



Narodowy
Instytut
Dziedzictwa

ZESTAWIENIE WYTYCZNYCH I DOBRYCH PRAKTYK DIGITALIZACYJNYCH

DLA WYKONAWCÓW DOKUMENTACJI ZABYTKÓW ARCHITEKTURY,
DETALU ARCHITEKTONICZNEGO I WYPOSAŻENIA,
METODAMI SKANOWANIA I MODELOWANIA TRÓJWYMIAROWEGO

OPRACOWAŁ ZESPÓŁ W SKŁADZIE:

KAROL CZAJKOWSKI
KLARA KANTOROWICZ
RYSZARD ZIMEK

NARODOWY INSTYTUT DZIEDZICTWA 2023 - 2026

Niniejszy dokument zawiera zalecenia dotyczące podstawowych elementów składowych dokumentacji rysunkowej oraz parametry techniczne odwzorowania wraz z pożądanymi formatami plików, dla sporządzania dokumentacji architektonicznych zabytkowych obiektów budownictwa drewnianego i murowanego, ich wyposażenia oraz detalu, za pomocą metod cyfrowych – metodą skaningu laserowego, fotogrametrii naziemnej, lotniczej, modelowania bryłowo – powierzchniowego (MESH) a także parametrów wykonywania zdjęć panoramicznych 360 stopni. Poniższe zestawienie, będące wynikiem wielu lat naszych doświadczeń, kierowane jest głównie do beneficjentów programów dotacyjnych, których efekty podlegają walidacji przez Centrum Kompetencji NID. Będzie nam niezmiernie miło, jeśli z wytycznych skorzystają również wszyscy ci, którzy takie prace wykonują i chcieliby się ich efektami podzielić, współtworząc wraz z nami repozytorium portalu Zabytek.pl.

Z uwagi na ciągły rozwój technologii i metod obrazowania, niniejszy zestaw zaleceń będzie modyfikowany.

A. ARCHITEKTURA ZABYTKOWA

1. SKANING LASEROWY I FOTOGRAMETRIA NAZIEMNA I LOTNICZA BLISKIEGO ZASIEGU

Surowe dane, pozyskane w procesie inwentaryzacji, przekazywane do repozytorium:

- **chmura punktów** – model bazowy o gęstości nie mniejszej niż 9 pkt/cm², z zarejestrowanymi wartościami RGB i intensywności, w formacie natywnym urządzenia skanującego;
- **dane geodezyjne XYZ**, wraz z jednoznacznym wskazaniem:
 - państwowego układu współrzędnych płaskich PUWG 2000,
 - właściwej strefy,
 - kodu EPSG,
 - przyjętego układu wysokościowego, w formacie CSV;
- **fotografie** pozyskane zewnętrzną kamerą niometryczną do celów poglądowych, rekonstrukcji modeli 3D oraz teksturowania należy przekazywać w natywnym formacie RAW urządzenia, z wykorzystaniem maksymalnej dostępnej głębi bitowej zapisu RAW, przy czym minimalna dopuszczalna głębokość bitowa zapisu RAW wynosi 12 bitów.
- Pliki wywołane należy przekazywać w formacie TIFF lub PNG (głębokość koloru: 16 bitów na kanał), w przestrzeni barwnej Adobe RGB lub sRGB, z osadzonym profilem ICC właściwym dla zastosowanej przestrzeni barwnej.

Opracowania powstałe na podstawie pozyskanych w procesie inwentaryzacji danych, przekazywane do repozytorium:

- **chmura punktów** – odfiltrowana, oczyszczona, zarejestrowana i zorientowana w państwowym układzie współrzędnych PUWG 2000, z jednoznacznym wskazaniem właściwej strefy i kodu EPSG, zapisana w jednym z formatów: PTS, PTX, E57, wraz z dołączonym raportem złożenia w postaci pliku TXT lub PDF;
- chmura punktów – w postaci wyseparowanych plików odpowiadających poszczególnym pozycjom skanera, odfiltrowana, oczyszczona, zarejestrowana i zorientowana w państwowym układzie współrzędnych PUWG 2000, z jednoznacznym wskazaniem właściwej strefy i kodu EPSG, zapisana w jednym z formatów: POD, E57, wraz z dołączonym raportem złożenia w postaci pliku TXT;
- **ortofotoplany** ścian, elewacji, polichromii, sufitów i podłóg w formacie TIFF, dla których maksymalna dopuszczalna wartość GSD wynosi 2 mm/px, wraz z georeferencją przekazaną jako GeoTIFF albo TIFF + plik world file, oraz z jednoznacznym wskazaniem układu odniesienia i kodu EPSG w metadanych lub raporcie;

