

Jan BIAŁEK
Politechnika Śląska, Gliwice

III GENERACJA AUTORSKICH PROGRAMÓW KOMPUTEROWYCH DO PROGNOZOWANIA DEFORMACJI TERENU GÓRNICZEGO Z UWZGLĘDNIENIEM CZYNNIKA CZASU

Streszczenie. W niniejszym opracowaniu omówiono aktualne wyniki prac z zakresu komputeryzacji problematyki prognozowania deformacji terenu górnictwa z uwzględnieniem czynnika czasu, prowadzonych w Zakładzie Geodezji i Ochrony Terenów Górniczych Politechniki Śląskiej. Przedstawiono III generację programów komputerowych, którą cechują bardzo rozbudowane możliwości graficzne oraz łatwość generowania kolejnych map deformacji terenu górnictwa, co umożliwia szybkie wykonanie pogłębionej analizy wpływów eksploatacji górnictwa. W dalszej części artykułu opisano podstawowe własności wzorów zaimplementowanych w omawianych programach komputerowych.

THE 3RD GENERATION OF AUTHOR'S COMPUTER SOFTWARE FOR PROGNOSING MINING TERRAIN STRAINS WITH CONSIDERATION OF TIME FACTOR

Summary. In this article discussion of current results of work conducted in The Silesian University of Technology's Section of Geodesy and Mining Terrain Conservation in the subject of computerization of the problem of prognosing mining terrain deformation with consideration of the time factor has been presented. The 3rd generation of computer software has advanced graphics capabilities and easiness in generating consecutive mining terrain strains maps. These attributes make it very useful in performing quickly the deep analysis of influence of mining on terrain deformations. In the further part of this article basic attributes of equations implemented in the discussed computer software have been described.

1. Wstęp

Prace nad tworzeniem oprogramowania komputerowego służącego do symulacji deformacji terenu górnictwa oraz deformacji i naprężeń zachodzących we wnętrzu

górotworu mają na Politechnice Śląskiej długą tradycję. Zostały zapoczątkowane w latach 70. ubiegłego wieku przez Bernarda Drzęźłę, którego można uznać za światowego pioniera w tej dziedzinie. Bernard Drzęźła opracował w tym czasie algorytmy, uwzględniające przestrzenny charakter procesu deformacji i złożony kształt zrobów, adaptując do dziedziny szkody górnicze bogaty arsenał środków i pojęć z zakresu mechaniki teoretycznej i geometrii różniczkowej. Autor oprogramował najczęściej stosowane w Polsce teorie geometryczno-całkowe W. Budryka - S. Knothego i T. Kochmańskiego oraz rozwiązania własne. Swymi osiągnięciami B. Drzęźła dokonał jakościowej zmiany w zakresie problematyki prognozowania deformacji terenu górniczego [3], [9]. Programy opracowane przez B. Drzęźłę pozwalają na uzyskanie prognoz deformacji dla końcowych stanów deformacji terenu górniczego, po zakończeniu eksploatacji.

Zagadnienie numerycznego opisu rozwoju eksploatacji w czasie i wynikających stąd pośrednich stanów deformacji na podstawie równania różniczkowego S. Knothego było przedmiotem prac J. Białka [1], [2]. W latach 1978-80 opracował on działające na komputerze ODRA 1305 programy komputerowe o symbolach ED22, ED62, ED64, ED65, które pozwalały na uwzględnienie w prognozie zarówno statycznych, jak i dynamicznych wartości deformacji. Autor wprowadził pojęcie deformacji ekstremalnych w przyjętym przedziale czasu.

W wyniku dalszych prac prowadzonych po 1986 r. J. Białek opracował pakiet programów do prognozowania deformacji terenu górniczego z uwzględnieniem czynnika czasu, działający na komputerach serii IBM - PC znany pod symboliczną nazwą EDN - OPN.

Programy te są systematycznie doskonalone i rozwijane zarówno pod względem zakresu funkcjonalnego, ułatwiania ich obsługi oraz stosowanych wzorów teoretycznych i algorytmów obliczeniowych. Zdaniem autora można wyróżnić 3 generacje tych programów:

I generacja – programy RP, SP, EDN1, EDN2poc, EDN2map, OPN1 powstałe w latach 1986-92 bazujące na środowisku DOS i wykorzystujące do tworzenia grafiki program SURFER wersja 4 (DOS) – programy wykorzystywały wzory teoretyczne, pozwalające na uwzględnienie w obliczeniach obrzeża eksploatacyjnego $d < 0.15 * r$.

