoot. Obszary te zostały wybrane ze względu na obecność naturalnych zagrożeń: erozję brzegową, rzeczną i powodzie. Mur znajduje się na liście światowego dziedzictwa UNESCO od 1987. Krajobraz otaczający mur różni się zasadniczo od tego jaki był w czasach rzymskich, chociaż spora część muru jest w dalszym ciągu widoczna zarówno na wybrzeżu, jak i w obszarach rolnych i zabudowanych. Głównym celem projektu była integracja różnych rodzajów informacji na potrzeby tworzenia zaawansowanych modeli 4D. Dlatego wykorzystano różne metody pozyskiwania danych: rejestrację z bezałogowych statków latających, popularnie nazywanych dronami (Unmanned Aerial Vehicle UAV), lotniczy skaning laserowy (Airborne Laser Scanning ALS) i pomiary geofizyczne oraz różne rodzaje danych. Wykonano intensywne badania w Angielskich Archiwach Historycznych (Historic England Archive) i archiwach Uniwersytetu Newcastle w celu znalezienia istniejących map, planów, rysunków i zdjęć historycznych oraz historycznych pomiarów topograficznych i geofizycznych. Zdjęcia archiwalne z lat 1948-1991 zostały zeskanowane i na ich podstawie wyprodukowano ortofotomapy. Zostały one zintegrowane z danymi ALS z lat 2009, 2010 i 2013 pozyskanymi z Brytyjskiej Agencji Środowiska (UK's Environment Agency), z ortofotomapami w zakresie widzialnym (RGB) i bliskiej podczerwieni (NIR) uzyskanymi z pomiarów UAV oraz z wynikami pomiarów geofizycznych.

USAL

Obszarem testowym partnera hiszpańskiego był średniowieczne mury obronne miasta Avila, w szczególności brama główna Alcazar. Obiekt jest przykładem budowli militarnej w stylu hiszpańsko-rzymskim ale poza tym wyjątkowym przykładem europejskiej architektury średniowiecznej. Mur służył nie tylko celom obronnym przeciwko możliwej inwazji i zabezpieczał ludność przed ewentualnymi epidemiami ale również umożliwiał kontrole handlu pomiędzy miastem i otoczeniem. Dostęp do miasta umożliwia dziewięć bram, z czego najbardziej interesująca jest brama główna Alcazar (Alcazar Main Door). W 1985 stare miasto w Avilii zostało wpisane na listę światowego dziedzictwa UNESCO.

Podobnie jak dla poprzednich obszarów testowych przeprowadzono prace w celu pozyskania danych archiwalnych w różnych instytucjach: fundacji Duque de Alba, lokalnym muzeum i urzędzie miasta Avila. Dokumenty te posłużyły do rekonstrukcji stanu obiektu w różnym czasie. Stan obecny został zinwentaryzowany z wykorzystaniem, naziemnego skaningu laserowego (Terrestrial Laser Scanning TLS), fotogrametrii i systemu mobilnego mapowania (Mobile Mapping Systems MMS).

SSSA

Obiektem testowym partnera polskiego była Twierdza Kraków. W wyniku ustaleń na spotkaniu roboczym ze specjalistami: przedstawicielem Konserwatora Zabytków w Krakowie (p. Haliną Rokowską-Tasak) i ekspertem w zakresie Twierdzy Kraków (p. Piotr Opaliński, pracownik Muzeum Historycznego w Krakowie) wybrano różne typy fortów, interesujące z historycznego punktu widzenia. Wybrano obiekty należące do I i V Obwodu Obronnego. Był to sektor o największym znaczeniu strategicznym w Twierdzy Kraków ze względu na bliskie sąsiedztwo granicy rosyjskiej.

Obiekty zostały podzielone na trzy kategorie:

1. Fortyfikacje najciekawsze pod względem znaczenia militarnego i formy architektonicznej
2. Fortyfikacje ważne
3. Fortyfikacje pozostałe

Wstępnie wybrano:





- z pierwszej grupy: Fort pancerny międzypolowy 47 ½ „Sudoł”, Fort główny pancerny 47 „Węgrzce”, Bastion III „Kleparz”, Fort artyleryjski 47 „Łysa Góra”, Luneta Warszawska 12 (Iva), w kolorze czerwonym w tabeli poniżej,
- z drugiej grupy: Fort artyleryjski 45 „Marszowiec”, Fort pancerny międzypolowy 45a „Bibice”, Fort artyleryjski 48 „Batowice”, Bastion III „Kleparz”, Szaniec 10, Szaniec piechoty V/2, w kolorze zielonym w tabeli poniżej,
- z grupy trzeciej: Fort „Kościuszko” z uwagi na jego duże znaczenie turystyczne w kolorze niebieskim w tabeli poniżej.

Podobnie jak w przypadku pozostałych partnerów zgromadzono dane historyczne, mapy, plany rysunki, wykonano pod nadzorem specjalisty rekonstrukcje modeli historycznych. Równocześnie zgromadzono istniejące aktualne dane, skorzystano z danych udostępnianych przez Główny Urząd Geodezji i Kartografii (GUGiK): map topograficznych, katastralnych, bardzo dokładnych numerycznych modeli terenu (NMT) utworzonych z wykorzystaniem technologii ALS. Ponadto została wykonana inwentaryzacja niektórych z wybranych wstępnie obiektów za pomocą technologii naziemnego skaningu laserowego TLS i metod fotogrametrycznych wykorzystując naloty dronem (UAV).

Tab. 1 Wstępna selekcja obiektów do badań

Fort	Dane archiwalne	TLS	ALS	UAV	Dane kartograficzne
Sudoł	+	-	+		+
Węgrzce	+	+	+	+	+
Łysa Góra	+	-	+		+
Luneta Warszawska			+		+
Marszowiec	+	-	+		+
Bibice			+		+
Batowice	+	+	+	+	+
Kleparz	+	+	+		+
Szaniec 10			+		+
Szaniec piechoty V/2			+		+
Kościuszko	+	+	+	+	+

Opracowanie modeli 3D na podstawie danych aktualnych D3.1

Metodyka tworzenia modeli 3D, w tym na potrzeby kulturowego dziedzictwa jest znana. Istnieje szereg różnych opracowań na ten temat obejmujących zarówno pozycje monograficzne, podręczniki, jak i opisy ogromnej liczby studiów przypadków. Przykładowo kryteria doboru techniki 3D na potrzeby inwentaryzacji dziedzictwa kulturowego można znaleźć w publikacji NIMOZ w języku polskim (Bunsh i Sitnik 2014).

Różna skala opracowania warunkowała nieco odmienną metodykę pozyskania danych do modeli 3D. Każdy z partnerów stosował nowoczesne metody: fotogrametrię lotniczą i naziemną, skaningu lotniczy (z normalnego pułapu lotniczego i z drona), naziemny i mobilny. Dalsze opracowanie danych polegało na



Cultural Heritage
Through Time



rysowaniu ręcznie modeli 3D typu *solid* wykorzystując oprogramowanie komercyjne CAD, którego powszechnie w pracy używają archeolodzy, architekci etc. W innym podejściu model 3D powstawał automatycznie jako siatka trójkątów tzw. *mesh*, a oprogramowaniem użytym do tego był najpopularniejszy w tego rodzaju pracach – *AgiSoft*.

Szczegółowa metodyka tworzenia modeli 3D znajduje się w raporcie WP2 ([D2.1](#), [D2.2](#) i [D2.3](#)).

Metodyka opracowania modeli 3D na podstawie danych aktualnych

Pomiar terenowy w celu odtworzenia stanu aktualnego wybranych fortów Twierdzy Kraków (Fort 2 "Kościuszko", Fort 47a "Węgrzce", Fort "Batowice" i „Fort Kleparz” Bastion III) został wykonany metodą naziemnego skaningu laserowego TLS i fotogrametrii lotniczej z wykorzystaniem drona.

Naziemny skaningu laserowy wykonano wykorzystując skaner Faro Focus w celu inwentaryzacji Fortu „Kościuszko”. Dodatkowo wykonano nalot dronem (DJI Phantom Professional quadcopter) z kamerą FC300X (FOV f / 2.8 94 ° 20mm) .

Drugi obiekt, Fort 47a „Węgrzce” została zarejestrowany z 15 stanowisk TLS używając skanera Z+F 5010C Imager. Lokalizacje stanowisk znajdowały się dookoła koszar tworzących centralną część fortu. Skanowanie laserowego wykonano na każdym stanowisku z rozdzielczością 6mm/10 m i przy maksymalnym polu widzenia skanera. Oprócz położenia punktów chmury punktów skaner rejestrował równocześnie obrazy RGB, które posłużyły do późniejszego fotorealistycznego *renderingu* modelu. *Postprocessing chmury punktów* (kolorowanie, filtrowanie, eksport) wykonano w oprogramowaniu Z+FLaserControl. Podobnie jak w przypadku Fortu „Kościuszko” dla Fortu „Węgrzce” wykonano nalot dronem z kamerą jak poprzednio. Opracowanie danych z UAV w tym przypadku przeprowadzono również w programie *AgiSoft*.

Pomiary bezpośrednie wykonano również dla Fortu „Batowice” i Fortu „Kleparz”, ale ze względu na niską ich jakość modele te nie zostały udostępnione.

