

## KLARA CZYŃSKA

Dr inż. arch.  
Katedra Urbanistyki i Planowania Przestrzennego,  
Wydział Budownictwa i Architektury,  
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie  
kczynska@zut.edu.pl

## PAWEŁ RUBINOWICZ

Dr inż. arch.  
Katedra Urbanistyki i Planowania Przestrzennego  
Wydział Budownictwa i Architektury  
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie  
pawel@rubinowicz.com.pl

## ADAM ZWOLIŃSKI

Dr inż. arch.  
Katedra Urbanistyki i Planowania Przestrzennego  
Wydział Budownictwa i Architektury  
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie  
azwolinski@zut.edu.pl

# ANALIZY ZABUDOWY WYSOKIEJ W KRAJOBRAZIE MIASTA

## ANALYSES OF TALL BUILDINGS IN THE CITYSCAPE

### STRESZCZENIE

Artykuł prezentuje techniki cyfrowej analizy krajobrazu i struktury miasta ukierunkowana na rozpoznanie wieloaspektowego oddziaływania zabudowy wysokiej. Prezentowane metody pozwalają na: badanie oddziaływania widzialnego (metoda VIS), planowanie ochrony widoków strategicznych miasta (metoda VPS) oraz analizę wpływu zabudowy wysokiej na przestrzenie publiczne (szereg metod, w tym Negatyw-3D). Prezentowane badania zostały przeprowadzone w ramach projektu 2TaLL: Application of 3D Virtual City Models in Urban Analyses of Tall Buildings, zrealizowanego w latach 2013-2016.

**Słowa kluczowe:** analizy oddziaływania wizualnego zabudowy wysokiej, modele miast 3D, ochrona krajobrazu miejskiego, projekt 2TaLL, przestrzenie publiczne.

### ABSTRACT

The article presents digital analysis techniques for the cityscape and structure of the city to examine multifaceted impact of tall buildings. Methods presented enable analysing visual impact (VIS), planning of protection for strategic vistas (VPS) and examining of impact on public space (several methods, including Negative-3D). The research was carried out under the 2TaLL Project: Application of 3D Virtual City Models in Urban Analyses of Tall Buildings, implemented in 2013-2016.

**Key words:** 2TaLL project, 3d city models, cityscape protection, public spaces, visual analysis of tall buildings.

## 1. WSPÓLCZESNE TENDENCJE DO ROZWOJU ZABUDOWY WYSOKIEJ W EUROPIE

W ostatnim dwudziestolecu (okres 1996-2016) możemy obserwować gwałtowny wzrost popularności zabudowy wysokiej na kontynencie Europejskim. Ilość wzniesionych wieżowców w tym czasie jest ponad dwukrotnie większa niż w całym XX wieku.<sup>1</sup> Wzrosła również ich średnia wysokość. Coraz więcej wieżowców przekracza barierę 300 m. Najwyżej i najwięcej buduje się w Moskwie i Istambule, w których wzniesiono 31% i 19% wszystkich wieżowców na kontynencie.<sup>2</sup> W zachodniej Europie rekord wysokości należy do londyńskiego „The Shard” (306 m). Wielka Brytania zajmuje jednak dopiero czwarte miejsce w Europie (7,2%) po Hiszpanii (8,5%) z uwagi na ilość budynków wysokich wzniesionych w omawianym okresie. Niewiele mniej powstało w tym czasie w Holandii (6,6%): najwięcej w Rotterdamie, ale aż sześć budynków przekraczających 100 metrów wysokości zbudowano w Amsterdamie w nowoutworzonej dzielnicy biznesu – Zuidas. Funkcjonujące do niedawna stereotypy o wolnej od zabudowy wysokiej Skandynawii, za sprawą Turning Torso w Malmö (arch. Santiago Calatrava), przeszły do historii.

Europa wypełnia się wieżowcami. Praktycznie w każdym większym mieście powstał lub powstaje nowy budynek wysoki (il. 1). Wiele spośród nich wymyka się statystykom, które skupiają się na najwyższych osiągnięciach sztuki budowlanej. Tymczasem obiekty o mniejszej wysokości, choć nie mają szans w światowym rankingu, są znaczącymi dominantami w swoim otoczeniu (np. Pazim w Szczecinie, Sky Tower we Wrocławiu czy Buisness-Tower w Norymberdze). Świadczą też o niebywalej popularności tego typu budownictwa. Wszystko wskazuje na to, że trwająca w Europie *fascynacja zabudową wysokościową i towarzysząca jej presja inwestycyjna nie tylko nie osłabną, ale są jeszcze daleko od osiągnięcia apogeum*.<sup>3</sup>

W odróżnieniu od azjatyckich czy amerykańskich, miasta europejskie zostały ukształtowane w wyniku stopniowej i raczej powolnej ewolucji. Efekty tego procesu narastania są widoczne w strukturze urbanistycznej, charakterystycznych kompozycjach

przestrzennych oraz w ich sylwetach. Historyczne dominaty tworzyły rozpoznawalne i utrwalone w społecznej świadomości motywy krajobrazowe.<sup>4</sup> Współczesna zabudowa wysoka w szybkim tempie zmienia ten ustalony porządek wpływając, często w przypadkowy sposób, na ważne wizerunkowo założenia urbanistyczne. W całej Europie można odnaleźć przykłady niekorzystnych przekształceń ważnych widoków historycznych.

Wśród najbardziej znanych można przytoczyć os Pól Marsowych w Paryżu z wieżowcem Montparnasse, który rozbił to symetryczne i szczególnie reprezentacyjne w skali miasta założenie.<sup>5</sup> Podobnie oddziałują wieżowce w panoramie Dolnego Belwederu w Wiedniu zmieniając ten osiowy, utrwalony przez Canaletto w połowie XVIII wieku, widok. Wieżowce często pojawiają się w tle zabytkowych budynków, zaburzając ich pierwotne pierwszoplanowe znaczenie w przestrzeni. Tak dzieje się w przypadku Zamku Królewskiego w Warszawie, którego integralność jest zaburzona poprzez wieżowiec zlokalizowany na Placu Bankowym. Niedawno ukończony budynek ING przy Placu Unii Lubelskiej widoczny jest z kolei ponad dachem Belwederu w Łazienkach Królewskich.

Wydaje się, że zasięgu oddziaływania tych budynków na miasto nikt nie przewidział. Tymczasem tej rangi strategiczne widoki powinny podlegać szczególnej ochronie. Dotychczasowe techniki planistyczne, jak pokazują powyższe przykłady, nie stanowią skutecznego zabezpieczenia. Z jednej strony ważne jest wykluczenie niekorzystnych interakcji wizualnych z zabudową historyczną. Jednakże nie mniej istotne jest kreowanie atrakcyjnej sylwetki miasta z zabudową wysoką, jako nową wartością przestrzenną oraz odpowiednie osadzenie nowych dominant w zgodzie z układem urbanistycznym miasta. Potrzebne są, zatem nowe techniki, które w obiektywny i kompleksowy sposób zobrazują skutki przestrzenne lokowania zabudowy wysokiej.

## 2. MOŻLIWOŚCI I OGRANICZENIA STOSOWANIA MODELI MIAST 3D W ANALIZACH URBANISTYCZNYCH

Podstawą omawianych w tym artykule metod cyfrowej analizy krajobrazu jest wykorzystanie modeli miast 3D. Rozwój technologii IT, technik teledetek-

<sup>1</sup> Wg danych CTBUH dostęp: 25.03.2017: <http://www.skyscrapercenter.com/x/2370450>.

<sup>2</sup> Wg danych CTBUH dostęp: 25.03.2017: <http://www.skyscrapercenter.com/x/2360421>.

<sup>3</sup> P. Setkowicz 2012, Budynki wysokie a tożsamość krajobrazu polskich miast..., *Tożsamość krajobrazu miasta*, Wydawnictwo Uczelniane ZUT, Szczecin, s. 84.

<sup>4</sup> K. Dąbrowska-Budziło 1990, *Wśród panoram Krakowa*, Wydawnictwo Literackie, Kraków, s. 15.

<sup>5</sup> Por. W. Kosiński 2009, Globalizacja – szanse i zagrożenia..., *Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej*, nr 18, s. 33.



Il. 1. Nowe dominanty wysokościowe w historycznym krajobrazie Mediolanu i Londynu. Powyżej: panorama Mediolanu dachu katedry; poniżej panorama Londynu z 2016 roku – obrazujące nowe inwestycje wokół katedry Św. Pawła (fot. autorów)

Fig.1. New high-rise buildings in historical cityscape of Milan and London. Above: panoramic view of Milano from cathedral's roof; beneath: panoramic view of London from 2016 with new high developments around St Paul's Cathedral (photo by authors)

cji krajobrazu oraz badań z zakresu geoinformatyki spowodował w ostatnich latach znaczący wzrost możliwości w dziedzinie tworzenia takich modeli. Za pomocą powszechnie dostępnego programu Google Earth możemy jak na dłoni przeglądać krajobrazy większości aglomeracji na świecie, w tym prawie wszystkich dużych miast w Europie. W szybkim tempie rośnie nie tylko ilość modeli, ale też ich dokładność (coraz wyższy stopień iluzji rzeczywistości) oraz ilość interfejsów pozwalających na przeglądanie wirtualnych obrazów miasta<sup>6</sup>.

Czynnikiem warunkującym możliwość wykorzystania danych 3D w badaniach naukowych i praktyce planistycznej jest ich dostępność. W Europie, istotne znaczenia ma w tym przypadku dyrektywa INSPIRE, która w ogólnym ujęciu nakłada na wszystkie państwa członkowskie UE obowiązek ułatwiania dostępu do danych przestrzennych. Efekty sukcesywnego wdrażania dyrektywy są zauważalne. Część zasobów, których pozyskanie wymagało specjalnych umów i porozumień z Urzędami Miast (jak np. model 3D Berlina), dziś jest już dostępna w formule „open source”.

Model 3D, to jednak z zasady, zawsze uproszczony obraz miasta. Kryterium jak najpełniejszej

iluzji rzeczywistości, co jest uzyskiwane np. poprzez teksturowanie elewacji budynków, nie jest kluczowy dla analiz urbanistycznych. O przydatności modelu do cyfrowych badań krajobrazu decyduje jego dokładność (np. prawidłowe zobrazowanie wysokości), jego kompletność (zakres elementów przestrzeni, które są w modelu uwzględnione) oraz wreszcie – struktura i organizacja danych 3D. W prezentowanych w artykule badaniach, wykorzystane zostały dwa typy modeli: CityGML (City Geography Markup Language) oraz DSM (LiDAR).

Pierwszy z nich – CityGML – jest standardem stosowanym w krajach Europy zachodniej, a szczególnie w Niemczech<sup>7</sup>. Słowo „standard” ma tu kluczowe znaczenia. Dane są bowiem całkowicie niezależne od środowiska, w którym model został opracowany (co jest istotną różnicą względem modeli tworzonych w programach CAD). CityGML umożliwia nie tylko zapis geometrii miasta (w formie modelu wektorowego), ale także zapis wzajemnych relacji i zależności hierarchicznych pomiędzy jego elementami składowymi (semantyka danych). Format obejmuje różne klasy obiektów (np. budynki, wody, tunele, mosty) oraz pozwala na ich obrazowanie w różnych skalach dokładności (LoD – Level of Deta-

<sup>6</sup> Por. P. Rubinowicz 2013, Cyber Urban Design, *Archivolta*, 3(59), Kraków.

<sup>7</sup> T. Kolbe 2009, Representing and Exchanging 3D City Models with CityGML[w:] *3D Geo-Information Sciences*.

ils). W praktyce wadą dostępnych modeli CityGML, jest jednak niekompletność danych, a więc brak niektórych elementów miasta, w tym najczęściej zieleni wysokiej, która ma, z kolei, istotne znaczenia dla analiz krajobrazu.

Drugi typ modeli 3D, stosowany w omawianych w tym artykule analizach, to DSM (Digital Surface Model), a więc numeryczny model pokrycia terenu (il. 2). Dane te podobnie jak numeryczny model terenu (DTM) są bezpośrednią pochodną laserowego skaningu lotniczego miasta ALS. Zwykle są one wykorzystywane jako dane dla tworzenia modeli wektorowych. Jednak już taki uproszczony „obraz miasta”, w postaci chmury punktów DSM, może być także bardzo cennym narzędziem dla aplikacji analiz krajobrazowych. Wadą modelu jest brak struktury, semantyki danych i co za tym idzie prostej możliwości wyodrębnienia poszczególnych elementów (np. rozdzielania drzewa od budynku). Natomiast zaletą modelu DSM jest pełna kompletność, a więc zobrazowanie wszystkich elementów przestrzennych w mieście. Zabudowa, zieleni wysoka, infrastruktura techniczna, mosty, wiadukty, zagospodarowanie terenu są odwzorowane ze stałą dokładnością. Istotne czynniki to niski koszt, aktualność i dostępność danych. W Polsce, w wyniku realizacji ogólnokrajowego programu antypowodziowego ISOK<sup>8</sup>, wszystkie większe miasta mają opracowane modele DSM o bardzo dobrej dokładności. Ich rozdzielczość (chmura punktów na siatce o oczku 50cm) umożliwia rozpoznanie podstawowych relacji architektonicznych, geometrii dachów, ukształtowania akcentów wieżowców itp.

### 3. BADANIE ODZIAŁYWANIA WIZUALNEGO ZABUDOWY WYSOKIEJ (METODA VIS)

Projektowanie zabudowy wysokiej w miastach europejskich o wielowiekowej historii wymaga szczególnego podejścia. Z jednej strony niezbędna jest ochrona historycznego dziedzictwa kulturowego, z drugiej, ważna jest potrzeba kształtowania współczesnego wizerunku miasta. Zabudowa wysoka, poprzez właściwe wkomponowanie w strukturę urbanistyczną, może stanowić atrakcyjne dopełnienie krajobrazu miejskiego, współtworząc jego estetykę, a tym samym niepowtarzalność i tożsamość.<sup>9</sup> Niezbędna jest jednak możliwość pełnej kontroli przy-

szłego oddziaływania wizualnego planowanych wieżowców. Odpowiednie metody analityczne, w powiązaniu z wirtualnymi modelami miast mogą stanowić skuteczne narzędzia pomocne w kształtowaniu sylwety miejskiej.

Jedną z technik analitycznych, sprawdzoną wielokrotnie przy projektowaniu i badaniu lokalizacji zabudowy wysokiej, jest metoda Visual Impact Size (VIS)<sup>10</sup>. Jej celem jest precyzyjne rozpoznanie wszystkich miejsc w mieście, z których analizowany obiekt jest widoczny – zależnie od jego wysokości. Podstawy metody są dość proste i opierają się na rozwijanej od końca lat 70. XX wieku teorii isovist<sup>11</sup>, jednak jej zastosowanie w rzeczywistej, trójwymiarowej przestrzeni miasta wymaga bardzo złożonych i czasochłonnych procesów obliczeniowych. W jednym czasie określane są fragmenty przestrzeni publicznych miasta, na które nowy obiekt będzie miał wpływ. Definiowana jest także siła jego oddziaływania na daną przestrzeń – to czy będziemy widzieć obiekt w całości, w dużym fragmencie, czy jedynie, jako mały akcent przestrzenny. Metoda pozwala mierzyć całkowity wpływ wizualny budynku przy różnych pułapach jego wysokości.