- **rysunki elewacji w skali 1:50–1:10**, zależnie od charakteru opracowania, w formatach DWG i PDF. Rysunki elewacji powinny przedstawiać widoki wszystkich ścian w obiekcie. W obiektach o skomplikowanej bryle widoki ścian zasłanianych przez inne elementy budynku powinny być wrysowane na odpowiednich przekrojach. Na elewacjach należy oznaczyć wszelkie ubytki, uszkodzenia, pęknięcia oraz zawilgocenia murów. W uzasadnionych przypadkach dopuszcza się wykonanie osobnego rysunku pokazującego ubytki. Na rysunkach elewacji powinny być wrysowane, przynajmniej fragmentarycznie, widoczne elementy budowlane: cegły, kamienie, elementy pokrycia dachowego itp.;
- **przekroje i rzuty** budynku oraz kondygnacji, zależnie od charakteru opracowania, w skali 1:50–1:20 (w uzasadnionych przypadkach 1:100), w formatach DWG i PDF. Dla zabytków zakres opracowania powinien obejmować wszystkie kondygnacje, więźbę dachową oraz rzut dachu. Poziom przekrojów poziomych powinien być poprowadzony na wysokości około 1,00 m nad posadzką; dopuszczalne są niewielkie odstępstwa, jeżeli pozwala to uzyskać pełniejszy obraz wszystkich elementów obiektu i wyposażenia;
- **plan sytuacyjno-wysokościowy**, w formatach DWG i PDF, zawierający: rzut dachu lub obrys zewnętrzny budynku na poziomie parteru, elementy otoczenia, oznaczenie charakterystycznych poziomów przy wejściach do obiektu, najbliższe sąsiadujące obiekty oraz ukształtowanie terenu; plan powinien być wykonany na bazie aktualnej mapy geodezyjnej.
Szczegółową specyfikację rysunków opisano w pkt 3.
- modele **MESH** w formatach OBJ oraz FBX, w rozdzielczości zależnej od zakresu opracowania. Szczegółową specyfikację modeli opisano w pkt 2.

2. MODELOWANIE BRYŁOWO–POWIERZCHNIOWE (MESH) OBIEKTÓW ARCHITEKTURY

Model podstawowy (MESH) złożony z poligonów trójkątnych

Wartość GSD (Ground Sample Distance) dla danych źródłowych wykorzystanych do opracowania modelu nie może przekraczać:

- dla obiektów architektonicznych: **0,12 cm/px**;
- dla obiektów małej architektury (detale architektoniczne, rzeźby itp.): **0,05 cm/px**.

W procesie rejestrowania danych fotogrametrycznych należy zapewnić taką odległość od fotografowanego obiektu oraz takie parametry obrazowania, aby utrzymać wskazane wyżej wartości GSD. Model nie musi mieć struktury zamkniętej. Nie może zawierać wadliwych ani podwójnych trójkątów oraz zdublowanych lub błędnych wierzchołków.

Eksport modelu na potrzeby archiwizacji - model powinien zostać wyeksportowany do plików w formatach OBJ oraz FBX, w maksymalnej rozdzielczości uzyskanej w procesie generowania modelu MESH. W przypadku występowania informacji o kolorze wierzchołków (vertex color) należy zapewnić jej przekazanie w formacie, który umożliwi jednoznaczny zapis tej informacji.

Model MESH do celów prezentacyjnych, multimedialnych i udostępniania w sieci web - model MESH powinien być opracowany metodą retopologii, przy czym bazą może być model podstawowy MESH złożony z poligonów trójkątnych albo chmura punktów, a produktem końcowym – uporządkowana siatka trójkątów z rozłożonymi współrzędnymi UV.