II generacja – programy RP, SP, EDBJ1, EDBJ2, EDN PLOT, OPN1w powstałe w latach 1995-2000 – Programy EDBJ1, EDBJ2 wykorzystują wzory podane w rozprawie habilitacyjnej autora [4], dzięki czemu dokładniej opisują profile niecek obniżeniowych ($d < 0.25 * r$), umożliwiając tworzenie warstwic wskaźników deformacji za pomocą autorskiego programu EDN PLOT. Następuje tu częściowa migracja w kierunku środowiska WINDOWS, czego przykładem jest program OPN1w tworzący opinię działu mierniczo – geologicznego

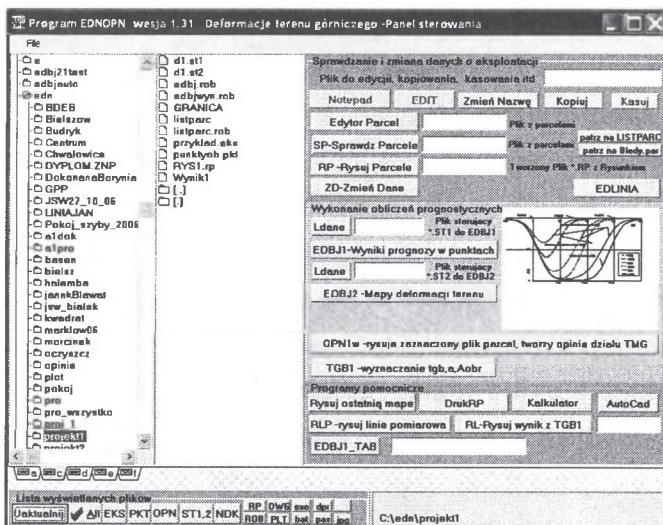
oraz wspomniany już program EDNPLOT. Również programy EDBJ1, EDBJ2 pomimo DOSowego sposobu obsługi są programami 32-bitowymi wygenerowanymi w środowisku Borland DELPHI 3.

III generacja – programy w początkowej fazie rozwoju tej generacji zaprezentowano na seminarium Wydziału Górnictwa i Geologii Politechniki Śląskiej w 2005 roku, na którym bardzo licznie byli obecni przedstawiciele środowiska mierniczych górniczych. Najbardziej widocznym wyróżnikiem tej generacji jest obecność programu sterującego EDNOPN. Z poziomu tego programu następuje uaktywnianie wszystkich pozostałych programów. Pełni on rolę środowiska, w którym prowadzone są obliczenia prognostyczne. Aktualnie pakiet programów trzeciej generacji, poza wspomnianymi już programami drugiej generacji, programem EDNOPN, zawiera również całkowicie nowy, bardzo wygodny w obsłudze okienkowy program EDBJ1w (tworzenie prognozy deformacji w formie tabularycznej) oraz okienkowy program EDBJ2rysuj wspomagający tworzenie map warstwic wybranych wskaźników deformacji wraz z automatycznie tworzonym rysunkiem zakresu eksploatacji uwzględnionej w obliczeniach prognostycznych. Programy EDBJ1w i EDBJ2rysuj ze względu na wygodę obsługi tworzą nową jakość w zakresie analizy wpływów eksploatacji górniczej.

Pierwsza i druga generacja tych programów wraz z szeregiem programów pomocniczych była prezentowana na kolejnych Dniach Miernictwa Górniczego i Ochrony Terenów Górniczych [3], [6], [7].

Szkoleniową, w pełni funkcjonalną wersję III generacji programów serii EDNOPN opisywanych poniżej można pobrać na stronie internetowej autora <http://rg6.polsl.pl/~bialek>

2. Zakres funkcjonalny programów



Rys. 2.1. Okno programu sterującego EDNOPN pełniącego rolę środowiska obliczeniowego dla programów wykonujących obliczenia prognostyczne

Fig. 2.1. Window of the EDNOPN control application that serves as computational environment for applications that perform the actual prognosis calculations

Możliwości pakietu EDNOPN najlepiej obrazuje widok pokazanego powyżej okna programu sterującego o nazwie EDNOPN.