Wynik analizy VIS może być obrazowany w różny sposób: jako mapa 2D, powierzchnia trójwymiarowa, czy zestawienie tabelaryczne.<sup>12</sup> Do celów planistycznych najbardziej użyteczna jest jednak barwna mapa 2D (il. 3). Każdy z kolorów określa widoczność planowanego budynku od konkretnego progu wysokości. Zazwyczaj, w celu uczytelnienia wyniku, przyjmuje się ograniczoną paletę barw, która odzwierciedla osiem pułapów wysokości przyszłego wieżowca. W interpretacji wyniku pomaga, postrzegana intuicyjnie, intensywność kolorów: od czerwonego, przez żółty, zielony do odcieni niebieskiego. Odzwierciedla ona faktyczną wielkość obiektu postrzeganego z danej przestrzeni miasta. Na obszarach oznaczonych na czerwono, budynek będzie widoczny niemal w całości. Na terenach zaznaczonych na niebiesko dostrzegalny będzie jedynie mały fragment górnej partii wieżowca.

Interpretacja otrzymanych wyników może mieć istotne znaczenie dla kierunkowania dalszych działań planistycznych. Rozpoznane na podstawie analizy VIS obszary ekspozycji nowego wieżowca powinny być poddane waloryzacji w badaniach

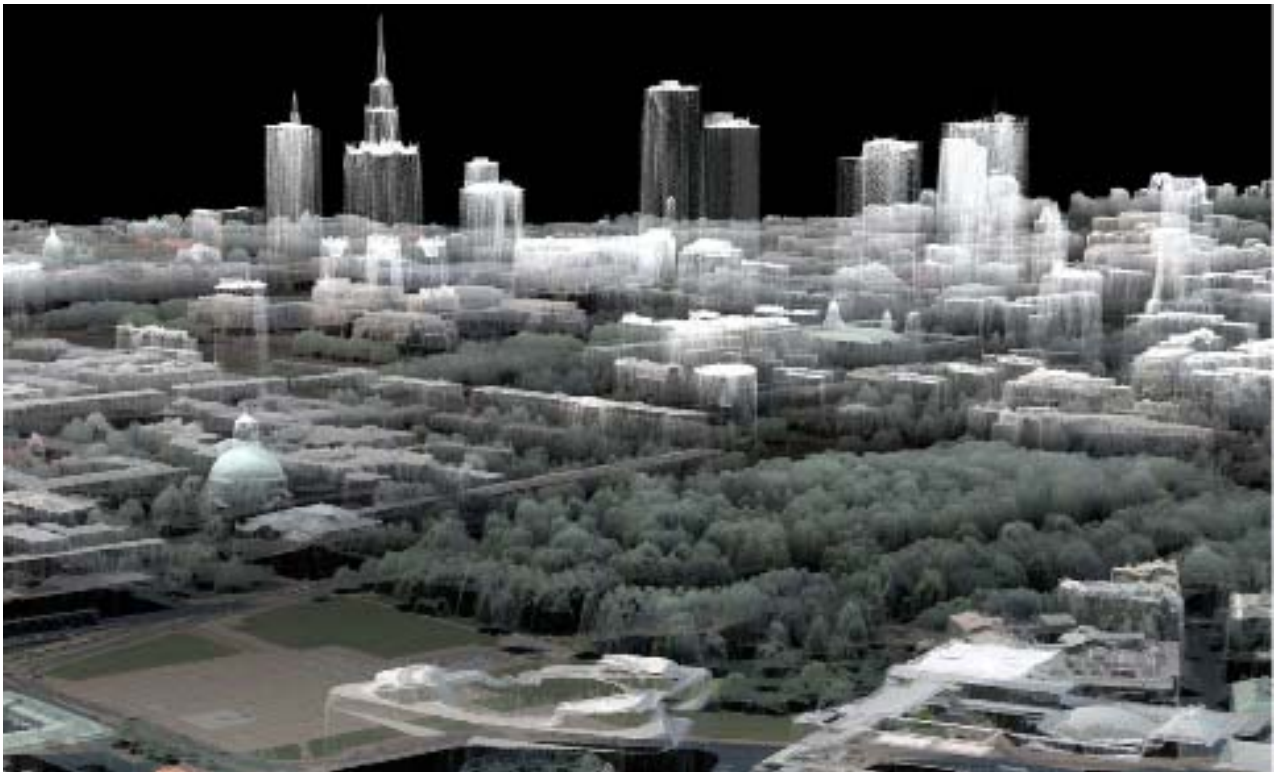
<sup>8</sup> Informatyczny System Ochrony Kraju: <http://www.isok.gov.pl/> Dostęp: 10.04.2017.

<sup>9</sup> Por. W. Kosiński 2011, *Miasto i piękno miasta*, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków, s. 14.

<sup>10</sup> K. Czyńska 2015, Application of Lidar Data and 3D-City Models in Visual Impact Simulations of Tall Buildings, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*

<sup>11</sup> M. L. Benedikt 1979, To take hold of space: isovist fields, *Environment and Planning B: Planning and Design*, Vol. 6, s. 47-65.

<sup>12</sup> K. Czyńska 2015, *op. cit.*, s. 1364.



Il. 2. Model DSM Warszawy. Wizualizacja z nad placu Hoovera w kierunku centrum. Gęstość chmury punktów (siatka 0,5m) pozwala na zobrazowanie struktury przestrzennej miasta: dominant, innej zabudowy i zieleni wysokiej (il. autorów)

Fig. 2. DSM model of Warsaw. Visualization from above of Hoover Square in direction of city center. Density of point cloud (grid 0,5m) allows to visualize the city's spatial structure: dominants, other buildings and tall greenery (fig. by authors)

terenowych. Pozwala to na ustalenie ważnych punktów widokowych, w których nowy obiekt może zagrażać integralności istotnych założeń przestrzennych (np. obszarów staromiejskich, czy założeń symetrycznych). Mogą to być również obszary najbardziej atrakcyjnej ekspozycji badanej dominanty przestrzennej, takie, które budują nowe walory krajobrazowe miasta. Jednoznaczna identyfikacja miejsc widokowych daje możliwość dalszej waloryzacji i oceny przyszłego wpływu obiektu na przestrzeń miasta. Można m.in. przygotować symulacje z użyciem linijek wysokości, które pokażą prawdziwą skalę obiektu w konkretnych widokach.<sup>13</sup>

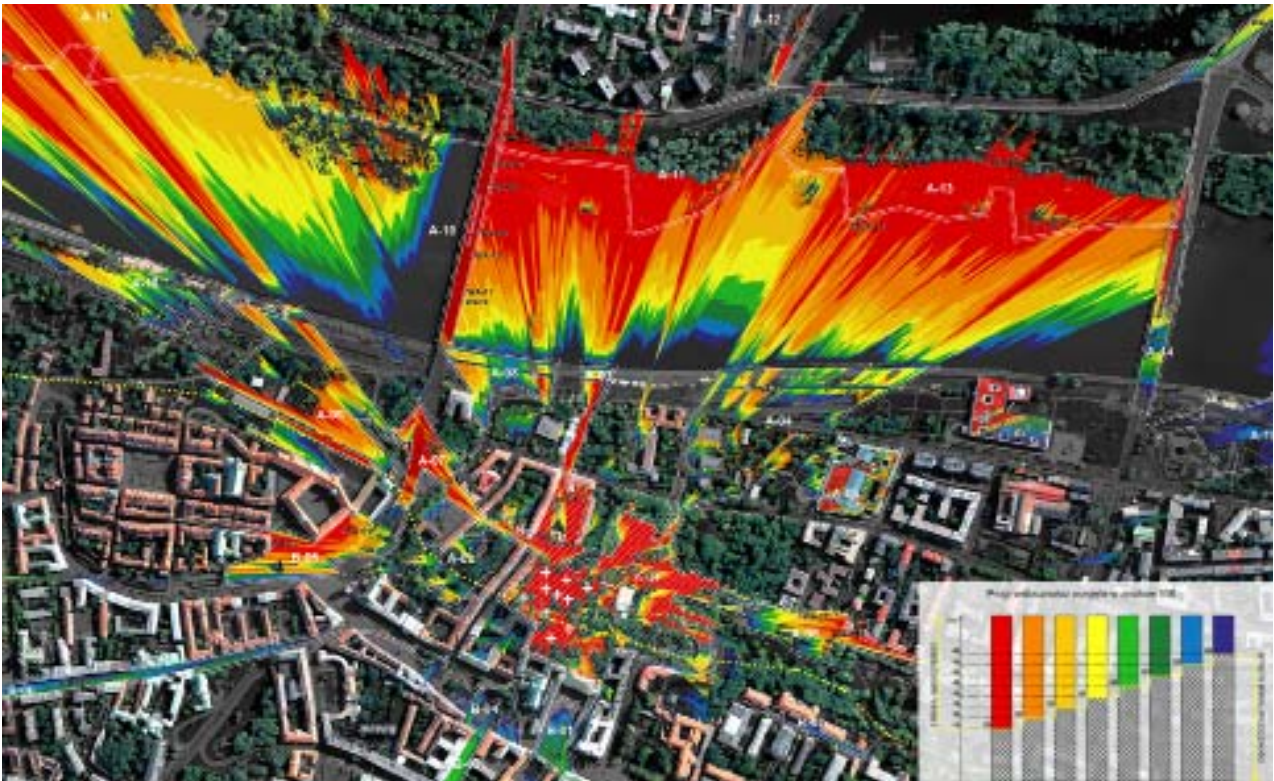
Analiza VIS często przynosi zaskakujące wyniki, trudne do intuicyjnego przewidzenia. Wskazuje wiele przestrzeni publicznych, w których widoczności nowego wieżowca nikt się nie spodziewa. Wynik jest, bowiem zależny od licznych, wzajemnie na siebie wpływających czynników, takich jak: wysokość badanego budynku i pozostałej zabudowy w mieście, gęstości struktury urbanistycznej, topografii

terenu, ilości zieleni wysokiej itp. Z uwagi na znaczącą siłę oddziaływania wizualnego, rosnącą wraz z wysokością, zabudowa wysoka może być widoczna nawet z bardzo odległych punktów widokowych, często wykraczających poza obszar administracyjny miasta. Ważne jest, zatem badanie wpływu wieżowców w bardzo rozległym zakresie obszarowym.

Metoda VIS była stosowana w różnych opracowaniach studialnych od 2007 roku. Jednak dopiero podczas realizacji projektu 2TaLL została znacząco rozwinięta i ujednolicona. Przygotowane zostały nowe algorytmy i rozwiązania softwarowe, pozwalające na emulację map VIS na bazie różnych modeli przestrzennych miast (w tym: CityGML, DSM). Umożliwiają one również rozwój teorii isovist 3D na gruncie naukowym. Mierzenie powierzchni pól oddziaływania, czy porównywanie map VIS dla różnych tkanek urbanistycznych stwarza podstawy rozwoju teorii związanej z chłonnością krajobrazową miast, zarysowaną w publikacjach<sup>14</sup>.

<sup>13</sup> K. Czyńska 2014, *Geometrical Aspects of City Skyline – Tall Building Analysis, Proceedings of the 16th International Conference on Geometry and Graphics, Innsbruck*, s. 527.

<sup>14</sup> K. Czyńska, P. Rubinowicz 2016, *Visual Impact Size Method in Planning Tall Buildings*, [w:] *Education for research, research for creativity*, Warszawa, s. 169-174; K. Czyńska 2015, *op. cit.*, s. 1359-1366.



Il. 3. Analiza VIS dla projektowanego budynku biblioteki seminaryjnej w Warszawie. Mapa VIS obrazuje z jakich terenów nowy obiekt będzie widoczny, zależnie od jego wysokości (il. autorów).

Fig. 3. VIS analysis for planned building of the Seminar Library in Warsaw. VIS map shows all locations from which a given facility can be seen, depending on its height (fig. by authors).

Istotny jest potencjał aplikacyjny metody. Została ona kilkakrotnie wykorzystana w praktyce planistycznej.<sup>15</sup> W najnowszym opracowaniu studialnym dla Warszawy (przygotowanym w zespole z prof. Marzęckim w 2015 roku) metoda VIS została wykorzystana do analiz oddziaływania wizualnego planowanego obiektu na terenie ogrodów seminaryjnych na Skarpie Warszawskiej<sup>16</sup> (il. 3). Mapa VIS stała się podstawą tego opracowania i narzędziem oceny wpływu obiektu na krajobraz miasta. Dała też możliwość identyfikacji ważnych punktów ekspozycji budynku w historycznym kontekście Warszawy (il. 4).

Z punktu widzenia rozwoju metody VIS, interesujące efekty daje możliwość przeprowadzenia analizy dla już istniejącego budynku wysokiego. Stwarza to, po pierwsze, możliwość weryfikacji dokładności

wyników symulacji VIS w terenie. Umożliwia również sprawdzenie wniosków płynących z bezpośredniej obserwacji danego obiektu w mieście. Badanie tego typu zostało przeprowadzone dla budynku Sky Tower we Wrocławiu. Z obserwacji terenowych, wykonanych w ramach projektu 2TaLL, wyniknęły zaskakujące dla autorów wnioski. Obiekt, pomimo swojej znaczącej wysokości (ponad 200 metrów) jest dość słabo eksponowany na obszarze miasta. Widoczność budynku jest z kolei znakomita z obszarów niezabudowanych znajdujących się poza obszarem administracyjnym. Analiza VIS wykonana na modelu DSM, obejmującym również tereny poza miastem, potwierdziła tą tezę. Wnioski zostały opisane w osobnej publikacji<sup>17</sup>.

