

JERZY GAŹDZICKI

JAN ŚLIWKA

[518 : 528.425.4] : 725.4

Problematyka numerycznego modelowania terenu do celów projektowania obiektów przemysłowych

Współczesne tendencje rozwoju budownictwa przemysłowego wyrażają się w dążeniu do maksymalnego skrócenia cyklu inwestycyjnego i obniżenia kosztów budowy przy jednoczesnym poszukiwaniu rozwiązań zapewniających uzyskiwanie maksymalnych efektów produkcyjnych projektowanych zakładów przemysłowych. Warunkiem optymalnego urzeczywistnienia tych sprzecznych tendencji jest elastyczne, twórcze dostosowywanie się projektantów i organizatorów przedsięwzięcia inwestycyjnego do dynamicznie zmieniającej się sytuacji problemowej w trakcie całego procesu projektowego.

Proces ten obejmuje trzy podstawowe etapy:

- 1) studia i koncepcje przedprojektowe,
- 2) założenia techniczno-ekonomiczne,
- 3) projekt techniczny.

W opracowaniu i dokumentacji każdego z nich można wyróżnić:

- 1) część technologiczną,
- 2) część budowlano-montażową,
- 3) część energetyczną,
- 4) część wodnościekową,
- 5) część elektryczną i teleelektryczną,
- 6) projekty ochrony środowiska,
- 7) plan zagospodarowania terenu i transportu,
- 8) wytyczne realizacji inwestycji,
- 9) analizy ekonomiczne projektu.

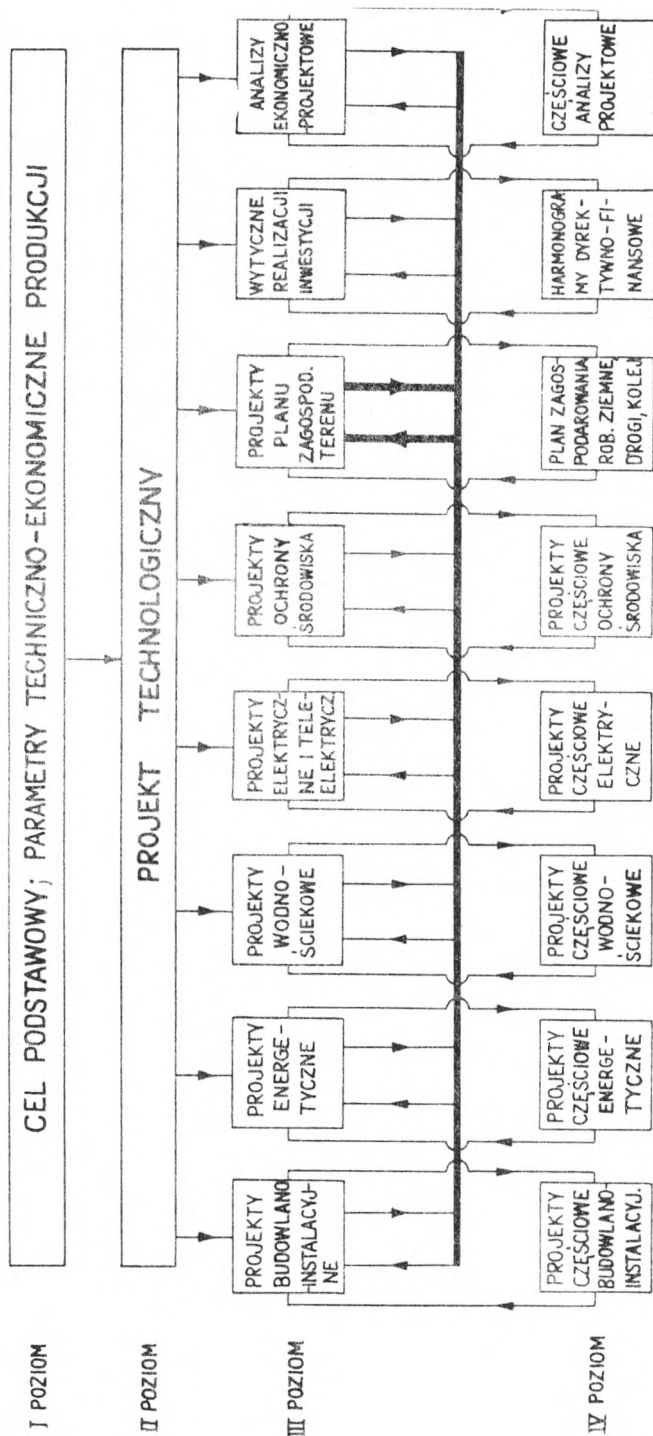
Zadaniem pierwszego etapu jest opracowanie ogólnej koncepcji zakładu dla wariantowo określanych wskaźników techniczno-ekonomicznych przyszłej produkcji. Podstawowe znaczenie w tym etapie mają studia lo-