Okno to składa się z 3 paneli. Panel lewy jest panelem katalogów. W panelu środkowym pokazane są pliki, stanowiące zawartość tego katalogu. Klawisze prawego panelu wywołują kolejne programy pakietu. W panelu tym wydzielono trzy grupy tematyczne.

2.1. Grupa programów do sprawdzania i zmiany danych o eksploatacji górniczej

Klawisze tej grupy pozwalają na pełną manipulację tekstowymi plikami opisującymi dane o eksploatacji, punktach obliczeniowych i dane sterujące. Wywołują systemowe edytory Notepad i Edit. Plik zaznaczony w panelu środkowym można edytować, kopiować i kasować. Ponadto można tu uruchomić programy SP, RP i ZD o następującym zakresie działania:

- **SP** (Sprawdź Parcele) - program czyta plik z opisem eksploatacji i wyszukuje w nim wszelkie błędy formalne. Tworzy plik o nazwie LISTPARC, w którym przepisuje dane o eksploatacji wraz z komentarzem o błędach.
- **RP** (Rysuj Parcele) - rysowanie wybranych parcel (pokładów) na ekranie. Rysowanie parcel ograniczonych zadaniem przedziałem czasu, informacji pomocniczych, rysowanie punktów obliczeniowych (obiektów terenu chronionych), rysowanie ognisk wstrząsów,

ła rysunkowego opisanego w pliku GRANICA itp. Program generuje również plik *.RP zawierający wybrane elementy rysunkowe, które można potem dołączyć do tworzonych map izolinii wybranych wskaźników deformacji. Jest to program DOSowy i w niektórych wersjach systemu WINDOWS grafika tego programu nie działa prawidłowo, dlatego już nie jest rozwijany. Jego funkcje rysunkowe oraz zadanie tworzenia plików *.RP przejął program OPN1w.

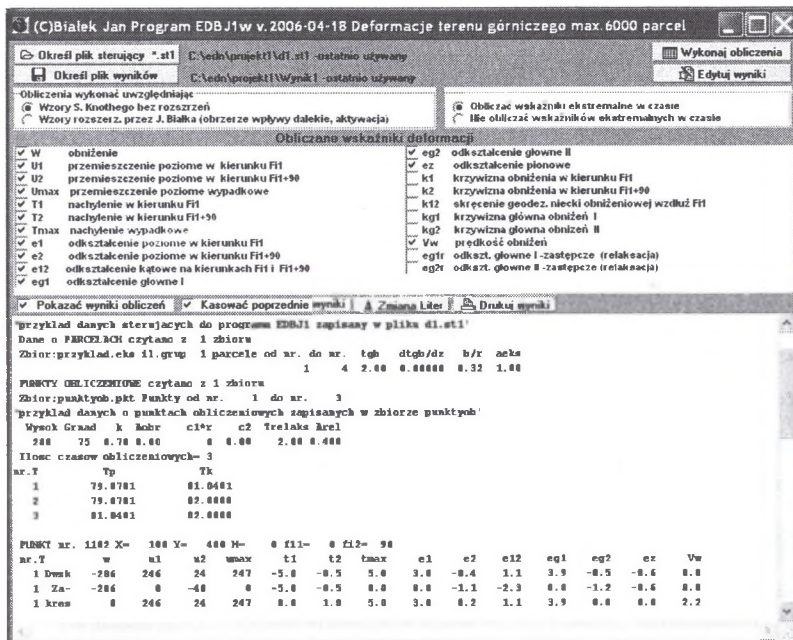
- **ZD (Zmień Dane)** - program realizujący następujące zmiany w pliku danych opisujących eksploatację:
 - transformacja współrzędnych parcel do innego prostokątnego układu współrzędnych,
 - tworzenie podzbioru z opisem eksploatacji górniczej prowadzonej w określonym przedziale czasu,
 - odrzucanie parcel niezawierających części wspólnej z obszarem dowolnie zdefiniowanego wieloboku itp.
- **EDLINIA** - tworzenie pliku zawierającego linię równoodległych punktów obliczeniowych (pomiarowych) – plik jest czytany przez programy EDBJ1, RP, OPN1w itp.

