

Marian Poniewiera¹

Budowa numerycznego modelu terenu dla celów związanych z liczeniem objętości

Creating of a digital terrain model for volume calculation needs

Streszczenie: Artykuł zawiera przegląd stosowanych metod liczenia objętości zbiorników, hałd, wyrobisk górniczych itd. Podano w nim przykłady wykonania takich prac w programach Geolisp, AutoCAD Civil 3D i BricsCAD. Opisano generowanie numerycznego modelu terenu, eliminowanie błędów grubych, wprowadzanie linii nieciągłości i tworzenie powierzchni odniesienia. Wymieniono kilka dodatkowych zastosowań powierzchni objętościowej, takich jak: projektowanie filara ochronnego, wyznaczanie linii przecięcia spągu pokładu ze stropem karbonu itp. Podano zalecane parametry ekstrapolacji danych pomiarowych. Przedstawiono bezpłatne narzędzie MP-NMT służące do tworzenia i kontroli NMT, sporządzania izolinii, wykresów, obliczania objętości itp. Omówiono algorytm upraszczania dużej ilości danych.

Summary: The paper presents an overview of the methods used to calculate the volume of ponds, refuse piles, mine workings, etc. Examples of such work in Geolisp, AutoCAD Civil 3D and BricsCAD are provided. Paper describes generation process of the numerical terrain model, elimination of major errors, inputting of discontinuity lines and creation of the reference surfaces. A list of few additional applications of volumetric surface is provided, such as: designing a protective pillar, determining the intersection line between seam floor and carbon roof, etc. Paper presents recommended parameters for extrapolation of the measured data. A free MP-NMT tool is presented which is used for creating and controlling NMT, creating isolines, graphs, calculating volume, etc. An algorithm for simplifying large amounts of data is described.

Słowa kluczowe: obliczenia objętości, Numeryczny Model Terenu, powierzchnie TIN

Keywords: volume calculation, Digital Terrain Model, TIN surfaces

1 Wstęp

Do obliczania objętości różnych form terenu wygodnie jest utworzyć Numeryczny Model Terenu. NMT to uporządkowany zbiór punktów definiujących powierzchnię danego terenu,

¹ Marian Poniewiera, Politechnika Śląska, 44-100 Gliwice, ul. Akademicka 2a, tel. (032) 237 29 90, Marian.Poniewiera@polsl.pl

występuje najczęściej w postaci siatki trójkątów, której wierzchołki oparte są na punktach z pomiaru i zawiera oprogramowanie pozwalające na interpolację wysokości w dowolnym miejscu.

Objętość należy policzyć dwiema metodami. Zgodnie z zapisami pkt. 6.10.1 oraz 6.10.2 rozporządzenia [6] różnica między obliczeniami objętości zwałowisk nadkładu i składowisk urobku zlokalizowanych na powierzchni podziemnych zakładów górniczych nie może przekraczać: 4% objętości dla zwałowisk i składowisk do 20 000 m³, 3% objętości dla zwałowisk i składowisk od 20 000 m³ do 50 000 m³, 2% objętości dla zwałowisk i składowisk od 50 000 m³ do 200 000 m³, 1% objętości dla zwałowisk i składowisk ponad 200 000 m³.

W artykule omówiono praktyczne zagadnienia związane z obliczeniem objętości zbiorników wodnych, nasypów i hałd; podano najważniejsze algorytmy i przedstawiono procedury wykonujące te zadania zarówno w środowisku AutoCAD Civil 3D jak i w innych programach CAD.

2 Budowa Numerycznego Modelu Terenu

Programy komputerowe mogą automatycznie utworzyć model terenu na podstawie pomiaru. Tu uwaga, że program komputerowy, tylko na podstawie pikiet, nie jest w stanie prawidłowo odwzorowywać powierzchni terenu. Aby była ona poprawnie odwzorowana, należy uwzględnić w jej budowie linie nieciągłości (uskoki, skarpy, fałdy itp.), poziom odniesienia oraz zakres opracowania [3], co pozwala nam na obliczenie objętości czy wygenerowanie izolinii.

2.1 Wybór programu i metody obliczeń

Dostępne na rynku programy odtwarzają model terenu na podstawie pomierzonych punktów pomiarowych najczęściej w postaci siatki kwadratów (model GRID) lub siatki trójkątów (model TIN). Objętość jest obliczana metodą sumowania graniastosłupów. W modelu TIN wierzchołki trójkątów budujących nieregularną sieć oparte są na punktach pomiarowych natomiast w modelu GRID są interpolowane. W praktyce korzystniej jest do obliczeń stosować siatkę trójkątów – obliczenia przebiegają wolniej, ale są dokładniejsze, łatwiejsze jest także wprowadzanie linii nieciągłości do modelu. Model GRID budujemy w przypadku, gdy zależy nam na wstępnym wygładzeniu powierzchni terenu (np. gdy korzystamy z danych fotogrametrycznych). Jeżeli w danym programie komputerowym są do wyboru dwie metody to zwykle GRID, jest starszą, mniej dokładną wersją i powinniśmy wybrać metodę TIN.

