

**Krzysztof BOJAROWSKI<sup>1</sup>**  
**Dariusz GOŚCIEWSKI<sup>2</sup>**

## **OCENA ELEMENTÓW KONSTRUKCYJNYCH OBIEKTÓW BUDOWLANYCH Z WYKORZYSTANIEM NUMERYCZNEGO MODELOWANIA POWIERZCHNI**

### **Streszczenie**

Modelem obiektów inżynierskich można nazwać uproszczoną reprezentacją obiektu w czasie i przestrzeni stworzoną do oceny ich właściwego funkcjonowania, najczęściej poprzez możliwość sprawdzenia wybranych warunków geometrycznych. Sposób zdefiniowania tego modelu w dużej mierze decyduje o wynikach oceny struktury geometrycznej, możliwości określenia wzajemnych zależnościach topologicznych łączących elementy obiektu, oraz realizacji różnego typu analiz.

W artykule zamieszczono ogólną ideę modelowania obiektów na podstawie wyników pomiarów realizowanych z wykorzystaniem nowoczesnych technologii pomiarowych.

**Słowa kluczowe:** modelowanie obiektów. Systemy informacji przestrzennej, analizy przestrzenne, wizualizacja 3D

### **1. Wstęp**

Opracowania numeryczne, często jako element systemu informacji przestrzennej, są obecnie powszechnie stosowane we wszystkich tych dziedzinach, w których niezbędne jest korzystanie z danych przestrzennych. Systemy te, zwłaszcza w połączeniu z systemami pozyskiwania danych stanowią podstawową platformę w planowaniu, realizacji i monitoringu większości obiektów inżynierskich. Badania związane z wykorzystaniem systemów informacji przestrzennej (SIP) i systemów wspomagających projektowanie (CAD) w geodezji inżynierskiej, w tym rejestracji i wizualizacji przemieszczeń prowadzone są również od szeregu lat na Uniwersytecie Warmińsko-Mazurskim w Olsztynie. Rezultatem tych prac są publikacje o charakterze ogólnym, a także opracowania obejmujące konkretne zastosowania systemów. W szczególności można wymienić opracowania dotyczące projektowania obiektów inżynierskich na bazie mapy numerycznej, trójwymiarowej wizualizacji przemieszczeń przestrzennych obiektów oraz rejestracji, modelowania i wizualizacji dynamiki zmian powierzchni, w tym dna morskiego [1], [2], [4], [5].

### **2. Podstawowe założenia**

Monitoring przemieszczeń i deformacji konstrukcji, a także wyznaczenia zmian przestrzennego układu terenu, w następstwie procesów naturalnych lub działalności człowieka należą do szczególnie trudnych i odpowiedzialnych zadań realizowanych przez geodetów. Nie trzeba przypominać, że o znaczeniu tych prac decyduje w pierwszym rzędzie potrzeba zapewnienia stałej i efektywnej kontroli stabilności obiektów, a podstawowe trudności związane są z koniecznością uwzględniania czynnika czasu przy planowaniu cykli pomiarowych i interpretacji wyników [3].

---

<sup>1</sup>dr inż., Wydział Geodezji i Gospodarki Przestrzennej, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

<sup>2</sup>dr inż., Wydział Geodezji i Gospodarki Przestrzennej, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

Opracowanie wyników pomiarów przemieszczeń realizowanych tradycyjnymi metodami obejmowało zestawienia numeryczne i różnego typu wykresy, zazwyczaj prezentowane w układzie dwuwymiarowym zawierające profile przemieszczeń pionowych oraz szkice i mapy przemieszczeń poziomych. Nowe możliwości prezentacji i interpretacji wyników wyznaczeń przemieszczeń powstały w związku z rozwojem metod wyznaczeń przestrzennych, czego przykładem może być metoda skaningu laserowego oraz pomiary GPS. Równoczesne wyznaczanie składowych przemieszczeń w trzech podstawowych kierunkach pozwoliło na ich trójwymiarową prezentację, w tym w formie szkicu trójwymiarowego. Opracowania takie były jednak wcześniej stosunkowo uciążliwe, ze względu na brak metod ich automatycznej realizacji. Możliwości te rozwinęły się w ostatnich latach dzięki rozbudowie specjalistycznych systemów komputerowych, przeznaczonych do przetwarzania i wizualizacji informacji przestrzennych.

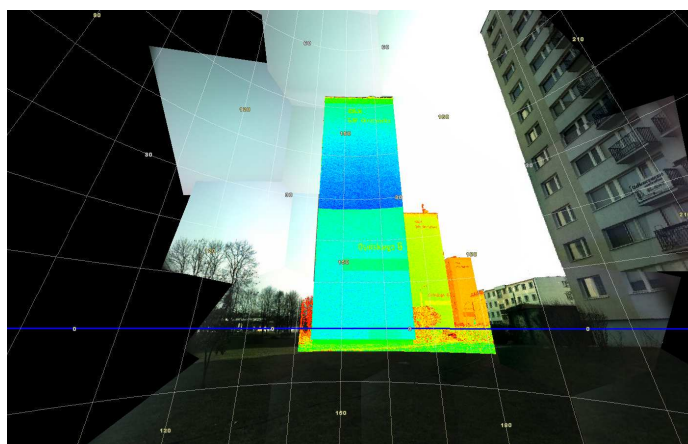
Systemy informacji przestrzennej umożliwiają, na podstawie pomierzonych punktów, przestrzenne odtworzenie wymiaru obiektu, a tym samym pozwalają na realizację badań na zasadach zbliżonych do warunków rzeczywistych. Zatem głównym kryterium decydującym o efektywności analiz jest ustalenie zasad klasyfikacji i identyfikacji obiektów podlegających badaniu oraz właściwy dobór punktów kontrolnych reprezentujących te obiekty. W rozpatrywanym przykładzie, naturalną analizą wydaje się być ocena odchylenia powierzchni ściany budynku od płaszczyzny pionowej.