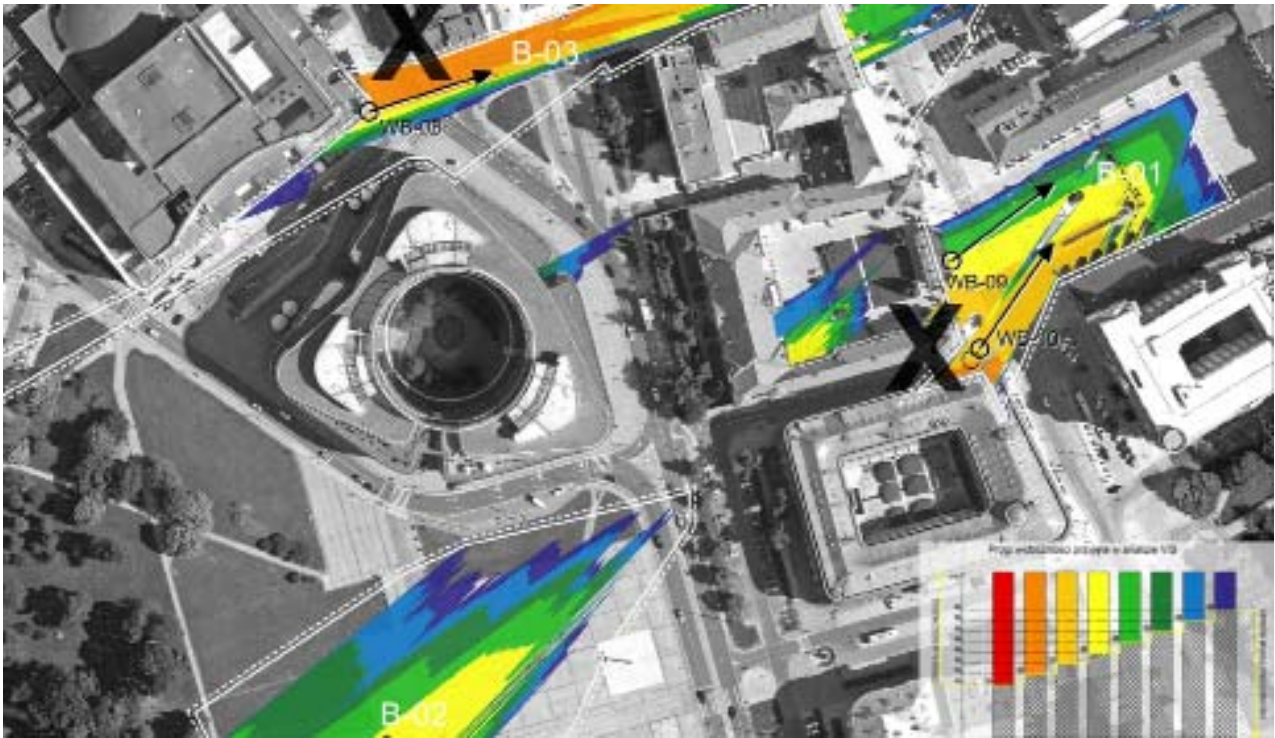
Analiza VIS jest więc przydatna na etapie projektowania zabudowy wysokiej. Demaskuje możliwe zagrożenia dla krajobrazu miasta. Dzięki symulacjom wariantowym unaocznia, że czasem niewielkie przemieszczenie planowanej dominanty w ramach działki inwestycyjnej może spowodować jej bardziej korzystną ekspozycję w przestrzeni.<sup>18</sup>

<sup>15</sup> M.in. w dwóch opracowaniach dla Szczecina wykonanych na zlecenie Urzędu Miejskiego w 2007 r. przez zespół w składzie: K. Czyńska, W. Marzęcki, P. Rubinowicz. Tytuły opracowań: *Studium oddziaływania krajobrazowego zabudowy wysokiej przy Al. Wyzwolenia w Szczecinie* oraz *Studium oddziaływania krajobrazowego zabudowy wysokiej przy Placu Szyrockiego, na zamknięciu ul. 3-go Maja oraz przy ul. Salomei*.

<sup>16</sup> W. Marzęcki, K. Czyńska, P. Rubinowicz, A. Zwoliński 2015, *Studium oddziaływania krajobrazowego nowej zabudowy na terenie Ogrodów Seminaryjnych w Warszawie*. Opracowanie na zlecenie Archidiecezji Warszawskiej.

<sup>17</sup> K. Czyńska, P. Rubinowicz 2018, Analiza wpływu wieżowca Sky Tower na krajobraz Wrocławia z zastosowaniem metody VIS, *Architectus*, Wrocław, w druku.

<sup>18</sup> K. Czyńska 2010, Zabudowa wysoka a harmonijne kształtowanie krajobrazu miejskiego, *Przestrzeń i Forma* 2010, nr 13, s. 270.



Il. 4. Badanie oddziaływania wizualnego biblioteki seminaryjnej w Warszawie – VIS dla fragmentu centrum Warszawy. Dokładność modelu oraz technik komputerowych pozwala na precyzyjne wyznaczenie obszarów ekspozycji (il. autorów)

Fig. 4. Study of the visual impact of the Seminar Library in Warsaw – the VIS analysis for a fragment of the city center. Accuracy of the model and the computer techniques allows for precise delimitation of the exposure areas (fig. by authors)

Poznanie oddziaływania wizualnego budynku zanim będzie on wzniesiony może przyczynić się, więc do bardziej harmonijnego wkomponowania tego rodzaju zabudowy w krajobraz miast historycznych i ocalić integralności istotnych założeń przestrzennych. Może też być pomocne w budowaniu współczesnego wizerunku miast z zabudową wysoką, jako nowym symbolem.

#### 4. OCHRONA KRAJOBRAZU I WIDOKÓW STRATEGICZNYCH MIASTA (METODA VPS)

Przedstawiona w poprzednim rozdziale metoda Visual Impact Size (VIS) pozwala na obiektywne rozpoznanie oddziaływania pojedynczego budynku wysokiego na krajobraz miasta. Wynik badania jest zawsze jednoznaczny pod względem geometrycznym. Może być on mniej lub bardziej dokładny zależnie od np. jakości modelu 3D, ale zawsze będzie wolny od jakiegokolwiek intencyjności. Obiektywizacja oceny wpływu budynku na krajobraz jest szczególnie istotna w przypadku doraźnych działań inwestycyjnych. W takiej sytuacji mamy nie rzadko do czynienia ze sporem, w który po jednej stronie rysują się aspiracje inwestora, a z drugiej strony dążenia zachowania spójności krajobrazu miasta. Wynik anali-

zy VIS nie ma tu oczywiście charakteru rozstrzygającego, ale może być wsparciem dla kierunkowania dalszych analiz krajobrazowych i dla formułowania wytycznych.

Dla zrównoważonego rozwoju krajobrazu miasta dużo korzystniejsze jest działanie odwrotne, a więc gdy proces planowania wysokości zabudowy wyprzedza doraźne działania inwestycyjne. W takiej sytuacji pytania o to, czy w danym miejscu można zbudować budynek wysoki, są zastępowane przez pytania mające szersze znaczenie dla kształtowania krajobrazu: czy w ogóle, a jeśli tak, to w których obszarach miasta lokalizować zabudowę wysoką? Przy czym poprzez pojęcie to należy rozumieć obiekty, które są znacząco wyższe od ich sąsiedztwa, względnie te, które są silnie widoczne w panoramach miasta<sup>19</sup>.

W procesie kształtowania krajobrazu kluczowe jest zachowanie jego istniejących wartości. Zasada *primum non nocere* jest tu równie uzasadniona jak w medycynie. W planowaniu przestrzennym ochrona krajobrazu kulturowego koncentruje się na zachowaniu cennych widoków miasta, istotnych dla jego tożsamości i dla identyfikacji przestrzennej

<sup>19</sup> Por. *Seeing the History in the View* by Historic Buildings and Monuments Commission for England, 2011, s. 29.

– określanych często mianem widoków strategicznych. Metoda oparta na wyodrębnianiu takich widoków i na ich ochronie jest podstawą opracowań planistycznych regulujących zasady kształtowania krajobrazu w wielu miastach i w Europie i na świecie<sup>20</sup>.

Przykładem jest obowiązujący w Londynie „London View Management Framework” (LVMF), w którym do ochrony zapisano 27 widoków strategicznych, sklasyfikowanych w 4 kategorie.<sup>21</sup> Parametry ochrony każdego z tych widoków są szczegółowo zdefiniowane<sup>22</sup>. Każdy nowy obiekt wysoki musi spełniać kryteria LVMF. Tu rysuje się jednak problem wynikający ze złożoności możliwych interakcji przestrzennych i trudności w ich przewidywaniu. W 2016 roku jeden z widoków strategicznych Londynu został praktycznie bezpowrotnie zniszczony poprzez nowy obiekt wysoki (ekspozycja osioła na kopułę katedry św. Pawła ze wzgórza King Henry’s Mound). Nikt nie przewidział, że inwestycja realizowana w innej gminie Londynu i oddalona aż o kilkanaście kilometrów od punktu widokowego, może mieć kluczowe znaczenie dla zachowania integralności chronionego widoku, który funkcjonował w krajobrazie miasta przez ponad 300 lat.<sup>23</sup>

O ile potrzeba ochrony widoków strategicznych jest w wielu przypadkach zupełnie oczywista i prosta do zdefiniowania, to przewidywanie jej konsekwencji dla kształtowania nowej zabudowy jest już złożonym zagadnieniem przestrzennym. Rysuje to kolejne pole dla aplikacji technik cyfrowej analizy krajobrazu. Badanie związków między zakresem ochrony widoków strategicznych, a strukturą wysokości zabudowy miasta jest przedmiotem metody Visual Protection Surface (VPS)<sup>24</sup>.

Metoda VPS wraz z oprogramowaniem umożliwiającym jej aplikację powstała w latach 2014-2015. Jej celem jest określanie chłonności miasta na nowe obiekty wysokie, przy założeniu pełnej ochrony określonej grupy widoków strategicznych. Rezultatem jest „powierzchnia nad miastem”, która

definiuje maksymalne wysokości zabudowy tak, by żaden z nowych obiektów nie był widoczny w żadnym z zadanych widoków strategicznych. Dla każdego punktu w mieście kalkulowana jest wysokość powierzchni VPS obliczana z dokładnością ok. 10cm. Podobnie jak w przypadku metody VIS, wynik analizy VPS jest geometrycznie jednoznaczny. Trudnością w aplikacji VPS jest złożoność procesu obliczeniowego, która jest znacznie większa niż w przypadku metody VIS. Generowanie precyzyjnych symulacji VPS wymaga dużej mocy obliczeniowej i zajmuje często dziesiątki godzin.

Podstawą dla aplikacji metody VPS może być zarówno wektorowy model miasta 3D w standardzie CityGML, jak też model miasta w postaci chmury punktów DSM. Wynik może być obrazowany jako powierzchnia 3D lub też, podobnie jak w przypadku VIS – w postaci barwnych map 2D. Natężenie koloru pozawala na szybką i intuicyjną interpretację symulacji VPS: identyfikację „miejsc wrażliwych”, w których wyższa zabudowa może być istotnym zagrożeniem dla krajobrazu oraz takich miejsc, w których nowy obiekt wysoki nie będzie zaburzał strategicznych widoków miasta.

Przykładem zastosowania metody VPS są badania Drezna przeprowadzone w 2015 roku, w ramach projektu 2TaLL<sup>25</sup> (il. 5, 6, 7). Krajobraz tego miasta jest wyjątkowy w skali Europy. Ślad dotkliwych zniszczeń wojennych jest dziś zupełnie nieodczuwalny.

Historyczna i po części zrekonstruowana sylweta dominuje w panoramach rzecznych nad Elby. Spacer wzdłuż bulwarów Drezna jest swoistą wycieczką w czasie. Współczesny obraz miasta jest praktycznie taki sam jak na płótnach Canaletta.

Zachowanie tej wartości jest oczywiste i jest też odpowiednio ugruntowane w lokalnej polityce przestrzennej. Z drugiej strony, za barokową fasadą jest miasto, będące w fazie dynamicznego rozwoju, mające określone potrzeby i aspiracje. Badania z zastosowaniem metody VPS miały na celu określenie możliwości lokalizacji nowych obiektów wysokich – wybijających się ponad sąsiednią zabudowę. Czy zatem w Dreźnie można wznieść obiekt wysoki z zachowaniem pełnej ochrony historycznych panoram? Jeśli tak, to jaki jest limit wysokości dla nowych dominant i gdzie mogą być one wznoszone?

Poszukiwanie odpowiedzi na takie pytanie było inspiracją dla opracowania metody VPS. Po stronie

<sup>20</sup> Np. *Canada’s Capital Views Protection...*, National Capital Commission, Ottawa 2007.

<sup>21</sup> *London View Management Framework*: <https://www.london.gov.uk/what-we-do/planning/implementing-london-plan/supplementary-planning-guidance/london-view-management>. Dostęp: 10.04.2017.

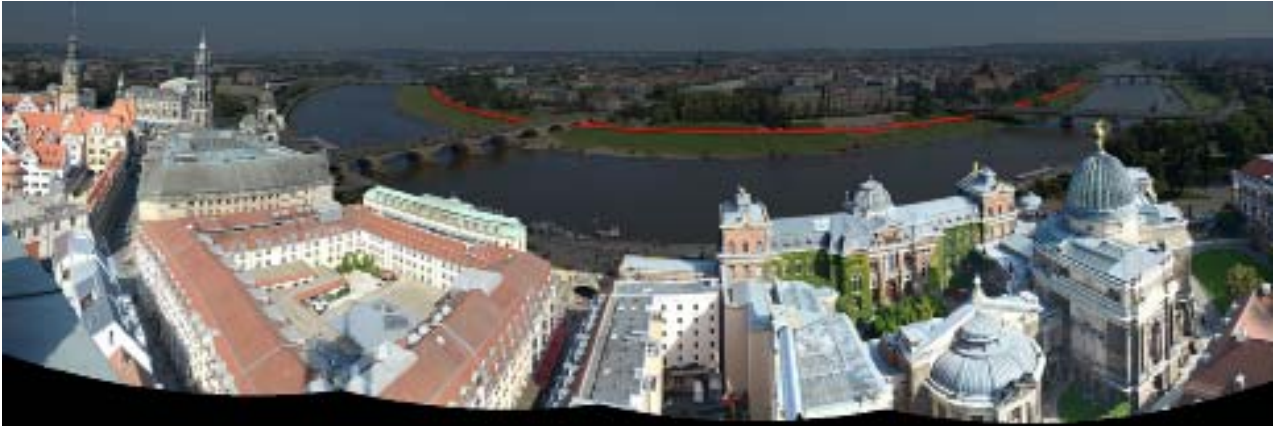
<sup>22</sup> Choć są one i tak dość liberalne, a widoki są chronione jedynie w wąskich prospektach.

<sup>23</sup> W. Hurst, E. Braidwood, Khan wants protected views rethink after St Paul’s row, *Architects Journal* 20.12.2016.

<sup>24</sup> K. Czyńska, P. Rubinowicz 2015, *Visual protection surface method: Cityscape values in context of tall buildings*, *Proceedings of the 10th International Space Syntax Symposium, London*, s. 142:1-142:10.