Pomiary terenowe i prace związane z tworzeniem modeli 3D zostały wykonane ze wsparciem w ramach prac dyplomowych (Strus 2017, Moskal 2017, Kidoń 2017, Stopiński, 2017, Szombra 2017).

Szczegółowa metodyka i wyniki zostały zaprezentowane w publikacji (Głowienka i in. 2017 a).

Poniżej znajdują się szczegółowe informacje na temat pomiarów terenowych wykonanych w celu inwentaryzacji stanu obecnego wybranych fortów, nie publikowane w raportach w języku angielskim, na głównej stronie projektu.

Wstępnie wybrano 4 obiekty: "Węgrzce", "Batowice", "Kopiec Kościuszki" oraz „Bastion III” . Materiały pozyskano z użyciem nowoczesnych technologii naziemnego skaningu laserowego i fotogrametrii bliskiego zasięgu przeprowadzając nalot dronem.

Opracowywane obiekty to Forty będące pozostałością po XIX-wiecznej Twierdzy CK Kraków, a każdy z nich reprezentuje inny typ obwarowania. Fort cytadelowy 2 „Kopiec Kościuszki” to obiekt samodzielny broniący dostępu do Twierdzy od zachodu. Fort artyleryjski 48 „Batowice” w swoim zamyśle miał kontrolować ważny trakt warszawski biegnący na północ od Krakowa. Fort pancerny główny 47a „Węgrzce” przeznaczony był do bliskiej i dalekiej obrony.

Pomiary przeprowadzono w celu udokumentowania pozostałości po Twierdzy mierząc się z trudnościami takimi jak zebranie odpowiedniej ilości i jakości danych wynikłych z faktu złożoności, wielkości i usytuowania opracowywanych obiektów. Sesje pomiarowe skaningu i fotogrametryczne odbyły się na wszystkich wyżej wymienionych Fortach, z tym że pojawiły się trudności z danymi ze skaningu.



**Cultural Heritage
Through Time**



Pomiary laserowe były wykonywane dwoma różnymi skanerami. Fort „Batowice” i „Węgrzce” zostały wykonane skanerem Zoller-Fröhlich Z+F IMAGER® 5010, natomiast „Kopiec Kościuszki” - Faro Focus. Skanom nie nadawano georeferencji.

Pomiar w Batowicach nie udał się, ze względu na zakłócenie pomiaru. W czasie pracy skanera, gdy ten wykonywał zdjęcia niezbędne do pokolorowania chmury punktów, osoby przebywające na terenie weszły w pole widzenia skanera, przez co późniejszy proces kolorowania chmury nie był możliwy. Prace terenowe należałoby powtórzyć.

Sesja pomiarowa w Węgrzcach zakończyła się pomyślnie. Wokół całego fortu rozlokowano 15 stanowisk skanera zamykając ciąg. Szczególną uwagę zwracano przy stanowiskach, z których rejestrowano ścianę frontową fortu. Ogół prac terenowych trwał około 10 godzin przy ustawieniach rozdzielczości 6mm/10m. Prace kameralne są na etapie pokolorowania chmury punktów w programie dedykowanym skanerowi Z+FLaserControl V8.8.0 i złożenia ich już w programie innego producenta Faro SCENE. Wynik wpasowania chmur jest na poziomie milimetrów, a mimo to wykonując przekroje na połączonej chmurze punktów widać rozbieżności na poziomie 5 cm. Ponadto stanowiska 14 i 15 były realizowane w późnych godzinach i zarejestrowane przez skaner zdjęcia są ciemne. Proces łączenia skanów należałoby przeprowadzić ponownie.

Skaning naziemny na Kopcu Kościuszki obejmował rejestrację geometrii najbardziej zniszczonej części fortu. Pierwszego dnia zeskanowano pozostałości po fosie znajdującej się od strony zachodniej, a w ciągu kolejnych 4 dni resztki ścian bastionów I – III oraz kaponier I – II – obszar pn. – Zach (Twierdza_art 2018). Prace kameralne zostały wykonane w oprogramowaniu dedykowanym skanerowi. Skany połączyły się na poziomie 0,010 m. Prace można w połowie uznać za zakończone z powodzeniem, ponieważ skaner, którym dysponowano działał nie całkowicie poprawnie. Po przeprowadzonych testach wewnętrznych jego zasięg powinien wynosić około 25m, jednak w rzeczywistych warunkach terenowych wahał się od 10 do 15 m, tylko na jednym stanowisku zarejestrowano punkty w odległości 40 m od stanowiska skanera. Pomimo ustawień rozdzielczości skanowania 6mm/10m, skany okazały się być rzadsze. Dodatkowym problemem był brak danych w okolicy 0° i 180° zasięgu poziomego skanera. Proces kolorowania skanów również nie obył się bez przeszkód, prawdopodobnie ze względu na kolejną wadę skanera, a mianowicie rejestrowane przez niego zdjęcia były przesunięte względem odpowiadających punktów chmury o kilka do kilkunastu centymetrów.

Pomiary fotogrametryczne przeprowadzono z użyciem quadcoptera Phantom 3 Professional korzystającego z kamery FC300X z matrycą 1/2.3 inch CMOS wykonującą zdjęcia 12MPx i obiektywie FOV f/2.8 94° 20mm. Dron wyposażony jest w system GPS/GLONASS. Co do prac kameralnych, to do rekonstrukcji obiektów w trójwymiarze użyto oprogramowanie Agisoft PhotoScan.

Zdjęcia obiektów zbierano przy parametrach: jednostka przysłony f/2.8, czułość ICO100, długość ogniskowej 4mm a dla formatu 35mm – ogniskowa 20mm. Odległości od obiektów w przypadku fortu „Batowice” wynosiły 64 m (lot nad obiektem) i 14 m (przy rejestracji muru ściany frontowej), dla fortu „Węgrzce” odpowiednio 68 m i 18 m, a dla fortu „Kopiec Kościuszki” wysokość nad obiektem to 162 m. Dla każdego obiektu wykonano średnio od 50 do 300 zdjęć, które były źródłem danych do wygenerowania najpierw gęstej chmury punktów, kolejno siatki TIN (*mesh*) i finalnie teksturowanego modelu geometrii obiektu



Cultural Heritage
Through Time



w układzie WGS84. Dla fortu w Węgrzyczach otrzymano model 3D pokrywający obszar 53100 m² (potem go docięto do istotnej treści) o rozdzielczości terenowej 7mm/pix i 3 cm/pix (w zależności od wysokości lotu).

Dla obiektu w Batowicach model 5mm/pix (ściana frontowa) i 2cm/pix (pozostała część) pokrywał obszar około 20 000 m². Model 3D fortu cytadelowego „Kopiec Kościuszko” posiada rozdzielczość terenową 5.5 cm/pix. Wyniki można określić jako zadowalające, ponieważ udało się zrekonstruować opracowywane obiekty w całości w bardzo krótkim czasie, co byłoby niemożliwe przy wykorzystaniu skaningu laserowego. Z drugiej strony jednak nie zdołano otrzymać wiernego ich odwzorowania, ze względu na pośpiech przy przygotowywaniu planu nalotu (nie do końca uwzględniając specyfikę każdego z obiektów), jak i pewne ograniczenia oprogramowania niepozwalające na rekonstrukcję wąskich elementów typu belki, drabiny, pnie drzew, lampy itp. ze zbyt dużego, jak do tych celów, przyjętych pułapów nalotów.

Prace terenowe wykonane dla obiektu „Bastion III” zakończyły się niepowodzeniem z uwagi na niską jakość modeli. Więcej można znaleźć w pracach (Kidoń 2017, Stopiński, 2017, Szombra 2017) oraz w raporcie z walidacji [D3.4](#).

Wyniki modelowania 3D z wykorzystaniem danych aktualnych

Wyniki modelowania 3D z wykorzystaniem danych aktualnych dla wszystkich obszarów testowych znajdują się w raporcie [D3.1](#) oraz na stronie <https://cht2.eu> w zakładce *on-line visualization*.

Opracowanie modeli 3D na podstawie danych historycznych [D3.2](#)

Do opracowania modeli 3D z danych historycznych wykorzystano dane geodezyjne dostępne na stronie GUGiK (Geoportal 2018): mapy topograficzne, NMT/NMTP z ALS, surowe chmury punktów ALS oraz ortofotomapy. Wizualizacja modeli 3D z ALS dla wybranych fortów znajduje się na. Zostały one wykorzystane w celu identyfikacji zmian w czasie. Dane archiwalne pochodziły z Muzeum Historycznego w Krakowie lub z zasobów prywatnych.

Metodyka opracowania modeli 3D na podstawie danych historycznych

Modele historyczne w postaci *solid* były tworzone ręcznie. Analiza wizualna danych wysokościowych NMT/NMPT i chmur punktów na tle danych archiwalnych i innych dostępnych danych kartograficznych umożliwiła określenie stopnia zniszczenia fortów w okresie (1920-1939) i w latach 50-tych. Weryfikacja map archiwalnych przeprowadzona poprzez porównanie ze stanem obecnym obiektów, istniejącą formą fortyfikacji z planami austriackimi. W rezultacie możliwe było zidentyfikowanie różnic między oryginalnym projektem i obecnym stanem obiektów.

