

## MODELOWANIE PROCEDURALNE 3D MIAST

### PROCEDURAL MODELLING OF 3D CITIES

Agnieszka Struś

Katedra Geoinformacji, Fotogrametrii i Teledetekcji Środowiska,  
Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie

**SŁOWA KLUCZOWE:** modelowanie 3D, modelowanie proceduralne, Level of Detail (LOD), reguły geometryczne, wizualizacja 3D, generowanie budynków, analiza widoczności, sytuacje kryzysowe

**STRESZCZENIE:** W dzisiejszych czasach, informacje przestrzenne pełnią zasadniczą rolę w wielu procesach związanych m.in. z planowaniem przestrzennym. Coraz więcej skomplikowanych, złożonych decyzji musi być podejmowanych skutecznie w bardzo krótkim czasie. Przez ostatnie lata, a już na pewno od roku 2007, kiedy w życie weszła dyrektywa Infrastruktura Informacji Przestrzennej we Wspólnocie Europejskiej 2007/2/WE Parlamentu Europejskiego Unii Europejskiej, modelowanie 3D stało się prężnie rozwijającą się gałęzią Systemu Informacji Geograficznej wspierającą podejmowanie istotnych decyzji. Pod pojęciem modelowania 3D kryje się wiele technik pracy, np. automatycznego generowania modeli 3D na podstawie zestawu reguł geometrycznych z użyciem danych przestrzennych o przyjętym poziomie szczegółowości LOD. CityEngine firmy ESRI jest jednym z programów umożliwiających takie prace dzięki implementacji gramatyki generującej komputerowo obiekty architektoniczne (ang. *CGA ComputerGenerated Architecture*) ekstrahującej z danych 2D obiekty trójwymiarowe. W pracy, narzędzia do modelowania proceduralnego zostały wykorzystane na danych przestrzennych pozyskanych dla polskiej dzielnicy w mieście Detroit, w Stanach Zjednoczonych, w stanie Michigan. Głównym celem nie było wierne odwzorowanie rzeczywistego wyglądu osiedli, co rozpoznanie procesu i możliwości jakie daje *CGA grammar*, otrzymanie modeli na poziomie LOD2 (bryła budynku z zaznaczonym kształtem dachu) i wykorzystanie ich do analizy widoczności w przykładowej sytuacji.

#### 1. WPROWADZENIE

W roku 1994, władze Stanów Zjednoczonych wyszły naprzeciw potrzebie podniesienia poziomu funkcjonowania społeczeństwa i wydały dyrektywę o utworzeniu Narodowej Infrastruktury Danych Przestrzennych (ang. *NSDI National Spatial Data Infrastructure*). Nadrzędnym celem tego dokumentu było zapewnienie większej dostępności danych i informacji geoprzestrzennych obywatelom, przy jednoczesnej ochronie praw własności podlegających licencjonowaniu. Takie działanie pomogło w rozwoju takich firm jak ESRI Inc. (ang. *Environmental Systems Research Institute*). Założona w 1969 w Redlands w stanie Kalifornia w USA mogła skutecznie wyspecjalizować się w produkcji oprogramowania GIS, sposobów na analizowanie, przetwarzanie i publikowanie danych geoprzestrzennych. Natomiast w roku 2007 społeczność europejska poczyniła podobne kroki jak Stany

Zjednoczone – w życie weszła dyrektywa INSPIRE (ang. *Infrastructure for Spatial Information in the European Community*). Jej głównymi celami są m.in. interoperacyjność, transmisja zestawów danych do zharmonizowanego modelu danych, które zainicjowały działania w kierunku zmian dotyczących jakości danych, schematów metadanych, przeglądania, pobierania ich z serwisów internetowych, analizy i przetwarzania w ramach zgodnych modeli, schematów i systemów danych (Przywara, 2015).

Potrzeba jest motorem postępu, ale ustawodawstwo ugruntowuje pewne obrane kierunki, co zapewnia stabilność i umożliwia względnie bezpieczny rozwój. Rządy wielu krajów aktywnie zaangażowały się w realizację projektów INSPIRE i NSDI kładąc nacisk na opracowywanie nowych technologii, podwyższenie transparentności i otwartego dostępu do geoinformacji, poprzez rozwijanie sieci zbudowanej przez przedstawicieli biznesu, przemysłu i nauki.

Celem tej pracy, jest w pewnym stopniu wsparcie tych działań. Poznanie istniejących technologii, oferowanych narzędzi, opracowanie przykładowych procedur postępowania pozwoli zaangażować obywateli i przedsiębiorców w rozwój miasta. Wdrożenie przykładowych rozwiązań, jakie udało się opracować w ramach opisanych w artykule prac, dałoby możliwość elastycznego, dostosowanego do potrzeb budowania modeli 3D. Danie obywatelom interaktywnego narzędzia, przy powszechnych obecnie możliwościach udostępniania, to możliwość skutecznych konsultacji z sąsiadami i otoczeniem. Autorka stawia sobie pytanie, w jaki sposób sprawić, aby znalezione informacje o danym obszarze były bardziej zrozumiałe i jak pomóc w doświadczaniu nowych planów możliwie realistycznie, aby podnieść poziom świadomości obywatelskiej. W celu optymalnego podejścia do tych problemów sformułowano trzy zagadnienia, w ramach których przeprowadzono prace: dostępność danych, optymalizacja procesu ich przetwarzania dla konkretnego celu, analizy przestrzenne dla bezpieczeństwa społecznego.

Dane źródłowe, jakimi były geodane 2D z zestawami atrybutów, pozyskano z otwartych portali, jakie oferują Stany Zjednoczone. Z nich wygenerowano reprezentację trójwymiarową na poziomie LOD2, co było dopasowaniem produktu pośredniego etapu do finalnej analizy przestrzennej. Zaproponowano analizę widoczności, jako przykład rozwiązania wielu problemów związanych z bezpieczeństwem. Zdecydowanie w proponowanym podejściu do tematu nie chodziło o otrzymanie wiernego odwzorowania rzeczywistości. Głównym celem było znalezienie takiego stopnia szczegółowości reprezentacji wielkoobszarowych terenów zabudowanych umożliwiające optymalizację procesów przetwarzania i poprawę skuteczności analiz przestrzennych.