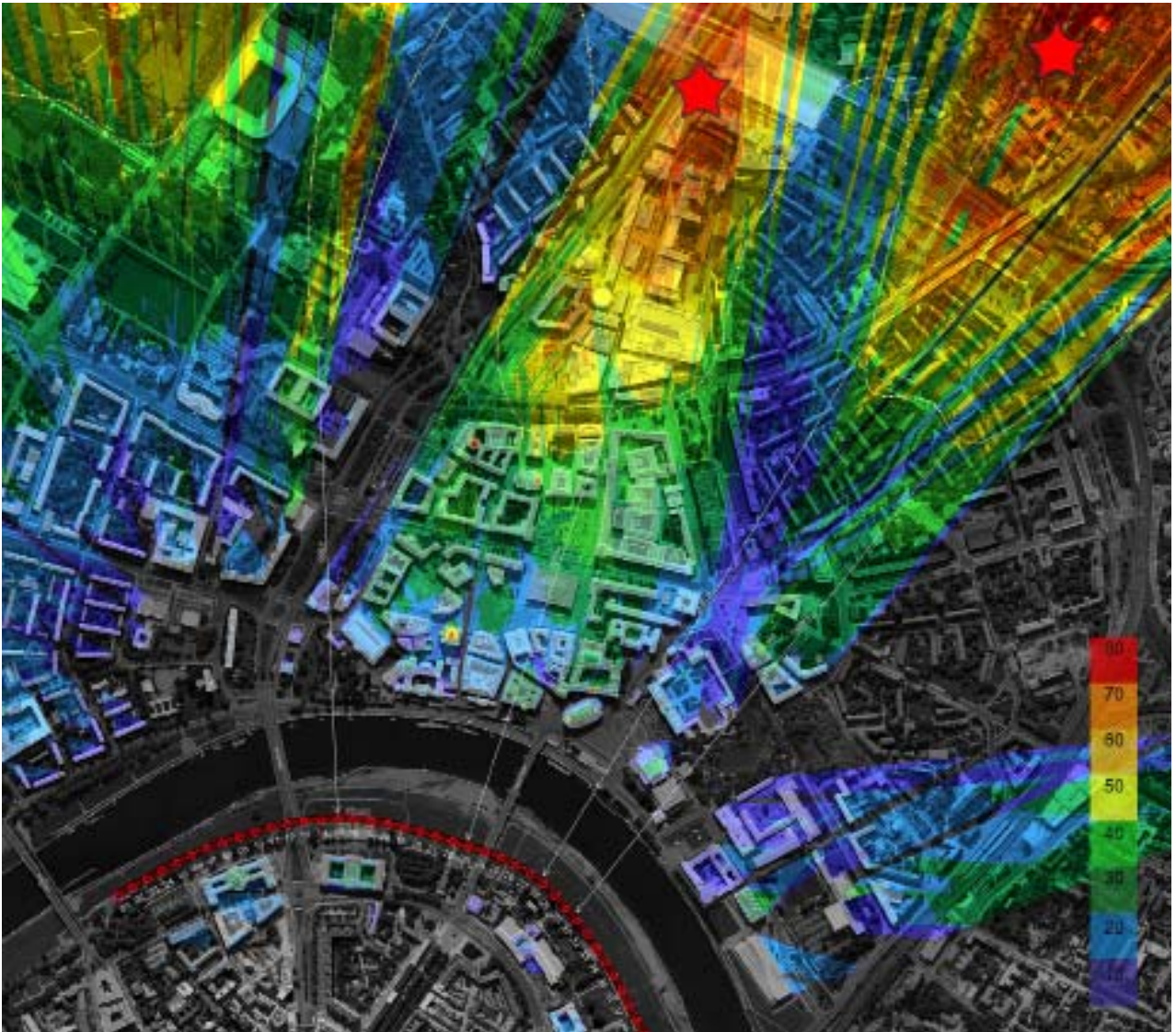
<sup>25</sup>P. Rubinowicz, K. Czyńska 2015, *Study of City Landscape Heritage Using Lidar Data and 3d-City Models*, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XL-7/W3, s. 1395-1402.





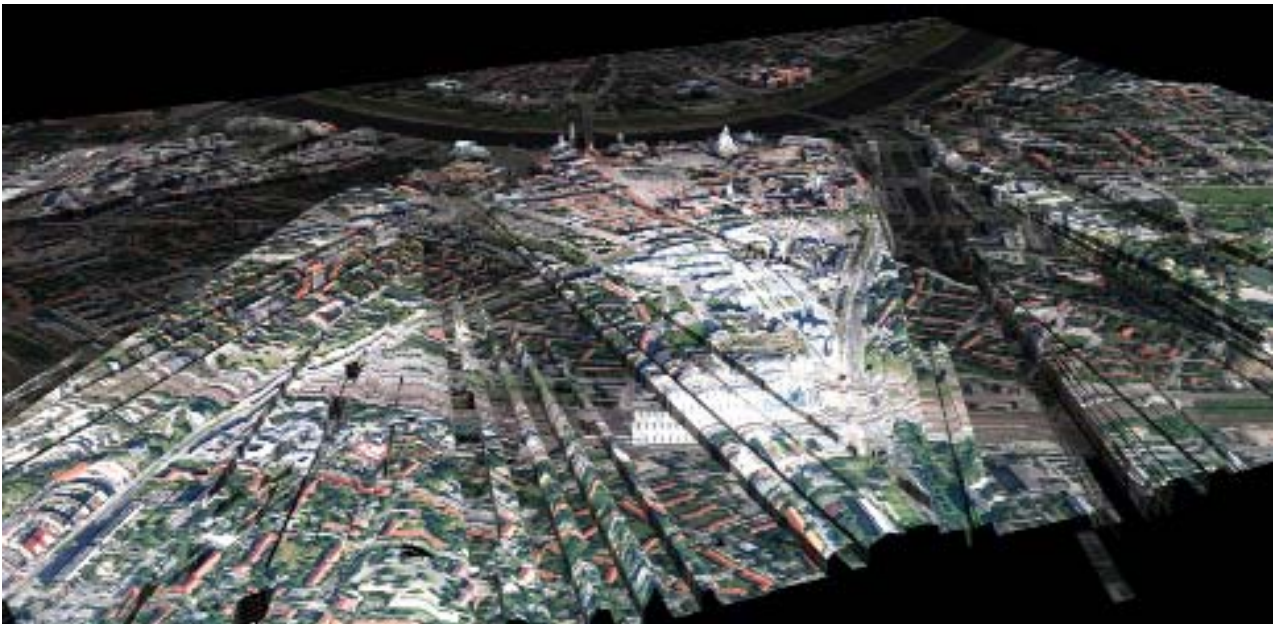
Il. 5. Widok Drezna obrazujący najcenniejsze dominanty historyczne oraz ciąg widokowy z przeciwległego brzegu Elby, dla którego przeprowadzono analizę VPS (il. autorów)

Fig. 5. View of Dresden city with the most valuable historical monuments and the observation course from the opposite bank of Elba for which VPS analysis was conducted (fig. by authors)



Il. 6. Wynik analizy VPS uwzględniającej pełną ochronę panoram nadrzecznych Drezna. W polu mapy maksymalna wysokość zabudowy wynosi 80m. Każdy wyższy budynek będzie widoczny w panoramach z nad rzeki (il. autorów)

Fig. 6. The result of the VPS analysis including full protection of the riverside cityscape of Dresden. The maximum height of the building is 80m for this area. Each taller building will be visible in panoramas from the riverside (fig. by authors)



Il. 7. Wizualizacja powierzchni VPS uwzględniającej pełną ochronę panoram nadrzecznych Drezna (il. autorów)

Fig. 7. Visualization of the VPS surface taking into account the full protection of the riverside panorama of Dresden (fig. by authors)

danych wejściowych, niezbędnych do przeprowadzenia analizy potrzebny jest zbiór widoków strategicznych polegających ochronie (współrzędne punktów widokowych oraz parametry ich ochrony). Efektem, który uzyskujemy, jako rezultat analizy, jest mapa określająca maksymalne wysokości zabudowy w mieście. Proces obliczeniowy jest wolny od subiektywnej oceny. Jest on po prostu efektem komputerowej analizy geometrii miasta.

W badaniach przeprowadzonych dla Drezna przyjęto 40 widoków strategicznych zlokalizowanych wzdłuż południowego bulwaru Elby – na odcinku 1,5km między mostami Marienbruecke i Albertbruecke (il. 5). Przyjęto założenie pełnej ochrony każdego z 40 widoków (ochrona pełnego pola widzenia). Obszar analiz obejmował centrum Drezna, od Elby po dworzec kolejowy (pow. 6,25km<sup>2</sup>). Podstawą dla przeprowadzenia analiz był model CityGML w standardzie LoD2 oraz model 3D terenu.

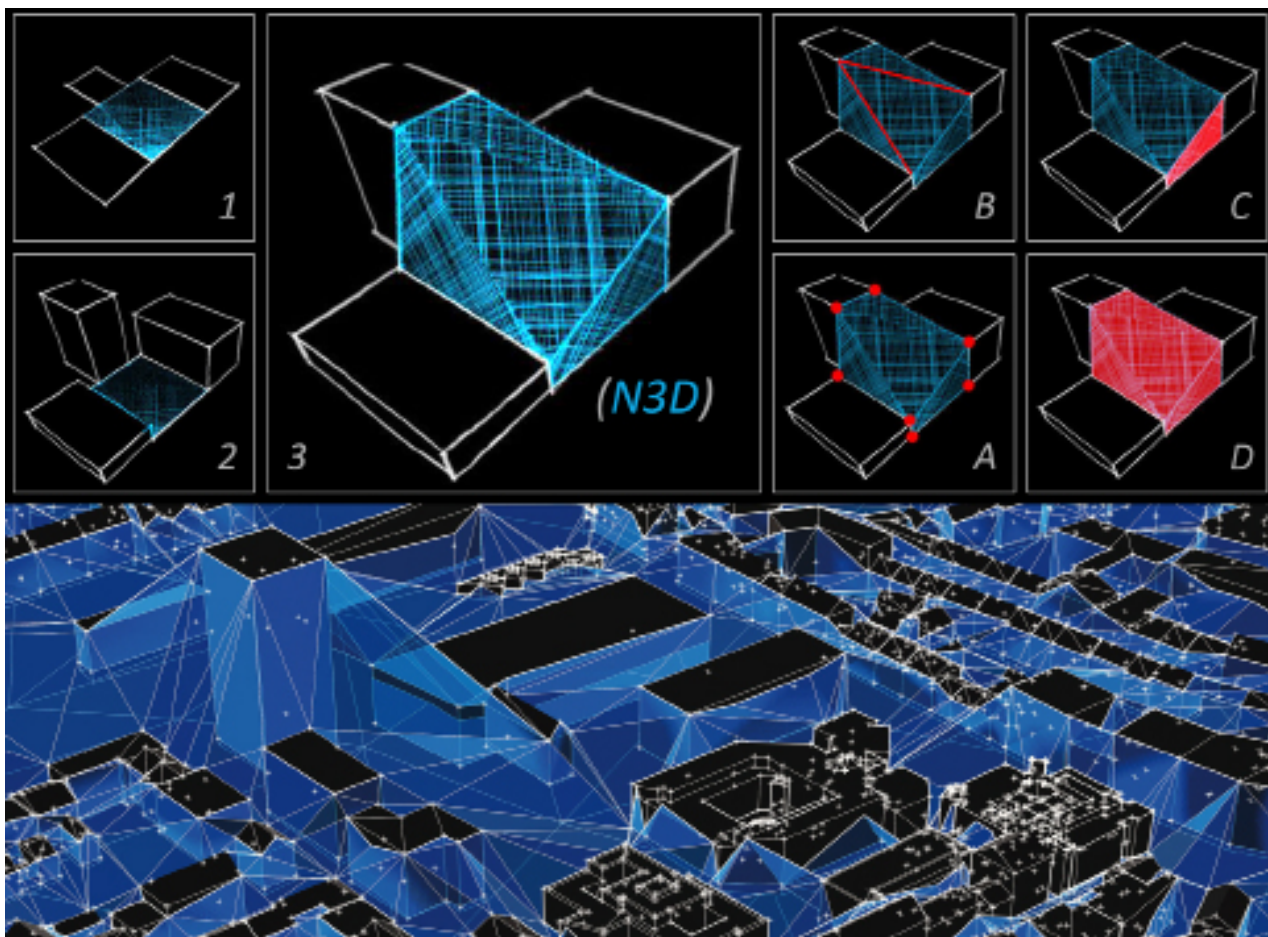
Badania Drezna wykazały, że w centrum miasta maksymalna wysokość dominant to 80m (il. 6, 7). Każdy wyższy obiekt zlokalizowany w dowolnym miejscu obszaru analiz, będzie na pewno widoczny w panoramach znad rzeki, stanowiąc potencjalną dysharmonię krajobrazową. Możliwość lokalizacji lokalnej dominaty rzędu 70m zarysowała się w rejonie głównego dworca kolejowego. Analiza VPS określiła też obszary dla lokalizacji obiektów przekraczających 40, 50 i 60m.

Jakość wyników VPS jest zależna m.in. do dokładności modelu 3D miasta. Proces obliczeniowy VPS dla każdego miasta wymaga indywidualnego

zaprojektowania. Istotne jest uwzględnienie różnych parametrów ochrony każdego z widoków strategicznych. Natomiast stałym celem jest dążenie do zachowania obiektywności rezultatu analizy i do jak najbardziej precyzyjnego rozpoznania wpływu założeń ochrony krajobrazu na planowanie wysokości zabudowy miasta.

## 5. WPŁYW ZABUDOWY WYSOKIEJ NA PRZESTRZENIE PUBLICZNE MIASTA

Obecność zabudowy wysokiej ma dla miasta istotne znaczenie – nie tylko w kontekście zewnętrznego postrzegania w szeroko rozumianym krajobrazie, ale również dla oddziaływania wewnątrz tkanki miejskiej. Nieodłącznym i bardzo istotnym elementem struktury urbanistycznej jest układ przestrzeni otwartych, często określanej jako system przestrzeni publicznych. „Doświadczenie” budynków wysokich z poziomu człowieka ma kluczowe znaczenie dla całościowego rozumienia zjawiska zabudowy wysokiej. Jest też istotnym wyzwaniem dla odpowiedniego rozszerzenia pola komputerowych analiz urbanistycznych. Środowisko modeli 3D umożliwiła dokładną obserwację różnych typów oddziaływań w ramach struktury miejskiej. W ujęciu metodologicznym analiza relacji zabudowy wysokiej z układem przestrzeni publicznych miasta jest ukierunkowana na dwa typy działań: na wypracowanie nowych metod analitycznych oraz na aplikację dostępnych narzędzi komputerowych (w ramach wirtualnego



Il. 8. Negatyw-3D: zasada generowania (1-3); komponenty używane w analizach geometrii (A – wierzchołki, B – krawędzie, C – płaszczyzny, D – bryły); fragment Negatywu-3D wygenerowany na podstawie w modelu CityGML (u dołu) (il. autorów)  
 Fig. 8. 3D-Negative. Idea (1-3), geometric primitives used in 3DN analyses (A – nodes, B – edges, C – planes, D – solids); visualization generated in CityGML model (bottom) (pic. by authors)

środowiska modeli 3D miast)<sup>26</sup>. Natomiast w ujęciu problemowym, kluczowym aspektem dla badania relacji zabudowy wysokiej z przestrzeniami otwartymi miasta są cechy geometryczne, w szczególności te dotyczące przestrzeni publicznych w otoczeniu lub rejonie koncentracji budynków wysokich.