kalizacyjne zakładu, wykonywane w ramach ogólnego planu zagospodarowania terenu i transportu. Jednym z elementów branym pod uwagę przy wyborze lokalizacji inwestycji jest koszt robót ziemnych, jak również ich wielkość (kubatura) przesądzająca o długości cyklu budowy. Przeciętnie udział kosztów robót ziemnych w kosztach robót budowlano-montażowych kształtuje się w granicach od 3÷8%, natomiast czasokres wykonania robót ziemnych sięga 40÷50% długości cyklu.

Ze względu na krótkie terminy opracowania wielowariantowych koncepcji i studiów, obliczenia wielkości i kosztów robót ziemnych wykonuje się w sposób przybliżony, a ich celem jest uzyskanie wskaźników porównawczych, charakteryzujących poszczególne warianty. Podstawą obliczeń są dostępne mapy sytuacyjno-wysokościowe, najczęściej w skali 1 : 5000 lub też w skali 1 : 2000, zależnie od wielkości projektowanego zakładu.

Po ustaleniu lokalizacji zakładu rozpoczyna się drugi etap projektowania, tj. opracowanie założeń techniczno-ekonomicznych. W tym samym czasie podejmuje się wstępne prace związane z budową zakładu. Organizuje się zaplecze generalnego wykonawcy robót, buduje drogi dojazdowe, doprowadza wodę i energię na plac budowy oraz rozpoczyna niwelowanie terenu. Powstaje niezwykle złożona i trudna sytuacja problemowa. Z jednej strony, znajdujące się w fazie początkowej i często modyfikowane opracowania branżowe projektu wywierają istotny wpływ na wielkość i koszty robót ziemnych, z drugiej zaś — wykonawca żąda dostarczania projektów technicznych, umożliwiających rozpoczęcie i nieprzerwaną kontynuację robót.

Założenia techniczno-ekonomiczne są etapem prac projektowych, mających na celu opracowanie takich rozwiązań technicznych, organizacyjnych i ekonomicznych, które gwarantowałyby osiągnięcie żądanych parametrów produkcji przyszłego zakładu. Temu celowi podporządkowany jest wybór odpowiedniej technologii produkcji, która z kolei warunkuje rozwiązania projektowe w częściach: budowlanej, wodnościekowej, elektrycznej, ochrony środowiska, planu zagospodarowania terenu i transportu oraz wytycznych realizacji inwestycji (rys. 1). Wymienione opracowania znajdują się na jednym poziomie w hierarchii celów projektowych, aczkolwiek są wzajemnie powiązane bardzo licznymi i różnorodnymi zależnościami. Zależności te uwidaczniają się najwyraźniej w planie zagospodarowania terenu, który z tego powodu w początkowej fazie opracowania projektu pełni rolę nadrzędną, a w dalszych fazach — koordynującą wobec pozostałych części branżowych. Podział poszczególnych części branżowych na podproblemy wyznacza następny niższy poziom celów projektowych. W szczególności plan zagospodarowania terenu obejmuje opracowania:



Rys. 1. Decyzje projektowe

- plan lokalizacji zakładu,
- plan usytuowania obiektów,
- projekty transportu drogowego i kolejowego,
- projekt robót ziemnych,
- projekt zabezpieczenia ruchu kolejowego,
- geodezyjne opracowanie planu zagospodarowania terenu.

Przedstawione poziomy hierarchii celów projektowych określają wzajemne podporządkowanie poszczególnych opracowań oraz w pewnym sensie znaczenie kryteriów, według których dokonuje się oceny rozwiązań projektowych. Może się np. okazać, że bardzo korzystne rozwiązanie z zakresu robót ziemnych nie będzie przyjęte, gdyż nie pozwoli na realizację procesu technologicznego, korzystnego z punktu widzenia przyszłej produkcji. Poziomy hierarchii celów projektowych wyznaczają również zasięg reperkusji w formie przeróbek, a nawet konieczności nowych opracowań w przypadku wprowadzania określonych zmian w danych projektowych. Oczywiście najdalej idące skutki powoduje zmiana parametrów produkcji podstawowej zakładu, np. wielkości lub asortymentu produkcji. Zmiany w technologii pociągają za sobą z reguły konieczność gruntownego przeprojektowania wszystkich części branżowych. Z kolei zmiany wprowadzone w poszczególnych projektach branżowych wpływają na plan zagospodarowania terenu oraz na wytyczne realizacji inwestycji.