## 2. OBSZAR OPRACOWANIA

Poletown East jest dzielnicą Detroit w stanie Michigan (Rys. 1), nazwaną także względu na fakt zamieszkiwania jej przez imigrantów z Polski, którzy pierwotnie mieszkali w okolicy od lat 70. XIX wieku, kiedy doszło do pierwszej fali imigracyjnej z Polski i Kaszub. Ten właśnie obszar wybrano za obiekt opracowania, ze względu na swoją historię, a także kraj w jakim się znajduje.

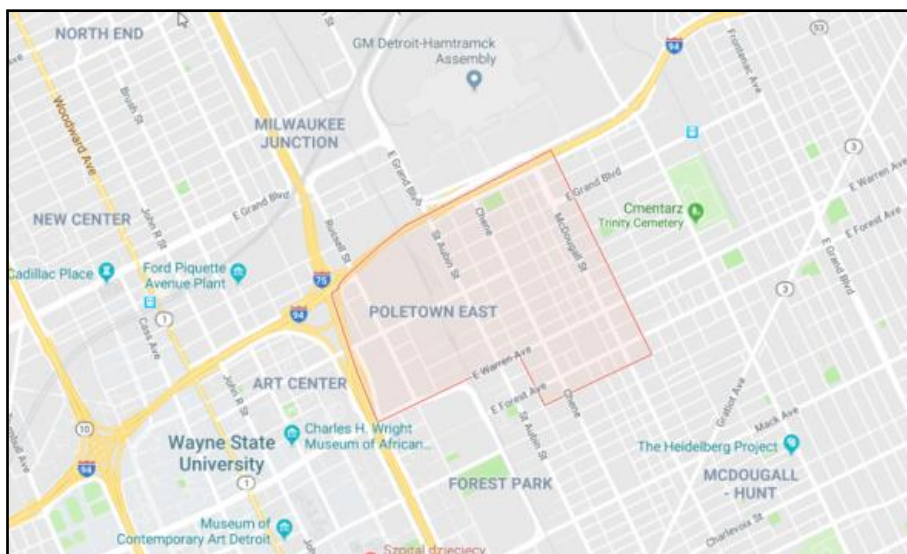
W pracach takich jak (Fryškowska, Stachelek, 2018; Kędzierski *et al.*, 2018; Mikrut *et al.*, 2018) zajęto się właśnie modelowaniem w aspekcie ochrony i promocji dziedzictwa kulturowego. Nie skupiano się na optymalizacji procesu i celowej oszczędności

w wizualizacji, ale podjęto starania zapewnienia wysokiej jakości, wiernej rekonstrukcji obiektów w trzecim wymiarze.

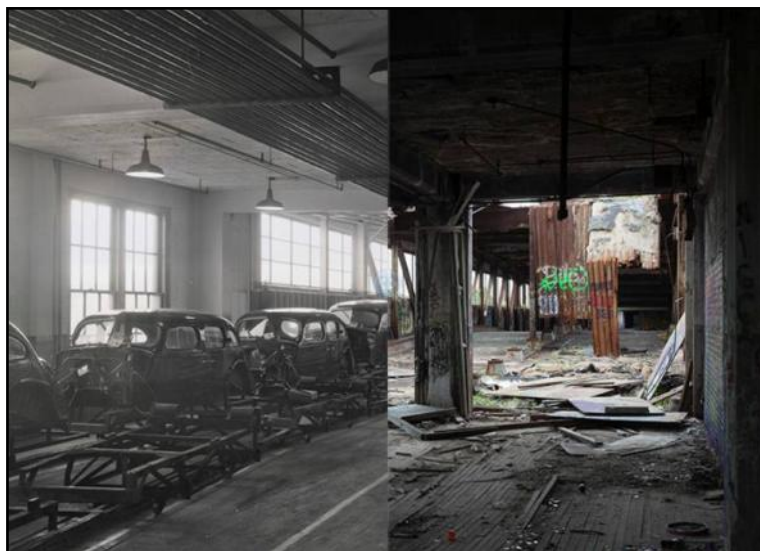
Lokalizację wybrano również ze względu na to, że na terenie Stanów Zjednoczonych istnieje wiele portali z otwartymi informacjami przestrzennymi, co zawdzięcza się dyrektywie NSDI. Dostępność danych o lokalizacji, danych statystycznych, finansowych, demograficznych i innych ma ogromny potencjał, którego jeden z praktycznych sposobów wykorzystania przedstawiono w niniejszym opracowaniu.

Ważną historią tego miejsca jest to, że polscy imigranci, od wspomnianego końca XIX wieku, znajdowali tam zatrudnienie głównie w przemyśle motoryzacyjnym w pobliskich fabrykach Packard'a (Rys. 2) i Chrysler'a. A w roku 1981 w zakładzie General Motors, pod budowę którego część dzielnicy niestety została usunięta. General Motors oraz miasta Detroit i Hamtramck skorzystały z prawa wywłaszczenia pod pretekstem rozwoju ekonomicznego, aby przenieść 4200 osób zamieszkałych na tym obszarze wraz z 1300 domami, 140 firmami, 6 kościołami i 1 szpitalem. Fabryka została wybudowana na granicy Hamtramck i Detroit jako fabryka BOC (ang. Buick - Oldsmobile - Cadillac) i stała się znana jako "Poletown Plant" (Buckowczyk, 1988).

Detroit, które kiedyś było symbolem światowej motoryzacji i jednym z najbogatszych miast teraz pogrążone jest w głębokim kryzysie, którego oznaką jest ogłoszenie przez władze miasta w roku 2017 bankructwa i zarządzenie akcji rozbiórkowej 40 000 pustostanów, które pomimo wysokiego poziomu przestępczości ściągają do miasta turystów i fotografów z całego świata. To największe bankructwo w historii Stanów Zjednoczonych (MM, 2018).



Rys. 1. Lokalizacja Poletown East, (Google Maps, 2019)



Rys. 2. Linia montażowa Packard. Częściowo skompletowane nadwozia samochodowe toczą się wzdłuż linii montażowej na moście nad Grand Boulevard, 1941 lub 42. W ostatnich latach kultowy most stał się strukturalnie niesprawny, ponieważ scraperzy wrywają metalowe belki nośne i dach.

(źródło: <https://photos.metrotimes.com/45-photo-montages-showing-detroit-then-and-now/?slide=37&screen-shot-2014-04-07-at-1-29-19-pm>)

### 3. MODELOWANIE W TRÓJWYMIARZE

Prawidłowe i świadome podejmowanie decyzji na każdym z etapów prowadzących do prawidłowej i zoptymalizowanej analizy przestrzennej wymaga przedstawienia kilku istotnych zagadnień, tym bardziej jeśli przeprowadza się je w przestrzeni 3D.