Wartość **GSD** dla tekstur koloru (color map) oraz map mikropowierzchni (normal map) nie może przekraczać:

- dla obiektów architektonicznych: 0,12 cm/px;
- dla obiektów małej architektury (detale architektoniczne, rzeźby itp.): 0,05 cm/px.

Dane o mikropowierzchniach powinny zostać przeniesione z modelu podstawowego MESH poprzez wygenerowanie map typu normal.

W procesie rejestrowania danych fotogrametrycznych należy zapewnić taką odległość od fotografowanego obiektu oraz takie parametry obrazowania, aby utrzymać wskazane wyżej wartości GSD. Model nie musi mieć struktury zamkniętej. Nie może zawierać wadliwych ani podwójnych trójkątów oraz zdublowanych lub błędnych wierzchołków. Musi mieć rozłożone współrzędne UV.

Model na potrzeby wizualizacji / prezentacji online - model po procesie retopologii powinien być wyeksportowany do pliku w formacie OBJ lub FBX, z wygenerowanymi współrzędnymi UV (jedna mapa UV dla jednego obiektu) oraz kompletem tekstur. Liczba wierzchołków modelu publikacyjnego powinna zostać dostosowana do docelowej platformy publikacji w taki sposób, aby zapewnić płynność działania przy zachowaniu możliwie najwyższej jakości wizualnej.

Tekstura modelu powinna zawierać obrazy w formacie PNG lub JPEG, o rozdzielczości 8192 × 8192 px i głębi koloru 8 bitów na kanał lub większej, z wyjątkiem mapy normal, która powinna być przekazana w formacie PNG 16 bitów na kanał. Na komplet tekstur wygenerowanych w procesie fotogrametrycznym mogą składać się w szczególności:

- mapa koloru (color map),
- mapa normalnych (normal map) przenosząca informację o mikropowierzchniach,
- mapa przemieszczeń (displacement map) – opcjonalnie,
- mapa okluzji otoczenia (AO map) – opcjonalnie.

Model może mieć więcej niż jeden komplet tekstur. Każdy model musi mieć współrzędne UV. Model może mieć więcej niż jeden materiał przypisany do swojej geometrii.

Model (MESH) na potrzeby druku 3D - wariant modelu przygotowany do druku 3D musi mieć strukturę zamkniętą. Nie może zawierać wielokątów o liczbie wierzchołków większej niż 3. Ostateczne opracowanie powinno umożliwiać wydruk 3D bez wykonywania dodatkowych czynności naprawczych na modelu. Model przygotowany do druku 3D nie musi mieć tekstur koloru.

Tworzenie modeli konstrukcyjnych do potrzeb analitycznych - model powinien odpowiadać założeniom wynikającym z celu opracowania. W strategicznych dla modelu elementach konstrukcji maksymalna dopuszczalna odchyłka geometryczna wynosi 4 mm. Wymagana rozdzielczość geometryczna powinna być dostosowana do celu opracowania, przy czym maksymalny dopuszczalny rozstaw próbkowania nie może przekraczać 8 mm. Wyniki analiz mogą być eksportowane jako tekstury z koordynatami UV, ortofotoplany albo mogą zostać przeniesione na siatkę modelu jako kolor wierzchołków.

Modele poglądowe (MESH) więźby dachowej i szkieletu konstrukcji - modele poglądowe więźby dachowej i szkieletu konstrukcji, powstałe na bazie modeli podstawowych albo poddane procesowi retopologii, powinny spełniać następujące wymagania:

- maksymalna dopuszczalna odchyłka geometryczna: 6 mm;
- maksymalny dopuszczalny rozstaw próbkowania / maksymalna dopuszczalna charakterystyczna wielkość elementu geometrycznego: 10 mm.

Model powinien odzwierciedlać detale konstrukcyjne oraz materiał, z którego wykonano obiekt. Końcowy model powinien być oczyszczony z podwójnych lub nieprawidłowych elementów i powinien umożliwiać wydruk 3D bez wykonywania dodatkowych czynności naprawczych.

Tekstury modelu należy przekazać w formacie TIFF, TGA lub PNG, z zachowaniem bezstratnego zapisu danych obrazu. Wymiar pojedynczego obrazu tekstury powinien mieścić się w przedziale 2048–16384 pikseli na bok. Dopuszcza się podział tekstur na kilka mniejszych plików ze wskazanego zakresu. Każdy komplet tekstur musi być przypisany do jednoznacznie nazwanego zestawu współrzędnych UV.