2.2. Wykonywanie obliczeń prognostycznych

Programy tej grupy tematycznej realizują właściwe obliczenia prognostyczne. Obliczenia te zawsze są poprzedzane użyciem programu LDANE.

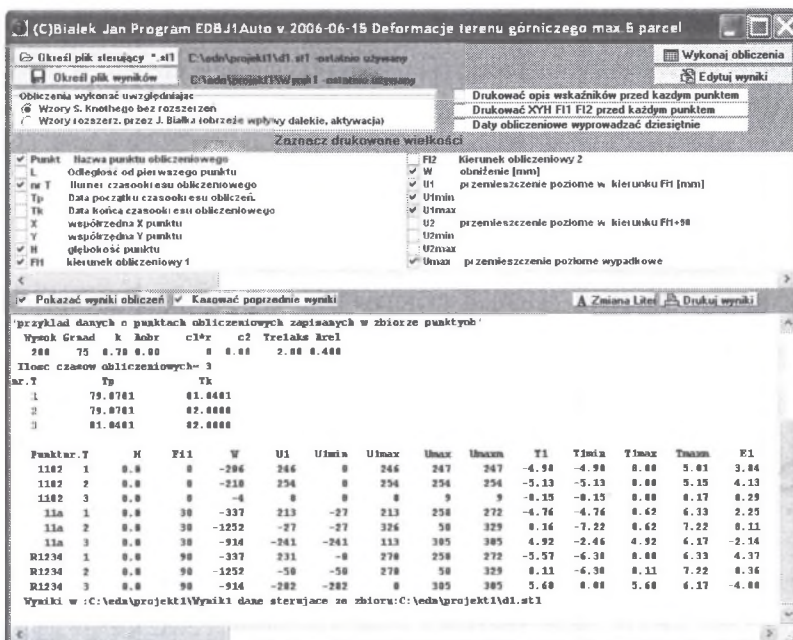
- **LDANE** program opierający się na plikach sterujących *.ST1 lub *.ST2 i pliki *.EKS (pliki z opisem eksploatacji) tworzy roboczy plik LISTPARC.ROB, wykorzystywany w dalszych obliczeniach prognostycznych.
- Klawisz **EDBJ1** uruchamia program **EDBJ1w** tworzący prognozę deformacji w formie tabelarycznej. Oblicza przyrosty wartości deformacji w dowolnie przyjętych przedziałach czasu oraz maksymalne ekstremalne w czasie wartości deformacji. Oblicza również odkształcenia zastępcze, zmniejszone wpływem czasu [5], [6], [11]. Odkształcenia zastępcze mogą być uznane za wskaźnik zmniejszających się z upływem czasu (podlegających relaksacji) naprężeń w układzie fundamenty - grunt. Program EDBJ1w uwzględnia w sposób przybliżony nachylenie pokładu do około 30°. Program oblicza również maksymalną prędkość obniżen powierzchni. Istnieją dwie wersje tego programu. Wersja EDBJ1w tworzy wydruk wyników o dotychczasowej postaci, natomiast wersja EDBJ1auto opracowana w związku z wykonywaniem prognoz deformacji w rejonie

projektowanego odcinka autostrady A1 ma większe możliwości kształtowania postaci wyników obliczeń prognostycznych.