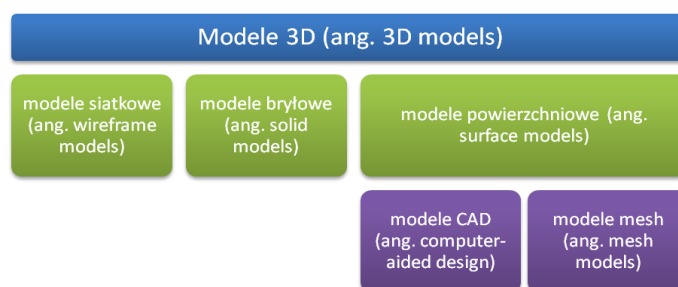
Poniżej omówiono z jakimi typami modeli 3D można się spotkać, i który z nich mógłby być najbardziej odpowiedni w opracowywanym przypadku, jakich narzędzi i z jakiego oprogramowania można korzystać, aby proces był skuteczny i nosił znamiona uniwersalności, a także jak rozpoznać stopień szczegółowości reprezentacji 3D, aby była ona wystarczająca do realizowanych zadań.

Podobne badania zostały opisane w pracy (Michałowska *et al.*, 2015) na przykładzie planu przestrzennego osiedla Bronowice Nowe, zlokalizowanego w Krakowie, w celu połączenia ze sobą dokładności i szybkości wykonania modelu 3D, aby znalazł on swoje zastosowanie w urbanistyce, architekturze oraz planowaniu.

#### 3.1. Modelowanie 3D

Modelowanie 3D jest procesem tworzenia obiektów 3D przy wykorzystaniu specjalistycznego oprogramowania bazującego na zaawansowanej matematyce. W zależności od podejścia można wyróżnić różne typy obiektów, przykładowy podział

zaprezentowano na Rys. 3, gdzie modele 3D dzieli się na modele siatkowe (ang. *wireframe models*), modele bryłowe (ang. *solid models*), modele powierzchniowe (ang. *surface models*). Modele siatkowe są użyteczne w pierwszych fazach modelowania jako wyjściowy szkielet obiektu 3D. Modele bryłowe służą do zaawansowanych symulacji inżynierskich, wydajnościowych itd. Natomiast modele powierzchniowe są raczej reprezentacją samej powierzchni wykorzystywaną dla informacji wizualnej o obiekcie (geometria i tekstura). W ramach modeli powierzchniowych 3D można wyróżnić dwa typy: *computer-aided design (CAD)* i *3D Mesh models* (Wodehouse, 2017).



Rys. 3 Podział rodzajów modeli 3D (opracowanie własne, 2018)

Ze względu na omawiane tutaj zagadnienia geoprzestrzenne, najbardziej odpowiednim typem są modele powierzchniowe, które dostarczają informację o geometrii i teksturze. Geometrię można edytować i dostosowywać do potrzeb, o czym będzie mowa w rozdziale 3.3. Natomiast przy doborze typu tekstury należy rozważyć na co położyć większy nacisk, czy na fotorealistyczną reprezentację, o czym czytamy w (A. Janowski *et al.*, 2006), czy też wizualizacja atrybutów przypisanych do danego obiektu okaże się bardziej przydatna.

### 3.2. Gramatyka komputerowo generowanej architektury

Główną koncepcją programu CityEngine, w który wbudowane są narzędzia do komputerowego generowania bryły miasta, jest proceduralne podejście do bardziej wydajnego modelowania. Do systemu wprowadzana jest procedura bazująca na kodzie złożonym z serii komend – komend geometrycznych – które będą przez niego wykonywane, przykładowo ang. *extrude*, *split*, *texture*. Są to elementy unikatowego języka programowania z ukierunkowaniem na generowanie obiektów architektonicznych – ang. *CGE shape grammar* – *Computer Generated Architecture grammars*.

Modelowanie proceduralne ma szerokie zastosowanie, gdy musi zostać przeprowadzona duża liczba iteracji, lub zaistniał wymóg stworzenia znacznej ilości obiektów przy zachowaniu określonych standaryzowanych reguł. Automatyczny proces modelowania jest celem i wartością samą w sobie, ze względu na liczbę detali generowanego modelu. Obiekty unikatowe, jak zabytki, powinny być modelowane ręcznie. Nie potrzeba wtedy specyficznego podejścia wykorzystującego procedury. Modelowanie proceduralne może okazać się użyteczne w momencie, gdy koszty poniesione na prace wykonywane manualnie znacznie przekraczają koszty modelowania proceduralnego (Esri R&D Center, 2008-2018).

Generowanie budynku przy zastosowaniu reguły CGE ma kilka podstawowych etapów, spośród których można wyróżnić: a) tworzenie obrysów budynków ręcznie lub automatycznie; b) użytkownik wybiera regułę wybór reguły, którą można zaimplementować do jednego z budynków, lub też do ich zestawu; c) edycję modelu poprzez modyfikację reguły, lub nadpisanie parametrów reguły, jeśli była użyta reguła stochastyczna, czyli taka z losowymi parametrami; d) eksport całego modelu razem z teksturami na twardy dysk (nie ma ograniczeń pamięciowych w module eksportu). (Esri R&D Center, 2008-2018)

Przedstawiony powyżej silnik do generowania wizualizacji 3D miast jest ciekawym rozwiązaniem. Biorąc pod uwagę potencjalną znaczną liczbę różnych analiz, jakie obywatele mogliby uznać za przydatne, a które potencjalnie wymagałyby innych typów modeli, to przechowywanie gotowych reprezentacji byłoby niekorzystne z dwóch co najmniej powodów. Pierwszy z nich, to niepotrzebne zajmowanie cennego miejsca na dyskach, czy serwerach, a drugi to z pewnością ograniczanie działań obywateli do zamkniętej i mało elastycznej gotowej bazy danych obiektów 3D.