Przeprowadzone analizy pozwoliły również na weryfikację lokalizacji fortów pod kątem widoczności obiektu ze strony wroga (pierwszy plan), obecności i liczby "martwych pól" na pierwszym planie, skuteczności maskowania za pomocą rzędów drzew i krzewów. Ponadto analizy obejmowały zbadanie wpływu erozji wynikającej z naturalnego procesu zamulania drenów form ziemnych, a także procesy niszczenia skarp, przesuwania skarp, zalewania fosy oraz kaponier.

Szczegółowa metodyka i wyniki zostały zaprezentowane w publikacji (Głowienka i in. 2017 b).



Cultural Heritage
Through Time



Wyniki modelowania 3D z wykorzystaniem danych historycznych

Wyniki modelowania 3D z wykorzystaniem danych historycznych dla wszystkich obszarów testowych znajdują się w raporcie [D3.2](#) oraz na stronie <https://cht2.eu> w zakładce *on-line visualization*.

Publikacje modeli 4D w Internecie WP4

Badania literatury na temat technologii publikowania modeli 4D w Internecie [D4.1](#)

Artykuł zamieszczony na stronie internetowej (Geospatial World 2016) zawiera krótki opis postępu, który się dokonał w technologii internetowej w kontekście publikowania modeli 3D i danych GIS. Współczesne aplikacje WebGIS bazują na architekturze klient/serwer. Oznacza to, że dane znajdują się na serwerze i wszystkie obliczenia też tam są przeprowadzane. Po stronie klienta jest interface przeznaczony do kontroli tych procesów i wizualizacji wyników. To rozwiązanie nie wymaga instalacji żadnego po stronie klienta. Z drugiej strony to może powodować wzrost kosztów po stronie serwera i wydłużyć czas wykonywanych analiz.

W związku z wykorzystaniem różnych urządzeń konieczne jest tworzenie aplikacji, które działają na komputerach stacjonarnych, laptopach, smartphonach. Technologia HTML5/JavaScript jest obecnie standardowym rozwiązaniem wykorzystywanym na potrzeby obsługi stron internetowych. Charakteryzuje się ona tym, że aplikacja wykonana w tej technologii działa na wszystkich urządzeniach, albo nie działa na żadnej. JavaScript jest językiem skryptowym WWW tak, że każde urządzenie, na którym jest zainstalowana przeglądarka internetowa ma interpreter JavaScript. Społeczność zajmująca się technologiami GIS rozwinęła wiele platform programistycznych (*software framework*) JavaScript, np. OpenLayers, która umożliwia udostępnianie map w przeglądarce internetowej.

Framework albo platforma programistyczna – szkielet do budowy aplikacji, jest częścią większej platformy programistycznej, zawiera takie komponenty jak: biblioteki kodu, programy pomocnicze, kompilatory, zestawy narzędzi i specyficzne interface API (Application Programming Interface), (Software framework 2018).

Starsze rozwiązania stworzone w celu udostępniania danych przestrzennych w technologii klient/serwer (*Web GIS client applications*) wymagały zainstalowania po stronie klienta wtyczki, takiej jak np. Silverlight, Flash player itp. Obecnie odchodzi się od takiego podejścia na korzyść bardziej uniwersalnego, opartego na technologii HTML5.

W dalszej części rozdziału znajduje się opis możliwości narzędzi darmowych, rozwijanych obecnie na świecie opartych na WebGL, dwóch aplikacji komercyjnych: Geoweb3D, GeoBrowser3D, nie związanych bezpośrednio z oprogramowaniem GIS oraz dwóch aplikacji komercyjnych, których podstawowa funkcjonalność jest dedykowana przetwarzaniu danych przestrzennych: ArcGIS i Hexagon.

Środowiska *open-source*

WebGL

WebGL to wieloplatformowy, bezpłatny standard WWW umożliwiający dostęp do interfejsu graficznego 3D i stanowi rozszerzenie możliwości JavaScript. Bazuje na OpenGL ES 2.0 (Standard for Embedded Accelerated 3D Graphics, rozwijanym przez organizację non-profit Khronos Group), biblioteczki dedykowanej urządzeniom mobilnym (takim jak np. telefony komórkowe). Główni producenci przeglądarek internetowych, tacy jak



**Cultural Heritage
Through Time**



Apple (Safari) czy Google (Chrome), Microsoft (Edge) i Mozilla (Firefox) są członkami grupy WebGL Working Group (WebGL 2019).

W kodzie WebGL używane są tzw. obiekty *canvas* do obsługi danych przestrzennych GIS. Obsługa tych danych wymagała wcześniej stosowania kłopotliwych dla użytkownika wtyczek. Kod WebGL jest zapisywany w tagu `<canvas>` HTML5, co umożliwiającą przeglądarkom internetowym dostęp do procesorów graficznych (GPU graphic processing unit). WebGL pozwala na wyświetlanie grafiki 2D i 3D bez żadnych wtyczek, bezpośrednio w przeglądarce. Wszystkie nowoczesne urządzenia, przeglądarki wspierają standard WebGL.

WebGL działa dzięki powszechnemu wykorzystaniu technologii obliczeń równoległych (*parallel computing*) w procesorach nowoczesnych kart graficznych (GPU), które są używane przez standardowe przeglądarki internetowe wspierające standard WebGL. Takie rozwiązanie powoduje, że wykonanie analiz GIS jest bardziej efektywne, a wyniki wyświetlają się szybciej.

Standard WebGL jest używany na przykład przez najbardziej znaną na świecie firmę komercyjną (ESRI) produkującą oprogramowanie GIS (ArcGIS), która wykorzystywała go w darmowej przeglądarce CityEngine Web Viewer do prezentacji obiektów 3D. Innym przykładem jest firma Google, która stosuje WebGL w nowej wersji aplikacji Google Maps.

Tworząc aplikację internetową WebGIS 3D można bazować na wolnym, open-source'owym skrypcie: WebGL Earth JavaScript API umożliwiającym wykorzystanie danych kartograficznych całego globu ziemskiego. Wirtualny glob został stworzony dzięki HTML5 i technologii Canvas WebGL. We własnym skrypcie na początku ładuje się WebGL Earth API i dalej umieszcza się własne kody.

Cesiumjs

Cesiumjs jest open-source'ową biblioteką JavaScript na licencji Apache 2.0 wykorzystywaną do tworzenia trójwymiarowych map. Można pobrać środowisko Node.js® JavaScript, które wykorzystuje silnik: Chrome's V8 JavaScript engine. Można znaleźć wiele wersji demonstracyjnych pozwalających na „zabawę” z danymi i nabycie doświadczenia w posługiwaniu się różnymi narzędziami. W tym środowisku można zarówno wizualizować modele 3D jak i mapy. W celu implementacji w edytorze tekstowym umieszcza się odpowiedni kod w języku Java. Plik następnie można zapisać w postaci *.html i uruchomić w przeglądarce internetowej. Mapy satelitarne wykorzystywane przez Cesiumjs pochodzą z serwisu Bing Maps i mają bardzo dobrą jakość. Na stronie internetowej biblioteki można znaleźć pełną dokumentację, wiele podręczników (<https://cesiumjs.org/tutorials.html>) podzielonych na kategorie. Wiele filmów instruktażowych dotyczących pracy w tym środowisku znajduje się również na youtube. Udostępnione są również przykłady kodów i skryptów, które należy wpisać, aby stworzyć konkretne zjawisko. Dużym plusem jest też forum, na którym użytkownicy mogą dzielić się swoimi spostrzeżeniami i problemami w działaniu.

Reasumując jest to narzędzie, które na pierwszy rzut oka wydaje się bardzo funkcjonalne. Wygląda jednak na stosunkowo skomplikowane. Łatwy dostęp do dokumentacji, filmów instruktażowych, kursów oraz gotowych skryptów jest dużym ułatwieniem przy potencjalnej pracy w tym narzędziu.



Cultural Heritage
Through Time



Rozwiązania komercyjne

Poniżej opisane zostały dwie komercyjne aplikacje: Geoweb3D i GeoBrowser3D.