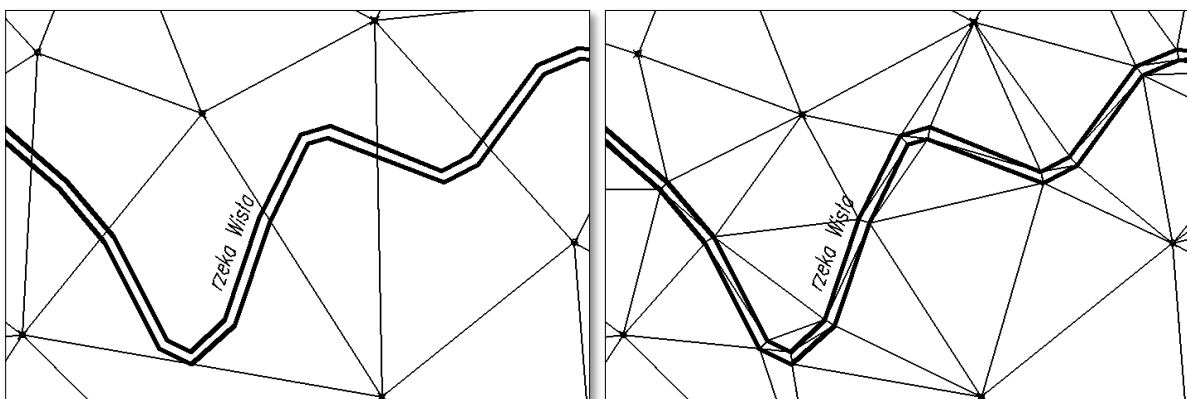
2.2 Kontrola rzędnych wysokościowych

Pierwszą rzeczą, jaką należy zrobić przed obliczeniem objętości, jest kontrola rzędnych wysokościowych punktów tworzących NMT i wyeliminowanie błędów grubych z modelu. Jedną z czynności, jaką można wykonać, jest sprawdzenie pikiet o najniższych i najwyższych kotach wysokościowych. Znając wysokość mierzonego terenu łatwo wychwycić błąd (np. pominięcie znaku minus przed współrzędną). Warto również sprawdzić, czy różnica wysokości między sąsiadującymi punktami nie przekracza zadanej wartości. Przekroczenie dopuszczalnej odchyłki może świadczyć o przebiegu linii nieciągłości między punktami.

Wyszukanie błędnych miejsc umożliwia także wygenerowanie warstwicy. Szczególną uwagę należy zwrócić na miejsca, w pobliżu których przebiegają linie nieciągłości (skarpy, uskoki itp.) oraz miejsca, w których na małej powierzchni występuje znaczne zagęszczenie warstwicy. Jeżeli pojedynczy punkt wymusza powstanie wielu warstwicy, to najprawdopodobniej w tym miejscu jest błąd.

2.3 Wprowadzenie linii nieciągłości

Uwzględnienie w NMT linii nieciągłości spowoduje wymuszenie triangulacji wzdłuż tych linii (triangulacja nie jest wykonywana w poprzek linii nieciągłości). Rys. 1 przedstawia efekt wprowadzenia linii nieciągłości do modelu. Po lewej stronie utworzono model, w którym nie uwzględniono przebiegu cieku. Automatycznie wygenerowane przez program boki trójkątów przecięły krawędzie linii nieciągłości, przez co utworzony model jest niedokładny i nie odzwierciedla rzeczywistej budowy terenu. Po wprowadzeniu linii nieciągłości (rysunek z prawej strony) trójkąty nie przecinają się już z linią cieku, dzięki czemu są lepiej dopasowane do powierzchni terenu.



Rys. 1 Efekt wprowadzenia linii nieciągłości do modelu

2.4 Zdefiniowanie powierzchni odniesienia

Do obliczenia objętości niezbędne jest określenie dwóch powierzchni ograniczających bryłę (górną i dolną). Jedną z tych powierzchni będzie stanowić utworzony model terenu natomiast drugiej przeważnie nie mamy. Z reguły nie powinno się traktować powierzchni odniesienia jako poziomej płaszczyzny (np. średniej wysokości punktów obwodowych) znacznie dokładniej jest utworzyć dolną powierzchnię na podstawie punktów obwodowych.

2.5 Wprowadzenie zakresu opracowania

Wiele programów automatycznie generuje zakres opracowania. Zazwyczaj tworzą go punkty obwodowe (polilinią łączone są najbardziej zewnętrzne punkty w taki sposób, by wszystkie pozostałe punkty znalazły się wewnątrz tworzonego zakresu). Przed przystąpieniem do obliczeń należy zweryfikować przebieg utworzonej polilinii i w razie konieczności zmodyfikować ją.

3 Oprogramowanie Geolisp i AutoCAD Civil

W programie AutoCAD Civil 3D możliwe jest utworzenie powierzchni TIN, która zbudowana jest z trójkątów tworzących nieregularną sieć. Mając zdefiniowane dwie powierzchnie TIN można stworzyć tzw. powierzchnię objętościową, która pokazuje nasypy i wykopy, do obliczeń można wprowadzić różne współczynniki i zapisać raport.

Geolisp to autorski program dr. Mariana Poniewiery [5]. Program pracuje w środowisku CAD. Systemem jest dedykowany dla różnych branż: geodezji, urbanistyki, kolei, górnictwa podziemnego i odkrywkowego. Geolisp wspiera możliwości obliczeniowe AutoCAD-a, zawiera procedury umożliwiające wykonanie dokumentacji branżowej (np. dokumentacji mierniczo-geologicznej, map powierzchniowych itd.), utworzenie numerycznego modelu terenu oraz złoża, kontrolę poprawności utworzenia obiektów mapy, obliczanie objętości, i tworzenie warstwic.

4 Metody obliczania objętości

W kolejnych podrozdziałach krótko omówiono wybrane metody obliczania objętości [4].

4.1 Metoda siatki trójkątów

W metodzie tej powierzchnia dzielona jest na szereg trójkątów, w wyniku czego powstają graniastosłupy ścięte o podstawie trójkątnej. Objętość pojedynczej bryły stanowi iloczyn pola podstawy graniastosłupa i jego średniej wysokości. Objętość całej bryły to suma objętości wszystkich graniastosłupów wchodzących w skład powierzchni.