Projekt robót ziemnych jako składnik planu zagospodarowania terenu jest więc szczególnie podatny na wszelkiego rodzaju zmiany, dokonywane na wyższych poziomach podejmowania decyzji projektowych. Zmienność sytuacji zarówno w zakresie prac projektowych, jak i budowlanych narzuca sposób podejścia do problematyki robót ziemnych.

Należy przede wszystkim stwierdzić, że projekt robót ziemnych nie stanowi opracowania jednofazowego, a jest wykonywany etapami. Wielkość i koszty robót, obliczone w pierwszym etapie sposobami przybliżonymi, nie powinny być w zasadzie przekraczane w całym późniejszym procesie projektowym. Obliczenia w dalszych etapach polegają na uściśleniu bilansu robót na podstawie ustalonych w planie zagospodarowania poziomów płaszczyzn niwelacyjnych. Również i te obliczenia mają charakter przybliżony, gdyż oparte są najczęściej na tych samych podkładach mapowych, które były podstawą obliczeń w pierwszym etapie, z tą jedynie różnicą, że zwiększa się liczba punktów przyjmowanych do obliczeń. Znajomość ogólnego bilansu robót oraz rozmieszczenie wykopów i nasypów w planie zagospodarowania pozwala na wyodrębnienie pewnych obszarów (tarasów), których zniwelowanie jest niezbędne w pierwszej kolejności. Dla wydzielonej części wykonuje się natychmiast projekt techniczny robót ziemnych, stwarzając w ten sposób front robót dla wykonawcy oraz ograniczenia dla dalszych prac projektowych, gdyż rzędne wydzielonych płasz-

czyzn z chwilą rozpoczęcia robót przyjmuje się jako stałe. Od momentu przekazania wykonawcy pierwszego projektu robót ziemnych, dwa główne czynniki stymulują dalszy przebieg prac związanych z projektowaniem robót ziemnych:

- rzeczywiste tempo wykonawstwa robót ziemnych na placu budowy,
- częstość i zakres zmian wprowadzanych w różnych opracowaniach projektowych, które mają wpływ na wielkość i koszty robót (zmiany kształtu i rzędnych tarasów).

Na tym etapie prac, w stosunkowo krótkich, bo często kilkudniowych odstępach czasu, trzeba wykonać obliczenia wielkości robót ziemnych dla całego zakładu, przy czym, z uwagi na zaawansowanie prac projektów branżowych, żąda się obliczeń odpowiednio dokładnych, a jednocześnie uwzględniających warunek minimalizacji kosztów robót.

Podstawą obliczeń są odpowiednio dokładne dane geodezyjne (na ogół wystarcza mapa sytuacyjno-wysokościowa w skali 1 : 1000) oraz inne dane obejmujące m.in.:

- rzędne tarasów przyjętych z różnych względów jako stałe,
- współrzędne płaskie granic tarasów,
- ewentualne pochylenia tarasów,
- dane geologiczne.

Zakres obliczeń dla potrzeb wariantowania opracowań projektowych jest różny od obliczeń niezbędnych dla projektu technicznego i obejmuje jedynie obliczenia wielkości bilansowych robót ziemnych (kubatura i koszty), z uwzględnieniem objętości:

- warstwy humusu, którą zdejmuje się z całej powierzchni projektowanego zakładu,
- warstwy gruntu niezbędnej dla ostatecznego ukształtowania powierzchni terenu (mikroniwelacja),
- naddatków gruntu dla wyrównania osiadań nasypów,
- fundamentów większych obiektów zlokalizowanych na terenie nasypowym,
- skarp zewnętrznych itp.