### 3. Charakterystyka obiektu testowego

Stosowanie systemów informacji przestrzennej do badania odkształceń i przemieszczeń umożliwia określenie geometrycznych i topologicznych związków opisujących przestrzenny układ badanych punktów oraz przeprowadzenie analiz statystycznych. Podstawowym warunkiem umożliwiającym przeprowadzenie badań i prawidłową ich interpretację jest:

- ustalenie własności obiektu, w tym przyczyn wywołujących zmiany,
- określenie związków geometrycznych charakteryzujących badany obiekt, w tym rejestrowanych punktów wykorzystywanych do tworzenia struktury bazy danych,
- dobór analiz statystycznych umożliwiających interpretację badanego zjawiska.

Jako obiekt testowy wybrano, stosunkowo mało skomplikowany geometrycznie, wielokondygnacyjny budynek mieszkalny. Warunki przestrzenne, jakie powinny spełniać zewnętrzne płaszczyzny konstrukcyjne, w tym przypadku są niezwykle łatwe do realizacji w procesie modelowania oraz stosunkowo proste do sprawdzenia i analizowania w trakcie ich oceny.



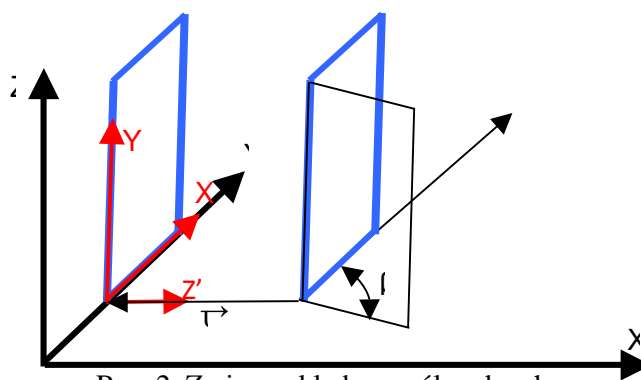
Rys. 1. Wynik pomiaru skanerem laserowym

Pomiar obiektu dokonano skanerem laserowym ScanStation firmy Laica. Pomiar wykonano z jednego stanowiska odległego o ok. 30 m od obiektu z rozdzielczością 0.02 m. Wyniki pomiaru przedstawione zostały na rys.1 w postaci chmury punktów (ok. 75.5 tys. punktów).

#### 4. Badanie pionowości płaszczyzny konstrukcyjnej

Wykorzystując standardowe funkcje systemu AutoCAD Civil 3D, szczególnie te, które są stosowane do tworzenia i edycji numerycznego modelu terenu, przeprowadzono szereg analiz umożliwiających ocenę obiektu. Zbiory punktów pomiarowych zawierające współrzędne przestrzenne X, Y, Z zarejestrowane w układzie instrumentu wymagały wstępnego przetworzenia i dostosowania do zaplanowanej struktury bazy danych. W pierwszej kolejności wyselekcjonowano punkty reprezentujące wybraną płaszczyznę konstrukcyjną. Otrzymany zbiór zaimportowano następnie do bazy danych systemu Civil 3D, w którym utworzono grupę punktów i przypisano jej odpowiednie cechy w postaci stylów, tym samym określając sposób jej wizualizacji.

Wykorzystanie standardowych funkcji do tworzenia i edycji numerycznego modelu terenu w badaniu obiektu testowego jest możliwe tylko w przypadku, gdy kierunek wyznaczanych odkształceń będzie zgodny z kierunkiem osi Z. W związku z tym przeprowadzono transformację punktów tak, aby płaszczyzna pionowa wyznaczona przez linię wyaprosymowaną przez najniżej położone punkty obiektu i kierunek pionu pokryła się z płaszczyzną YOZ pierwotnego układu. Proces transformacji przebiegał w dwóch etapach: obrót o kąt  $\beta$  i przesunięcie o wektor  $u$  (rys.2).



Rys. 2. Zmiany układu współrzędnych  
X,Y,Z – układ pomiarowy  
X',Y',Z' – układ opracowania

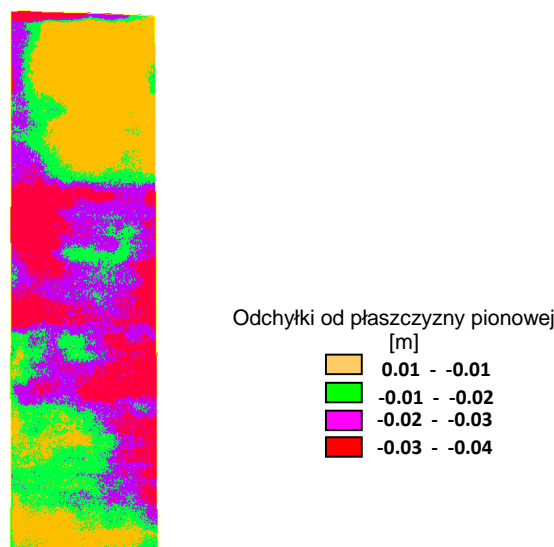
Tak przetworzony zbiór punktów wykorzystano do utworzenia powierzchni, którą w postaci modelu warstwicowego przedstawiono na rys.3. Niezmiernie trudno byłoby analizować powierzchnię ściany na podstawie oceny przebiegu warstwic, niemniej jednak dają się zauważyć pewne ogólne deformacje i lokalne nierówności wynikające z dosyć grubej faktury powierzchni. Maksymalne odchylenia badanego obiektu od płaszczyzny pionowej wahają się w przedziale od -0.046 do 0.009 m (rys.4).