Obliczając objętość mas za pomocą siatki trójkątów należy najpierw obliczyć objętość bryły ograniczonej górną płaszczyzną a następnie objętość bryły ograniczonej płaszczyzną

odniesienia. W pierwszym przypadku do obliczeń wykorzystuje się wszystkie punkty, w drugim – tylko punkty leżące na obwodzie. Różnica między wynikami tych obliczeń stanowi szukaną objętość.

4.2 Metoda przekrojów poprzecznych

Punkty pomiarowe dobierane są tak, by grupowały się w pobliżu kolejnych równoległych do siebie przekrojów. Powstały pomiędzy dwoma przekrojami poprzecznymi wielościan nosi nazwę przyzmatoidu. Jego objętość można wyznaczyć z uproszczonego wzoru:

$$V = \frac{1}{3} * d * (P1 + P2 + \sqrt{P1 * P2})$$

gdzie:

P1, P2 – pole przekroju,

d – odległość między przekrojami.

4.3 Metoda warstw (przekrojów poziomych)

Ta metoda jest analogiczna do metody przekrojów tylko bryła „cięta” jest płaszczyznami poziomymi. Korzystając z tej metody należy pamiętać o dodaniu objętości pomiędzy ostatnią warstwicą a ekstremalnym wierzchołkiem terenu.

4.4 Wykorzystanie wielomianów

Rzeczywista powierzchnia terenu, jest łagodnie wygładzona. W Numerycznym Modelu Terenu, opartym na punktach pomiarowych, każdy trójkąt stanowi odrębną płaszczyznę, którego wierzchołki przylegają do terenu, ale jego środek już nie, podobnie jak np. sześciokąt wpisany w okrąg nie pokrywa się idealnie z tym okręgiem. Rozwiązaniem tego problemu jest zagęszczenie siatki trójkątów np. poprzez wstawienie w środku każdego trójkąta nowego punktu, którego wysokość będzie obliczona metodami wielomianowymi lub geostatystycznymi, czyli w naszym przykładzie zamiast sześciokąta będziemy mieli dwunastokąt precyzyjniej oddający krzywiznę terenu. Dzięki zagęszczeniu nie tylko obliczenia objętości będą dokładniejsze, ale i warstwy będą ładniej wygładzone i będą precyzyjniej oddawać ukształtowanie terenu.

5 Obliczanie objętości w programie AutoCAD Civil 3D

5.1 Objętości złożone

Do obliczania objętości złożonych AutoCAD Civil 3D wymaga istnienia pary powierzchni (powierzchni górnej (porównawczej) i dolnej (bazowej)). W wyniku działania programu powstaje powierzchnia objętościowa TIN, do budowy której wykorzystane są punkty z powierzchni górnej i dolnej oraz miejsc, gdzie krawędzie trójkątów między tymi


powierzchniami przecinają się tworząc segmenty pryzmoidalne. Wartość rzędnej punktu nowej powierzchni stanowi różnica między rzędną powierzchni górnej i dolnej w tym punkcie.

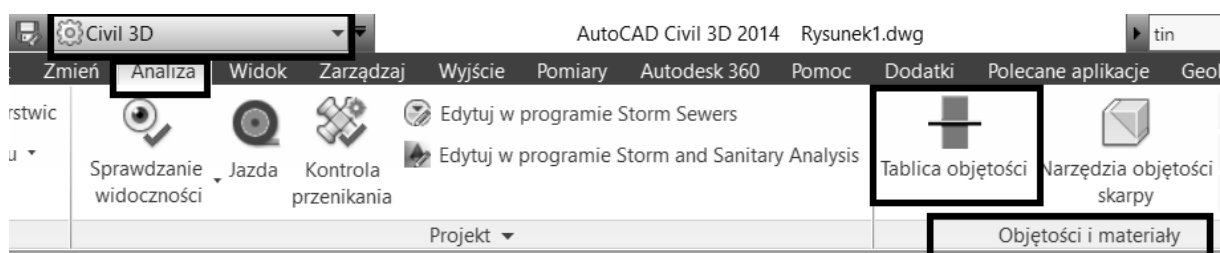
W poniższym przykładzie powierzchnie TIN bazowa (*Poziom*) i porównawcza (*Teren*) zostały utworzone przy pomocy narzędzi programu Geolisp. Do rysunku dwukrotnie wstawiono punkty z plików tekstowych, przy pomocy polecenia cpkt. Pikiety z pierwszego pliku obrazowały pomierzony teren. Wstawiono je na warstwę *pomiar* i na ich podstawie utworzono powierzchnię TIN *Teren*, korzystając z polecenia OP (opcje powierzchni). W dolnej części okna dialogowego wybrano warstwę, na którą wstawiono punkty, wpisano nazwę tworzonej powierzchni i zaznaczono przełącznik *utwórz* (jak na rys. 2).