Dopuszcza się użycie modeli NURBS, pod warunkiem ich konwersji do modelu MESH oraz wyeksportowania także do formatów IGES lub STEP. Pliki NURBS muszą być zespolone z najwyższą tolerancją i nie mogą zawierać odkrytych krawędzi.

3. UWAGI OGÓLNE DOTYCZĄCE OZNACZEŃ I ZAKRESU OPRACOWAŃ RYSUNKOWYCH

- **Oznaczenia:** każde pomieszczenie opisane numerem własnym, numerem kondygnacji, funkcją, powierzchnią, wysokością oraz rodzajem posadzki. Dodatkowo na wszystkich rzutach należy oznaczyć płaszczyzny przekrojów.
- **Wymiarowanie** powinno określać długość i szerokość pomieszczeń, przekątne, wymiary odcinkowe, grubości ścian. Oznaczyć należy charakterystyczne poziomy, wysokość pomieszczeń (w pomieszczeniach sklepionych wysokość w strzałce sklepienia oraz wysokość oparcia podstawy sklepienia), wysokość parapetów oraz światła otworów.
- **Na rysunkach rzutów** powinny być wrysowane, z dokładnością odpowiednią do przyjętej skali, wszystkie widoczne elementy takie jak:
 - wnęki
 - uskoki w grubości ścian
 - zrzutowanie sklepień z elementami ich konstrukcji i dekoracji sztukatorskiej
 - zrzutowanie stropów z belkami stropowymi czy dekoracją sztukatorską (dla lepszej czytelności prezentacji może być wykonane na osobnym rysunku)
 - rysunek posadzki zaznaczony fragmentarycznie w miejscach charakterystycznych
 - różnice poziomów posadzki
 - stolarka okienna (zaznaczana schematycznie z pokazaniem typu i ewentualnie sposobu otwierania)
 - stolarka drzwiowa (ze schematycznym oznaczeniem typu i kierunku otwierania)
 - w obiektach architektury drewnianej, stolarka okienna i drzwiowa wrysowana szczegółowo z rozbiciem na poszczególne elementy
 - teren przylegający do obiektu: nawierzchnie, schody (z oznaczeniem kierunku), tarasy, balustrady, opaski itp.
 - mała architektura związana z obiektem architektonicznym
 - stałe wyposażenie wrysowane w czytelnym dla docelowej skali rysunku stopniu szczegółowości
- **Przekroje podłużne i poprzeczne obiektu** poprowadzone przez charakterystyczne elementy obiektu (komunikacja pionowa, otwory okienne i drzwiowe, różnice w poziomach) powinny ukazywać możliwie najpełniejszy obraz budynku. Koniecznym jest jednak wykonanie minimum 2 przekrojów o prostopadłym do siebie kierunku. W celu pełniejszej identyfikacji obiektu można stosować łamane linie przekroju.

Na przekrojach należy oznaczyć poziomy za pomocą kot wysokościowych z rzędną bezwzględną (lub odniesioną do założonego poziomu porównawczego). Przekroje powinny być uzupełnione widokami ścian z pokazaniem stałego wyposażenia.

4. PANORAMY 360°

Pliki ze zdjęciami panoramicznymi 360° powinny:

- zachowywać proporcje 2:1;
- być zapisane w przestrzeni barwnej Adobe RGB lub sRGB, z osadzonym profilem ICC właściwym dla zastosowanej przestrzeni barwnej;
- mieć minimalną wymaganą rozdzielczość 20000 × 10000 px;
- zostać przekazane do repozytorium w formacie JPEG lub TIFF.

B. DETAL I ELEMENTY WYPOSAŻENIA

Poniżej przedstawiono zalecenia dotyczące podstawowych elementów składowych dokumentacji, parametrów technicznych odwzorowania oraz pożądanych formatów plików dla produktów digitalizacyjnych obejmujących wyposażenie obiektów zabytkowych. Dotyczą one obiektów małej i średniej wielkości – m.in. ołtarzy, epitafiów, nagrobków, rzeźb, detalu architektonicznego, rejestrowanych metodami fotogrametrycznymi, gdzie produktem digitalizacji są modele powierzchniowo-bryłowe typu MESH.