Geoweb3D

Geoweb3D jest komercyjną aplikacją (2 tygodniowa wersja próbna) stworzoną przez firmę GeoWeb3D (Bringhamton, NY, US). Celem autorów była integracja zaawansowanych analiz GIS na platformie WWW i stworzenie produktu, który został nazwany: *GIS oriented product*. Każdy użytkownik może integrować, analizować i wizualizować dane. Dostępne jest również narzędzie programistyczne: Geoweb3D SDK (Software Development Kit). Wykorzystanie tego rozwiązania wymaga instalacji oprogramowania na komputerze użytkownika. Na stronie producenta nie ma informacji na temat w jaki sposób można udostępnić własne dane 3D w Internecie. Wbudowana przeglądarka internetowa pozwala na pobieranie danych z sieci i wykorzystywanie ich do wizualizacji na poziomie aplikacji (w zakładce interfejsu programu widać wizualizacje). Na stronie producenta znajduje się zwięzły podręcznik, który jednak nie obejmuje ładowania do sceny własnych modeli. Aplikacja Geoweb3D jest intuicyjna i nie jest wymagane żadne doświadczenie w modelowaniu 3D. Można podać jej następujące zalety:

- interface jest prosty z pomocą kontekstową
- akceptuje popularne formaty danych rastrowych i wektorowych
- wbudowana przeglądarka internetowa pozwala na płynną interoperacyjność z programami typu cloud i mapping applications, takimi jak Google Maps, Google Earth, ArcGIS online itd.
- posiada wbudowany silnik: ArcGIS Engine. Jeśli użytkownik posiada na swoim komputerze licencję ESRI, Geoweb3d zapewnia:
 - wczytywanie, edytowanie, identyfikowanie i nawigowanie w plikach ArcGIS Engine w formacie MXD
 - wczytywanie danych wektorowych z geodatabase ArcGIS
- zapisywanie i przywracanie wyników pracy za pomocą niestandardowego formatu xml (G3PROJ)
- wczytywanie danych rastrowych w wielu formatach (JPEG, GeoTIFF, ArcInfo ASCII Grid, ArcInfo Binary Grid, Erdas Imagine, Idrisi Raster, SRTM HGT, PCI *.aux Labeled, Intergraph Raster, etc.)
- wczytywanie danych wektorowych w wielu formatach (Shapefile, Personal Geodatabase, File Geodatabase, GeoJSON, GML, DGN, TopScene XMDL, etc.), tworzenie własnych danych w modelu wektorowym
- wczytuje i renderuje ogromne zbiory danych w postaci chmur punktów i łączy je z różnymi zbiorami danych GIS, charakteryzuje się dużą wydajnością, wykorzystuje najnowszą technologię GPU
- wczytuje dane LIDAR (ALS, TLS, Mobile) w formacie LAS, bez konieczności wstępnego przetwarzania danych, umożliwia różne warianty wizualizacji chmury punktów: RGB, intensywność itp.
- chmury punktów ze skaningu laserowego są kolejną warstwą GIS, która jest zintegrowana z innymi danymi GIS zarówno na poziomie wizualizacji, jak i analiz
- dostępne są narzędzia umożliwiające pomiary w zbiorze danych i analizy widoczności (działają na chmurach punktów tak samo jak na innych danych przestrzennych).
- zalety dotyczące wczytywania modeli 3D
 - możliwość wczytywania dużych modeli 3D i wydajnej na nich pracy
 - wczytywanie danych z AutoCAD FBX
 - wczytywanie danych bezpośrednio z Google 3D Warehouse
 - dostępne formaty modeli 3D (OpenFlight *.flt, 3D Studio *.3ds, Collada *.dae, Direct-X *.x, Alias Wavefront *.obj, Lightwave *.lwo, AutoCAD DXF *.dxf, AutoDesk FBX *.fbx, OSG *.osg, *.ive)



**Cultural Heritage
Through Time**



- zalety dotyczące wizualizacji
 - dużo opcji do uatrakcyjniania wizualizacji 3D (oświetlenie, cienie, chmury itp.), jakość wizualizacji jest bardzo wysoka, porównywalna z jakością osiąganą w grach komputerowych
 - dostępna jest opcja konfiguracji oświetlenia w celu uzyskania realistycznej wizualizacji modelu, można zmieniać wygląd nieba np. symulować zachmurzenie
 - możliwość hybrydowej wizualizacji: realistycznej i tematycznej
 - modele 3D CAD można umieszczać we właściwej lokalizacji geograficznej i integrować je z danymi GIS, usługami internetowymi itp
 - dodatkowym sposobem wizualizacji danych w Geoweb3d są ikony i etykiety; kliknięcie na ikonę otwiera tabelę atrybutów z informacjami opisowymi strony internetowymi, zdjęciami, filmy video
 - możliwość dołączania znaczników miast (pliki KML)
 - możliwość wczytywania map tematycznych z WMS, np. Mapy ESRI, mapy Bing, OpenStreetMap, mapy Google
 - Obsługiwane są następujące formaty strumieniowe: *.ArcGIS Server REST Service, *.Web Map Service (WMS), *.Tile Map Service (TMS)

GeoBrowser3D

GeoBrowser3D to platforma umożliwiająca przeglądanie danych przestrzennych, dodawanie własnych map, grafik wektorowych, modeli powierzchniowych i obiektów 3D. Umożliwia również przeprowadzanie analiz przestrzennych. GeoBrowser3D wykorzystuje standard WebGL, co pozwala na efektywne renderowanie nie tylko wybranego podkładu mapowego na globie ziemskim, ale także trójwymiarowych obiektów powierzchniowych, bez względu od ich liczby. Program jest kompatybilny ze standardami do wizualizacji 3D OGC (WMS, WFS, WFS-T, OpenLS, SOS, CityGML).

GeoBrowser3D jest dostępny na komputery stacjonarne oraz na urządzenia mobilne z systemami iOS i Android. Producent zapewnia również dostęp do serwera GeoBrowser3D, dzięki czemu bez problemów można wysyłać dane do klientów i pozostałych użytkowników serwisu. Geo-dane można tworzyć i przysyłać *on-the-fly*, w celu zaoszczędzenia miejsca na dysku. Obsługiwane są wszystkie standardowe formaty danych przestrzennych.

Rozwiązanie wydaje się być bardzo funkcjonalne i proste w obsłudze. Dostępne są intuicyjne narzędzia do nawigacji 3D, interaktywnego przeglądania zawartości portalu, jak i różne tryby widoku. Dostęp do danych znajdujących się czasami na różnych serwerach w różnych miejscach jest obsługiwany przez Sensor Observation Service (SOS), co pozwala na ładowanie danych w czasie rzeczywistym.

Twórcy platformy zapewnili możliwość zarządzania różnymi typami danych, zarówno standardowymi materiałami GIS'owskimi, jak i dużymi zestawami danych satelitarnych. Możliwe jest ładowanie na platformę danych rastrowych i wektorowych (SHP, WFS, WFS-T), a także zestawów danych w formacie KML/KMZ Google Earth. Dostępna jest również wizualizacja obiektów 3D. Nawet duże obszary zurbanizowane mogą być ładowane na platformę GeoBrowser3D, muszą być tylko oparte o CityGML (City Geography Markup Language). Wydaje się, że unikatowym rozwiązaniem jest również renderowanie i nawigowanie po chmurze punktów, nawet do 200 mln punktów w czasie rzeczywistym.

Bardzo atrakcyjne dla użytkownika mogą okazać się specjalnie efekty wizualizacji – oprócz efektu cienia zgodnego z położeniem Słońca na danej szerokości geograficznej, w wybranym dniu roku jest jeszcze dostępna opcja ustawienia zachmurzenia, czy też symulowanie burzy nad danym terenem. Ciekawą opcją prezentacji jest ustawienie w przestrzeni zdjęć obiektu wykonanych z drona z informacją o geolokalizacji.



Cultural Heritage
Through Time



Udostępnianie nagrań z przelotów dronem, jak i wizualizacja 3D trasy przelotu może okazać się atrakcyjną funkcją platformy. Udostępnianie geo-danych z portalu szerszemu gronu użytkowników, nie tylko tym związanym z GIS'em, ale również twórcom gier komputerowych poprzez popularne formy PNG i RAW, jest również dość istotnym elementem dodatkowym serwisu GeoBrowser3D.

Oprogramowanie GIS

W związku z tym, że celem projektu CHT2 była integracja danych GIS i modeli 3D przeanalizowano również funkcjonalność wolnego oprogramowania GIS w tym zakresie (GISGeography 2017). Istnieje szereg darmowych programów GIS, przykładowo: QGIS, ILWIS, GRASS, SAGA etc. Niestety analiza tego rodzaju oprogramowania wykazała, że w większości przypadków funkcjonalność jest niewystarczająca na potrzeby projektu, ponieważ w obecnej chwili nie umożliwia integracji modeli 3D z danymi GIS.

Drugą grupę stanowią programy dedykowane tworzeniu modeli 3D, czyli programy CAD. Na rynku, w praktyce, nie istnieje darmowe oprogramowanie CAD, które byłoby używane przez profesjonalistów do tworzenia modeli 3D. Do pewnego momentu taką darmową alternatywą był Sketchup, który jednak obecnie jest komercyjny, co prawda nie tak drogi jak jego „duże” odpowiedniki: AutoCad, Microstation, Revit, Rhino etc. Jeśli chodzi o integrację modeli 3D i GIS na poziomie oprogramowania CAD jest jeszcze gorzej niż w przypadku oprogramowania GIS.

Ostatecznie przeprowadzono analizę funkcjonalności dwóch „dużych” platform GIS pod kątem integracji danych GIS i modeli 3D. Wybrano rozwiązania, proponowane przez dwie najbardziej znane w tym zakresie firmy: Esri i Hexagon. Firma Esri tworzy, niezmiennie od bardzo wielu lat, najbardziej znane na świecie oprogramowanie GIS, które obecnie nazywa się: ArcGIS. Można powiedzieć, że w środowisku GIS wszędzie na świecie jest to niekwestionowany lider. Hexagon, który wchłonął firmę: Intergraph, kiedyś równie znaną jak Esri, przejął rozwiązanie oparte na silniku Geomedia, następcę bardzo znanego programu do GIS: MGE pracującego w środowisku CAD: Microstation.