<b>Ogólne</b>	
Numer wersji	0
Ilość punktów	75497
Minimalna współrzędna X	13.447m
Minimalna współrzędna Y	15.258m
Maksymalna współrzędna X	17.937m
Maksymalna współrzędna Y	34.428m
Minimalna rzędna	-0.046m
Maksymalna rzędna	0.009m
Średnia rzędna	-0.017m
<b>Rozszerzony</b>	
Obszar powierzchni 2D	84.58m.kw.
Obszar powierzchni 3D	85.33m.kw.
Minimalne nachylenie	0.13%
Maksymalne nachylenie	17989.35%
Średnie nachylenie	12.08%
<b>TIN</b>	
Ilość trójkątów	150834
Maksymalna strefa trójkątów	0.01m.kw.
Minimalna strefa trójkątów	0.00m.kw.
Minimalna długość trójkąta	0.023m
Maksymalna długość trójkąta	2.356m

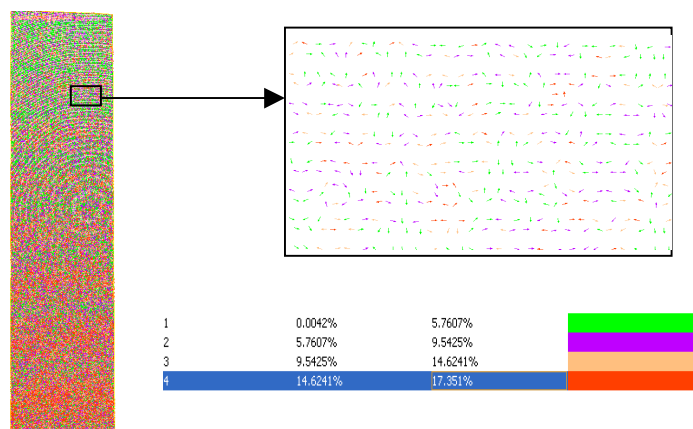
Rys. 3. Powierzchnia reprezentująca obiekt i jej charakterystyka

Uzyskaną powierzchnię, poddano analizom przestrzennym z wykorzystaniem systemu Civil 3D 2009, których wyniki określały położenie i zmienność współrzędnej Z w odniesieniu do teoretycznej płaszczyzny. W pierwszej kolejności przeprowadzono analizę rzędną. Pozwala ona na wygenerowanie wartości i wizualizację za pomocą mapy hipsometrycznej odchyleń badanego obiektu od płaszczyzny (rys.4).



Rys. 4. Analiza rzędnej

Już wstępna wizualna ocena przeprowadzonej analizy pozwala stwierdzić ogólną tendencję polegającą na tym, że środkowa część ściany jest cofnięta od płaszczyzny teoretycznej wyznaczonej przez prostą wpasowaną w punkty w najniższej części ściany i prostą pionową o ok. 0.03-0.04 m. Tak wygenerowany model pozwala również na określenie odchylek w każdym punkcie obiektu lub wygenerowanie szkicu odchylek w regularnej siatce. System Civil 3D umożliwia przeprowadzenie wielu analiz np.: wektorów spadków, nachylenia, warstwic, zlewiska, kierunki itp. Ze względu na ograniczenia edytorskie zaprezentowana zostanie, jedynie pierwsza z nich czyli wektory spadku (rys.5).

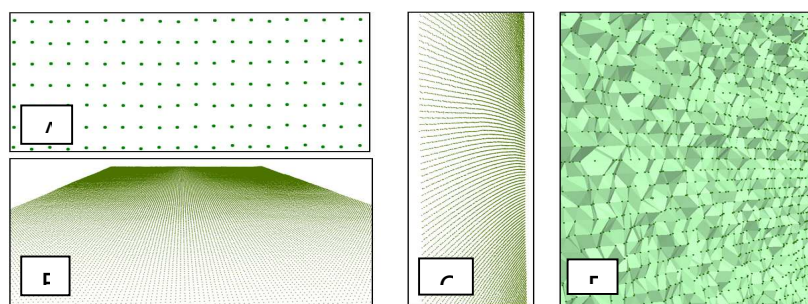


Rys. 5. Analiza wektorów spadku

Przeprowadzone analizy przestrzenne pozwoliły na ocenę stanu geometrycznego badanego obiektu w odniesieniu do całości ukazując ogólne tendencje oraz umożliwiły wyeksponowanie lokalnych zniekształceń.