Rys. 2.2. Okno programu EDBJ1 w – wydruk wyników w dotychczasowej postaci

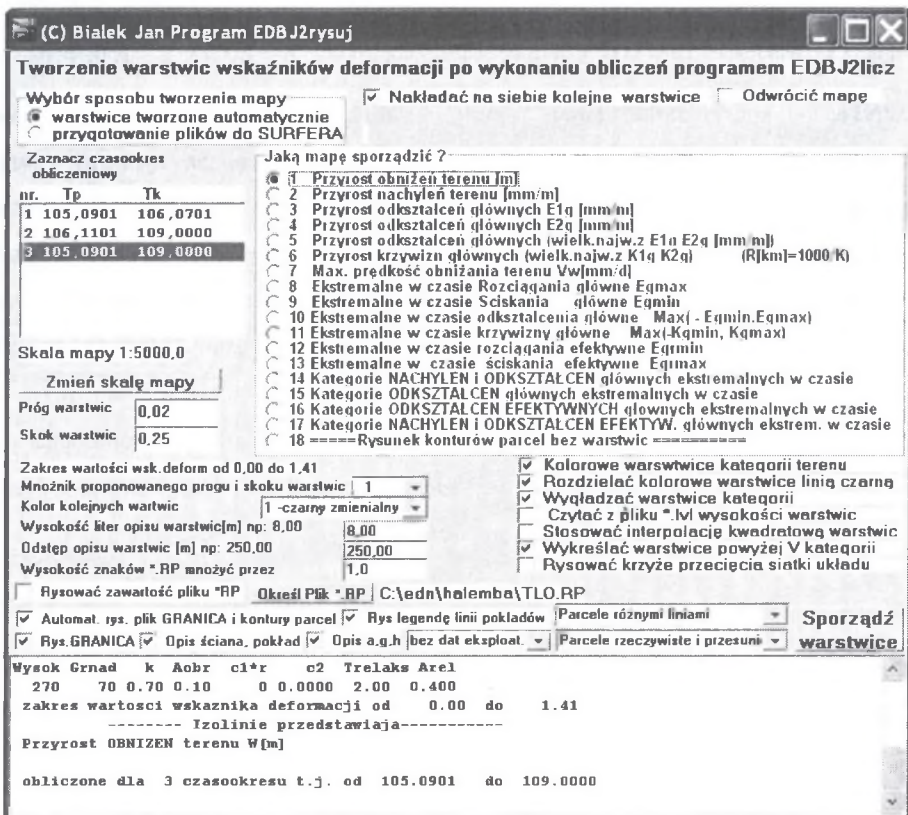
Fig. 2.2. Window of the EDBJ1 application – printout of current state results



Rys. 2.3. Okno programu EDBJ1auto – szerokie możliwości kształtowania postaci wyników obliczeń prognostycznych

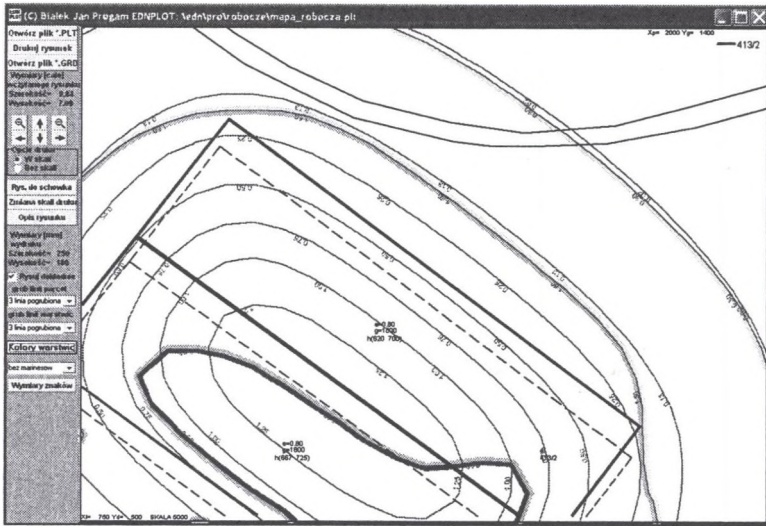
Fig. 2.3. Window of EDBJ1auto application – wide range of capabilities in shaping the form of the prognosis calculations results

- **Klawisz EDBJ2** – uruchamia ciąg obliczeń realizowanych programami **EDBJ2licz**, **EDBJ2rysuj**, **EDNPLOT** prowadząc do utworzenia map deformacji wraz z rysunkiem zakresu eksploatacji. Podstawy teoretyczne są tu takie same jak w przypadku programu EDBJ1w. Zwraca uwagę bogactwo opcji programu EDBJ2rysuj oraz niezwykła łatwość i szybkość kreowania kolejnych map deformacji, co bardzo ułatwia szczegółową analizę wpływu czasoprzestrzennego rozwoju eksploatacji górniczej na wybrany fragment terenu górniczego. Obsługa programu praktycznie sprowadza się do wyboru numeru czasookresu obliczeniowego oraz określenia, jaki wskaźnik deformacji sporządzić. Program automatycznie generuje tło rysunkowe, przedstawiające eksploatację górniczą w zakresie zgodnym z wybranym czasookresem obliczeniowym, bez potrzeby uprzedniego tworzenia pliku *.RP.