Praktyczne testowanie różnych rozwiązań do publikowania modeli 4D w Internecie cht2.eu

Praktyczną analizę rozwiązań dostępnych do integracji modeli 3D i danych przestrzennych GIS przeprowadzono w oprogramowaniu komercyjnym Hexagon, z wykorzystaniem darmowej przeglądarki Esri: CityEngine Viewer oraz 3 darmowych aplikacji do udostępniania chmur punktów: Potree, 3DHOP, X3D.

ArcGIS

Funkcjonalność produktów Esri w zakresie udostępniania modeli 3D można znaleźć w materiałach konferencyjnych (Hoak 2016 a). Dane wejściowe do aplikacji Export Web Map stanowią fragment kodu tekstowego JavaScript w formacie JSON opisujący, warstwy, grafikę oraz ustawienia mapy na stronie WWW. JSON musi mieć strukturę zgodną ze specyfikacją ExportWebMap, którą można znaleźć w pomocy do ArcGIS. Narzędzie ExportWebMap jest dostarczane wraz z aplikacją: ArcGIS Server. Przygotowanych jest również szereg skryptów w Python'ie do tworzenia map w Internecie.

Istnieje wiele różnych narzędzi i komponentów wykorzystywanych na potrzeby publikowania map. Schematyczny schemat działania i wzajemnych połączeń pomiędzy komponentami przedstawiony został na rysunku poniżej.



**Cultural Heritage
Through Time**



Do publikowania danych przestrzennych na stronach WWW używa się następujących komponentów (Hoak B. 2016 b): :

- ArcGIS Pro – aplikacja do zarządzania danymi 2D/3D
- 3D Analyst – aplikacja do analiz 3D
- CityEngine – zaawansowane narzędzie do planowania urbanistycznego
- ArcGIS for Server – aplikacja do udostępniania danych 2D/3D
- ArcGIS Online – serwis udostępniający dane 2D/3D z serwera Esri
- ArcGIS Earth – łatwe narzędzie do analiz modeli 3D
- ArcGIS Runtime – narzędzie programistyczne dla tworzenia aplikacji 2D i 3D na życzenie klienta
- ArcGIS Marketplace - zewnętrzne aplikacje geoprzestrzenne i dane dla przedsiębiorstw

Hexagon

Hexagon Geospatial posiada dwa główne produkty: Smart M.App i Power Portfolio (Hexagon Power Portfolio, 2016). Power Portfolio umożliwia zarządzanie produktami Hexagon Geospatial i tworzenie konkretnych linii produkcyjnych (Producer Suite, Provider Suite i Platform Suite), łącząc technologie fotogrametryczne, teledetekcyjne, GIS i kartograficzne.

Platform Suite umożliwia zbudowanie webowej aplikacji internetowej. W tej linii dostępne są produkty z rodziny rozwiązań WebGIS: GEOMEDIA® WEBMAP, GEOSPATIAL PORTAL oraz GEOSPATIAL SDI. Geospatial SDI rozszerza możliwości GEOMEDIA® WEBMAP wykorzystując standardy CSW (Catalogue Service for the Web). Geospatial SDI (Spatial Data Infrastructure) jest interoperacyjną infrastrukturą danych zaprojektowaną dla dostawców danych, którzy muszą w efektywny sposób zarządzać, bezpiecznie przekazywać oraz licencjonować swoje dane klientom opierając się na standardach serwisów internetowych. Geospatial SDI zapewnia zgodność ze standardami OGC (Enhanced Open Geospatial Consortium), serwisami konsumenta, takimi jak WMS, WFS i WMTS, które są kierowane bezpośrednio do użytkownika portalu zapewniając wysoki stopień operacyjności, INSPIRE (Infrastructure for Spatial Information in Europe), a także ISO (International Standards Organization) dla serwisów internetowych.

Oprogramowanie open-source do publikowania chmur punktów w Internecie

Przeglądarka Cobweb X3D to nowy silnik przeglądarki X3D napisany w całości w języku JavaScript i wykorzystujący WebGL do renderowania w 3D. Można publikować źródłowy kod X3D na stronie HTML5 za pomocą Cobweb, które działa w przeglądarkach internetowych bez konieczności instalacji wtyczek. Jest to rozwiązanie oparte w pełni na standardzie WebGL, zatem działa na wszystkich urządzeniach i przeglądarkach.

Innym rozwiązaniem jest aplikacja Potree rozwijana w Uniwersytecie w Wiedniu (Potree 2017), która również została oparta o standard WebGL. Umożliwia przeglądanie, w czasie rzeczywistym w standardowych przeglądarkach internetowych, zestawów danych z miliardami punktów, pozyskanymi ze skaningu laserowego lub metodami fotogrametrycznymi. Pozwala ona na przeglądanie, analizowanie, mierzenie struktur 3D bez konieczności czasochłonnego i kosztownego tworzenia modeli *solid* czy *mesh*.

Trzecim testowanym rozwiązaniem jest 3DHOP, open-source'owy produktu włoskiej firmy: Visual Computing Lab. 3DHOP (3D Heritage Online Presenter) to pakiet oprogramowania o otwartym kodzie źródłowym do tworzenia interaktywnych prezentacji internetowych modeli 3D o wysokiej rozdzielczości, zorientowanych na Dziedzictwo Kulturowe. Użytkownikami technologii 3DHOP mogą być kuratorzy sztuki z doświadczeniem informatycznym, projektanci stron internetowych, którzy chcą osadzić treści 3D na stronach internetowych, studenci w dziedzinie CH, małe firmy opracowujące aplikacje internetowe dla instytucji muzealnych i CH. 3DHOP pozwala na tworzenie interaktywnej wizualizacji modeli 3D bezpośrednio w standardowej stronie





Cultural Heritage
Through Time



internetowej, po prostu dodając niektóre komponenty HTML i JavaScript w kodzie HTML. Scenę 3D i interakcję użytkownika można łatwo skonfigurować przy użyciu prostego podejścia "programowania deklaratywnego" i szeregu dostarczonych funkcji JavaScript.

Korzystając z zarządzania modelami 3D w wielu rozdzielczościach, wspierając wydajne przesyłanie strumieniowe, 3DHOP może z łatwością pracować z modelami 3D o wysokiej rozdzielczości (1-100 milionów trójkątów), również w przypadku niskiej przepustowości sieci.

3DHOP nie potrzebuje wyspecjalizowanego serwera ani obliczeń po stronie serwera: po prostu trochę miejsca na serwerze WWW i działa bezpośrednio w nowoczesnych przeglądarkach internetowych, nie są potrzebne żadne wtyczki ani dodatkowe komponenty.

Prezentacja modeli 4D w Internecie dla wszystkich obszarów testowych [D3.3](#), [D3.4](#), [D4.2](#), [D4.3](#)

W ramach projektu CHT2 został utworzony portal internetowy na potrzeby wizualizacji modeli 4D (<https://cht2.eu/>), wykorzystano do tego celu środowisko *open-source* Concrete5. W zakładce „Online Visualization” znajduje się mapa Google ze znacznikami odpowiadającymi lokalizacjom opracowywanych obiektów. Każdy znacznik to odwołanie do wizualizacji 3D. Poniżej można znaleźć także słowne zestawienie obiektów z linkami do wizualizacji w różnych technologiach. Większość przykładów wykorzystuje CityEngine WebViewer, który jest kompatybilny z programem CityEngine. Program działa z technologii ArcGIS i służy do modelowania 3D i tworzenia scen w celu późniejszego ich udostępniania w Internecie. CityEngine, który wykorzystano do wizualizacji, daje możliwość eksportu skompresowanego katalogu, który zawiera plik ze sceną oraz pliki samej przeglądarki CityEngine WebViewer. Cały taki katalog umieszczony został w chmurze. Na stronie znajdują się także wyniki testów innych wariantów, komercyjny: Hexagon Geospatial Portal i *open-source*: Potree, X3D i 3DHOP.

Szczegółowe informacje znajdują się w raportach: [D3.3](#), [D3.4](#) i [D4.2](#).

Na dole strony znajduje przykład udostępnienia danych GIS z aktywnymi obiektami punktowymi w lokalizacjach wybranych obiektów Twierdzy Kraków. Opis funkcjonalności GIS, w tym dostępne aktywne linki do informacji opisowych, modeli 4D i animacji, oraz możliwość pomiaru, wyszukiwania, odczytywania współrzędnych znajduje się w dokumencie [D4.3](#) (z uwagi na niewyjaśnione jeszcze prawa do publikowania mapy historycznej nie jest ona dostępna w Internecie).

W poniższym tekście znajdują się informacje dodatkowe, szczegółowe dotyczące udostępniania modeli w Internecie włącznie z opisem problemów, procesu optymalizacji i dyskusji wyników, których nie ma w w/w raportach.