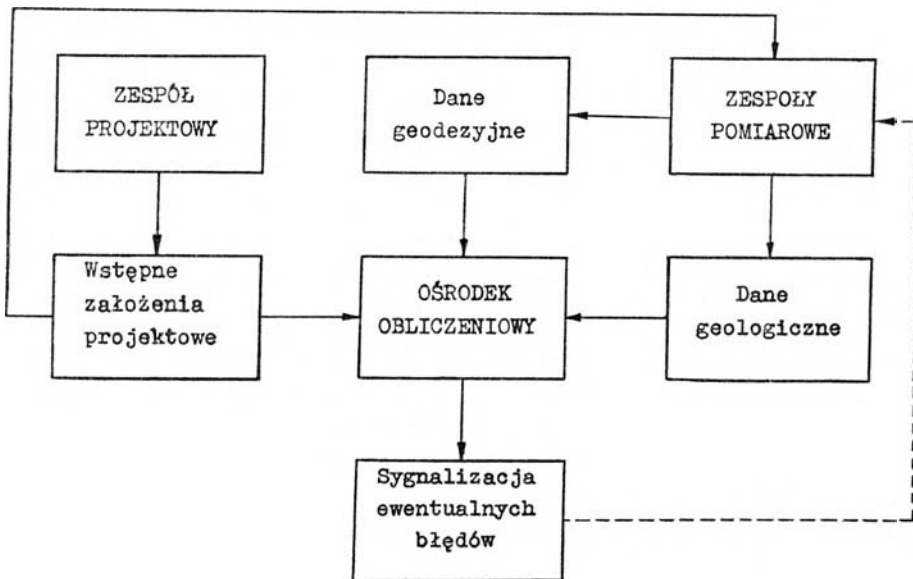
W projekcie technicznym dla potrzeb wykonawcy robót podaje się rozmieszczenie mas w siatce kwadratów o bokach wynoszących najczęściej 50 m, a ponadto warunki techniczne wykonania robót, obejmujące m.in.:

- sposoby kształtowania nasypów w zależności od kategorii i rodzaju gruntu,
- żądany stopień zagęszczenia gruntu,
- kolejność robót,
- kierunki i fazy przemieszczania mas,
- sposoby odwodnienia powierzchniowego i odprowadzenia wód gruntowych,

- sposoby prowadzenia robót w ziemi,
- rodzaj, ilość i charakterystykę sprzętu technicznego,
- terminy i koszty robót,
- wymaganą dokładność wykonania robót.

W tak trudnej sytuacji niezbędne staje się stosowanie nowoczesnych metod projektowania, wykorzystujących elektroniczną technikę obliczeniową.

Biuro Projektów Przemysłu Hutniczego BIPROHUT, uwzględniając pilne potrzeby wynikające z podjęcia decyzji budowy huty KATOWICE, zleciło Instytutowi Geodezji i Kartografii opracowanie systemu obliczania



Rys. 2. Etap 1. Utworzenie modelu numerycznego

i optymalizacji robót ziemnych na obszarze projektowanego zakładu przemysłowego. Zgodnie z tym zleceniem Zakład Informatyki Geodezyjnej i Kartograficznej Instytutu, współpracując ściśle z BIPROHUTEM, opracował odpowiednie metody i programy tworzące ten system oraz zastosował je praktycznie w trakcie projektowania huty KATOWICE¹.

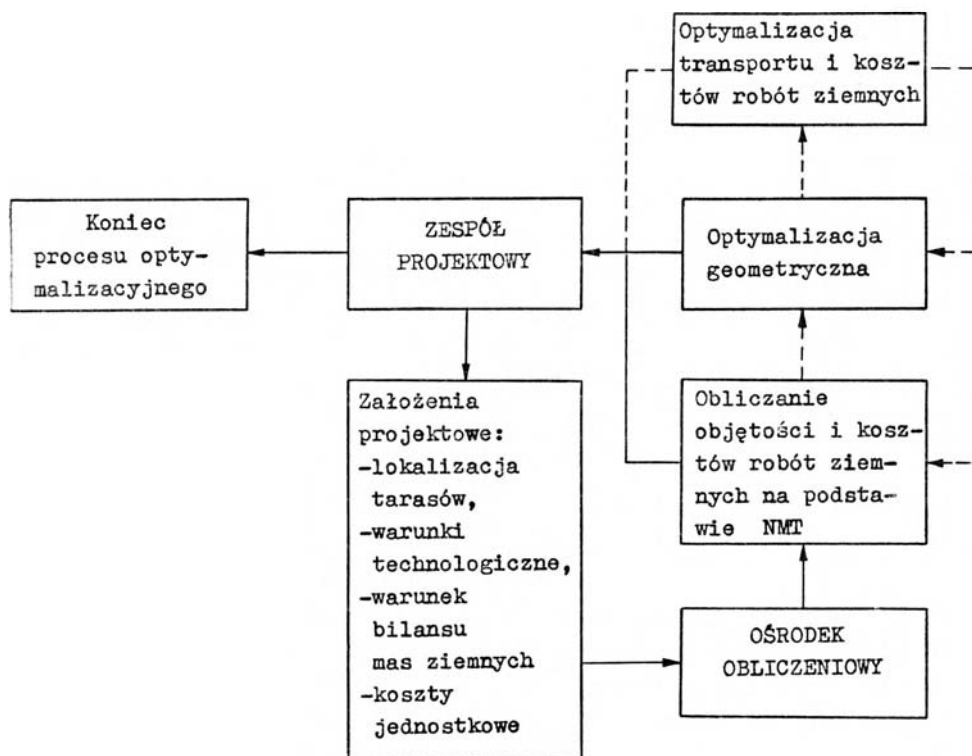
Technologia projektowania przy użyciu tego systemu wykorzystuje numeryczny model terenu i obejmuje 3 etapy.