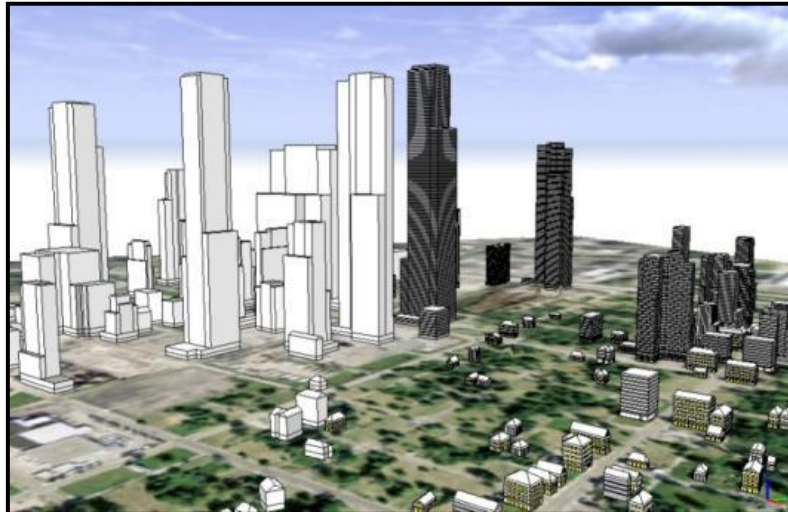
### 3.3. Poziom szczegółowości (ang. *Level of Detail*– *LOD*)

Dostępne techniki modelowania obiektów 3D pozwalają na tworzenie ich na różnych poziomach szczegółowości w zależności od potrzeb. Z kolei przy rozpatrywaniu potrzeb słusznym jest branie pod uwagę ograniczeń związanych z pozyskiwaniem danych i możliwościami narzędzi przeznaczonych do ich przetwarzania.

Istnieje kilka możliwych powodów, dla których zbiory danych cechujące się różnorodnością LOD są rzadkie, między innymi: (1) Pakiety oprogramowania GIS na ogół nie są zaprogramowane do wykorzystywania reprezentacji modeli 3D w wielu skalach; (2) Modele 3D miast są zazwyczaj nabywane w jednym celu, stąd są one pozyskiwane w optymalnym (pojedynczym) LOD; i (3) istnieją ograniczenia w procesie pozyskiwania i przechowywania, np. oprogramowanie do modelowania 3D nie jest w stanie jednocześnie tworzyć dwóch lub więcej reprezentacji i przechowywać je konsekwentnie i wydajnie (Biljecki *et al.*, 2016).

Niemniej jednak, w oprogramowaniu CityEngine istnieje możliwość, za pomocą odpowiednio zestawionych reguł, wygenerowania obiektów, które będą stanowić jeden spójny zestaw danych, a będą zróżnicowane pod względem szczegółowości. Nie ma potrzeby przechowywania modeli 3D w odrębnych plikach, wystarczy ich reprezentacja 2D wraz z regułami CGA, które pozwalają otrzymać obiekty trójwymiarowe w razie zaistnienia takiej potrzeby.

W ramach opracowania przetestowano kolejne poziomy szczegółowości wychodząc od LOD0, czyli informacji 2D, przez LOD1 i LOD2, gdzie LOD2 jest uzupełnieniem bryły LOD1 o kształt dachu, do LOD3, który już są dokładnymi modelami architektonicznymi budynków, bardziej rozbudowanymi geometrycznie i dlatego też opracowywanymi dla mniejszych, bardziej cennych obszarów miasta (Głowienka *et al.*, 2015). Nie analizowano tutaj LOD4, który jest uszczegółowiony o elementy zawarte wewnątrz bryły. Przykładowo w pracy (Janowski *et al.*, 2018) zajęto się podejściem do modelowania 3D skupiającym na rozpoznaniu sposobu dostosowania dokładności i precyzji opracowania do potrzeby. Efekty działania programu CityEngine są widoczne na Rys. 4.



Rys. 4 Wygenerowany zestaw przykładowych obiektów 3D za pomocą reguł CGA na różnych poziomach szczegółowości według City GML LOD1, LOD2, LOD3 (opracowanie własne, 2016)

#### 4. DANE

*The National Map* dla terenu Stanów Zjednoczonych, jako efekt pracy nad programem geoprzestrzennym, naukowców, władz stanowych i lokalnych partnerów (ang. *U.S. Geological Survey's (USGS) National Geospatial Program*) dostarcza szeroką gamę produktów, takich jak ortofotomapa, mapy wysokości, hydrograficzne, administracyjne, sieci transportowych oraz topograficzne. Dane można swobodnie pobierać, ponieważ *The National Map* jest poświęcony realizacji dyrektywy NSDI. Dla opracowywanego obszaru dzielnicy Poletown East pobrano NMT i ortofotomapę. Przy doborze danych należało zwrócić uwagę na dokładność, aktualność i format. Dla obszaru Poletown East w Detroit na czas opracowania dostępne były dwa NMT:

USGS NED ned19\_n42x50\_w083x25\_mi\_wayneco\_2009 1/9  
arc-second 2010 15 x 15 minute IMG  
Published Date: 2010-01-01  
Metadata Updated: 2014-07-23  
Format: IMG (130,46 MB)  
Extent: 15 x 15 minute

USGS NED n43w084 1/3 arc-second 2013 1 x 1 degree  
IMG  
Published Date: 2013-01-01  
Metadata Updated: 2014-07-22  
Format: IMG (303,08 MB)  
Extent: 1 x 1 degree

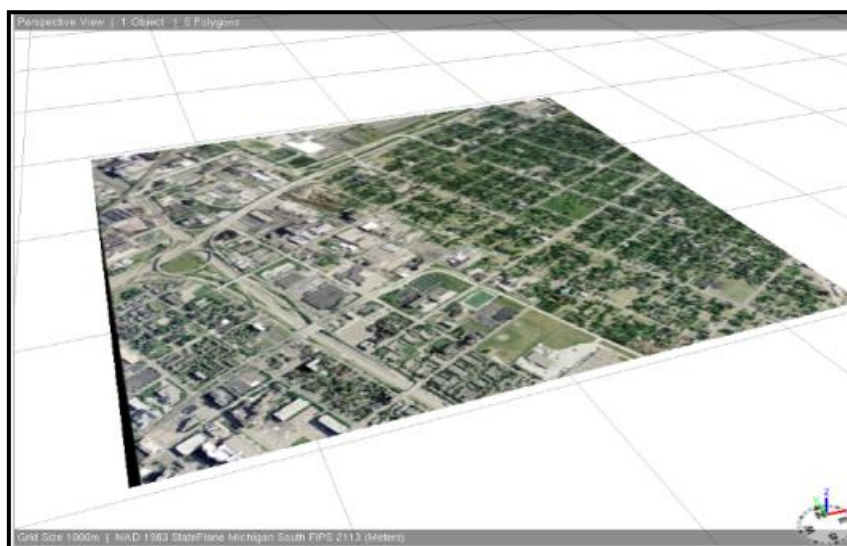
Pomimo, że drugi plik był aktualniejszy, to jednak pierwszy charakteryzował się lepszą rozdzielczością wynoszącą 1/9 sekundy kątowej. 1 arcsekunda dla globalnego pokrycia to około 30 metrów. Dla niewielkiego obszaru jakim jest dzielnica miasta większa dokładność zaważyła nad aktualnością danych – wybrano NMT ned19.