Technologia ESRI

Jedną z testowanych technologii udostępnienia modelu 3D jest utworzenie trójwymiarowej sceny w programie City Engine. Test przeprowadzono dla Fortu „Węgrzce”. Opracowanie modelu 3D polegało na zgromadzeniu danych, odpowiednim przetworzeniu w programie Agisoft Photoscan i zaimportowaniu do programu CityEngine w celu wygenerowania pliku ze sceną 3D. Dane pozyskano metodą fotogrametryczną, dokonując nalotu nad obiektem bezałogowym aparatem latającym (dronem). Podczas pomiaru pozyskano kilkadziesiąt cyfrowych zdjęć RGB, które posłużyły do stworzenia modelu *mesh*. Wykorzystanie programu Photoscan pozwoliło zatem na uzyskanie metrycznego modelu fortu z fotorealistyczną teksturą. Czynności generowania siatki *mesh* ze zdjęć wykonywano wielokrotnie, wybierając różne warianty jakości modelu. Im więcej trójkątów w siatce (modelu) i im lepsza rozdzielczość tekstury, tym dokładniejsza reprezentacja obiektu. Pociąga to jednak za sobą zwiększenie wielkości pliku z modelem, co ogólnie przekłada się pogorszenie jakości wizualizacji w Internecie. Optymalny model wyeksportowano



Cultural Heritage
Through Time



z Photoscan do formatu *.kmz i otworzono w CityEngine. Utworzenie sceny 3D obejmowało określenie opcji wyświetlania sceny (np. oświetlenie) oraz opcji eksportu do formatu *.3ws, takich jak np. jakość tekstur, nazwy warstw wyświetlanych przy wizualizacji. Program pozwala na eksport katalogu, w którym znajduje się zarówno plik ze sceną *.3ws, jak i pliki przeglądarki CityEngineWebViewer, co pozwoliło następnie na umieszczenie go w chmurze.

Technologia Hexagon

W technologii oferowanej przez Hexagon testowano możliwość publikacji dwóch typów modeli 3D Fortu Kopiec Kościuszki dla dwóch okresów. Pierwszy z nich, historyczny, był modelem *solid* z kilkoma plikami tekstur nałożonych na model. Drugi, aktualny, był modelem *mesh* z jednym atlasem tekstury. Aby umieścić modele na Hexagon Geospatial Portal, należało przejść z formatu *.OBJ, *.KMZ lub *.DAE do *.myVR przy wykorzystaniu oprogramowania mTransformer oferowanego przez producenta. W przypadku modelu historycznego nie spotkano się z żadnymi problemami związanymi z transformacją między formatami, czy też samego wyświetlania modelu w Internecie. Natomiast w trakcie pracy z, dużo bardziej skomplikowanym pod względem geometrii i tekstury, modelem *mesh*, napotkano na problemy związane ze zbyt dużym rozmiarem pliku i zachowaniem fotorealistycznej tekstury. Geometrię trzeba było zgeneralizować do takiego stopnia, aby plik był jednocześnie mały ale w taki sposób, żeby kształty obiektu zostały zachowane. Taki model podzielono jeszcze na mniejsze fragmenty, poniżej 1MB, aby przyspieszyć wyświetlanie w Internecie. Kolejno przystąpiono do prac nad atlasem tekstury, który tracił znacznie na jakości po przejściu do *.myVR. Próbowano różnych rozwiązań, dopiero modyfikacja parametrów transformacji zapisanych wewnątrz samego kodu programu Transformer, dała jakieś pozytywne efekty. Jednak to z kolei generowało problemy z samą publikacją tak przygotowanego modelu. Plik *.myVR nie zawierał błędów wewnętrznych, ale nie wyświetlał się na portalu. Efektem końcowym prac w tym środowisku było testowe umieszczenie modelu o obniżonym stopniu szczegółowości geometrii i niskiej jakości tekstury. Więcej informacji znajduje się w pracy dyplomowej (Struś A. 2017) oraz w publikacji (Hejmanowska i in. 2018 b).

Problemy, które wystąpiły podczas prac nad udostępnianiem modeli 4D partnerów projektu

Partner z UK przygotował do udostępnienia w Internecie zestaw ortofotomap wraz z numerycznymi modelami terenu dla kilku okresów czasowych. Oprócz tego, że dane pokrywały dużo większy teren niż właściwy obszar zainteresowania, to kilku ortofotomapom brakowało niektórych kanałów spektralnych. Należało zatem po przycięciu danych przekonwertować dwie ortofotomapy (1984 r., 1991r.) do postaci monochromatycznej (*grey scale*), czyli zapisanej w jednym kanale. Ponadto format ortofotomap, które sprowadzono do postaci monochromatycznej należało przekonwertować do jednego z formatów kompatybilnych z wykorzystywaną przeglądarką CityEngine WebViewer. W tym przypadku odpowiedni był format *.jpg. Konwersję do formatu *.JPG przeprowadzono dla wszystkich ortofotomap, zarówno dla monochromatycznych (1984, 1991), jak i tych w barwach RGB (2006, 2016). Przygotowane ortofotomapy udrapowano na numerycznych modelach terenu.

Model partnera z Włoch przedstawia rzymski cyrk znajdujący się w Mediolanie. Zrekonstruowano budowlę na podstawie materiałów takich jak starożytne mapy, rysunki, raporty archeologiczne. Wykonano także model stanu obecnego, który przedstawia współczesną zabudowę miasta w tym rejonie. Modelowanie wykonano w programie Rhinoceros, wykorzystywanym głównie przez architektów. Model cyrku zawiera wiele elementów krzywoliniowych, zaokrąglonych, obłych powierzchni. Dla celów wizualizacji w CityEngine Web Viewer jak i innych przeglądarkach, model powinien mieć postać siatki *mesh* i ponadto powinien posiadać współrzędne w układzie lokalnym. Należało więc dokonać przesunięcia modelu oraz odpowiednio przekonwertować w oprogramowaniu Rhinoceros oryginalny model do postaci siatki i do formatu *.obj.



Cultural Heritage
Through Time



Czynność tę najlepiej w tym przypadku przeprowadzić etapowo odnosząc się do poszczególnych warstw w modelu, gdyż różnią się one szczegółowością i charakterem geometrii. Proces tworzenia siatki okazał się problematyczny, pomimo poprawnego wizualnie wyniku w Rhinoceros, po imporcie do programu CityEngine okazało się, że wygenerowane modele poligonowe nie oddawały odpowiednio kształtu obiektów, bądź posiadały zbędne poligony przysłaniające poprawne elementy.

Optymalizacja i dyskusja wyników

Każdy z partnerów przygotował swoje modele w różnych technologiach, czego konsekwencją była konieczność przeprowadzenia prac związanych z ujednoczeniem formatów. W niektórych przypadkach optymalizacja wymagała powtórzenia tworzenia modeli. Jednakże, zanim przystąpiono do realizacji tego koniecznego etapu w procesie udostępniania danych w Internecie, rozpoznano najbardziej obiecujące przeglądarki internetowe wykorzystywane do tego typu opracowań. Były nimi: X3D, Potree, 3DHOP, Hexagon Geospatial Portal, CityEngine WebViewer.

Rozwiązanie X3D wymagało, aby dane miały format VRML. Przy sprowadzaniu modeli do tego formatu występowały problemy z geometrią, niektóre z nich nie wyświetlały się poprawnie w przeglądarce. Ponadto, sam wygląd i funkcjonalność prezentacji nie były zadowalające i nie spełniały założonych wymagań. Testowanie wykonano dla Fortu Kościuszki.

Potree zostało użyte jedynie do testowej wizualizacji chmur punktów dla Fortu w Węgrzcach i obszaru testowego Corbridge w UK. Ze względu na fakt, że partnerzy nie przekazywali do ostatecznej publikacji kompletnych chmur punktów, Potree pozostało użyte jedynie na etapie testów.

3DHOP (3D Heritage Online Presenter) jest przystosowany do prezentacji online wysokiej rozdzielczości modeli 3D. Doskonale sprawdza się w przypadku obiektów małogabarytowych, takich jak obiekty muzealne. **Brakuje mu takich funkcjonalności jak wizualizacja modeli z georeferencją, tym samym nie daje możliwości publikacji podkładów mapowych.** Kolejnym ograniczeniem był wewnętrzny format przeglądarki *.NXS, do którego należało sprowadzić wszystkie modele, a żeby to zrobić, potrzebowano plik z modelem w formacie *.PLY i jeden plik z atlasem tekstury. Dla niektórych obiektów/modeli, nie było możliwości wygenerowania tego jednego pliku z teksturą, istniały tylko pojedyncze pliki *.JPG z materiałami nakładanymi na poszczególne elementy pierwotnych modeli. Testowanie wykonano dla wszystkich partnerów.