Rys. 2.4. Okno programu EDBJ2rysuj służące do wyboru opcji tworzonego rysunku warstw deformacji wraz z tłem rysunkowym

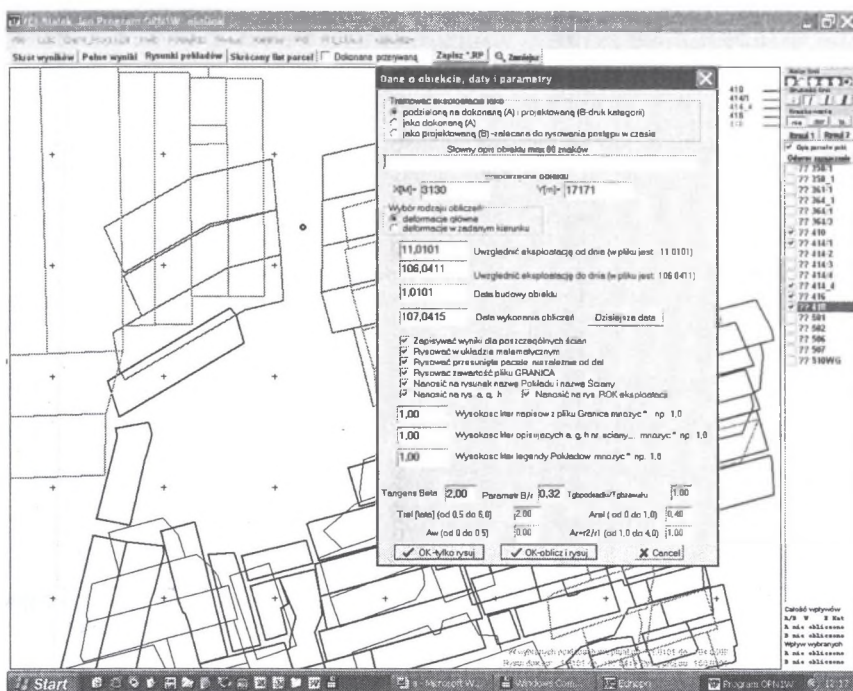
Fig. 2.4. Window of EDBJ2rysuj application – options selection of the designed drawing of contour lines of deformations along with the drawing's background



Rys. 2.5. Okno programu EDNPLOT wywoływane automatycznie z poziomu programu EDBJ2rysuj

Fig. 2.5. Window of EDNPLOT application called automatically from EDBJ2rysuj application

- **OPN1w** - sporządzanie tabeli opinii działu mierniczo-geologicznego zgodnie z wymogami Urzędów Górniczych (rys. 2.6). Dodatkowo, na życzenie, program sporządza rysunki krawędzi eksploatacji z wypisanymi parametrami górniczo-geologicznymi, uwidoczniając położenie analizowanego obiektu i wartości deformacji. Program ten był już przedstawiany. W międzyczasie dokonano w nim wielu udoskonaleń, które czynią go bardziej stabilnym oraz przyjaznym w obsłudze. Program ten przejmuje funkcje programu rysującego *.RP.
- **TGB** - program wyznaczający parametry $tg\beta$, A_{obr} , a równania (3.2) opierając się na pomiarach obniżień statycznej (końcowej) niecki obniżeniowej. Jest dostępny jedynie na terenie Zakładu Geodezji i Ochrony Terenów Górniczych.