Co do zdjęć naziemnych do dyspozycji były dwa arkusze obejmujące w częściach obszar zainteresowania:

FSA 10:1 NAIP Imagery  
m\_4208340\_se\_17\_1\_20140628\_20141021 3,75 x 3,75  
minute JPEG2000 from The National Map  
Published Date: 2014-12-03  
Metadata Updated: 2015-03-27  
Format: JPEG2000 (25,25 MB)  
Extent: 3,75 x 3,75 minute

FSA 10:1 NAIP Imagery  
m\_4208348\_se\_17\_1\_20140628\_20141021 3,75 x 3,75  
minute JPEG2000 from The National Map  
Published Date: 2014-12-03  
Metadata Updated: 2015-03-27  
Format: JPEG2000 (25,25 MB)  
Extent: 3,75 x 3,75 minute

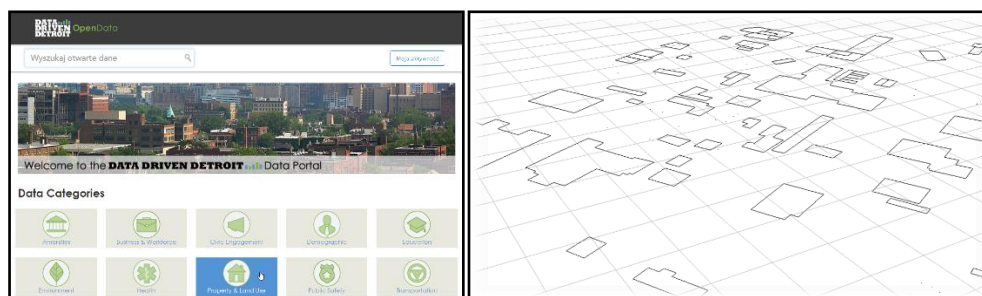
Oba rastry połączone i przycięto do obszaru dzielnicy polskiej (Rys. 5). Do ważniejszych informacji dotyczących tego procesu należy wybór odniesienia przestrzennego NAD\_1983\_StatePlane\_Michigan\_South\_FIPS\_2113 – każdy stan w USA posiada jeden albo więcej układów, których strefy przeważnie pokrywają się z granicami hrabstw. Wielką zaletą tego układu jest zastosowanie prostego systemu kartezjańskiego do określenia położenia. Współrzędne kartezjańskie XY zdecydowanie upraszczają i tym samym przyspieszają prace obliczeniowe.



Rys. 5 Udrapowana ortofotomapa na numerycznym modelu terenu dla Poletown East (opracowanie własne, 2016)

Dalsza realizacja projektu wymagała danych o zabudowie i przeznaczeniu terenów dzielnicy Detroit. Pobrano je z portalu *Data Driven Detroit (Open Data)* (Rys. 6). Dane podzielone były według atrybutu zagospodarowanie: *General Business District*, *General Industrial District*, *Special Industrial District*, *Intensive Industrial District*, *Restricted Industrial District*, *Low Density Residential District*, *Medium Density Residential District*, *Single-Family Residential District*, *Two-Family Residential District*, *Open Parking District*.





Rys. 6 Portal Data Driven Detroiti pobrane dane 2D (opracowanie własne, 2016)

## 5. APLIKOWANIE TECHNIK MODELOWANIA PROCEDURALNEGO

Autorka wykonując prace przygotowawcze modelu 3D fragmentu miasta Detroit do analizy widoczności, wykonała kilka dodatkowych czynności, które miały za zadanie ukazanie możliwości programu CityEngine poprzez przetestowanie kilku wybranych funkcji. Przeprowadzono to mając na uwadze realny kontekst, w jakim efekt ich działania może być wykorzystany. Postąpiono w ten sposób, aby dobitniej pokazać, że dostępne nawet najprostsze narzędzia geoprzestrzenne mogą znaleźć zastosowanie na niezwykle istotnych polach. Kontekst, o którym mowa, to potrzeba weryfikacji, czy budynki spełniają zapisy prawa miejscowego regulujące warunki zabudowy. Czy znajdują się na terenie o odpowiadającym przeznaczeniu, czy nie znajdują się w pasie drogowym, czy nie przekraczają wyznaczonej wysokości – są to kwestie niezwykle istotne. W takich przypadkach w programie CityEngine tworzy się coś na kształt pudełka, trójwymiarowej koperty za pomocą polecenia *MakeEnvelope*. Całą procedurę realizującą to zagadnienie przedstawiono w ramce zawierającej przyjęty zestaw reguł.

Poniżej zaprezentowana została reguła startowa, która zawiera funkcję weryfikującą, przeznaczenie parceli pod zabudowę rodzinną, czy też nie sprawdzając wartości atrybutu *ZDESCR*. Funkcja ta jest stała, co oznacza, że program liczy ją tylko raz i przy każdorazowym zapytaniu o nią, jej wartość jest już znana. Kolejno nadano nowy przestrzenny kształt działkom, poprzez zbudowanie warunkowej podreguły *MakeSetbacks*, do której wchodzi wszystkie działki z bazy danych. W przypadku, gdy któraś z nich jest przeznaczona pod zabudowę rodzinną, to przekierowanie następuje do *MakeFrontYard*, w przeciwnym wypadku trafia do reguły *MakeEnvelope*. Polecenie *set back*, zastosowane we wspomnianej *MakeFrontYard*, wyznacza odległość, wyrażoną w metrach, o jaką koperta będzie cofnięta od granic działki. Nawiasy klamrowe zawierają komendy do tworzenia nowych elementów konstrukcyjnych i odsyłanie ich wykonania do kolejnych reguł. Po przejściu opisanych kroków, następuje finalne wygenerowanie koperty za pomocą funkcji warunkowej *MakeEnvelope*. Tam budowana jest bryła na maksymalną wysokość ustaloną jako stała wartość dla działek pod zabudowę mieszkaniową na 12m, dla zaklasyfikowanych jako zabudowa niemieszkańcowa 20m, a dla pozostałych terenów na 5m. Co do samego warunku *ShowEnvelope*, to będzie on zawsze wykonany, ponieważ został określony jako atrybut prawdziwy *attrShowEnvelope = true*.