Hexagon Geospatial Portal był dobrym rozwiązaniem do wizualizacji online dużych modeli miast o bardzo zgeneralizowanej geometrii poszczególnych elementów (na przykład prostopadłościowej). Natomiast nie był przystosowany dobrze do publikacji modeli mesh. Kolejną kwestią była transformacja *.OBJ i atlasu tekstury *.JPG do wewnętrznego formatu *.myVR, ponieważ jakość tekstury drastycznie spadała. CityEngine WebViewer spełnia wszystkie kryteria co do technologii publikacji. W tym rozwiązaniu istnieje możliwość działania na powszechnym formacie *.OBJ. Kolejną korzyścią jest możliwość umieszczania w scenie 3D modeli z georeferencją wraz z podkładami mapowymi, ortofotomapami i numerycznymi modelami terenu. Spełnione są także założenia projektu o publikacji kilku stanów czasowych obiektów objętych opracowaniem, a jest to możliwe dzięki przesuwalnemu widokowi. Atutem, o którym warto wspomnieć, jest funkcja zmian oświetlenia sceny 3D, uzależnionego od położenia geograficznego modelu ze zmiennym atrybutem dnia w roku i godziny. Pomimo tego, że technologie ESRI są rozwiązaniami komercyjnymi, przeglądarka CityEngine WebViewer jest darmowa, ponieważ z programu CityEngine eksportowany jest katalog ze sceną i plikami przeglądarki, który można umieścić bezpośrednio na prywatnym serwerze bez konieczności zakupu dodatkowych licencji.



Ocena zakresu oddziaływania międzynarodowego projektu

Głównym celem projektu były badania nad integracją modeli 4D w środowisku WebGIS na różnym poziomie szczegółowości (od skali krajobrazu, poprzez skalę miejską aż do szczegółowości na poziomie budynku).

W wyniku przeprowadzonych prac można sformułować następujące wnioski:

1. Istnieją oprogramowania wolne, open-source do wizualizacji modeli 3D/4D oraz chmur punktów zarówno w wersji aplikacji stacjonarnych jak i internetowych (np. MeshLab, CloudCompare); nie dają one jednak możliwości integracji z danymi przestrzennymi
2. Publikowanie w Internecie modeli 3D zmiennych w czasie nie jest powszechne:
 - Dostępne są komercyjne rozwiązania umożliwiające integrację modeli 3D na platformie WebGIS (np. Geoweb3D i GeoBrowser3D) przy czym są to aplikacje, pracujące we własnym środowisku
3. W wyniku testowania powszechnie stosowanych rozwiązań komercyjnych dedykowanych bazom danych GIS wybrano narzędzie firmy Esri – CityEngine Viewer, ponieważ:
 - przygotowanie danych jest proste (w porównaniu z rozwiązaniem Hexagon)
 - nie występuje problem z tekstuowaniem
 - CityEngine Viewer jest darmowy
 - modele 4D działają w standardzie WebGL na komputerach, laptopach, smartfonach (na Androidzie i iPhone) i we wszystkich przeglądarkach
 - CityEngine Viewer ma unikalne rozwiązanie do równoczesnego porównywania modeli 3D z dwóch stanów czasowych, możliwość podziału ekranu na 2 części i przesuwania strzałką zakresu wizualizowanego modelu 3D
 - rozwiązanie pochodzi ze środowiska najbardziej znanego oprogramowania GIS na świecie ArcGIS
4. Testowano dwie aplikacje open-source do udostępniania chmur punktów: Potree and 3DHOP; wydaje się, że Potree jest bardziej efektywna, **a przede wszystkim umożliwia integrację modeli 3D z danymi GIS**
5. W ramach prac badawczych partnera z Hiszpanii USA została stworzona aplikacja TIDOP, (finansowana ze środków zewnętrznych poza projektem CHT2)
 - bazuje na *open-source* rozwiązaniu: Cesium JS i biblioteki JavaScript
 - działa na urządzeniach mobilnych, ale tylko z systemem Android
 - wymaga specjalnego przygotowania danych
6. Integracja modeli 3D/4D jest możliwa na poziomie WebGIS, z podkładem różnych map, ortofotomap udostępnionych jako OpenLayers (np. Google Maps, OpenStreetView), z własnym podkładem kartograficznym (np. mapą historyczną, czy archiwalną ortofotomapą) oraz aktywnymi obiektami wektorowymi, tzn. z możliwością odczytu tabeli atrybutów zawierającej dowolną ilość informacji i obiektów: stron internetowych, zdjęć, filmów, animacji etc.
 - można wykorzystać do tego celu oprogramowanie komercyjne jak i popularne oprogramowanie *open-source* QGIS
 - pełna integracja rozwiązania VR z WebGIS jest innym zagadnieniem, które nie zostało zbadane w ramach projektu CHT2; na razie w literaturze można znaleźć tylko informacje dotyczące prac nad wykorzystaniem technologii VR na potrzeby dziedzictwa kulturowego oparte na modelach 3D zmiennych w czasie w środowisku lokalnym

Podsumowując przeprowadzone badania można powiedzieć, że są one zbieżne z aktualnie prowadzonymi badaniami na świecie w tym zakresie. Proponowane w CHT2 rozwiązanie jest podobne do zastosowanego na przykład w projekcie VAST (VALorizzazione Storia e Territorio VAST_GIS 2018), (3DOM_GIS 2018,



**Cultural Heritage
Through Time**



3DOM_3DModel 2018, 3DOM_GIS_VIS 2018). Rozwiązanie wykorzystane w CHT2 jest również typu *open-source*, bazuje na WebGL, darmowej przeglądarce CityEngine Viewer, a WebGIS na oprogramowaniu QGIS.

Problemem integracji jest przygotowanie modeli 3D/4D, które w projekcie CHT2 odbywa się z środowisku najpowszechniej używanym na świecie czyli ArcGIS. Należy też zauważyć, że przygotowanie modeli jest procesem czasochłonnym i kosztownym, a czasem mogą pojawić się problemy krytyczne, niełatwe do rozwiązania w sposób szybki i efektywny, co może uniemożliwić praktyczne udostępnienie tych modeli. Ryzyko to może pojawić się kiedy używa się rozwiązania, co prawda typu *open-source* ale zamkniętego, tzn. nie wykorzystywanego powszechnie, wtedy samodzielne korzystanie z niego jest właściwie niemożliwe. Problem pojawia się w przypadku modeli 3D już na etapie ich tworzenia. O ile istnieje oprogramowanie GIS darmowe jak np. QGIS, o tyle na rynku modelowania 3D praktycznie nie wykorzystuje się oprogramowania darmowego.

Autorzy projektu mają nadzieję, że zaproponowane w CHT2 podejście ma szansę na powszechniejsze zastosowanie.

Literatura

Portale internetowego

Cultural_Heritage_CoE_2018: http://www.coe.int/t/dg4/cultureheritage/heritage/Identities/default_en.asp

European_Landscape_Convention_CoE , 2018:
http://www.coe.int/t/dg4/cultureheritage/heritage/Landscape/default_en.asp

NID 2018 – Portal mapowy Narodowego Instytutu Dziedzictwa <https://mapy.zabytek.gov.pl/nid/>

CARARE 2018 - Digital archaeological and architectural heritage resources <http://www.carare.eu/>

Europeana 2018 – Europeana collections <https://www.europeana.eu/>

3DOM, 2018 - FBK-3DOM 3D models repository - <http://3dom.fbk.eu/repository/portal/portal.html>

VAST_GIS 2018 - <http://vast-gis.fbk.eu>

3DOM_GIS 2018 - <http://3dom.fbk.eu/repository/files/ITT/gistcf.html>

3DOM_3DModel 2018 - <http://3dom.fbk.eu/repository/files/ITT/modelli3d.html>

3DOM_GIS_VIS 2018 - <http://3dom.fbk.eu/repository/files/ITT/gitevis.html>

Sketchfab_CH 2018 - <https://sketchfab.com/store/search?category=cultural-heritage-history>

Geoportal 2018 – <http://www.geoportal.gov.pl>

GISGeography 2017 - <http://gisgeography.com/free-gis-software/>

V4Design 2018 - <https://pro.europeana.eu/project/v4design>



**Cultural Heritage
Through Time**



Graphit 2018 – Graphit #BIMdoneRGHT <http://graphit.pl/sektory/dziedzictwo-narodowe/>

Unity3d 2018 - <https://unity3d.com/>

Google Arts&Culture 2018 - <https://artsandculture.google.com/>

Google Cultural Institute 2018 - <https://www.google.com/culturalinstitute/about/partners/>

TEM 2018 <http://www.trickeye.com/>

TEM 2017 <https://www.spidersweb.pl/2017/12/muzeum-ar-park-rozrywki-vr.html>

Geospatial World, 2016 - A new framework for 3D Web GIS, <https://www.geospatialworld.net/article/a-new-framework-for-3d-web-gis-applications>

Software framework 2018 - <https://www.upwork.com/hiring/development/understanding-software-frameworks/>

WebGL 2019 - <https://www.khronos.org/webgl/>

3D Hamburg 2015 - 3D-Stadtmodell Hamburg <http://suche.transparenz.hamburg.de/dataset/3d-stadtmodell-hamburg>

skaner3d_konf 2017 - Technologie digitalizacji oraz druku 3D i 2D dla archeologii, muzealnictwa i medycyny <http://skaner3d.pl/konferencja-technologie-3d-dla-archeologii-i-muzealnikow>

Pastguide 2016 – Aplikacja mobilna- średniowieczny Rynek <http://www.mhk.pl/aktualnosci/pastguide-aplikacja-dzieki-ktorej-zobaczysz-sredniowieczny-rynek-jest-juz-do-sciagniecia>

3D-ICONS 2015 - A CIP EU funded project for massive 3D digitization and publication in Europeana (2012-2015)