1. UWAGI OGÓLNE ZWIĄZANE Z PRZYGOTOWANIEM OBIEKTU I PROWADZONYM PROCESEM DOKUMENTACYJNYM

Etap przygotowania obiektu do digitalizacji powinien obejmować dokładne oczyszczenie jego powierzchni z zalegających, nie związanych z nim elementów – kurzu, pajęczyn, elementów wtórnie /współcześnie dodanych.

Dane źródłowe należy pozyskiwać w natywnym formacie RAW urządzenia, z wykorzystaniem największej dostępnej rozdzielczości matrycy oraz maksymalnej dostępnej głębi bitowej zapisu RAW. Pliki wywołane powinny być przekazywane w przestrzeni barwnej Adobe RGB lub sRGB, odpowiednio do celu opracowania, przy czym muszą mieć osadzony profil ICC właściwy dla zastosowanej przestrzeni barwnej.

Zaleca się stosowanie obiektywów stałogniskowych o ogniskowej z zakresu 24–50 mm (ekwiwalent pełnej klatki). Zdecydowanie należy unikać obiektywów typu rybie oko.

Proces akwizycji danych powinien przebiegać w optymalnym dla zdjęć oświetleniu, przy możliwie najniższych ustawieniach ISO.

Wskazane jest użycie lamp typu ring oraz odpowiednich filtrów polaryzacyjnych (na obiektywach oraz lampie) – zwłaszcza wtedy, gdy powierzchnia obiektu wykazuje tendencję refleksyjną.

Rzeczą absolutnie kluczową przy procesie zbierania danych jest kontrola barwna pozyskiwanego materiału. Wiąże się to z bezwzględnym nakazem użycia odpowiedniego wzornika typu Object Level Target, zgodnego z przynajmniej jednym z systemów kontroli: ISO 19264, FADGI lub Metamorfoze.

Podobnie rzecz ma się z danymi metrycznymi. Digitalizowany obiekt powinien mieć odniesienie metryczne w postaci targetów pomierzonych tachimetrycznie.

Należy zadbać o to, by pokrycie zdjęciami, przy minimalnym poziomie overlap wynoszącym 70%, obejmowało całkowitą powierzchnię bryły obiektu. W miarę możliwości należy dotrzeć z sensorem do każdego, również zasłoniętego fragmentu.

W przypadku obiektów, których średnica przekracza 15 cm, należy określić dopuszczalną odległość sensora od digitalizowanego obiektu w taki sposób, aby wartość GSD dla danych źródłowych wykorzystanych do opracowania modelu nie przekraczała 0,05 cm/px (0,5 mm/px). Wartość tę należy wyznaczać z uwzględnieniem rozmiaru matrycy oraz parametrów obiektywu.

Parametry ekspozycji należy dobierać w taki sposób, aby zapewnić wystarczającą głębię ostrości dla całej dokumentowanej powierzchni obiektu oraz uzyskać obraz o możliwie najwyższej ostrości, bez istotnej degradacji jakości wynikającej z nadmiernego otwarcia lub nadmiernego przymknięcia przysłony.

Czas migawki należy dobrać do możliwości i mocy oświetlenia w taki sposób, aby obiekt był równomiernie oświetlony, a ekspozycja pozostawała nieporuszona.

2. PARAMETRY MODELOWANIA BRYŁOWO – POWIERZCHNIOWEGO (MESH) DETALU I ELEMENTÓW WYPOSAŻENIA

Model podstawowy (MESH) złożony z poligonów trójkątnych

- Wartość GSD (Ground Sample Distance) dla danych źródłowych wykorzystanych do opracowania modelu nie może przekraczać 0,05 cm/px (0,5 mm/px).
- W procesie rejestrowania danych fotogrametrycznych należy zapewnić wystarczającą odległość od fotografowanego obiektu, która zapewni utrzymanie wskazanych wyżej wartości GSD. Model nie musi mieć struktury zamkniętej. Nie może mieć wadliwych, podwójnych trójkątów bądź wierzchołków.