Mając na względzie przeprowadzanie przyjętego typu analizy – analiza wizualna, widoczność budynków wewnątrz kopert musiała być zapewniona, dlatego wyróżniono operację `set (material.opacity, 0.4)` -transparentność koperty na poziomie 40%.

```
version"2015.2"

import Ref:"/Poletown_East_Detroit/rules/Buildings/PTED_zoning_color_ref.cga"

attrZDESCR = ""
attrShowEnvelope = true

@StartRole
Parcel -->
  color(Ref.getColorByCategory(ZDESCR))
  MakeSetbacks
const isResidential = ( ZDESCR == "Single-Family Residential District" || ZDESCR ==
"Two-Family Residential District" || ZDESCR == "Low Density Residential District" ||
ZDESCR == "Medium Density Residential District")

const nonResidential = (ZDESCR == "General Business District" || ZDESCR == "General
Industrial District" || ZDESCR == "Special Industrial District" || ZDESCR ==
"Intensive Industrial District" || ZDESCR == "Restricted Industrial District" ||
ZDESCR == "Open Parking District" )

MakeSetbacks -->
  case isResidential:
    MakeFrontYard
  case nonResidential:
    MakeEnvelope
  else:
    MakeEnvelope

MakeFrontYard -->
  setback(6){street.front:Yard | remainder: MakeBackYard}
MakeBackYard -->
  setback(6){street.back:Yard | remainder: MakeSideYards}
MakeSideYards -->
  setback(2){street.side:Yard | remainder: MakeEnvelope}

MakeEnvelope -->
  case ShowEnvelope:
    extrude(maxHeight)
    set (material.opacity,0.4)
  else: BuilableFootprints.
const maxHeight = case isResidential: 12 case nonResidential: 20 else: 5
```

Efekt działania powyższych poleceń zaprezentowano na Rys. 7, gdzie widać skategoryzowane budynki według lokalizacji na terenie o określonym prawnie przeznaczeniu – budynki fioletowe leżą na terenie przemysłowym, zielone, to zabudowa mieszkaniowa, białe znajdują się w pasie drogowym. Natomiast Rys. 8 przedstawia wynik analizy, którą wykonuje się, jak już wspomniano, wizualnie, czy jakieś obiekty nie wykraczają w żaden sposób poza przestrzeń przeznaczoną pod zabudowę.



Rys. 7 Modele 3D budynków LOD2 w programie CityEngine (opracowanie własne, 2016)



Rys. 8 Modele 3D budynków LOD2 w raz z kopertami parceli w programie CityEngine (opracowanie własne, 2016)

## 6. ANALIZA PRZESTRZENNA WIDOCZNOŚCI

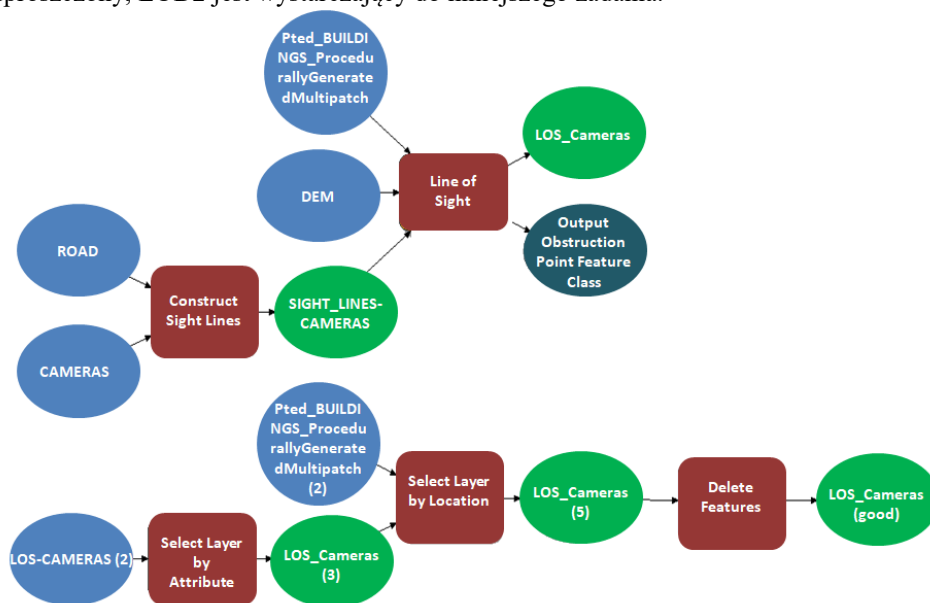
Ostatnim zagadnieniem, jakiego się podjęto było przeprowadzenie analizy przestrzennej, która mogłaby się okazać przydatna w usprawnieniu działań na rzecz bezpieczeństwa społecznego. Została ona poprzedzona weryfikacją dostępności danych i optymalizacją procesu ich przetwarzania do konkretnego celu, którym w tym przypadku był proces wyznaczenia linii widoczności.

Zasadniczą kwestią, przed przystąpieniem do wykonania zadania, jest przemyślenie z jakimi warunkami brzegowymi będzie się miało do czynienia. Analizując prace (Hejmanowska *et al.* 2018), (Hejmanowska *et al.* 2017), które opisują proces przetwarzania danych 3D dla publikacji internetowych, co jest niezwykle złożonym zagadnieniem, można istotnie zrozumieć, że ten etap wymaga szczególnej uwagi.