W tym kontekście, środowisko wirtualnych modeli miast może być wykorzystane m.in. do: a) pomiaru oddziaływania budynków wysokich na strukturę geometrii przestrzeni otwartych oraz b) do badania ich wpływu na zacienianie i przesłanianie widoku z perspektywy użytkownika znajdującego się wewnątrz przestrzeni publicznej miasta. Zastosowanie modeli 3D skupione jest na analizie otoczenia budynków wysokich w różnych miastach i na przygotowaniu narzędzi komputerowych pozwalających automatycznie obrazować wpływ budynku wysokiego na przestrzenie publiczne. Kluczowe jest określenie czy dany obiekt jest autonomiczną dominantą w

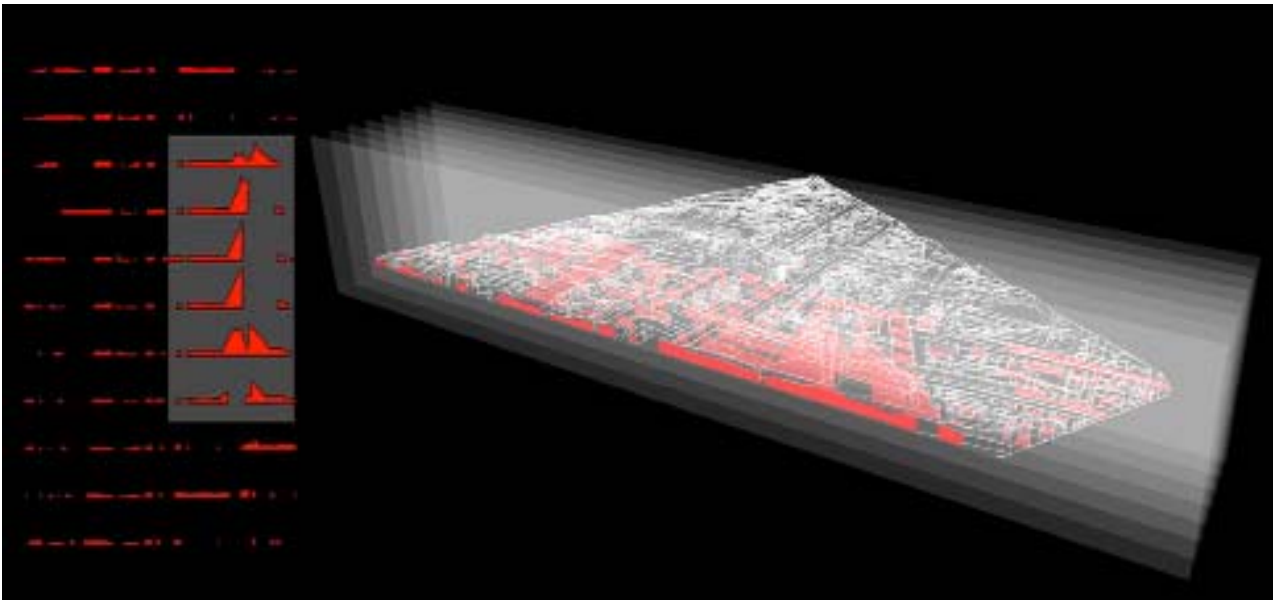
przestrzeni otwartej, czy też został on zlokalizowany w gęstej strukturze małych przestrzeni publicznych? Czy wreszcie istnieje w sąsiedztwie innych wieżowców? W badaniu wpływu obiektu wysokiego na odbiór z perspektywy użytkownika, analizy związane są więc ściśle ze sposobem lokalizacji zabudowy wysokiej w przestrzeni miasta. Komputerowe narzędzia umożliwiają badanie w jaki sposób wieżowce ograniczają nasłonecznienie przestrzeni publicznych oraz w jakim zakresie ich gabaryty i rozmieszczenie wpływają na tzw. niezakłócone pole widoku z wnętrza przestrzeni publicznych<sup>27</sup>.

Odnosząc się do rozważań o przestrzeniach publicznych i innych elementach składających się na układ przestrzenny miast – *cechy geometryczne tego układu należą do najsilniejszych nośników „kodu genetycznego” miasta*<sup>28</sup>. Poszukiwanie tego kodu w ujęciu geometrycznym stanowi podwaliny metody

<sup>26</sup> W przypadku opisywanego pola analiz podstawą było użycie danych w standardzie CityGML oraz przetworzonych modeli CAD.

<sup>27</sup> ang. Sky View Factor, *A Dictionary of Earth Sciences*, Oxford University Press 1999.

<sup>28</sup> Z. K. Zuziak 2008, *O tożsamości urbanistyki*, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków, s. 55-56.



Il. 9. Wygenerowane na podstawie N3D przykładowe widmo geometrii przestrzeni publicznych w rejonie lokalizacji zabudowy wysokiej – Delft, Holandia, model cityGML (il. autorów)

Fig. 9. Generated by the N3D, an exemplary spectral geometry of public spaces in the tall building location area – Delft, Netherlands, cityGML model (pic. by authors)

Negatyw-3D<sup>29</sup>. Jest to narzędzie pozwalające zobrazować i opisać cechy przestrzeni otwartych miasta. Forma i geometria zabudowy jest widoczna w sposób oczywisty, jednakże geometria przestrzeni pomiędzy pozostaje wyczuwalną intuicyjnie i nie ma bezpośrednio widocznego kształtu geometrycznego. Podstawą metody jest występująca w ramach struktury urbanistycznej relacja pomiędzy „pozytywem i negatywem” – tkanką miejską (zabudową) i przestrzeniami pomiędzy. „Pozytywem” są w przestrzeni urbanistycznej budynki i elementy zbudowane miasta, „negatyw” to pustka, niewidzialna geometria pomiędzy zabudową. W tejsze „pustce” funkcjonują użytkownicy miasta (il. 8).

W ujęciu ogólnym zasadność postrzegania i zrozumienia kubatury „przestrzeni pomiędzy” została uwypuklona w opracowaniach dotyczących m.in. orientacji w przestrzeni urbanistycznej, gdzie zauważono, że *bardzo rzadko myślimy o kształcie tej przestrzeni. Koncentrujemy się raczej na bryłach.*<sup>30</sup> W ramach prowadzonych badań zaawansowane są prace nad opracowaniem komputerowej metody ma-

jącej na celu całościową geometryczną analizę kubatury pomiędzy budynkami.

Metoda Negatywu-3D (N3D) umożliwia automatyczne wygenerowanie geometrii „niewidzialnych” przestrzeni pomiędzy budynkami. W przypadku projektu 2TaLL szczególnym przypadkiem dla zastosowania N3D było analizowanie relacji przestrzeni publicznych z zabudową wysoką. We wstępnej fazie badań nad opracowano podstawową procedurę generowania N3D umożliwiającą obrazowanie ograniczonego obszaru miasta i bazującą na standardzie CityGML<sup>31</sup>. Obecnie trwają prace pokonaniu ograniczeń co do wielkości przetwarzanego fragmentu miasta oraz nad wykorzystaniem ogólnodostępnych danych przestrzennych BDOT<sup>32</sup>.

Fundamentalnymi dla opisu geometrii reprezentującej przestrzeń otwartą miasta są badania K. Wejcherta. Zdefiniował on elementy składające się na trójwymiarowy obraz miasta jako, podłogę, ściany i sufit w postaci nieba zawieszzonego ponad przestrzenią otwartą miasta.<sup>33</sup> W rezultacie aplikacji procedury generowania N3D w modelu wirtualnym miasta powstała trójwymiarowa bryła wyznaczo-

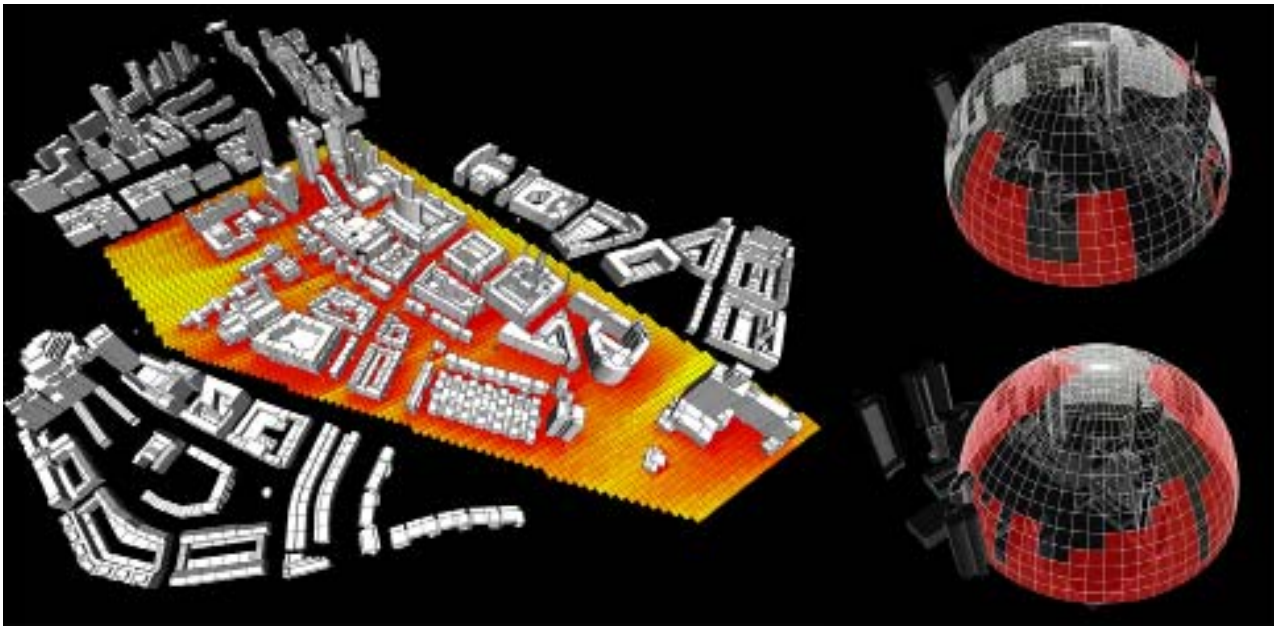
<sup>29</sup> A. Zwoliński, P. Rubinowicz 2016, Geometries of Cityscape: Analysis and detection of public spaces beneath tall buildings by 3D-Negatives, *Education for Research, Research for Creativity*, Warszawa, s. 162-169; A. Zwoliński 2014, Complexity of Public Spaces System Between Key Tall Buildings in City of Szczecin..., *Proceedings of the 16th International Conference on Geometry and Graphics*, Innsbruck, s. 175–186.

<sup>30</sup> A. A. Kantarek 2013, O orientacji w przestrzeni miasta, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków, s. 120.

<sup>31</sup> Standard danych przestrzennych modeli wirtualnych rozpowszechniony głównie w Europie zachodniej (Niemcy, Holandia). Dla miast polskich dostępność takich danych jest bardzo ograniczona.

<sup>32</sup> Standard danych przestrzennych szeroko dostępny dla przestrzeni Polski – tworzony i udostępniany na podstawie dyrektywy UE – INSPIRE z roku 2007.

<sup>33</sup>K. Wejchert 1984, *Elementy kompozycji urbanistycznej*, Wydawnictwo Arkady, Warszawa, s. 105-107.



Il. 10. Analizy nasłonecznienia przestrzeni publicznych Rotterdamu przy użyciu aplikacji SunHours (po lewej). Analizy przesłaniania wolnego widoku dla Frankfurtu z użyciem aplikacji LSS Chronolux (po prawej) (il. autorów)

Fig. 10. Analyses of insolation of public spaces in the center of Rotterdam using SunHours (on the left) and the Sky View Factor (SVF) calculation using LSS Chronolux for cityGML model (on the right) (pic. by authors)

na geometrycznie przez: teren (podłogę), elementy tkanki zabudowanej (ściany) oraz płaszczyznę styku tkanki miejskiej z otwartym niebem (sufit). Ideą stworzenia formy N3D był możliwie precyzyjny<sup>34</sup> pomiar właściwości przestrzeni otwartych w miastach. Interesującymi zagadnieniami dla wykorzystania geometrii N3D były m.in. analizy kubatury „powietrza” w tkance miejskiej i jej rozkład, badanie hierarchii i gradacji układu przestrzeni otwartych w ujęciu kierunkowym (na wyznaczonym w przestrzeni miasta kierunku), czy też badania struktury przestrzeni publicznych w kontekście rozkładu wielkościowego i regularności występowania w tkance miejskiej. Badania skupione były na szczególnej relacji zabudowy wysokiej z otaczającymi przestrzeniami publicznymi i dotyczyły fragmentów wybranych miast europejskich<sup>35</sup>, gdzie zloka lizowano zabudowę wysoką. Geometrię przestrzeni publicznych w rejonie występowania budynków wysokich analizowano z użyciem metody N3D w postaci: widma geometrii przestrzeni publicznych (CSP), mapy kątów nachyleń płaszczyzn geometrii negatywu (TBS), mapy długości krawędzi bryły negatywu oraz powierzchni płaszczyzn składowych geometrii (odpowiednio TBL, TBA)<sup>36</sup>.

Analiza widmowa geometrii N3D umożliwiła zobrazowanie struktury przestrzeni otwartych w rejonie lokalizacji zabudowy wysokiej w postaci sekwencji przekrojów przez przestrzeń publiczną. Na ilustracji (il. 9) przedstawiono przykładowe widma geometrii przestrzeni publicznych w rejonie lokalizacji zabudowy wysokiej. Analizy struktury przestrzeni publicznych obrazujące ich wielkość w otoczeniu budynków wysokich, zróżnicowanie wysokościowe oraz układ w strukturze miasta obrazowano za pomocą kolorowych map powstałych z rzutowania płaskiego powierzchni Negatywu-3D.<sup>37</sup>

Lokalizacja i gabaryty zabudowy mają kluczowy wpływ na jakość przestrzeni otwartych miasta. Ze względu na swoje rozmiary zabudowa wysoka jest szczególnym i reprezentatywnym przykładem tego wpływu. Badania skupione na przestrzeniach publicznych dotyczą także stopnia ich zacienienia przez zabudowę wysoką oraz przesłaniania widoku z perspektywy człowieka przez budynki wysokie. W wypadku tego pola analiz modele w standardzie CityGML konwertowane były na dane rozpoznawalne dla oprogramowania typu CAD. Badania polegały na zbadaniu wspomnianych dwóch zjawisk zarówno w formie porównawczej analizy wpływu zabudowy wysokiej w stanie istniejącym, jak również w formie

<sup>34</sup> Z założenia obliczenia komputerowe geometrii traktowane są jako precyzyjne.