## 5. Badanie współpłaszczyznowości punktów pomiarowych

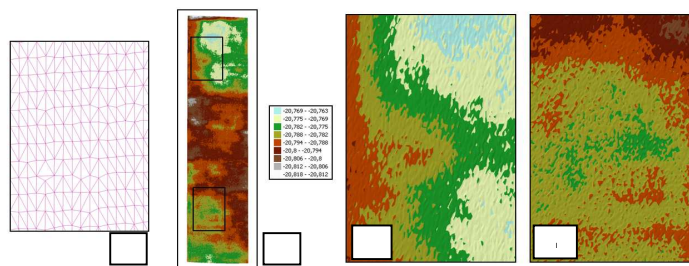
Istotnym elementem analizy badanego obiektu jest kontrola współpłaszczyznowości punktów pomiarowych zlokalizowanych na ścianie budynku. Można tego dokonać badając rozmieszczenie punktów w przestrzeni trójwymiarowej. Punkty pozyskane drogą skanowania laserowego mogą stanowić bazę do utworzenia trójwymiarowego numerycznego modelu badanego obiektu. Struktura takiego modelu uwarunkowana jest rozmieszczeniem punktów tworzących. Lokalizacja punktów pomiarowych na badanym obiekcie zależy do ustawień rozdzielczości skanowania. W przypadku analizowanej powierzchni ściany budynku ma ono charakter siatki punktów zorganizowanych w pionowych i poziomych rzędach. Dokładna analiza rozmieszczenia punktów pomiarowych pokazuje jednak, że nie są one współliniowe (rys.6A). Taka lokalizacja punktów wynika z niedokładności pomiaru spowodowanej różnym kątem odbicia promienia lasera od zróżnicowanej faktury mierzonej powierzchni. Dodatkowo odległości pomiędzy rzędami poziomymi są większe niż pomiędzy rzędami pionowymi (rys.6A).



Rys. 6. Lokalizacja punktów pomiarowych

Ponadto analiza układu rzędów punktów pomiarowych w odpowiedniej perspektywie pokazuje ich odmienną lokalizację w pionie i w poziomie. Wzdłuż linii pionowej rozmieszczenie punktów ma charakter prostoliniowych rzędów równoległych do siebie (rys.6B). Natomiast wzdłuż linii poziomej widoczne są wyraźne zakrzywienia linii pomiarowych rozmieszczonych w jednakowych odstępach od siebie (rys.6C). Takie rozmieszczenie punktów pomiarowych wynika ze specyfiki pracy instrumentu pomiarowego i jego usytuowania w stosunku do mierzonego obiektu. Różny kąt odbicia promienia pomiarowego uzależniony od faktury mierzonej powierzchni ma wpływ również na wartość trzeciej współrzędnej. Skutkuje to utworzeniem niejednorodnej powierzchni modelu przestrzennego charakteryzującej się losowymi zniekształceniami (rys.6D).

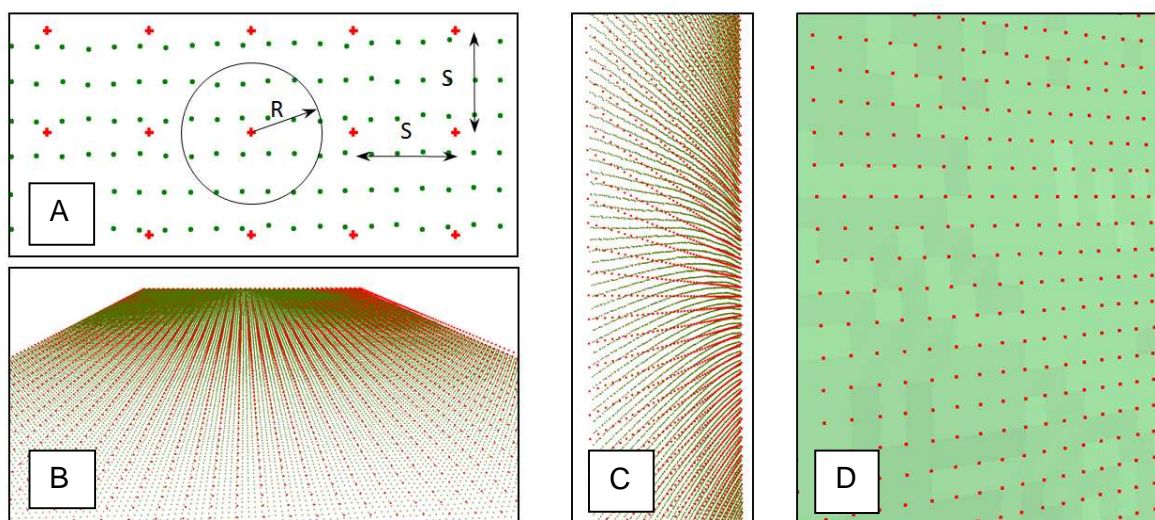
Wszystkie wymienione aspekty przyczyniają się do nierównomiernych i przypadkowych odchyłań położenia punktów pomiarowych od płaszczyzny w kierunku każdej ze współrzędnych przestrzennych. W rezultacie taka zróżnicowana struktura punktów pomiarowych prowadzi do powstania nieregularnej siatki przypominającej strukturę TIN (rys.7A). Na podstawie takiej siatki można utworzyć przestrzenny model badanej powierzchni [6], [8]. Taki model dla całej ściany badanego obiektu został pokazany na rysunku 7B. Przedstawienie badanej powierzchni w takiej postaci pozwala na sklasyfikowanie przedziałów wartości odchyłań od płaszczyzny pionowej, co umożliwia analizę jej kształtu. Rysunki 7C i 7D przedstawiają wybrane fragmenty analizowanej powierzchni w powiększeniu. Taka wizualizacja pozwala na określenie ogólnych zmian w ukształtowaniu powierzchni.