¹ Prace naukowo-badawcze i wdrożeniowe w Instytucie wykonane zostały przez siedmioosobowy zespół pracowników Zakładu Informatyki Geodezyjnej i Kartograficznej pod kierunkiem doc. dra J. Gaździckiego. Ze strony BIPROHUTU prace te były prowadzone przez mgra inż. J. Sliwkę.

W pierwszym etapie tworzony jest numeryczny model terenu na obszarze projektowanego zakładu. Model ten może być uzyskiwany na podstawie wyników pomiarów bezpośrednich (tachimetria, niwelacja) lub też na podstawie digitalizacji zdjęć lotniczych i map, zależnie od żądanej dokładności i istniejących możliwości technicznych. Obliczenia wysokości dokonuje się przez interpolację liniową, nie stawiając żadnych formalnych ograniczeń co do wzajemnego położenia punktów modelu. Proces tworzenia modelu numerycznego przedstawiony jest na rysunku 2.

W drugim etapie następuje wielokrotne obliczanie i optymalizowanie objętości i kosztów robót ziemnych dla poszczególnych wariantów projektowych. Warianty obliczone i zoptymalizowane w ośrodku obliczeniowym są podstawą podejmowania przez projektantów decyzji określających nowe założenia projektowe, przekazywane bezpośrednio do ośrodka (rys. 3).

Obliczenie objętości i kosztów robót ziemnych dokonywane jest na podstawie numerycznego modelu terenu.



Rys. 3. Etap 2. Obliczenie i optymalizacja objętości i kosztów robót ziemnych

Zależnie od stopnia szczegółowości i zakresu dostępnych danych projektowych oraz zależnie od zaawansowania procesu optymalizacyjnego stosuje się:

- 1) optymalizację geometryczną według metody minimalizacji sumy objętości nasypów i wykopów lub też według metody zmiennych wag,
- 2) optymalizację transportu i kosztów robót ziemnych.

Do rozwiązania zadania transportowego zastosowano algorytm „stepping stone”, zaś do minimalizacji sumy objętości nasypów i wykopów — algorytm „direct search” Rosenbrocka.

Etap trzeci jest etapem, w którym wykonuje się numeryczną dokumentację projektu technicznego. Oblicza się profile terenowe oraz objętości nasypów i wykopów w kwadratach o zadanych bokach, np. 50 m.

Obliczenia wykonuje się przy użyciu systemu programów opracowanych dla komputera ODRA 1204 z pamięcią bębnową oraz częściowo — dla maszyny GEO 2.

Opisy stosowanych metod i algorytmów zawarte są w artykułach [1] i [2], zamieszczonych w niniejszym zeszycie „Prac IGiK”.