<sup>35</sup>Przedmiotem badań były obszary zabudowy wysokiej w miastach Rotterdam, Delft i Loerrach.

<sup>36</sup> Przywołane skróty odnoszą się do przyjętego w projekcie 2TaLL nazewnictwa w języku angielskim: CSP – City

Spectral Profile, TBS – Typology by Slope, TBL – Typology by Length i TBA – Typology by Area. Szczegóły analiz zostały opisane [w:] A. Zwoliński, P. Rubinowicz 2016, *op.cit.*, s. 162-169.

<sup>37</sup>A. Zwoliński 2014, *op. cit.*, s. 181.

symulacji przy założeniu realizacji nowych budynków wysokich w mieście. W analizach zastosowano dwa rodzaje specjalistycznego oprogramowania umożliwiającego kalkulację czasu nasłonecznienia<sup>38</sup> oraz narzędzie Sky View Factor (SVF) umożliwiające kalkulację udziału powierzchni przesłanianej w widoku z poziomu człowieka<sup>39</sup> (il. 10).

Parametry liczby godzin nasłonecznienia przestrzeni publicznych oraz stopnia obecności wizualnej budynków wysokich w przestrzeniach otwartych miasta zbadano m.in. dla: zespołu zabudowy wysokiej w centrum Frankfurtu (zabudowa skoncentrowana), wieży telewizyjnej w Berlinie (przypadek pojedynczego wysokiego obiektu), czy też historycznej dominanty wieży kościoła w miasteczku Delft. Zastosowane narzędzia komputerowe umożliwiły kalkulację parametrów nasłonecznienia nie tylko dla tzw. podłogi przestrzeni publicznej, ale również jej poszczególnych ścian. W symulacjach badano na ile zmienia się całkowity czas nasłonecznienia przestrzeni publicznych w przypadku realizacji kolejnych budynków wysokich. W przypadku analiz SVF odwzorowanie przesłaniania widoku odbywało się na powierzchni półkuli, na której kalkulowany był udział procentowy zasłoniętego widoku nieba. Zestawienie sekwencji symulacji SVF w kluczowych przestrzeniach otwartych pozwalało stworzyć parametryczną mapę jakości obszarów przestrzeni publicznych znajdujących się w sąsiedztwie budynków wysokich<sup>40</sup> (il. 10).

Poruszone w dotychczasowych badaniach zagadnienia analizy zabudowy wysokiej w relacji z przestrzeniami publicznymi nie wyczerpują oczywiście możliwych aspektów zjawiska. Opracowanie założeń i wstępnej wersji komputerowej metody generowania geometrii przestrzeni między budynkami otwiera nowe pola analiz będące w trakcie opracowania.

## 6. PODSUMOWANIE

Rozwój technologii IT, technik teledetekcji krajobrazu oraz badań z zakresu geoinformatyki spowodował w ostatnich latach znaczący wzrost możliwości tworzenia modeli 3d miast. Daje to nowe możliwości aplikacji cyfrowych danych przestrzennych do prowadzenia analiz urbanistycznych. Możliwe jest m.in. badanie złożonego oddziaływania zabudowy wysokiej – zarówno na krajobraz zewnętrz-

ny, jak również w skali wewnętrznych przestrzeni publicznych. Rosnąca popularność tej formy zabudowy w miastach europejskich jest silnie zauważalna w ostatnim dwudziestoleciu. Zachodzące zmiany w krajobrazach miast wskazują pilną potrzebę poszukiwania kompleksowych i obiektywnych sposobów ochrony cennych założeń przez strzennych przed przypadkowym wpływem zabudowy wysokiej. Wobec dużej presji inwestycyjnej nie mniej ważne jest też świadome kształtowanie nowych, atrakcyjnych przestrzeni urbanistycznych i widoków sylwetowych miasta.

Zarysowane w skrócie metody analityczne obrazują potencjał środowiska wirtualnych modeli miast, nie tylko jako narzędzia stosowanego na gruncie naukowym, ale również jako pomoc w praktyce planistycznej. Przedstawione metody pozwalają na obrazowanie wpływu zarówno istniejącej, jak i projektowanej zabudowy wysokiej. Metoda VIS umożliwia badanie faktycznej skali oddziaływania wizualnego projektowanego budynku wysokiego i wyznaczenie w mieście wszystkich punktów jego ekspozycji. Metoda VPS służy do określenia maksymalnej wysokości nowej zabudowy na badanym obszarze miasta, przy założeniu ochrony wskazanych widoków strategicznych. Obie metody są jednoznaczne z geometrycznego punktu widzenia oraz wzajemnie komplementarne. Dopiero wspólne stosowanie metod pozwala na wieloaspektową i kompleksową analizę krajobrazu oraz ocenę jego chłonności na nowe inwestycje.

Zabudowa wysoka w istotny sposób oddziałuje nie tylko na krajobraz, ale również na jakość i sposób funkcjonowania systemu przestrzeni publicznych miasta. Wśród zjawisk możliwych do badania technikami cyfrowymi, są m.in. opisane wyżej: zacienianie, czy przesłanianie pola widoku (SVF). Zabudowa wysoka ma także zasadniczy wpływ na kształt wnętrza urbanistycznych, które można scharakteryzować za pomocą metody Negatywu-3D. Nadaje ona niematerialnej pustce pomiędzy budynkami, fizyczny kształt, możliwy do mierzenia za pomocą wymiennych parametrów. Pozwala to na badanie oddziaływania zabudowy wysokiej na geometrię przestrzeni.

Zarysowane w niniejszym artykule metody komputerowej analizy budynków wysokich nie wyczerpują oczywiście złożoności oddziaływania tej formy zabudowy na miasto. Ich wspólną cechą jest badanie zjawisk możliwych do wyrażenia językiem geometrii zapisanym w cyfrowym obrazie miasta. Niezbędny jest dalszy rozwój metod na gruncie naukowym. Może się to przyczynić do większej obiektywizacji opisywanych dotąd intuicyjnie zjawisk przestrzennych związanych m.in. z kształtowaniem kompozycji urbanistycznej i sylwetowej miasta.

<sup>38</sup> Aplikacja SunHours v.2.0.8 autorstwa SolidGREEN.

<sup>39</sup> Oprogramowanie LSS Chronolux, autor: Kirill Bannov.

<sup>40</sup> A. Zwoliński, M. Jarzowski 2015, Computing and Monitoring Potential of Public Spaces..., *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, s. 743-750.

# ANALYSES OF TALL BUILDINGS IN THE CITYSCAPE USING DIGITAL TECHNIQUES

## 1. CONTEMPORARY TREND IN DEVELOPING TALL BUILDINGS IN EUROPE

In recent two decades (1996–2016), we can distinguish a rapid growth in the popularity of tall buildings on the European continent. During that time, the number of tall buildings erected doubled comparing with the entire 20<sup>th</sup> c.<sup>1</sup> Their average height increased as well. An increasing number of buildings exceed the threshold of 300 m. The tallest and largest number of buildings are erected in Moscow and Istanbul, respectively 31% and 19% of all tall buildings on the continent.<sup>2</sup> In Western Europe the height record holder is the London-based ‘The Shard’ (306 m). Great Britain, however, is ranked fourth in Europe (7.2%) after Spain (8.5%) considering the number of tall buildings erected in the period concerned. Slightly fewer buildings were erected in the Netherlands (6.6%): most of them in Rotterdam, but as much as six buildings in excess of 100 m in Amsterdam in the new business district of Zuidas. Recent stereotypical views that Scandinavia is free of tall buildings, collapsed with Turning Torso in Malmö (by Santiago Calatrava).

Entire Europe is gradually filled with tall buildings. In fact, in every larger city we already have a tall building or there is one under construction (fig. 1). Many of them escaped any statistics, since they focus on the tallest of them. Smaller buildings do not stand a chance in the global ranking, although they are major dominants in their surroundings (e.g. Pamiński in Szczecin, Sky Tower in Wrocław, Poland, and Business-Tower in Nurnberg, Germany). They are the proof that tall buildings are extremely popular. Everything shows that the European *fascination with tall buildings and attached to it pressure to invest in them has not subsided but instead is far from its peak.*<sup>3</sup>

Contrary to Asian or American cities, European cities developed through gradual and rather slow evolution. The effects of this process can be seen in the urban structure, typical spatial compositions and

in building silhouettes. Historical dominants created recognizable and known to the public cityscape components.<sup>4</sup> Contemporary tall buildings quickly change this while influencing, often accidentally, urban arrangements that are important for the city image. All over Europe, we can find examples of unfortunate transformation of historical vistas.

The most famous of those is the axis of Champ-de-Mars in Paris with Montparnasse, a tall building which broke this symmetrical and particularly representative arrangement in the city.<sup>5</sup> Similar impact can be found in Vienna with tall buildings and the panorama of Lower Belvedere, where those buildings change the axial arrangement set by Canaletto in the middle of the 18<sup>th</sup> c. Tall buildings are frequently erected against the background of historical buildings, thus distorting their original domination in the city space. An example of that is the Royal Castle in Warsaw, Poland, integrity of which has been interrupted by a tall building at Plac Bankowy (or Bank Square). Yet another example is the recently completed ING building at Unii Lubelskiej Square that can be seen above the roof of Belvedere in the Łazienki Royal Park.

It seems that the impact range of those buildings had not been planned by anyone. Hence, such important strategic vistas should be subject of particular protection. Previously applied planning techniques, as emphasised by examples above, do not provide sufficient protection. On the one hand, it is important to eliminate unfavourable visual interaction with historical buildings, but on the other, it is also important to create an attractive skyline of the city including tall buildings. The latter need to be considered as a new spatial value, and thus we should put new dominants in harmony with the urban arrangement of the city. Therefore, we need new techniques that can provide for an objective and comprehensive visualisation of the tall buildings spatial impact.

<sup>1</sup> According to CTBUH: <http://www.skyscrapercenter.com/x/2370450> access: 25.03.2017.

<sup>2</sup> According to CTBUH: <http://www.skyscrapercenter.com/x/2360421> access: 25.03.2017.

<sup>3</sup> P. Setkiewicz 2012, Budynki wysokie a tożsamość krajobrazu polskich miast..., *Tożsamość krajobrazu miasta* (Tall buildings and the identity of cityscape in Poland..., *Identity of cityscape*), Wydawnictwo Uczelniane ZUT, Szczecin, p. 84.

<sup>4</sup> K. Dąbrowska-Budziło 1990, *Wśród panoram Krakowa (Among Kraków panoramas)*, Wydawnictwo Literackie, Kraków, p. 15.

<sup>5</sup> Por. W. Kosiński 2009, Globalizacja – szanse and zagrożenia..., *Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej* (Globalization – opportunities and threats..., *Scientific Publications of Poznań University of Technology*) no. 18, p. 33.

## 2. POSSIBILITIES AND LIMITATIONS TO THE USE OF 3D CITY MODELS IN ANALYSES

Digital landscape analysis methods discussed in the article are based on 3D city models. In recent years, the development of IT technologies, remote detection and research on geo-information brought a significant increase in possibilities for creating such city models. Using the popular Google Earth, we can view landscapes of the majority of cities in the world, including nearly all larger cities in Europe. Not only has the number of 3D models started growing, but their precision as well (improved reality illusion levels) and number of interfaces that enable us to view those virtual pictures of a city<sup>6</sup>.

A precondition for using 3D data in scientific research and planning practice is their availability. In Europe, the INSPIRE Directive seem to be particularly important, since it requires all EU member states to provide access to spatial information. Effects of the gradual implementation of the directive can already be seen. A part of resources, access to which previously required special contracts with Cities (e.g. 3D model of Berlin), today are available as 'open source'.

A 3D model, in principle, is always a simplification of the true picture of the city. The criterion of having the most complete illusion of the reality, which can actually be achieved by texturing of facades, is not crucial from the point of view of the urban analysis. The most important factor decisive regarding the use of a digital model for studying cityscape is its precision (e.g. proper reflection of heights), completeness (spatial components included in model) and the structure and arrangement of 3D information. The research presented in the article uses two types of models: CityGML (City Geography Markup Language) and DSM (LiDAR).

The first one of them – CityGML – is a standard used in Western European countries, in particular in Germany<sup>7</sup>. The word 'standard' is crucial. It is because data are independent from the environment of the model (a major difference comparing to models based on CAD). CityGML enables not only recording of the city geometry (vector format), but also recording of mutual relations and hierarchy between constituent parts (data semantics). The format covers different classes of objects (e.g. buildings, water reservoirs, tunnels, bridges) and their imaging in

various precision scales (LoD – Level of Details). A practical drawback of CityGML models is the incompleteness of data, and the fact that certain elements are missing, usually tall green which is important for the analysis of the landscape.

The second 3D model type, used for the purpose of analyses covered by the article, is DSM (Digital Surface Model). It is a digital land surface model (fig. 2). Just like in DTM, data result directly from the laser scanning of a city (ALS). They are usually used to develop vector models. However, a simplified 'picture of a city', as a cloud of DSM points, can be a valuable tool for landscape analyses. A drawback of the model is that it lacks the structure, data semantics and a simple method for separating specific elements (e.g. tree from building). However, an advantage of the DSM model is that data are complete, and thus it enables imaging of all spatial components in the city. Buildings, tall green, technical infrastructure, bridges, viaducts, and land development can be reflected with the same precision. Another important factors include low cost, and validity and accessibility of data. In Poland, after the implementation of the nationwide flood protection programme ISOK<sup>8</sup>, all major cities have their DSM models developed at a good precision level. Their resolution (cloud of points in mesh of 50cm cell size) enables determining basic architectural relations, geometry of roofs, spire like elements etc.

## 3. EXAMINING OF THE TALL BUILDING VISUAL IMPACT (VIS)

Designing of tall buildings in European cities which history expanding over several centuries requires a special approach. On the one hand, it is necessary to protect the historical cultural heritage, and on the other, it is important to develop a contemporary image of a city. Tall buildings, once they are properly fitted into the urban structure, can improve the attractiveness of the cityscape and the overall aesthetics. They can enhance unique nature and identity of a city.<sup>9</sup> For this purpose, it is necessary to maintain full control over the future impact of tall buildings planned. Relevant analytical methods, combined with virtual city models, can provide an efficient tool for developing a city silhouette.

One of analytical techniques, tested while designing and examining locations for tall buildings, is

<sup>6</sup> Por. P. Rubinowicz 2013, *Cyber Urban Design*, *Archivolta*, 3(59), Kraków.

<sup>7</sup> T. Kolbe 2009, Representing and Exchanging 3D City Models with CityGML [in:] *3D Geo-Information Sciences*.

<sup>8</sup> IT Landscape Protection System: <http://www.isok.gov.pl/> access: 10.04.2017.