Rys. 7. Model powierzchni utworzony na podstawie punktów pomiarowych



Jednak dokładna analiza kształtu takiej powierzchni jest utrudniona ze względu na nieregularne rozmieszczenie poszczególnych punktów pomiarowych. Zbyt duże zróżnicowanie położenia poszczególnych punktów prowadzi do nieregularności linii dzielących przedziały klasowe i uniemożliwia dokładne ich ustalenie. Analizy takiej nie można również sprecyzować przez zmianę zakresów przedziałów. Ponadto przy wykorzystaniu wyłącznie zbiorów punktów pomiarowych rozmieszczonych niejednorodnie niedogodne jest również porównanie różnych wyników pomiarów dokonanych w różnych przedziałach czasowych. Ponieważ zbiory punktów pomiarowych charakteryzują się zróżnicowanym i często losowym rozmieszczeniem na badanej powierzchni bezpośrednie ich wykorzystanie do prowadzenia analiz współpłaszczyznowości jest utrudnione. W celu uporządkowania danych i przeprowadzenia stosownych analiz modelu powierzchni można posłużyć się strukturą GRID [4], [7]. Pozwala ona na zamianę punktów pomiarowych na jednorodnie rozmieszczone węzły, których wartości wyznaczone są w drodze interpolacji na podstawie punktów otaczających dany węzeł [5], [7], [8]. W czasie konstruowania takiej struktury, w zależności od przewidywanej dokładności oraz zagęszczenia punktów pomiarowych, powinien zostać ustalony odstęp pomiędzy węzłami  $S$  (rys.8A). W opisywanym przykładzie dla  $S$  przyjęto wartość 10 cm. Pozwoliło to na uzyskanie jednorodnej siatki węzłów, której lokalizacja pokazana została w perspektywie na tle punktów pomiarowych dla osi pionowej (rys.8B) i poziomej (rys.8C). W trakcie tworzenia struktury GRID równie ważny jest prawidłowy dobór algorytmu interpolacyjnego dostosowanego pod kątem prowadzonych analiz [4], [5], [6].

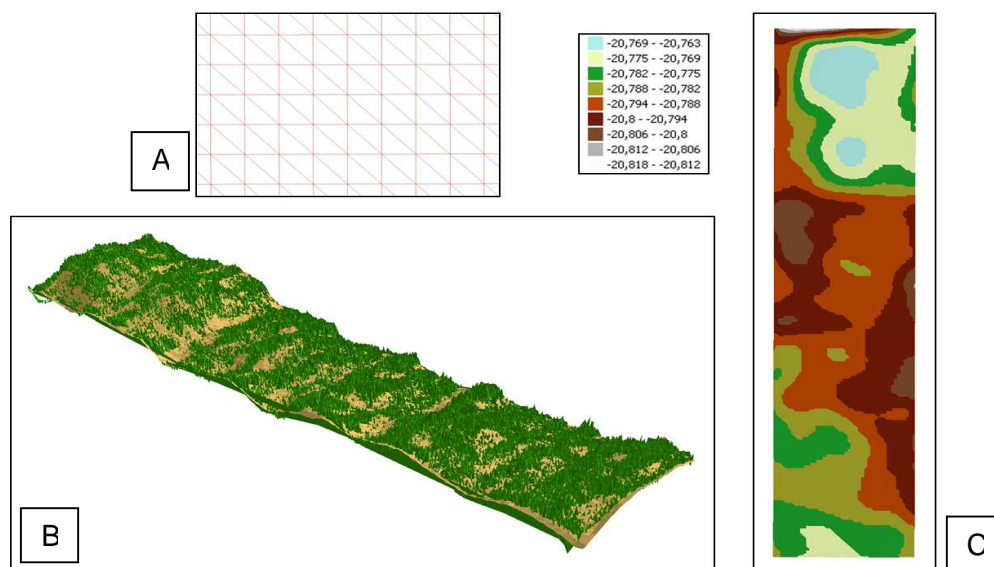


Rys. 8. Tworzenie struktury GRID

W omawianym przykładzie należy dążyć do kompensacji lokalnych nieregularności położenia punktów pomiarowych. W tym celu wykorzystana została autorska aplikacja pozwalająca na dokonanie lokalnej aproksymacji punktów przy pomocy płaszczyzny. W algorytmie tym w założonym promieniu  $R$  (rys.8A) wyszukiwana jest grupa punktów pomiarowych otaczająca wyznaczany węzeł. Następnie na podstawie tych punktów aproksymowana jest płaszczyzna przy wykorzystaniu metody najmniejszych kwadratów. Po wyznaczeniu współczynników równania płaszczyzny wyznaczana jest wartość w węźle jako rozwiązanie układu równań: aproksymowanej płaszczyzny i prostej przechodzącej przez węzeł. W taki sposób wyznaczone zostały wartości we wszystkich węzłach. Utworzyły one bazę punktów na podstawie których można wygenerować model powierzchni rejestrujący odchylenia od płaszczyzny jednak pozbawiony wpływu nieregularności rozmieszczenia punktów pomiarowych (rys.8D).