Rys. 2 Tworzenie powierzchni *Teren* przy pomocy komendy OP

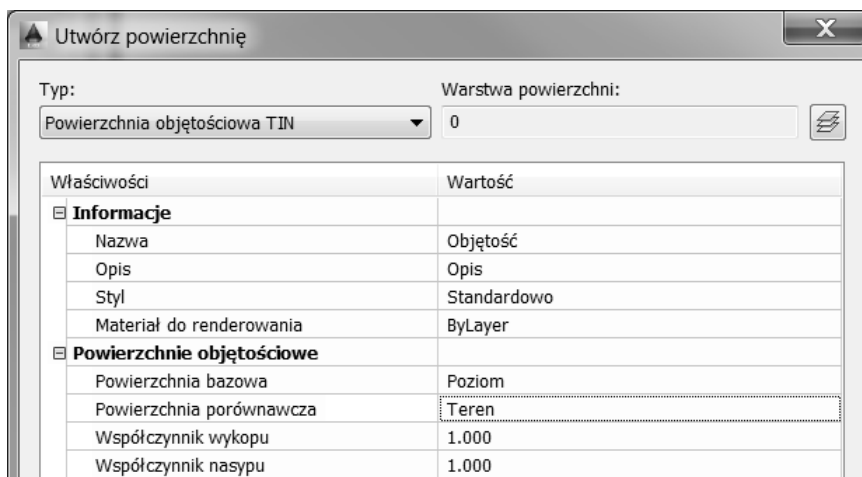
Przed wczytaniem do rysunku punktów, na podstawie których została utworzona powierzchnia bazowa *Poziom*, zmieniono nazwę warstwy *pomiar* na *pomiar_bak*. Następnie wstawiono do rysunku punkty na warstwę *pomiar* (polecenie cpkt) i utworzono powierzchnię TIN korzystając z komendy OP. Przyjęto ustawienia jak na rys. 2, zmianie uległa jedynie nazwa powierzchni.

W celu utworzenia powierzchni objętościowej w obszarze roboczym *Civil 3D*, na karcie *analiza*, panelu *objętość i materiały*, wybrano przycisk *tablica objętości* (rys. 3) i w oknie dialogowym *panorama* wybrano ikonę  (*utwórz nową powierzchnię objętościową*).



Rys. 3 Obszar roboczy Civil 3D programu AutoCAD Civil 3D

Następnie, w oknie dialogowym *utwórz powierzchnię*, określono rodzaj tworzonej powierzchni (*powierzchnia objętościowa TIN*), nazwę (*Objętość*) oraz powierzchnie: bazową – *Poziom* i porównawczą – *Teren* (jak na rys. 4).



Rys. 4 Okno dialogowe *utwórz powierzchnię* programu AutoCAD Civil 3d


W wyniku działania programu utworzona została powierzchnia *Objętość*. W *tabeli objętości* program określił wielkość wykopu / nasypu (czyli ilość materiału, który należy usunąć z / dodać do powierzchni bazowej, by jej wielkość była równa powierzchni porównawczej) oraz wartość netto (czyli różnicę między wykopem i nasypem). Przykładowe wyniki obliczeń przedstawia rys. 5.

Nazwa	C	Strzałka	Współczynn...	Współczynn...	Styl	Powierzchni...	Wykop (dostos...	Nasyp (dostos...	Netto (dostos...	Wykres netto
<input checked="" type="checkbox"/> Objętość ...			1.000	1.000	Standard...	3616.87	33.20	17631.22	17598.02<Nasy...	

Rys. 5 *Tabela objętości* – obliczenie objętości złożonej

5.2 Objętości ograniczone

Po utworzeniu powierzchni objętościowej TIN i dodaniu jej do okna *tablicy narzędzi objętości*, można w prosty i szybki sposób policzyć objętość dla dowolnego zamkniętego obszaru. Obszar ten może być utworzony za pomocą: polilinii, polilinii 2D, polilinii 3D, linii charakterystycznej, działki, okręgu czy elipsy.

Po obwiedzeniu na mapie obszaru, dla którego chcemy wykonać obliczenia, należy w *tablicy narzędzi objętości* wybrać ikonę  *dodaj objętości ograniczone* a następnie wskazać obiekt ograniczający. Wykonane dla wskazanego obszaru obliczenia są widoczne w *tablicy narzędzi objętości*, poniżej powierzchni objętościowej (rys. 6).

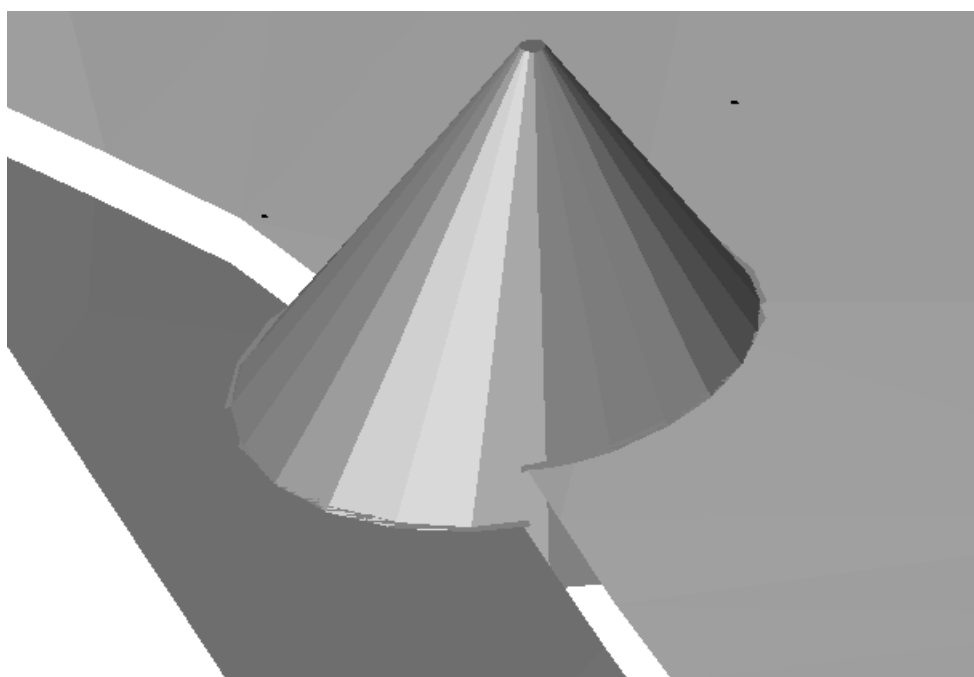
Nazwa	C	Strz...	Wsp...	Wsp...	Styl	Powierzchni...	Wykop ...	Nasyp (dostos...	Netto (dostos...	Wykres netto
<input checked="" type="checkbox"/> Objętość			1.000	1.000	St...	3616.87	33.20	17631.22	17598.02<Nasy...	
<input checked="" type="checkbox"/> Objętość.1			1.000	1.000	1.000	1100.93	0.00	8418.40	8418.40<Nasyp>	