Założono więc, że jedna z ulic ma podlegać stałemu monitoringowi ze względu, przykładowo, na wkrótce mającą odbyć się paradę. Zadaniem służb czuwających nad bezpieczeństwem mieszkańców jest zniwelowanie zagrożeń i optymalizacja działań. Jedną

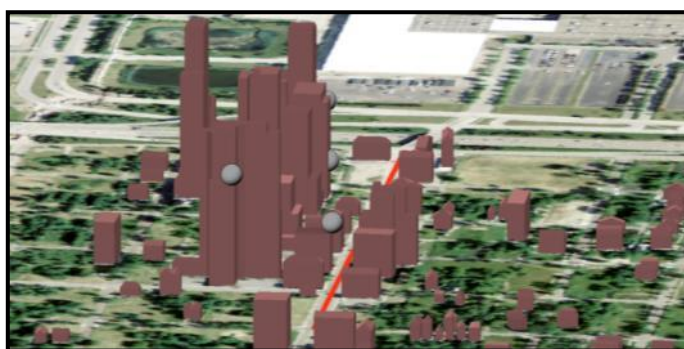
z dostępnych opcji jest uliczny monitoring i ustawienie punktów obserwacyjnych dla pracowników służb.

Dobre planowanie jest istotne, dlatego też w procesie wstępnego oceniania widoczności pomiędzy elementami zastosowano narzędzia geoprzetwarzania. Program ESRI ArcScene świetnie nadaje się do takich zadań. Tak więc, zbudowano model, który ma za zadanie pomóc w kontrolowaniu i względnych modyfikacjach elementów analizy (Rys. 9). Model 3D jest uproszczony, LOD2 jest wystarczający do niniejszego zadania.



Rys. 9. Schemat analizy widoczności w programie ArcScene (opracowanie własne, 2016)

Wizualizację sytuacji zaprezentowano na Rys. 10. Szarymi kulami oznaczono punkty obserwacyjne. Czerwona linia pokazuje drogę parady.



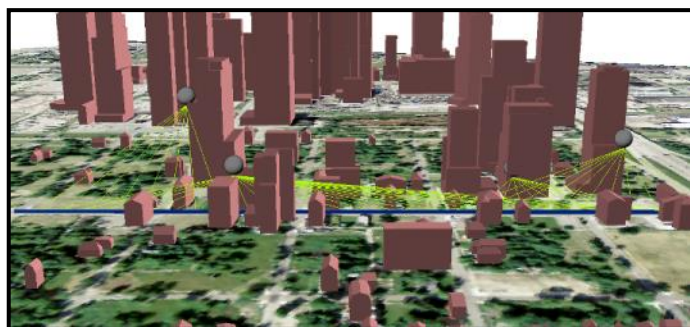
Rys. 10 Modele 3D budynków LOD2 w raz z zaznaczonymi punktami obserwacyjnymi i trasą przejazdu parady w programie ArcScene (opracowanie własne, 2016)

Wygenerowano linie widoczności pomiędzy zadanymi punktami *Cameras* a trasą marszu *Roadco* 25 metrów. Narzędziem *Line Of Sight* sprawdzono, które z budynków będą stanowiły czynnik dystrykcyjny dla linii. Zielone linie to całkowita widoczność. Można zauważyć, że przy napotkaniu przeszkody stają się czerwone. Linie te widoczne na Rys. 11. należało wyeliminować innymi dostępnymi narzędziami.

Posłużyła do tego selekcja według atrybutów – wybrano linie czerwone oznaczające brak widoczności. Do wyselekcjonowanych obiektów dodano te, które przecinają się z obiektami trójwymiarowymi – budynkami. Funkcją *Delete Features* usunięto zaznaczone, zbędne w dalszym etapie analizy, linie. Efekt przedstawiono na Rys. 11:



Rys. 11 Modele 3D budynków LOD2 wraz z zaznaczonymi punktami obserwacyjnymi i liniami widoczności i ‘niewidoczności’ w programie ArcScene (opracowanie własne, 2016)



Rys. 12 Modele 3D budynków LOD2 wraz z zaznaczonymi punktami obserwacyjnymi i liniami widoczności w programie ArcScene (opracowanie własne, 2016)

Idąc od lewej do prawej na Rys. 12 widać, że pierwsze 200m trasy ma podwójne pokrycie liniami widoczności (tj. odcinek widoczny z dwóch punktów obserwacyjnych), drugie 200m - pojedyncze, końcowe 200m już potrójne.

Takie niejednorodne rozmieszczenie punktów obserwacyjnych jest niekorzystne. Organizatorzy powinni rozpatrzyć inny układ kamer, lub włączenie do monitoringu innych punktów. Szczególnie niekorzystną pozycję mają obserwatorzy z kamery drugiej – mają około 400 metrów drogi do monitorowania.

Można zauważyć, że dobór odpowiedniego stopnia szczegółowości reprezentacji trójwymiarowej może mieć wpływ na wynik analizy. Zbyt uproszczony model wpłynąłby na zafałszowanie wyników- brak dachów zwiększyłby ilość linii widoczności, które w rzeczywistości by nie występowały. Natomiast zbyt szczegółowy model byłby zbyt czasochłonny w przygotowaniu, a nie wniósłby do analizy niczego istotnego. Tak więc, w przypadku analizy widoczności LOD2 wydaje się najbardziej odpowiednim wyborem.

Co więcej, przeprowadzenie takich prac bez jakiegokolwiek wizualizacji nie dałoby prawdziwych odpowiedzi, a z pewnością te, które udałoby się otrzymać nie byłyby miarodajne.

## 7. PODSUMOWANIE

Świat podlega ciągłym zmianom, m.in. takim powodowanym potrzebą ułatwiania funkcjonowania w społeczeństwie. Powyższy artykuł traktuje o proceduralnym modelowaniu przestrzeni miejskiej, którą coraz większa liczba jednostek wybiera jako miejsce do życia. Ciągłe zwiększające się zagęszczenie ludności wymusza wprowadzanie coraz to inteligentniejszych rozwiązań, prostszych w implementacji i skuteczniejszych w realizacji. Obecnie spotykamy się z sytuacjami, w których odchodzi się od procesu podejmowania decyzji opierającego się jedynie na interpretacji wykresów, tabel, płaskich rysunków. Procesy decyzyjne muszą być wspierane wizualizacjami i analizami trójwymiarowymi, w przeciwnym wypadku ryzyko niepowodzenia wzrasta.

Przedstawiciele takich zawodów, jak policja i inne służby specjalne w systemie bezpieczeństwa państwa, urbaniści i logistycy, z pewnością mogą posłużyć się dostępnymi na rynku narzędziami GIS, aby zoptymalizować swoje prace i działania. Zwykli obywatele wykazujący inicjatywę na rzecz rozwoju swojego otoczenia również mogą wesprzeć się ciekawymi rozwiązaniami, jakie oferuje technologia geoprzestrzenna.