<sup>9</sup> W. Kosiński 2011, *Miasto and piękno miasta (City and its beauty)*, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków, p. 14.



the Visual Impact Size method (VIS)<sup>10</sup>. Its goal is to examine closely all locations in a city, from which a given facility can be seen – depending on its height. The basics of the method are quite simple since they use the isovist theory that has been developed since the end of 1970s<sup>11</sup>. However, the use of the theory in the real, three dimensional space of a city requires complex and time consuming calculations. In the same time, the method determines parts of city public space influenced by a given facility. Additionally, the method defines the impact of the facility on a given space. In other words, it tells us whether we are going to see the entire facility, a large part of it, or only a small spatial element. The method enables measuring the total visual impact of a building at different height levels.

Results of the VIS analysis can be presented as a 2D map, 3D surface, and a table.<sup>12</sup> For the purpose of planning, the most useful is a colourful 2D map (fig. 3). Each colour denotes visibility of a planned building at a specific height. To make the result clearer, a limited number of colours is introduced to mark eight height levels of a tall building. The interpretation of a picture is facilitated by the intuitive intensity of colours: from red, through yellow and green to shades of blue. This reflects the true size of a building as seen from a given area of a city. In areas marked red, almost the whole building can be seen, whereas in areas marked blue, only the top part of the building.

The interpretation of results can be important for the further planning. Exposure areas of the new tall building determined using the VIS analysis should be carefully assessed during field studies. This helps determining important vistas in which the new building may potentially interfere with the integrity of important spatial arrangements (e.g. old town, symmetrical structures). Those might also be areas of the most attractive exposure of a specific spatial dominant adding new value to the cityscape. A clear identification of those locations provides for further valuation and assessment of the tall building impact on the city space. It helps developing simulation using height lines to highlight the true scale of the building in particular vistas.<sup>13</sup>

Frequently, the VIS analysis produces surprising results that could hardly be otherwise predicted. It reveals many public areas in the city from which no one would ever expect to see the new tall building. The result of the analysis depends on a number of interdependent factors, such as: height of the building concerned and other buildings in the city, density of urban structure, land configuration, tall green etc. Considering a significant visual impact, which is growing with the height of the building, tall buildings can be seen from very distant locations, frequently extending beyond administrative boundaries of the city. Thus, it is important to examine the impact of tall buildings within a broad area.

The VIS method has been used for various studies since 2007. However, the 2TaLL project helped developing and harmonising the method significantly. New algorithms and software solutions were developed that enable emulating VIS maps on various spatial city models (including CityGML and DSM). They also promoted the scientific development of the 3D isovist theory. The measurements of impact zones and comparison between VIS maps for various urban structures created a basis for the theory related to the landscape absorption capacity as discussed in various publications<sup>14</sup>.

The method has a major application potential. It was used several times in planning practice.<sup>15</sup> For instance, the latest study for Warsaw, Poland, (developed by team headed by Prof. Marzęcki in 2015) used the VIS method to analyse a visual impact of a building within the seminary garden on Skarpa Warszawska<sup>16</sup> (fig. 3). A VIS map was a basis for the study and a tool for assessing the impact of the building on the cityscape. It helped identifying important locations for the exposition of the building in the Warsaw's historical context (fig. 4).

From the point of view of the VIS method development, the analysis of the impact of an existing

<sup>10</sup> K. Czyńska 2015, Application of Lidar Data and 3D-City Models in Visual Impact Simulations of Tall Buildings, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XL-7/W3, p. 1356-1366.

<sup>11</sup> M. L. Benedikt 1979, To take hold of space: isovist fields, *Environment and Planning B: Planning and Design*, Vol. 6, pp. 47-65.

<sup>12</sup> K. Czyńska 2015, *op. cit.*, p. 1364.

<sup>13</sup> K. Czyńska 2014, *Geometrical Aspects of City Skyline –*

*Tall Building Analysis, Proceedings of the 16th International Conference on Geometry and Graphics, Innsbruck, p. 527.*

<sup>14</sup> K. Czyńska, P. Rubinowicz 2016, Visual Impact Size Method in Planning Tall Buildings, [in:] *Education for research, research for creativity, Faculty of Architecture, Warsaw*, s. 169-174; K. Czyńska 2015, *op. cit.*, p. 1359-1366.

<sup>15</sup> Two studies for Szczecin commissioned by the City in 2007, developed by a team of K. Czyńska, W. Marzęcki, and P. Rubinowicz. Studies: *Study of cityscape impact of tall buildings at Wyzwolenia Street in Szczecin* and *Study of cityscape impact of tall buildings at Szyrockiego Square, 3-go Maja Street and Salomei Street.*

<sup>16</sup> W. Marzęcki, K. Czyńska, P. Rubinowicz, A. Zwoliński 2015, *Study of cityscape impact of new buildings in the Seminary Garden in Warsaw*. Commissioned by Warsaw Archdiocese.

tall building produces interesting effects. Firstly, it gives the possibility of verifying the precision of VIS results in a given area. Secondly, it enables checking conclusions of the direct observation of a given building in the city. Such a study was implemented for the Sky Tower in Wrocław, Poland. Field observations, under the 2TaLL project, showed results that were surprising for the authors. Although the building, despite its major height (over 200 m) is not very well exposed within the city, its visibility is excellent from undeveloped areas situated beyond administrative boundaries of the city. The VIS analysis based on the DSM model, covering city suburbs, confirmed the above. Conclusions were described in a separate publication<sup>17</sup>.

The VIS analysis is particularly useful when designing tall buildings. It reveals possible threats to the cityscape. Simulation of possible options shows that sometimes even a minor shift in the position of the dominant planned within a plot may result in a more favourable exposition in space.<sup>18</sup> Studying of the visual impact of a building before it is erected may contribute to developing a more harmonious composition of the landscape in historical cities and save the integrity of major urban arrangements. This may help developing the image of a contemporary city including tall buildings as new symbols.

#### 4. PROTECTION OF LANDSCAPE AND STRATEGIC VISTAS (METHOD VPS)

The Visual Impact Size method (VIS), presented in the previous chapter, promotes objective studying of impact made by a single tall building on the cityscape. The method produces an equivocal geometrical result. Its precision may vary depending on the quality of the 3D model but it is always free from subjective influences. Objective assessment of the impact a tall building has on the cityscape is particularly important in the case of ad hoc investment. In such instances, we frequently encounter a conflict between aspirations of the investor, on the one hand, and the need to maintain cohesive skyline of the city on the other. Although, the VIS analysis is not decisive, it can provide a support for further cityscape analyses and guidelines.

Actually, the reverse is much better for the sustainable development of the cityscape. Thus, the planning process and determining of the height of

buildings should precede any investment. In such a situation, questions whether a tall building should be built in a given location or what should be the height of such a building are replaced by much broader issues of landscape development, e.g. whether tall buildings should be erected in specific areas of the city at all, and if yes, which areas can be suitable. In this particular approach, tall buildings are those that stand out in their vicinity due to their height or can be seen in various panoramas of the city<sup>19</sup>.

While developing the cityscape, it is crucial to preserve existing values. The principle of *primum non nocere* is equally important here as it is in medicine. For spatial planning, the protection of a cultural landscape concentrates on preserving valuable vistas of a city, which are important for its identity and spatial identification, i.e. strategic vistas. The method based on separating such vistas and their protection is a basis for planning documents that define principles of cityscape development in many cities in Europe and in the world<sup>20</sup>.

An example is the 'London View Management Framework' (LVMF), which encompasses 27 strategic vistas in 4 categories.<sup>21</sup> Protection parameters for each one of them have been defined in detail<sup>22</sup>. Each new facility needs to comply with LVMF criteria. There is a problem, however, resulting from the complexity of spatial interactions and difficulty to foresee those. In 2016, one of strategic vistas of London was in fact irreversibly lost by a new tall building (i.e. axial exposure of dome of St. Paul's Cathedral from King Henry's Mound). No one could foresee that the project implemented in one borough of London several kilometres away from a given location may have a key significance for the integrity of a protected vista which existed in the cityscape for over 300 years.<sup>23</sup>

Although, the need to protect strategic vistas seems obvious and easy to define, predicting of impacts tall buildings have is a complex spatial issue. This is an area where digital analysis of landscape can be particularly useful. Studying relations between the scope of strategic vistas protection and the

<sup>17</sup> K. Czyńska, P. Rubinowicz 2018, Analysis of impact of Sky Tower on the cityscape of Wrocław using the VIS method, *Architectus*, Wrocław, in print.

<sup>18</sup> K. Czyńska 2010, Tall buildings and harmonious development of cityscape, *Space and Form* 2010, no. 13, p. 270.

<sup>19</sup> Look: *Seeing the History in the View* by Historic Buildings and Monuments Commission for England, 2011, p. 29.

<sup>20</sup> E.g. *Canada's Capital Views Protection...*, National Capital Commission, Ottawa 2007.

<sup>21</sup> *London View Management Framework*: <https://www.london.gov.uk/what-we-do/planning/implementing-london-plan/supplementary-planning-guidance/london-view-management>. Access: 10.04.2017.

<sup>22</sup> They are quite liberal, and vistas are protected within narrow prospects.

<sup>23</sup> W. Hurst, E. Braidwood, Khan wants protected views rethink after St Paul's row, *Architects Journal* 20.12.2016.

structure of building heights in a city is the core of the Visual Protection Surface method (VPS)<sup>24</sup>.

The VPS method supported by its software developed in 2014-2015. The goal was to determine absorption capacity of a city as regards new tall buildings while providing a complete protection of specific strategic vistas. VPS produces a 'surface above a city', which defines maximum heights of buildings so new ones cannot be seen in strategic vistas. The VPS height is calculated for each point in a city with the precision of up to 10 cm. In a similar fashion to the VIS method, the result of the VPS analysis is geometrically equivocal. As regards the application of VPS the difficulty lies in the calculation process. Its complexity is much higher than in the case of VIS method. Therefore, generation of precise VPS simulation requires significant computing capacity and takes dozens of hours.

The application of the VPS method can be based on a vector 3D city model in the CityGML standard as well as the DSM cloud of points model of a city. The imaging may take the form of a 3D surface or, as it is the case in VIS, a 2D map of points in different colours. The intensity of a colour provides for quick and intuitive interpretation of the VPS simulation and identification of sensitive areas. In those sensitive areas, tall buildings can be a threat to the cityscape, but there are also areas where tall buildings do not interfere with strategic vistas.

An example of a practical application of the VPS method is the 2015 study of Dresden, Germany, under the 2TaLL project<sup>25</sup> (fig. 5, 6, 7). The cityscape of Dresden is unique in Europe. The signs of war can hardly be seen there. The historical partially reconstructed silhouette prevails in panoramas seen from the bank of the Elbe River. A walk along boulevards of Dresden is a trip in time. The contemporary view of the city is practically the same as in paintings by Canaletto.

On the one hand, the need to preserve such values is obvious and it is defined in the spatial policy of the city. On the other hand, behind the baroque façade, the city has been rapidly developing in line with its needs and aspirations. Studies using the VPS method aimed at determining locations for new tall buildings that stand out in their surroundings. If a tall

building can be erected in Dresden while preserving historical panoramas, the height of that building and the location of such a new dominant should be determined.

The above issues provided inspiration to develop the VPS method. The input data for the analysis include a set of strategic vistas that need to be protected (coordinates of views and protection parameters). The analysis produces a map determining maximum heights of buildings in a city. The computation process is free of any subjective influences. It is a mere effect of a computer assisted analysis of city geometry.

The study for Dresden included 40 strategic vistas long the southern boulevard of the Elbe River – at a 1.5km stretch between two bridges Marienbruecke and Albertbruecke (fig. 5). The assumption was that each of the 40 vistas should be fully protected (protection of entire visual field). The analysis covered the centre of Dresden, from the Elbe River to the train station (6.25km<sup>2</sup>), and it was based on the CityGML model in LoD2 standard and 3D model of the area.

The study showed that the maximum height of dominants in the city centre is 80 m (fig. 6, 7). Any building that is higher and situated within the area examined will be seen in riverside panoramas and constitute a potential threat to the cityscape harmony. According to the analysis, it was possible to develop a dominant of 70 m in height in the vicinity of the railway station. Additionally, the VPS analysis determined area suitable for buildings which height exceeds 40, 50 and 60 m.

Since the quality of the VPS analysis depends on the precision of the 3D city model, the VPS computation process necessitates an individual approach to each city. It is important to include various parameters for protecting each strategic vista, and the overall goal is to preserve objective nature of the analysis outcome and precise examination of cityscape protection objectives and their influence of planning the height of buildings developed in the city.

## 5. IMPACT OF TALL BUILDINGS ON PUBLIC SPACE IN A CITY

The presence of tall buildings in the cityscape is tremendously significant for the perception and internal influences within the urban structure. The open space system, frequently described as public space, is indispensable and very important part of the urban structure. The 'experiencing' of tall buildings from the level of an individual is crucial for the overall understanding of tall development in a city. At the

<sup>24</sup> K. Czyńska, P. Rubinowicz 2015, *Visual protection surface method: Cityscape values in context of tall buildings, Proceedings of the 10th International Space Syntax Symposium, London, p. 142:1-142:10.*

<sup>25</sup> P. Rubinowicz, K. Czyńska 2015, *Study of City Landscape Heritage Using Lidar Data and 3d-City Models, Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XL-7/W3, s. 1395-1402.*

same time, it is a major challenge for expanding the area of computer-assisted urban analyses. The 3D model environment enables analysing precisely various impacts within the urban structure. From the methodology point of view, the analysis of the relationship between tall buildings and public space focuses on two issues: new analytical methods and the application of available computer-based tools (in virtual environment of 3D city model)<sup>26</sup>. As regards specific issues, a key question is the examine the relationship between tall buildings and open space in a city, in particular geometrical features of public space in their vicinity or areas of tall buildings concentration.

In this particular context, the environment of virtual city models can be used to perform the following: a) measurement of tall building impact on the geometry of open space, and b) examining of the shading effect and obscuring views for an observer situated inside public space. The use of 3D models concentrates on analysing the vicinity of tall buildings in various cities and developing computer tools that enable automated imaging of tall building impact on public space. It is crucial to determine whether a given building is an autonomous dominant in the open space or it is situated in the cluster of smaller public areas? Or are there any other tall buildings in the vicinity? Since the analysis examines the impact of a tall building on the perception by a user, the analysis is closely linked with the location of the building in the city space. Computer-aided tools enable studying ways in which tall buildings obscure sunlight in public space and the extent their dimensions and positioning disturb the visual area from within public space<sup>27</sup>.

If we refer to the discussion on public space and other components of the spatial arrangement of a city, *geometrical features are some of the strongest vehicles for the 'genetic code' of a city*<sup>28</sup>. The tracing of the code in its geometrical sense is the foundation of the 3D-Negative method<sup>29</sup>. The tool enables im-

aging and describing features of open space in a city. Although the form and geometry of buildings can be presented equivocally, the geometry of space between them can only be sensed intuitively and does not have any visible geometrical shape. The basis of the method is the relationship between the 'positive and negative' in the urban structure – between urban tissue (buildings) and space in between. In the urban space, the 'Positive' are buildings and developed parts of the city, whereas the 'negative' is the emptiness, invisible geometry between buildings. The emptiness is occupied by users living in the city (fig. 8).