Na uwagę zasługuje przebieg prac wdrożeniowych, dokonanych na obiekcie huta KATOWICE, obejmującym obszar około 700 hektarów. Prace badawcze w Instytucie zostały rozpoczęte w dniu 24 stycznia 1972 roku, po uzyskaniu zlecenia z BIPROHUTU, uzasadnionego koniecznością zastosowania nowych metod i technologii, które umożliwiłyby dotrzymanie harmonogramu prac budowlanych oraz zmniejszenie kosztów robót ziemnych, bardzo wysokich na tym obiekcie ze względu na zróżnicowaną rzeźbę terenu. Natychmiast po otrzymaniu w dniu 19 czerwca 1972 r. pierwszych założeń projektowych, wykorzystując otrzymane uprzednio współrzędne 23 000 punktów tachimetrycznych numerycznego modelu terenu, Zakład Informatyki Geodezyjnej i Kartograficznej podjął prace wdrożeniowe. Ogółem w okresie od 22 czerwca do 22 września 1972 roku wykonano opracowania numeryczne 14 wariantów projektowych, utrzymując stałą łączność telexową i telefoniczną między BIPROHUTEM i IGiK. Cztery z tych wariantów obejmowały obliczenia dla potrzeb projektów technicznych.

Pod koniec roku 1972 otrzymano dane geologiczne, co umożliwiło dodatkowe wykonanie dla celów studialnych wariantu optymalizacji transportu i kosztów robót ziemnych. Obecnie prowadzone są prace badawcze mające na celu ocenę tachimetrycznych i fotogrametrycznych modeli numerycznych, głównie pod kątem widzenia uzyskiwanych dokładności obliczania objętości mas ziemnych.

Opracowany system obliczeń i optymalizacji objętości i kosztów robót ziemnych umożliwił uzyskanie konkretnych efektów techniczno-ekonomicznych. Skrócono czas prac projektowych na skutek:

— zastąpienia pracy ludzkiej pracą komputera,
— wykonywania obliczeń projektowych w czasie, gdy prace związane ze sporządzeniem map były jeszcze w toku; tylko z tego powodu przyspieszono prace projektowe o 4 miesiące.

Oprócz tego zmniejszono koszt prac projektowych oraz koszty robót ziemnych. W skomplikowanej sytuacji projektowej, określonej warunkami terenowymi oraz ograniczeniami typu technologicznego i projektowego, uzyskiwano dla poszczególnych wariantów zmniejszenie kosztów robót ziemnych o 10÷20 milionów złotych.

System ten obejmuje zakres rzeczowy projektu niwelowania terenu. Brak dostatecznych danych geologicznych, a zwłaszcza hydrogeologicznych, nie pozwolił na uwzględnienie w programach obliczeń warunków i ograniczeń wynikających z określonych sposobów kształtowania nasypów, zagęszczania gruntów itp. Z uwagi na równoczesność i zależność zdarzeń zachodzących w pracowniach projektowych i na placu budowy byłoby pożądane przeprowadzenie dalszych badań zmierzających do objęcia systemem informatycznym nie tylko procesów projektowych, ale również prac realizacyjnych.

L I T E R A T U R A

- [1] *Deryło-Stępniaak J., Kopcewicz A.*: Zastosowanie numerycznego modelu terenu do obliczania objętości i kosztów robót ziemnych. Prace IGiK.
- [2] *Pianko E.*: Optymalizacja kosztów robót ziemnych na terenie projektowanego zakładu przemysłowego. Prace IGiK.

Recenzował: dr hab. Wojciech Janusz

Rękopis złożono w Redakcji w marcu 1973 r.

ЕЖИ ГАЗЬДИЦКИ

ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ МЕСТНОСТИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Резюме

Проводимые в настоящее время и проектируемые в Польше мероприятия по капитальному строительству связаны с необходимостью выполнения дорогостоящих и продолжительных земляных работ. Поэтому необходимо применять современные методы и технологию, позволяющие оптимизировать стоимость этих работ, а также сокращать сроки проектных работ.

Институт геодезии и картографии при сотрудничестве с Проектным бюро металлургической промышленности ВІПРОНУТ разработал систему вычислений и оптимизации объёма и стоимости земляных работ, использующую цифровую модель местности. Эта система была практически применена при проектировании металлургического завода КАТОВИЦЕ.

JERZY GAŹDZICKI
JAN SLIWKA

THE PROBLEMS OF NUMERICAL MODELLING OF THE TERRAIN FOR THE PURPOSES OF INDUSTRIAL PLANTS DESIGN

Summary

Investments being now under way in Poland, or planned in future, require expensive and time-consuming earthworks. Therefore, it seems indispensable to apply modern methods, making it possible to optimize the costs of earthworks and shorten the time of designing.

In cooperation with the Designing Office of the Metallurgical Industry, ВІПРОНУТ the Institute of Geodesy and Cartography has prepared a system of calculation and optimization of the volume and cost of earthworks using digital terrain model.

This system has found practical application in the design of the KATOWICE steelworks.