Rys. 6 *Tabela objętości* – obliczenie objętości ograniczonej

5.3 Wykorzystanie powierzchni objętościowej do wyznaczenie granic filara ochronnego szybu

Jedną z możliwości ustalenia przebiegu granicy filara ochronnego [2] dla projektowanego szybu jest utworzenie powierzchni objętościowej TIN. Granicę filara wyznaczamy odrębnie dla każdego pokładu. Do jej utworzenia wykorzystamy powierzchnię „stożek” obrazującą stożkowy kształt filara (powierzchnia bazowa) oraz powierzchnię „Spąg” pokazującą spąg analizowanego pokładu (powierzchnia porównawcza).

Tworzymy powierzchnię objętościową o nazwie „Filar” postępując tak, jak opisano to w rozdziale 5.1. Granica filara będzie przebiegać w miejscu przecięcia się powierzchni „Stożek” oraz „Spąg”. Aby ją wyznaczyć, z utworzonej powierzchni objętościowej „Filar” wyodrębniamy warstwicę, której wysokość wynosi zero. Ustalona w ten sposób granica filara szybowego pozwala bardzo precyzyjnie opisać jej przebieg. Jest to szczególnie ważne w sytuacji, gdy pokład jest nachylony oraz ma nieregularny przebieg (fałd, wycienienie). Na rys. 7 pokazano przecięcie się powierzchni spągu pokładu z powierzchnią filara szybu w strefie uskoku o zrzucie $h = 100$ m.



Rys. 7 Przecięcie się powierzchni filara spągu i szybu

6 Wykorzystanie narzędzi Geolisp do liczenia objętości

6.1 Wykorzystanie darmowego modułu MP-NMT do obliczania objętości

Program MP-NMT to darmowe narzędzie, opracowane przez Mariana Poniewię, umożliwiające wczytanie do rysunku AutoCADa punktów z pliku tekstowego w formacie Nr X Y Z (polecenie Cpkt1), utworzenie warstwic (komenda WarWs) i obliczenie objętości

(polecenie SIA). Program można pobrać ze strony www.geolisp.pl [7]. W przypadku pobrania wersji instalacyjnej wystarczy ją uruchomić. Jeśli pobrany zostanie plik .zip należy go rozpakować na dysku C, tak by powstał katalog C:\Geolisp. Dalsze postępowanie podczas instalacji programu opisane zostało w pliku c:\Geolisp\Czytaj_to.txt.

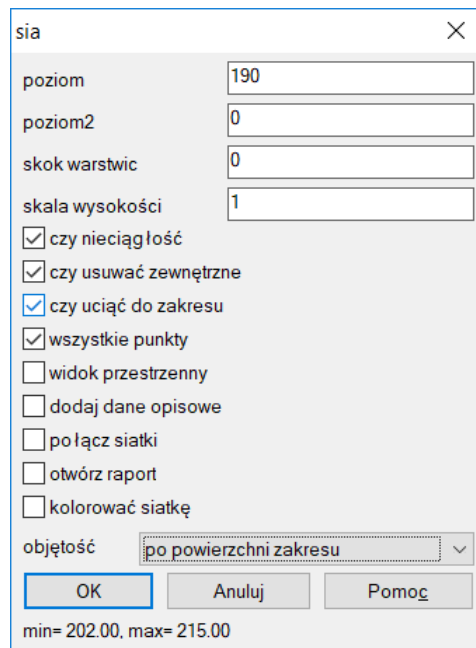
Narzędziem umożliwiającym obliczenie objętości w systemie Geolisp jest program SIA (rys. 8). Podczas jego działania powstaje siatka 3D, której narożami są punkty znajdujące się na warstwie *pomiar*. Punkty do rysunku można wstawić różnymi metodami. Jedną z nich jest skorzystanie z polecenia *cpkt1*.

Objętość może być policzona dwoma metodami: do określonego poziomu lub po powierzchni zakresu. W obu przypadkach objętość stanowi suma objętości tych graniastosłupów, których górna część opiera się na siatce 3D.

Różnica między tymi metodami wynika ze sposobu określenia dolnej podstawy graniastosłupa. W pierwszym przypadku stanowi ją płaszczyzna, której poziom określono w polu *poziom*. W drugim spód figury stanowi powierzchnia utworzona na podstawie punktów leżących na obwodzie (polilinia na warstwie *zakres*). Do obliczania objętości powinno się używać metody drugiej.

Program SIA umożliwia uwzględnienie w obliczeniach linii nieciągłości, o ile są umieszczone na warstwie *Ukształ_Terenu*. Można też usunąć trójkąty, które leżą na skraju opracowania i mają bardzo ostre kąty (opcja *czy usuwać zewnętrzne*).