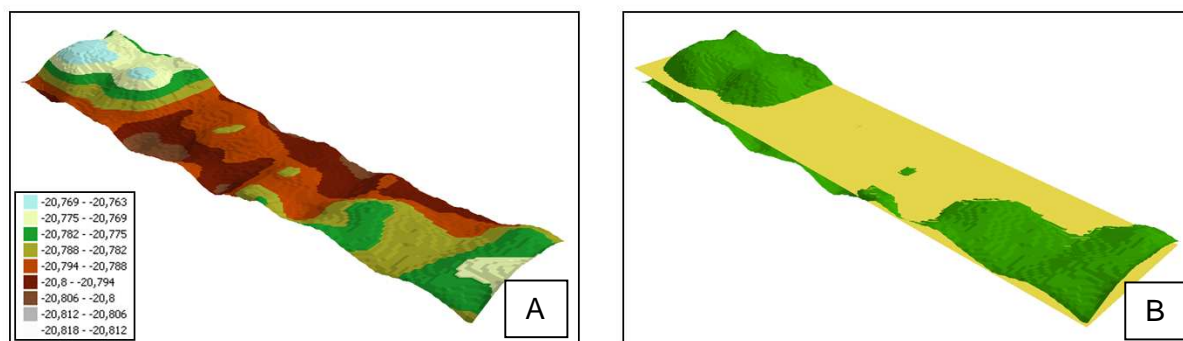
Regularna struktura GRID (rys.9A) umożliwia utworzenie modelu powierzchni, który aproksymuje kształt powierzchni ściany budynku w sposób ułatwiający analizę jej kształtu. Trójwymiarowy model powierzchni GRID na tle modelu utworzonego bezpośrednio z punktów pomiarowych pokazany został na rysunku 9B. Pozwala on skompensować nieregularności modelu TIN przy jednoczesnym zachowaniu kształtu badanej powierzchni. Wpasowanie modelu GRID do modelu TIN można regulować dobierając wielkość bazową siatki kwadratów oraz odpowiednie

parametry interpolacji. Po przyporządkowaniu wartości przedziałom klasowym utworzony został model pokazany na rysunku 9C. Na podstawie takiego modelu można przeanalizować kształt całej ściany mierzonego budynku oraz poszczególnych jej części. W tym przypadku, inaczej niż dla modelu TIN (rys.7), granice pomiędzy poszczególnymi klasami są wyraźnie zaznaczone.



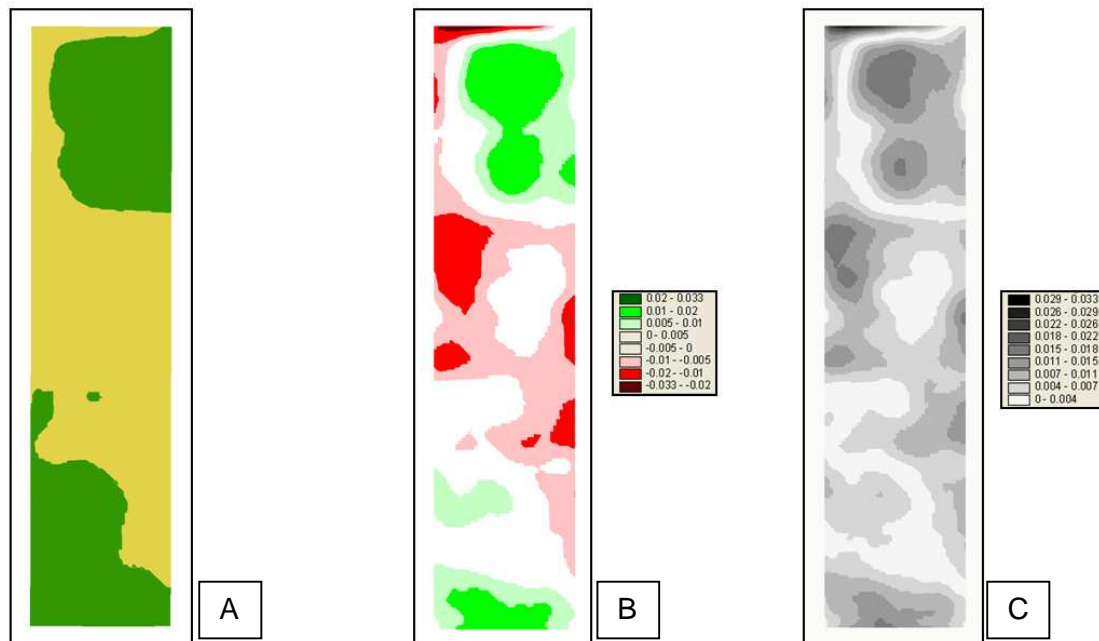
Rys. 9. Model powierzchni utworzony na podstawie struktury GRID

Dodatkowo właściwa klasyfikacja wartości umożliwia przeprowadzenie zróżnicowanych analiz, a odpowiedni dobór parametrów konstrukcyjnych siatki kwadratów oraz parametrów interpolacji pozwala na uzyskanie różnej dokładności generowanych modeli. Kształt analizowanej powierzchni jeszcze wyraźniej można ukazać na modelu trójwymiarowym (rys.10A). Pozwala on na zlokalizowanie zmian kształtu w dowolnym miejscu badanej powierzchni oraz wychwycenie lokalizacji i wartości ekstremalnych zniekształceń.