## LITERATURA

Biljecki, F., Ledoux, H., Stoter, J. 2016. Generation of multi-LOD 3D city models in CityGML with the procedural modelling engine Random3Dcity, *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 4(4W1), 51-59.

Buckowczyk J.J., 1988. The Poletown Case and the Future of Detroit's Neighborhoods. *University of Michigan: Michigan Quarterly Review*, 27, 449-458.

Christen M., Nebiker S., 2015. Visualisation of Complex 3D City Models on Mobile Webrowsers Using Cloud-Based Image Provisioning. *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. II-3/W5, s. 517-522.

Głowienka E., Jankowicz B., Kwoczyńska B., Kuras P., Michałowska K., Mikrut S., Moskal A., Piech I., Strach M., Sroka J., 2015. Fotogrametria i skaniny laserowe w modelowaniu 3D. *Wyższa Szkoła Inżynieryjno-Ekonomiczna, Rzeszów*, s. 90-91.

Hejmanowska B., Mikrut S., Struś A., Głowienka E., Michałowska K., 2018. 4D Models in World Wide Web. *2018 Baltic Geodetic Congress (BGC Geomatics)*, Olsztyn, s. 1-6.

Hejmanowska B., Mikrut S., Głowienka E., Michałowska K., Struś A., Kramarczyk P., Opaliński P., 2017. 4D Reconstruction and Visualisation of Krakow Fortress. *2017 Baltic Geodetic Congress (BGC Geomatics)*, Gdańsk, s. 1-5.

Esri R&D Center, 2008-2018: <http://cehelp.esri.com/help/index.jsp>

Fryškowska A., Stachelek J., 2018. A no-reference method of geometric content quality analysis of 3D models generated from laser scanning point clouds for hBIM. *Journal of Cultural Heritage*, 10, 95-108.

Janowski A., Bobkowska K., Szulwic J., 2018. 3D modelling of cylindrical-shaped objects from lidar data – an assessment based on theoretical modelling and experimental data. *Metrology and Measurement Systems*, 25, 47-56.

Janowski A., Sawicki P., Szulwic J., 2006. Metoda wizualizacji 3D w standardzie OpenGL obiektów bliskiego zasięgu. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, 16, 239-247.

Kędzierski M., Zapłat, R., Fryškowska A., Wojtkowska M., Deliś P., 2012. Dokumentacja i modelowanie 3D ruin zamku w Iłży. [W]Zamki w ruinie - zasady postępowania konserwatorskiego, Szmygin B., Molski P. Eds. *Polski Komitet Narodowy Międzynarodowej Rady Ochrony Zabytków ICOMOS*, Warszawa, 147-158.

Kitsakis D., Tsiliakou E., Labropoulos T., Dimopoulou E., 2017. Procedural 3d modelling for traditional settlements. the case study of central Zagori. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XLII-2/W3, 369-376.

Koehl M., Roussel F., 2015. Procedural modelling for reconstruction of historic monuments. *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol.II-5/W3, s. 137-144.

Michałowska K., Becek K., Gawronek P., Kłapa P., Kwoczyńska B., Matuła P., Mikrut S., Mítka B., Piech I., Makuch M., 2015. Modelowanie i wizualizacja danych 3D na podstawie pomiarów fotogrametrycznych i skaningu laserowego. *Wyższa Szkoła Inżynierjno-Ekonomiczna*, Rzeszów, s. 70-74.

Mikrut S., Papuci-Władyka E., Struś A., Głowienka E., Puntos J., 2018. The Use of Photogrammetry in Archaeology and Multimedia Open-Air Performance in the Castle Square of Kato Paphos. *2018 Baltic Geodetic Congress (BGC Geomatics)*, Olsztyn, s. 353-358.

MM., 2018. Legendarne Detroit to w tej chwili ruina. Mają zrównać miasto z ziemią?  
<https://www.rmfm.com/magazyn/news,17696,legendarne-detroit-to-w-tej-chwili-ruina-maja-zrownac-miasto-z-ziemia.html>

Pettit Ch., Glackin S., Trubka R., Ngo T., Lade O., Newton P., Newman P., 2014. A co-design prototyping approach for building a Precinct Planning Tool. *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. II-2, s. 47-53.

Przywara J., 2015. Droga na manowce.  
[http://geoforum.pl/?menu=47064&page=edition2&id=1067&id\\_article=1551&link=jerzy-przywara-droga-na-manowce-p-strong-w-krajach-cywilizowanych-geoinformacja-jest-towarem-](http://geoforum.pl/?menu=47064&page=edition2&id=1067&id_article=1551&link=jerzy-przywara-droga-na-manowce-p-strong-w-krajach-cywilizowanych-geoinformacja-jest-towarem-)

Wodehouse C., 2017. 3D Modeling: A Look at the Science and Art Behind It.  
<https://www.upwork.com/hiring/design/3d-modeling-the-science-and-art-behind-it/>

## **PROCEDURAL MODELLING OF 3D CITIES**

**KEY WORDS:** 3D modelling, procedural modelling, Level of detail (LOD), geometric rules, 3D visualization, building generation, visibility analysis, crisis situations

### **Summary**

Nowadays, spatial information plays a fundamental role in many processes related to with spatial planning. More and more complicated, complex decisions must be taken effectively in a very short time. In recent years, and certainly since 2007, when the Directive Spatial Information Infrastructure in the European Community 2007/2 / EC of the European Parliament of the European Union entered into force, 3D modelling has become a rapidly growing branch of the Geographic Information System supporting the making of important decisions. 3D modelling conceals many working techniques, eg. automatic generation of 3D models based on a set of geometric rules using spatial data with the adopted level of LOD detail. ESRI CityEngine is one of the programs enabling such work thanks to the implementation of the computer-generated engineering grammar (CGA) that extracts three-dimensional objects from 2D data. In this work, procedural modelling tools were used on spatial data acquired for the Polish district in the city of Detroit, in the United States, in Michigan. The main goal was not to accurately reflect the real appearance of the settlements, what to recognize the process and opportunities offered by CGA grammar, obtain models at the LOD2 level (building block with the shape of the roof) and use them to analyse the visibility in the sample situation.

Dane autorów / Authors details

mgr inż. Agnieszka Struś  
e-mail: [astrus@agh.edu.pl](mailto:astrus@agh.edu.pl)  
telefon: 608269629

Przesłano / Submitted 21.12.2018  
Zaakceptowano / Accepted 31.12.2018