Z wykonanych obliczeń sporządzony jest raport. Program liczy objętość poniżej poziomu (opcja ta wykorzystywana jest do obliczania np. objętości zbiorników wodnych – od dna do zadanej rzędnej lustra terenu) i powyżej poziomu (hałdy, nasypy itp.). Licząc objętość zbiorników wodnych poziom powinien być niższy niż najniższy punkt obwiedni, program można wykorzystać do sprawdzenia przy jakim poziomie woda zacznie się wylewać.

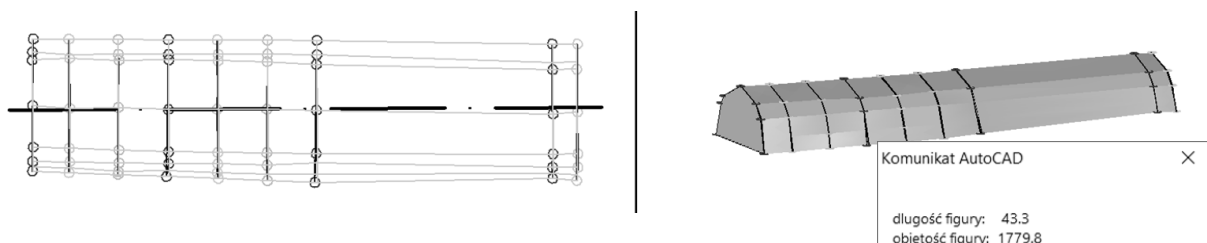


Rys. 8 Okno dialogowe programu SIA

W systemie Geolisp objętość można też policzyć metodą przekrojów przy pomocy polecenia PISia.

6.2 Obliczanie objętości wyrobiska

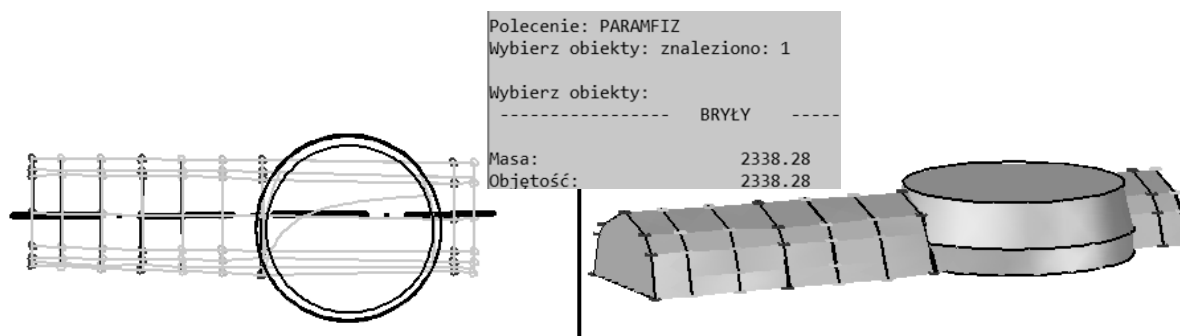
Dysponując danymi z pomiaru podszybia można sporządzić przestrzenny model wyrobiska a także obliczyć jego objętość. Pracę należy rozpocząć od utworzenia przekrojów 3D przy pomocy komendy Upop. Polecenie należy uruchomić odrębnie dla każdego przekroju, kolejność wskazywania punktów wchodzących w skład przekroju nie ma znaczenia. Następnie należy utworzyć oś wyrobiska tak, by przecinała wszystkie przekroje. Mając tak przygotowany rysunek, przy pomocy komendy Upop2D, można utworzyć bryłę. Tworzona jest ona na podstawie przekroi 2D oraz osi wyrobiska. Program po zakończeniu działania podaje informację o długości utworzonej figury a także jej objętości. Efekt działania programu widoczny jest na rys. 9.



Rys. 9 Model przestrzenny wyrobiska

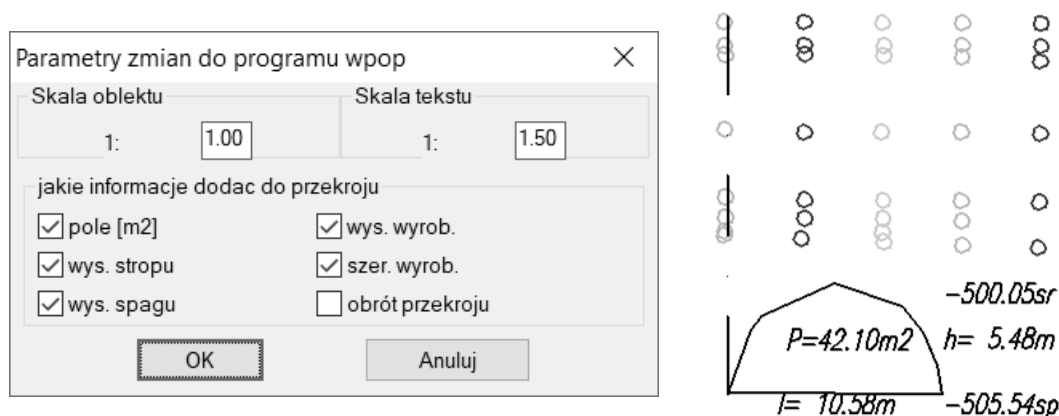
Jeżeli dodatkowo posiadamy dane z pomiaru szybu, zapisane w postaci pliku tekstowego, można utworzyć bryłę obrazującą szyb. Służy do tego polecenie Szyb. W efekcie wykonanych czynności w rysunku zostaną utworzone dwie bryły – podszybia i szybu. Należy

je połączyć poleceniem Suma. Objętość utworzonej w ten sposób figury można sprawdzić przy pomocy polecenia ParamFiz. Otrzymaną figurę oraz jej objętość przedstawia rys. 10.