In general, the perception and understanding of the 'space in between' was highlighted in articles on orientation in urban space, which showed that we *very seldom think about the space. We tend to concentrate rather on blocks*.<sup>30</sup> The research is in progress to develop a computer based method designed to provide a comprehensive geometrical analysis of space between buildings.

The 3D-Negative Method (N3D) provides for automatic generation of the geometry of 'invisible' space between buildings. The 2TaLL project applied N3D to analyse relations between public space and tall buildings. In the initial phase, the project developed the N3D generation procedure that enables imaging of a limited area of a city. The procedure was based on the CityGML standard<sup>31</sup>. At the moment, work is in progress to overcome limitations regarding the size of city section processed and using available BDOT spatial data<sup>32</sup>.

Research by K. Wejchert are fundamental for describing the geometry representing open space of a city. Ge defined components making up the three-dimensional pictures of a city as a floor, walls and ceiling; the latter in the form of a sky suspended above the open space of a city.<sup>33</sup> The use of the N3D procedure in the city virtual model helped generating a 3D structure defined geometrically by the land (floor), buildings (walls) and a interface between the urban tissue and open sky (ceiling). The goal of creating

<sup>26</sup> The analysis was based on using CityGML data and processed CAD models.

<sup>27</sup> Sky View Factor, *A Dictionary of Earth Sciences*, Oxford University Press 1999.

<sup>28</sup> Z. K. Zuziak 2008, *O tożsamości urbanistyki (About identity of urban planning)*, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków, p. 55-56.

<sup>29</sup> A. Zwoliński, P. Rubinowicz 2016, Geometries of Cityscape: Analysis and detection of public spaces beneath tall buildings by 3D-Negatives, *Education for Research, Research for Creativity*, Warszawa, s. 162-169; A. Zwoliński 2014, Complexity of Public Spaces System Between Key Tall Buildings in City of Szczecin..., *Proceedings of the 16th International Conference on Geometry and Graphics*, Inns-

bruck, s 175–186.

<sup>30</sup> A. A. Kantarek 2013, *O orientacji w przestrzeni miasta (About orientation in city space)*, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków, p. 120.

<sup>31</sup> Standard of spatial data in virtual models widely spread in Western Europe (Germany, the Netherlands). As regards Polish cities, accessibility of data is very limited.

<sup>32</sup> Standard of spatial data available in Poland – created and available based on EU Directive INSPIRE of 2007.

<sup>33</sup> Wejchert K., *Elementy kompozycji urbanistycznej (Elements of urban composition)*, Wydawnictwo Arkady, Warszawa 1984, p. 105-107.

the N3D form was to achieve precise<sup>34</sup> measurement of open space properties. Other interesting issues related to the use of the N3D geometry included analysis of 'air' volume in a city and its distribution, studying of the hierarchy and grading of the open space system in various directions (selected in city space), and examining the structure of public space in the context of size distribution and regularity in the urban tissue. The research focused on a particular relationship between tall buildings and their surrounding public space, and covered selected sections of European cities<sup>35</sup> with tall buildings. The geometry of public space around tall buildings was analysed using the N3D method, more specifically the spectrum of public space geometry (CSP), maps showing inclinations of planes in the geometry of the negative (TBS), and a map presenting lengths of negative cubicle edges and surfaces included (respectively TBL and TBA)<sup>36</sup>.

The spectrum analysis of the N3D geometry enabled imaging of the open space structure in locations of tall buildings as a sequence of public space cross sections.. Figure (fig. 9) shows examples of the public space geometry spectrum in the area of tall buildings. Analyses of the public space structure showing its size in the vicinity of tall buildings, differences in height and its arrangement in the city structure has been presented using colour maps developed after 2D projection of 3D Negative.<sup>37</sup>

Location and size of buildings are crucial regarding the quality of open space in a city. Considering their size, tall buildings comprise a special and representative example of such an impact. The research on public space also included the degree of shading produced by tall buildings and obstruction of the view. In this particular instance, CityGML models were converted into data recognisable for CAD. The research involved examining the two phenomena through comparative analysis of the impact of tall buildings as they were, as well as the simulation of that impact including new planned tall buildings. The analyses used the two types of specialist software to calculate sun exposure time<sup>38</sup> and Sky View

Factor (SVF), a tool that enables calculating the percentage of obscured surface<sup>39</sup> (fig. 10).

The number of sun exposure hours for public space and visibility of tall buildings from open space in a city were examined for tall buildings in the centre of Frankfurt (cluster of buildings), television tower in Berlin (single tall facility), and a historical dominant of the church tower in Delft. Computer-based tools helped calculating sun exposure not only for the floor of public space but also specific walls. Simulations examined changes of the total sun exposure time in public space once new tall buildings are erected. In the case of SVF analysis, view obstruction was presented at the semi-sphere surface showing the calculated percentage of sky view obstruction. When put together, the series of SVF simulations for the main open space enabled creating a parametrical map showing the quality of specific public space in the vicinity of tall buildings.<sup>40</sup>

The analytical issues pertaining to tall buildings, covered by the research, and their relation to public space are not exhaustive regarding all aspects of the phenomenon. The development of objectives and a preliminary version of a computer-based method of generating geometry of space between buildings opens new areas for analysis.

## 6. SUMMARY

In recent years, the development of IT technologies, landscape remote detection techniques and research on geo-information significantly increased the possibility of creating 3D city models. This provides new possibilities for the application of digital spatial data for urban analyses. An example might be the studying the impact of tall buildings on the external landscape and internal public space. The growing popularity of tall buildings in European cities has been witnessed in the past two decades. Changes in cityscapes necessitate finding comprehensive and objective ways of protecting valuable spatial arrangements against accidental impacts of tall buildings. Considering a significant investment pressure, it is equally important to make conscious decisions when developing new and attractive urban space and skylines of a city.

The briefly described analytical methods show the potential of virtual city models, not only as a scientific tool but also an aid in planning. The methods

<sup>34</sup> In principle, computation of geometry is considered to be precise.

<sup>35</sup> The research focused on areas of tall buildings in Rotterdam, Delft and Loerrach.

<sup>36</sup> Abbreviations are taken from the vocabulary of the 2TaLL project in English: CSP – City Spectral Profile, TBS – Typology by Slope, TBL – Typology by Length and TBA – Typology by Area. Details of analyses were described [in:] A. Zwoliński, P. Rubinowicz, *op. cit.*, p. 162-169.

<sup>37</sup> A. Zwoliński 2014, *op. cit.*, s. 181.

<sup>38</sup> SunHours v.2.0.8 Application by SolidGREEN

<sup>39</sup> LSS Chronolux Software by Kirill Bannov

<sup>40</sup> A. Zwoliński, M. Jarzowski 2015, Computing and Monitoring Potential of Public Spaces..., *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, s. 743-750.

enable imaging the existing and planned tall buildings. The VIS method helps examining the actual scale of visual impact of a planned tall building and determining all locations of exposure in a city. The VPS method is used to determine the maximum height of new buildings in a city and still protecting strategic vistas. Both methods are complementary and equivocal from a geometrical point of view. Once used together they provide for a multifaceted and comprehensive analysis of the cityscape and the assessment of its new investment absorption capacity.

Not only do tall buildings have major impact on the cityscape, but also the quality and functioning of the public space system in a city. Some of phenomena that can be examined using digital techniques include shading and obstructing the view (SVF). Moreover, tall buildings have major impact on the shape of urban interiors that can be better described using the 3D-Negative method. It gives non-material space between buildings a physical shape that can be measured using specific parameters. This helps studying the impact of tall buildings on the space geometry.

The computer-aided methods of analysing tall buildings are not exhaustive regarding the complexity of impact tall buildings have on a city. They common denominator is that they focus on phenomena that can be expressed in the language of geometry imprinted in the digital picture of a city. It is necessary to develop those methods through further scientific research. This may contribute to even better objective description of phenomena that previously have been defined intuitively, e.g. those related to the shape of urban composition and the skyline.

## LITERATURA

1. Benedikt M., 1979, To take hold of space: Isovists and isovists fields. *Environment and Planning B: Planning and Design* 6, s. 47–65.
2. *Canada's Capital Views Protection. Protecting the Visual Integrity and Symbolic Primacy of Our National Symbols*, collective work for National Capital Commission, Ottawa 2007.
3. CTBUH ilość budynków wysokich w Europie: <http://www.skyscrapercenter.com/x/2370450>; dostęp/access 2017-03-25.
4. CTBUH rozkład budynków wysokich: <http://www.skyscrapercenter.com/x/2360421>; dostęp/access 2017-03-25.
5. Czyńska K., 2014, Geometrical Aspects of City Skyline – Tall Building Analysis, w: H.-P. Schröcker, M. Husty (ed.) *Proceedings of the 16th International Conference on Geometry and Graphics*, Innsbruck University Press, Innsbruck, s. 519–530.

6. Czyńska K., 2015, Application of Lidar Data and 3D-City Models in Visual Impact Simulations of Tall Buildings, *International Archives of the Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Science*, Vol: 47 (W3), s. 1359-1366, doi:10.5194/isprsarchives-XL-7-W3-1359-2015.
7. Czyńska K., 2015, Atrakcyjność krajobrazu miejskiego a zabudowa wysoka – na przykładzie wybranych miast europejskich. Attractiveness of urban landscape versus tall buildings – on the example of selected European cities, *Przestrzeń i Forma* 2015, nr 24, Wydawnictwo Uczelniane ZUT, Szczecin, s. 131-144.
8. Czyńska K., Marzęcki W., Rubinowicz P., 2007, Studium oddziaływania krajobrazowego zabudowy wysokiej przy Al. Wyzwolenia w Szczecinie, Studium na zlecenie urzędu miejskiego, Szczecin.
9. Czyńska K., Marzęcki W., Rubinowicz P., 2007, Studium oddziaływania krajobrazowego zabudowy wysokiej przy Placu Szyrockiego, na zamknięciu ul. 3-go Maja oraz przy ul. Salomei. Studium na zlecenie urzędu miejskiego, Szczecin.
10. Czyńska K., Rubinowicz P., 2015, Visual protection surface method: Cityscape values in context of tall buildings, w: K. Karimi, L. Vaughan, K. Sailer, G. Palaologou, T. Bolton (ed.), *Proceedings of the 10th International Space Syntax Symposium*, London, s. 142:1-142:10.
11. Czyńska K., Rubinowicz P., 2016, Visual Impact Size Method in Planning Tall Buildings, *Education for research, research for creativity*, Wydział Architektury Politechniki Warszawskiej, Warszawa, s. 169-174.
12. Czyńska K., Rubinowicz P., 2018, Analiza wpływu wieżowca Sky Tower na krajobraz Wrocławia z zastosowaniem metody VIS, *Architectus*, Wydawnictwo Wydziału Architektury Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, w druku.
13. Dąbrowska-Budziło K., 1990, *Wśród panoram Krakowa. O przemianach widoków i o tym, jak je ocalić*, Wydawnictwo Literackie, Kraków.
14. Hurst W., Braidwood E., 2016, Khan wants protected views re-think after St Paul's row, *Architects Journal*, Londyn, <https://www.architectsjournal.co.uk/news/khan-wants-protected-views-rethink-after-st-pauls-row/10015856.article> dostęp/access 2017-05-12.
15. Informatyczny System Ochrony Kraju: <http://www.isok.gov.pl/>; dostęp/access 2017-04-10.
16. Kantarek A. A., 2013, *O orientacji w przestrzeni miasta*, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków.
17. Kolbe T. H., 2009, Representing and Exchanging 3D City Models with CityGML, w: J. Lee, & S. Zlatanova (ed.), *3D Geo-Information Sciences*. Berlin-Heidelberg, Springer-Verlag, s. 15-31.
18. Kosiński W., 2009, Globalizacja – szanse i zagrożenia tożsamości miast, *Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej: Architektura i Urbanistyka* nr 18, s. 7-43.
19. Kosiński W., 2011, *Miasto i piękno miasta*, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków.
20. *London View Management Framework. Supplementary planning guidance*, Study by Greater London Authority, Mayor of London 2012, <https://www.london.gov.uk/what-we-do/planning/implementing-london-plan/supplementary-planning-guidance/london-view-management>; dostęp/access 2017-04-10.

21. Marzęcki W., Czyńska K., Rubinowicz P., Zwoliński A., 2015, *Studium oddziaływania krajobrazowego nowej zabudowy na terenie Ogrodów Seminaryjnych w Warszawie*. Opracowanie na zlecenie Archidiecezji Warszawskiej, Warszawa.
22. Rubinowicz P., 2013, Cyber Urban Design, *Archivolta* 3(59), Kraków, s. 58-65.
23. Rubinowicz, P., Czyńska, K., 2015, Study of City Landscape Heritage Using Lidar Data and 3d-City Models, *International Archives of the Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. 47 (W3), 1395-1402, doi:10.5194/isprsarchives-XL-7-W3-1395-2015.
24. *Seeing the History in the View. A Method for Assessing Heritage Significance within Views*, by Historic Buildings and Monuments Commission for England, Londyn 2011.
25. Setkowicz P., 2012, Budynki wysokie a tożsamość krajobrazu polskich miast – syndrom nieskutecznego oporu i ryzykownej asymilacji, [w:] *Tożsamość krajobrazu miasta*, Wydawnictwo Uczelniane Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie, Szczecin 2012, s. 83-88.
26. Wejchert K., 1984, *Elementy kompozycji urbanistycznej*, Wydawnictwo Arkady, Warszawa.
27. Zuziak Z. K., 2008, *O tożsamości urbanistyki*, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków.
28. Zwoliński A., 2014, Complexity of Public Spaces System Between Key Tall Buildings in City of Szczecin. Geometrical Aspect of Public Spaces in 3D City Model, w: H.-P. Schröcker, M. Husty, (ed.), *Proceedings of the 16th International Conference on Geometry and Graphics*, Innsbruck University Press, Innsbruck, s. 175–186.
29. Zwoliński A., P. Rubinowicz 2016, Geometries of Cityscape: Analysis and detection of public spaces beneath tall buildings by 3D-Negatives, *Education for Research, Research for Creativity*, Warszawa, s. 162-169;
30. Zwoliński A., Rubinowicz P., Geometries of Cityscape: Analysis and Detection of Public Spaces Beneath Tall Buildings by 3D-Negatives, w: J. Słyk, L. Bezerra (ed.), *Education for Research, Research for Creativity*, Wydział Architektury Politechniki Warszawskiej, Warszawa, s. 162-169.
31. Zwolinski, A., Jarzemeski, M., 2015, Computing and monitoring potential of public spaces by shading analysis using 3d Lidar data and advanced image analysis, *International Archives of the Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Science XL-7/W3*, s. 743-750, doi:10.5194/isprsarchives-XL-7-W3-743-2015.