Eksport modelu na potrzeby archiwizacji – model powinien zostać wyeksportowany do pliku w formacie FBX, w maksymalnej rozdzielczości uzyskanej w procesie generowania modelu MESH. W przypadku występowania informacji o kolorze wierzchołków (vertex color) należy zapewnić jej przekazanie w formacie, który umożliwia jednoznaczny zapis tej informacji.

Model MESH do celów prezentacyjnych, multimedialnych i udostępniania w sieci web - model (MESH) opracowany metodą retopologii (gdzie bazą są modele podstawowe MESH o poligonach trójkątnych lub chmura punktów a produktem końcowym uporządkowane siatki trójkątów wraz z rozłożonymi koordynatami UV).

- Wartość GSD dla tekstur koloru (color map) oraz map mikropowierzchni (normal map) dla obiektów małej architektury (detale architektoniczne, rzeźby itp.) nie może przekraczać 0,05 cm/px (0,5 mm/px). Dane o mikro powierzchniach powinny zostać przeniesione z modelu podstawowego (MESH) poprzez wygenerowanie map typu normal.
- W procesie rejestrowania danych fotogrametrycznych należy zapewnić wystarczającą odległość od fotografowanego obiektu, która zapewni utrzymanie wskazanych wyżej wartości GSD. Model nie musi mieć struktury zamkniętej. Nie może mieć wadliwych, podwójnych trójkątów bądź wierzchołków. Musi mieć rozłożone koordynaty UV.

Model (MESH) na potrzeby druku 3D - Model (MESH) opracowany metodą retopologii - wariant modelu przygotowany do druku 3D musi mieć strukturę zamkniętą. Nie może mieć wielokątów o większej ilości wierzchołków niż 3. Ostateczne opracowanie powinno umożliwiać wydruk 3D bez dokonywania dodatkowych czynności na modelu. Model przygotowany do druku 3D nie musi mieć tekstur koloru.

Tworzenie modeli konstrukcyjnych do potrzeb analitycznych powinno odpowiadać założeniom wynikającym z celu opracowania. W strategicznych dla modelu elementach konstrukcji maksymalna dopuszczalna odchyłka geometryczna wynosi 4 mm. Maksymalny dopuszczalny rozstaw próbkowania nie może przekraczać 8 mm. Wyniki analiz mogą być eksportowane jako tekstury z koordynatami UV, ortofotoplany albo mogą zostać przeniesione na siatkę modelu jako kolor wierzchołków.

3. KAŻDY PRZEKAZANY PAKIET INFORMACJI DOTYCZĄCY DIGITALIZOWANEGO OBIEKTU POWINIEN ZAWIERAĆ:

- Komplet fotograficznych danych źródłowych w formacie RAW.
- Plik z pomiarem targetów w formacie CSV.
- Profil barwny wygenerowany na podstawie próbkowania wzornika.
- W zależności od charakteru opracowania – model lub modele powierzchniowo-bryłowe w formacie FBX, a dodatkowo opcjonalnie także OBJ, wraz z kompletem tekstur do archiwizacji w formacie TIFF, TGA lub PNG. Do celów publikacyjnych dopuszcza się dodatkowo format JPEG. Wymiar pojedynczego obrazu tekstury powinien wynosić 8192 × 8192 px, o ile charakter opracowania nie uzasadnia zastosowania innego podziału tekstur. Plik raportu wygenerowany w stacji fotogrametrycznej, zawierający parametry procesu, w formacie PDF.

C. PREFEROWANE NOŚNIKI ORAZ SCHEMAT ZDEPONOWANIA DANYCH

Przekazanie materiałów do NID powinno nastąpić na jednym z poniższych typów nośników:

- Dysk przenośny z interfejsem USB (2.0, 3.0 lub nowszym) z systemem plików NTFS (rekomendowany), exFAT bądź FAT32.
- Pamięć typu FLASH z interfejsem USB (2.0, 3.0 lub nowszym) z systemem plików NTFS (rekomendowany), exFAT bądź FAT32.
- Dysk sieciowy typu NAS z interfejsem Ethernet. W takim przypadku konieczne jest podanie konfiguracji interfejsu i konta dostępowego administratora.
- Inne formy przekazywania materiałów muszą być konsultowane z NID.