MayaArch3D, 2018 - <http://www.mayaarch3d.org>

V_MUST 2015 - Virtual Museum Transnational Network <http://www.v-must.net/>

ArcGIS 2017 – Export Web Map, <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/servertoolbox/export-web-map.htm>

Hexagon Power Portfolio, 2016 - <http://www.hexagongeospatial.com/products/power-portfolio>

Hexagon WebGIS Products, 2016

<http://www.hexagongeospatial.com/products/powerportfolio/geospatial-portal/2016-product-release-details>

Hexagon Geospatial SDI Brochure, 2016 - <http://www.hexagongeospatial.com/brochurepages/geospatial-sdi-brochure>

Hexagon WebGIS Guide, 2016 <http://www.hexagongeospatial.com/technical-documents/releaseguides-2016/webgis-2016-release-guide>

Hexagon AGH, 2017 - http://sdidemo.intergraph.pl/AGH_CP/#





**Cultural Heritage
Through Time**



X3D VRML WebGL, 2017 - X3D/VRML players - Web3D browsers - 3D engines - VRML plugins,
<http://www.vrinternal.com/docs/links.html>

Cobweb, 2017 - <https://github.com/create3000/cobweb>

Cobweb X_ITE, 2017 - <http://www.web3d.org/news-story/cobweb-now-xite>

Potree, 2017 - Potree is a free open-source WebG, <http://www.potree.org/index.html>

MHL_2018 - <http://www.mhk.pl/>

Twierdza_art 2018 - <http://www.twierdza.art.pl/kosciuszko.htm>

Publikacje

Abate D., Avgousti A., Faka M., Hermon S., Bakirtzis N., Christofi P., 2017 - An online 3D database system for endangered architectural and archaeological heritage in the south-eastern mediterranean - The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLII-2/W3, 2017 3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures, 1–3 March 2017, Nafplio, Greece

Bunsh E., Sitnik R. 2014 – Kryteria doboru techniki 3D do dokumentacji obiektów dziedzictwa narodowego
http://digitalizacja.nimoz.pl/uploads/zalaczniki/Bunsch_Sitnik_Kryteria_doboru_tekniki_3D_2014.pdf

Clini P., Nespeca R., Ruggeri L., 2017 - Virtual in real. Interactive solutions for learning and communication in the national archaeological museum of marche - The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLII-2/W3, 2017 3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures, 1–3 March 2017, Nafplio, Greece

D'Urso M.G., Corsi E., Nemeti S., Germani M., 2017 - From excavations to web: a GIS for archaeology - The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLII-2/W3, 2017 3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures, 1–3 March 2017, Nafplio, Greece

Fernandez-Palacios B.J., Morabito D., Remondion F. 2016 - Access to complex reality-based 3D models using virtual reality solutions, Journal of Cultural Heritage 23 (2017) 40–48

Głowienka E., Hejmanowska B., Mikrut S., Kramarczyk P., Struś A., Michałowska K., Opaliński P., 2017 a. 4D reconstruction and visualisation of Krakow fortres, Geodetic Congress (BGC Geomatics), 2017 Baltic, IEEE, DOI:10.1109/BGC.Geomatics.2017.83

Głowienka E., Michałowska K., Opaliński P., Hejmanowska B., Mikrut S., Kramarczyk P., 2017 b. Use of LIDAR Data in the 3D/4D Analyses of the Krakow Fortress Objects. IOP Conf. Series: Materials Science Engineering 245 (2017) 042080 (OPEN ACCESS) doi:10.1088/1757-899X/245/4/042080

González-Aguilera D., Remondino F., Rodríguez-González P., Nocerion E. ed. 2018 - Remote Sensed Data and Processing Methodologies for 3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures, Printed Edition of the Special Issue Published in Remote Sensing, www.mdpi.com/journal/remotesensing, MDPI

Hejmanowska B., Glowienka E., Michalowska K., Mikrut S., Kramarczyk P., Opalinski P., Guidi G., Barsanti S.G., Micoli L., Malik U.S., Gonzalez-Aguilera D., Sanchez-Aparicio L.J., Rodríguez-Gonzálveza P., Muñoz-Nieto A.L.,



**Cultural Heritage
Through Time**



Mills J., Peppas M.V., – 2018 a Analysis of methodologies for an innovative web environments suitable for 4D models sharing, IOP Conf. Series: Materials Science OPEN ACCESS – in preparation

Hejmanowska B., Mikrut S., Glowienka E., Struś A., - 2018 b 4D Models in World Wide Web, IEEE Conference Publications – in preparation

Hoak B. 2016 a – Workflows for 3D Web Scene

http://proceedings.esri.com/library/userconf/fed16/papers/fed_05.pdf , 2016 Esri Federal GIS Conference Proceedings

Hoak B. 2016 b – Working in 3D with ArcGIS Pro

http://proceedings.esri.com/library/userconf/fed16/papers/fed_06.pdf , 2016 Esri Federal GIS Conference Proceedings

Kersten T.P., Tschirschwitz F., Deggim S., 2017 - Development of a virtual museum including a 4D presentation of building history in virtual reality - The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLII-2/W3, 2017 3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures, 1–3 March 2017, Nafplio, Greece

Kersten, T., P., Keller, F., Saenger, J., Schiewe, J., 2012: Automated generation of an historic 4D city model of Hamburg and its visualisation with the GE engine. Proc. EuroMed 2012 Conference

Nocerion E., Menna F., Toschi I., Morabito D., Remondino F. Rodríguez-González P. 2017 - Valorisation of history and landscape for promoting the memory of WWI, Journal of Cultural Heritage 29 (2018) 113-122

Nocerino E, Lago F. , Morabito D, Remondino F., Porzi L., Poiesi F., Rota Bulò S., Chippendale P., Locher A., Havlena M., Van Gool L., Eder M., Fötschl A., Hilsmann A., Kausch L., Eisert P., 2017 - A smartphone-based 3D pipeline for the creative industry – the replicate EU project – The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLII-2/W3, 2017 3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures, 1–3 March 2017, Nafplio, Greece

Remondino F., Georgopoulos A., González-Aguilera D. Agrafiotis P. ed. 2018 - Latest Developments in Reality-Based 3D Surveying and Modelling, www.3d-arch.org, MDPI

Rodríguez-González P., Muñoz-Nieto A.L. , del Pozo S., Sanchez-Aparicio L.J., Gonzalez-Aguilera D., Micoli L.L., Gonizzi Barsanti S. , Guidi G., Mills J.P., Fieber K., Haynes I., Hejmanowska B., 2017: 4D Reconstruction and Visualization of Cultural Heritage: Analyzing our Legacy Through Time, Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XLII-2/W3, 609-616,
<https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W3-609-2017>

Rodríguez-González P., Muñoz-Nieto A.L. , S. del Pozo, L. J. Sanchez-Aparicio, D. Gonzalez-Aguilera, J.P. Mills, K. Fieber, I. Haynes, G. Guidi, Micoli L.L., Gonizzi Barsanti S. 2018: 4D Reconstruction of Cultural Heritage Sites, in Remondino F., Georgopoulos A., Gonzalez-Aguilera, D., Agrafiotis, P. (Eds.), Latest Developments in Reality-Based 3D Surveying and Modelling, MDPI 2018, doi: 10.3390/books978-3-03842-685-1

Schwerin J., Richards-Rissetto H., Remondino F., Spera M.G., Auer M., Billen N., Loos L., Stelson L., Reindel M., 2015 - Airborne LiDAR acquisition, post-processing and accuracy-checking for a 3D WebGIS of Copan, Honduras, Journal of Archaeological Science: Reports 5 (2016) 85–104



**Cultural Heritage
Through Time**



Tommasia A., Cefaloe R., Zardinib F., Nicolauciga M., 2017 - Using WebGIS and cloud tools to promote cultural heritage dissemination: the historic up project - The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLII-2/W3, 2017 3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures, 1–3 March 2017, Nafplio, Greece

Vacca G., Pili D., Fiorino D.R., Pintus V., 2017 - A WebGIS for the knowledge and conservation of the historical wall structures of the 13th - 18th centuries - From excavations to web: a GIS for archaeology - The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLII-2/W3, 2017 3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures, 1–3 March 2017, Nafplio, Greece

Prace dyplomowe:

Struś A. 2017 – Współczesne metody modelowania i wizualizacji 3D na przykładzie wybranych obiektów, promotor: dr hab. inż. S.Mikrut, praca dyplomowa AGH, Kraków

Moskal K.E. 2017 – Integracja danych ze skaningu laserowego i fotogrametrycznych na wybranym przykładzie – promotor: dr hab. inż. S.Mikrut, praca dyplomowa AGH, Kraków

Kidoń M., 2017 – Integracja danych w procesie budowy modelu 4D dla wybranych obiektów fortyfikacji, promotor: dr inż. K. Michałowska, UR, Kraków

Szombra A., 2017 – Budowa modelu 4D wybranej fortyfikacji Krakowa w procesie skaningu laserowego, promotor: dr inż. K. Michałowska, UR, Kraków

Stopiński P., 2017 – Wizualizacja 3D/4D wybranego obiektu fortyfikacji Krakowa, promotor: dr inż. K. Michałowska, UR, Kraków