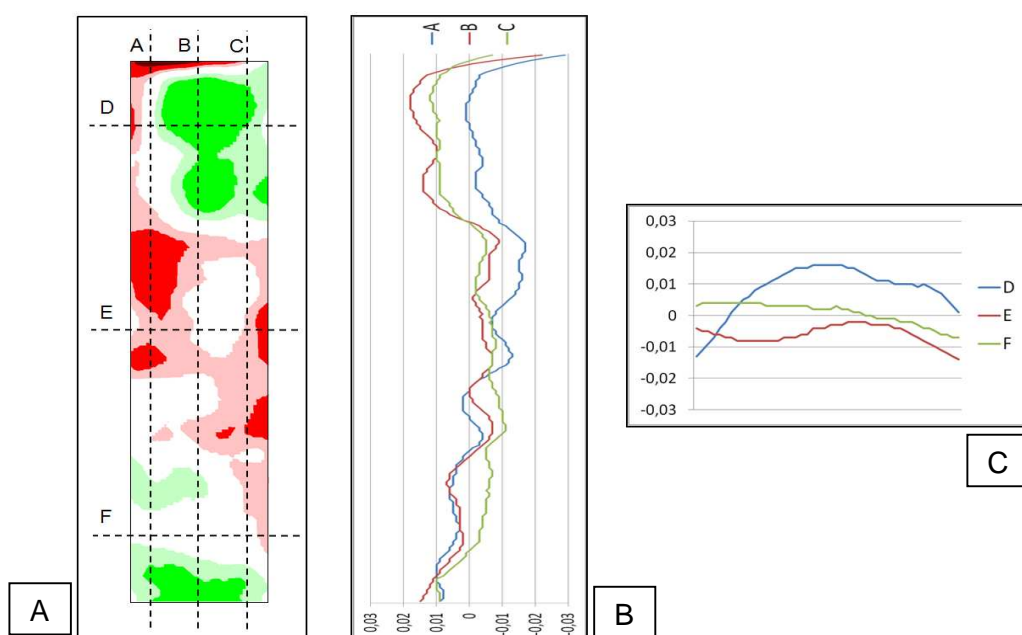
Rys. 10. Aproksymacja modelu powierzchni przy pomocy płaszczyzny

Utworzenie tego typu modeli pozwala na precyzyjną analizę kształtu jednak nie można na ich podstawie ustalić odchyłeń poszczególnych obszarów od płaszczyzny, którą powinny tworzyć. W celu określenia takich zniekształceń należy wygenerować płaszczyznę aproksymacyjną dla całego modelu powierzchni, a w procesie aproksymacji wykorzystać wszystkie punkty pomiarowe. Tak utworzona płaszczyzna dopasowana jest do ogólnej tendencji nachylenia ściany i pozwala skontrolować współpłaszczyznowość punktów poddanych analizie. Trójwymiarowy model takiej płaszczyzny przenikający powierzchnię utworzoną przy pomocy struktury GRID pokazany został na rysunku 10B. Wyraźnie widoczne są fragmenty ściany budynku leżące ponad powierzchnią aproksymowaną. Tą samą sytuację sprowadzoną do dwóch wymiarów pokazuje rysunek 11A. Przy pomocy takich analiz można dokonać ogólnej klasyfikacji położenia elementów badanego obiektu w stosunku do płaszczyzny i w ten sposób stwierdzić ich współpłaszczyznowość lub jej brak.



Rys. 11. Analiza odchyień ściany budynku od płaszczyzny

W celu dokładnego przeanalizowania odchyień punktów tworzących ścianę budynku od płaszczyzny aproksymacyjnej można wykorzystać diagramy różnicowe. W tym celu dla każdego węzła siatki GRID należy wyznaczyć różnicę pomiędzy wartością interpolowaną, a wartością obliczoną w danym miejscu dla płaszczyzny aproksymowanej. Zbiór takich różnic dla wszystkich węzłów pozwala na utworzenie diagramu pokazanego na rysunku 11B. Odpowiednia klasyfikacja pozwala na ukazanie obszarów leżących przed płaszczyzną (znak „+” i kolor zielony) i za płaszczyzną (znak „-” i kolor czerwony). W przypadku analizowanego obiektu większość tych odchyień nie przekracza wartości  $\pm 0.03\text{m}$ . Zarówno górny i jak i dolny fragment ściany budynku przesunięty jest w stronę obserwatora i jest zlokalizowany przed płaszczyzną aproksymacyjną. Natomiast fragment środkowy leży za płaszczyzną aproksymacyjną i jest dalej od obserwatora. Diagramy umożliwiają stwierdzenie wklęsłego wygięcia ściany budynku.



Rys. 12. Wykorzystanie profili do analizy kształtu ściany budynku



Na rysunku 11C pokazane zostały wartości bezwzględne odkształceń policzone na kolejnych węzłach. Diagram monochromatyczny umożliwia porównanie wielkości odchyłeń od płaszczyzny aproksymowanej w poszczególnych obszarach analizowanego obiektu. Dodatkowo odpowiednia klasyfikacja wartości pozwala na dokonanie analiz z różną dokładnością. Na podstawie takiego diagramu można stwierdzić które fragmenty ściany tworzą płaszczyznę (kolor biały), a które od niej odbiegają (im ciemniejszy kolor tym większe zniekształcenie). Możliwa jest również lokalizacja ekstremalnych odchyłeń elementów analizowanego obiektu od płaszczyzny aproksymacyjnej. Największe zarejestrowane zniekształcenie występuje na górnej krawędzi budynku tworząc wyraźny uskok.