Rys. 10 Bryła obrazująca podszybie i szyb

System Geolisp daje także możliwość zwymiarowania dowolnego przekroju utworzonego poleceniem Upop. W oknie dialogowym programu Wpop należy wybrać parametry, które mają być umieszczone na przekroju a następnie wskazać dwa punkty definiujące płaszczyznę przekroju. Efekt działania programu oraz okno dialogowe programu Wpop przedstawia rys. 11.



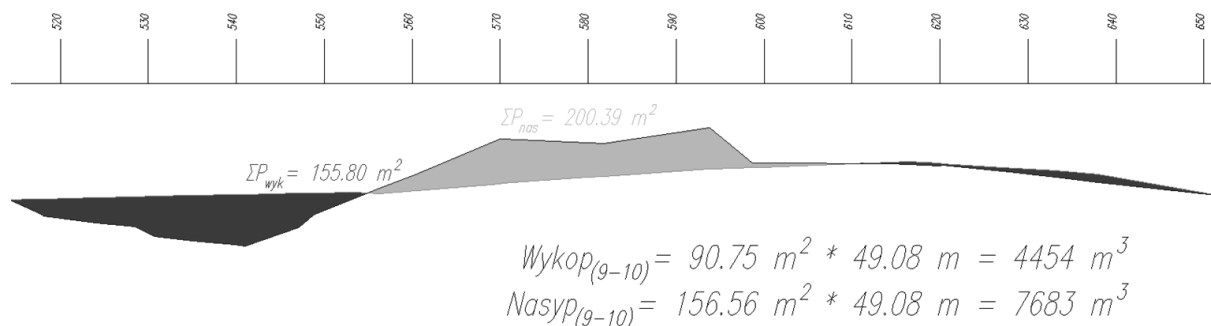
Rys. 11 Wymiarowanie przekroju poleceniem wpop

6.3 Obliczenie objętości metodą przekrojów polecenie WykSPP

W systemie Geolisp istnieje polecenie WykSPP, które umożliwia wykonanie równocześnie przekroi przez wiele powierzchni TIN. Program działa tylko w środowisku AutoCAD Civil 3D, w innych systemach CAD do obliczeń można skorzystać z polecenia PISia.

Jedną z możliwości programu WykSPP jest obliczenie wykopów i nasypów i zaznaczenie ich na wykresach. W pierwszej kolejności musimy utworzyć dwie powierzchnie TIN, np. górną i dolną. Następnie program oczekuje wskazania linii przekroju podłużnego oraz określenia szerokości przekroju poprzecznego. W wyniku działania programu otrzymamy

serię wykresów z zaznaczonymi wykopami i nasypami. Nad pierwszym przekrojem podana jest sumaryczna objętość, natomiast objętość między kolejnymi przekrojami podana jest przy dolnym przekroju (np. między przekrojem 1-2 przy przekroju drugim itd.). Fragment utworzonego przy pomocy polecenia WykSPP wykresu przedstawia rys. 12.



Rys. 12 Wykres z zaznaczonymi: wykopem i nasypem utworzony poleceniem WykSPP

7 Uproszczenie dużej ilości punktów

7.1 Odczyt chmury punktów

Obecnie coraz częściej spotykamy się z danymi pochodzącymi ze skaningu laserowego. Do typowych prac należy: odczyt chmury punktów, utworzenie na jej podstawie Numerycznego Modelu Terenu, generowanie warstwic, obliczenie objętości itd. Wszystkie te czynności możemy wykonać w programie AutoCAD Civil 3D. Umożliwiająca to polecenia pogrupowane są w pozycji „Chmury punktów” w przestrzeni narzędzi (polecenie `_AeccToolspace`).

7.2 Uproszczenie w programie AutoCAD Civil

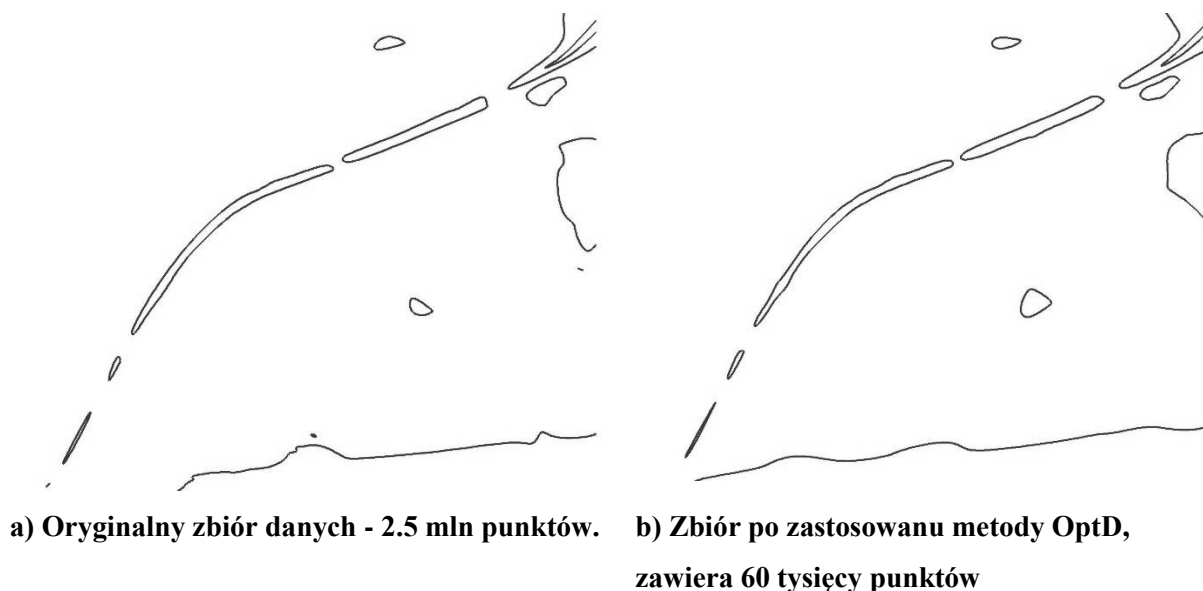
Z pomiarów wykonanych metodą skaningu laserowego zwykle jest bardzo dużo punktów, obliczenia są skomplikowane i długotrwałe. Wygodnie jest zmniejszyć liczbę punktów np. w następujący sposób:

- Wydajemy polecenie `_AeccSimplifySurface`.
- W oknie wybieramy opcję „Usunięcie punktu”.
- W drugim oknie używamy istniejącą granicę.
- W trzecim ustawimy, żeby usunął 90% punktów, tak aby zmiana rzędnej sąsiednich nie przekroczyła 0.50 i klikamy Zakończ.

7.3 Metoda Optimum Dataset

Metoda OptD [1] jest autorskim rozwiązaniem Wiolety Błaszczak-Bąk. Michał Kowalik opracował, oparty na tej metodzie, program komputerowy, który pracuje bezpośrednio na

plikach tekstowych z punktami i nie wymaga posiadania AutoCAD-a ani innego systemu CAD. Zapewnia on pełną kontrolę nad wynikową liczbą punktów. Działa bardzo szybko. Usuwa te punkty, które nie powodują zmiany przebiegu izolinii. Na rysunku 13 przedstawiono sytuację, w której mimo usunięcia 98% punktów izolinie dalej generują się poprawnie.



Rys. 13 Izolinie przed (a) i po zastosowaniu (b) metody OptD

8 Podsumowanie

Celem artykułu było przybliżenie możliwości wykorzystania Numerycznego Modelu Terenu do obliczania objętości. Rozwój technologii informatycznych sprawił, że wiele obecnych na rynku programów komputerowych automatycznie tworzy model terenu na podstawie pomierzonych punktów. Trzeba jednak pamiętać, że prawidłowe odwzorowanie terenu przez program nie jest możliwe, jeżeli w modelu nie są uwzględniane linie nieciągłości. Dlatego istotny jest nie tyle wybór programu, przy pomocy którego zostaną wykonane obliczenia, ile wybór metody obliczeń. Odtworzenie modelu terenu przy pomocy siatki trójkątów w praktyce jest korzystniejsze niż w przypadku utworzenia siatki kwadratów. Wierzchołki trójkątów budujących model TIN oparte są na punktach pomiarowych, co czyni obliczenia dokładniejszymi, upraszcza je i ułatwia wprowadzanie linii nieciągłości do modelu. W modelu GRID wierzchołki kwadratów są interpolowane i musi ich być bardzo dużo, żeby poprawnie oddać teren w miejscach skarp. Przydatność NMT do dalszych obliczeń zależy od poprawności punktów wchodzących w skład modelu – przed przystąpieniem do dalszej pracy należy wyeliminować z niego błędy grube.

W publikacji omówiono wybrane metody obliczania objętości. Pokazano sposób postępowania podczas obliczania objętości złożonych i ograniczonych w programie AutoCAD Civil 3D. Przedstawiono dodatkowe wykorzystanie możliwości programu na przykładzie wyznaczania granic filara ochronnego szybu. Opisano także postępowanie podczas redukcji liczby punktów wchodzących w skład NMT. Wspomniano o autorskiej metodzie OptD, pozwalającej na uproszczenie dużej ilości punktów pochodzących np. ze skaningu laserowego.

Wymieniono narzędzia darmowego programu MP-NMT, który umożliwia obliczenie objętości. Do obliczenia objętości tworzona jest siatka 3D odwzorowująca model terenu. Objętość może być liczona do określonego poziomu lub po powierzchni zakresu. Inną, dostępną metodą obliczeń, jest metoda przekrojów. Można z niej skorzystać do wykonania obliczeń kontrolnych – zgodnie z przepisami objętość należy policzyć dwiema metodami [6].

Bibliografia

- [1] Błaszczak-Bąk W., 2016: “New Optimum Dataset method in LiDAR processing”. Acta Geodynamica et Geomaterialia. Vol.13/4(184), pp. 379–386, DOI: 10.13168/AGG.2016.0020.
- [2] Juzek L., Poniewiera M., Sokalla K., Wróbel M.: „Projektowanie filara ochronnego szybu na podstawie modelu złoża” Systemy Wspomagania w Inżynierii Produkcji 2016 z. 1, s. 178-189.
- [3] Kujawski P., Poniewiera M.: Budowa numerycznego modelu terenu dla celów związanych z obliczeniem objętości. Zeszyty naukowe Pol. Śl. s. Górnictwo, nr 261, Gliwice, 2004 (s. 225-230)
- [4] Pomykoł M., Poniewiera M.: Numeryczne projektowanie w geodezji górniczej. Gliwice, Wydaw. Politechniki Śląskiej, 2009 r.
- [5] Poniewiera M.: Model terenu Górniczego, str. 170-179, Prz. Gór. 2013 nr 8.
- [6] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 28 października 2015 r. w sprawie dokumentacji mierniczo-geologicznej (Dz.U. 2015 poz. 1941).
- [7] www.geolisp.pl (dostęp: 28.04.2018 r.).