Wykorzystując uszeregowanie danych w rzędy poziome i pionowe w strukturze typu GRID można dokonać analiz badanej powierzchni przy pomocy przekrojów zlokalizowanych w dowolnym miejscu obiektu. Na rysunku 12 pokazane zostały wykresy utworzone na podstawie wartości uzyskanych z siatki węzłów zlokalizowanych wzdłuż trzech poziomych i trzech pionowych profili badanej ściany. Wartości te pochodzą z tego samego zbioru, który został wykorzystany do utworzenia diagramu różnicowego pokazanego na rysunku 12A. Oś „0” na wykresach (rys.12B,C) wyznacza położenie płaszczyzny aproksymacyjnej. Przekroje A, B i C (rys.12B) pokazują pionowe ukształtowanie płaszczyzny w trzech różnych miejscach pomiarowych. Wyraźnie zaznaczony jest charakterystyczny uskok górnej krawędzi obiektu. Widoczne jest również uwypuklenie w górnej części obiektu, które największe wartości przyjmuje w środkowej części ściany (przekrój B rys.12B). Wyraźnie zaznaczony jest również zasygnalizowany wcześniej ogólny wklęsły kształt obiektu. Również profile poziome D, E i F (rys.12C) pozwalają na ocenę kształtu ściany wzdłuż dokonanych przekrojów. Największe odchylenia wykazuje górny fragment obiektu (przekrój D rys.12C), a największą współpłaszczyznowość wykazują są dolne partie (przekrój F rys.12C). Łączna analiza profili pozwala stwierdzić że większość odkształceń ściany analizowanego budynku nie przekracza  $\pm 0.03\text{m}$ .

## 6. Wnioski

Dane pomiarowe uzyskane z pomiarów laserowych pozwalają na utworzenie modelu przestrzennego analizowanego obiektu. Bezpośrednie wykorzystanie takich danych jest jednak utrudnione ze względu na ich nierównomierną lokalizację w przestrzeni spowodowaną warunkami pomiaru i morfologią mierzonego obiektu. Utrudniona jest również precyzyjna klasyfikacja mierzonych wartości oraz dokonywanie analiz porównawczych dla różnych pomiarów.

Do usystematyzowania danych można wykorzystać strukturę GRID. Dobór odpowiednich parametrów konstrukcyjnych siatki kwadratów oraz właściwych algorytmów interpolacji pozwala na dokonanie dokładniejszych analiz kształtu badanej powierzchni. Wykorzystanie płaszczyzny aproksymacyjnej w połączeniu ze strukturą GRID pozwala również na zbadanie współpłaszczyznowości punktów tworzących ścianę budynku przy pomocy diagramów różnicowych i profili. Przekształcenie danych do takiej postaci umożliwia także dokonywanie analiz porównawczych dla pomiarów dokonywanych w różnym czasie. Prawidłowy dobór parametrów interpolacyjnych oraz ustalenie rozdzielczości klasyfikacji przedziałowej w tej metodzie pozwala na dokonanie analiz z założoną dokładnością.

Zrealizowane pomiary i opracowania mające na celu ocenę stanu geometrycznego obiektów budowlanych są etapem badań, w których zasadniczym celem jest opracowanie technologii pozyskiwania, przetwarzania, i archiwizacji danych, z uwzględnieniem łączenia informacji przestrzennych pozyskanych różnymi metodami, w tym skanerem laserowym.

## Literatura

- [1] BOJAROWSKI K., Digital Model Terrain as a Tool of Spatial and Statistical Analysis. *The 6th International Conference "Environmental Engineering"*, Wilno 2005.
- [2] BOJAROWSKI K., Statistical and Spatial Analysis of Displacements. *Proceedings of the 12th FIG Symposium on Deformation Measurements*, Baden 2006.
- [3] BRYŚ H., PRZEWŁOCKI S., Geodezyjne metody pomiarów przemieszczeń budowli. Wydawnictwo PWN, Warszawa 1998.

- [4] GOŚCIEWSKI D., Wpływ rozmieszczenia punktów pomiarowych na generowanie regularnej siatki typu GRID. *Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Szczecinie*, Szczecin, 2004,
- [5] GOŚCIEWSKI D., Tworzenie numerycznego modelu terenu typu GRID z wykorzystaniem kombinacji algorytmów interpolacyjnych. *Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej „Geoinformacja dla wszystkich”*, Oficyna wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2005.
- [6] OKSANEN J., JAAKKOLA O., Interpolation and Accuracy of Contour-based Raster DEM's. *Reports of the Finnish Geodetic Institute 2000. Finnish Geodetic Institute, Kirkkonummi, Finland 2000.*
- [7] PITAS I.: Digital Image Processing Algorithms and Applications. *John Wiley and Sons*, New York, 2000.
- [8] SULEBAK J.R., Applications of Digital Elevation Models. Department of Geographic Information Technology, *SINTEF Applied Mathematics, Oslo*, Norway 2009.

## CONSTRUCTIONAL ELEMENTS EVALUATION OF BOULDING OBJECTS USING DIGITAL MODEL OF SURFACE

### Summary

Simplified representations of objects in time and space developed for assessment of their appropriate functioning, in most cases through the possibility of verifying selected geometric conditions, can be named models of engineering objects. The method of defining such a model determines to a significant extent the results of geometric structure assessment, the possibility of determining mutual topographic relations linking components of the object and performance of analyses of different types.

The paper presents the general idea for modeling objects on the basis of results from surveys carried out using modern survey techniques.

**Key words:** modeling objects, spatial information system, spatial analysis, 3D visualization