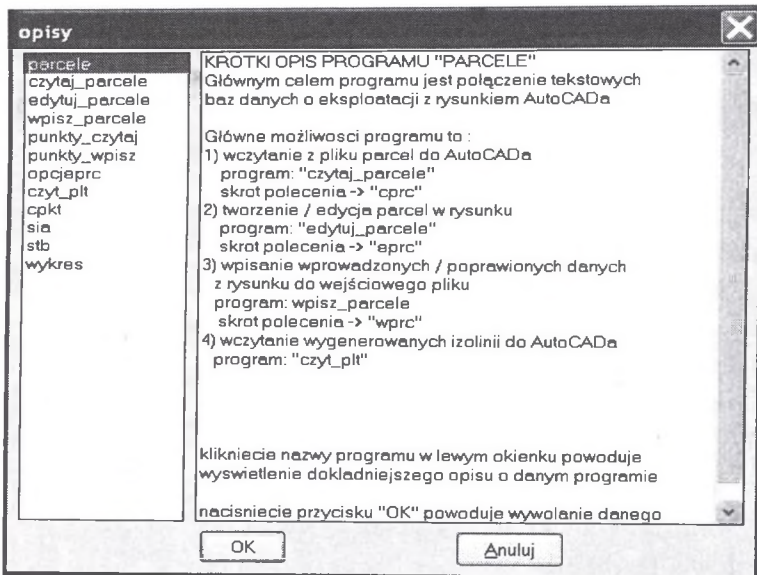


Rys. 2.6. Okno programu OPN1 w trakcie wprowadzania danych o obiekcie
Fig. 2.6. Window of OPN1 in state of inputting data describing the object

2.3. Programy pomocnicze

Programy tej grupy tematycznej wywoływane są dolną grupą klawiszy. Wśród nich na bliższe wyjaśnienie zasługuje klawisz AutoCad:

AutoCad – jeśli na komputerze jest zainstalowany program AutoCad firmy Autodesk, to naciśnięcie tego klawisza spowoduje jego wywołanie i edycję ostatnio wykonanej mapy deformacji terenu górniczego (czytany jest automatycznie tworzony plik c:\EDN\PRO\ROBOCZE\MAPA_ROBOCZA.PLT). Zadanie jest realizowane za pomocą programu GEOLISP stanowiącego nakładkę na program AutoCad, opracowaną przez M. Poniewięć [16]. W szczególności możliwe jest dołączenie warstw deformacji powierzchni terenu górniczego do numerycznej mapy powierzchni. Ponadto, GEOLISP umożliwia pozyskiwanie danych o eksploatacji górniczej z numerycznych map pokładowych.



Rys. 2.7. Grupa programów pakietu GEOLISP służących do współpracy AutoCad <> EDNOPN
 Fig. 2.7. GEOLISP software suite providing cooperation between AutoCad and EDNOPN

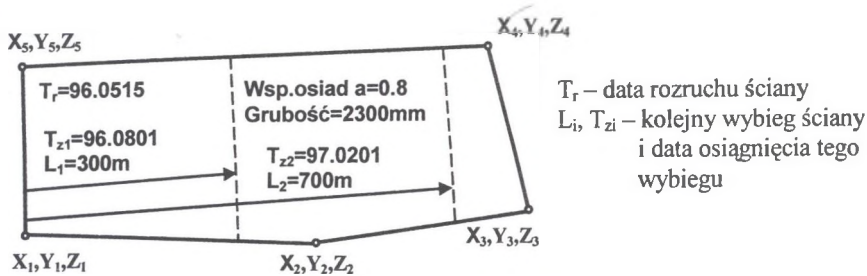
3. Podstawowe założenia teoretyczne programów EDBJ1, EDBJ2

Najistotniejszą cechą omawianych programów jest uwzględnienie rozwoju eksploatacji w czasie. Eksploatowaną parcelę (ścianę) traktuje się w opisie jako dowolny wielobok (liczba boków 3 do 27) określony przez współrzędne x , y (i ewentualnie „z”) wierzchołków wieloboku.

Rozwój eksploatacji w czasie jest opisany następująco:

- przyjmuje się, że eksploatacja rozpoczyna się od przecinki ścianowej opisanej bokiem $l-n$ (pierwszy i ostatni wierzchołek wieloboku), a ponadto, że front eksploatacji jest dalej równoległy do tego boku;
- opisujemy przebieg eksploatacji w czasie, podając datę rozpoczęcia wybierania T_r oraz jedną lub więcej par liczb określających wybieg ściany V_i i datę osiągnięcia tego wybiegu T_i .

Istotną konsekwencją zastosowanego opisu eksploatacji w czasie jest możliwość uzyskania prognoz wskaźników deformacji traktowanych jako przyrost ich wartości w dowolnie określonym przedziale czasu. Ponadto, możliwe jest uzyskanie prognozy ekstremalnych w czasie wartości deformacji, zwanych również wielkościami historycznie największymi.



Rys. 3.1. Zasady opisu zmiennej w czasie geometrii eksploatacji jednego pola ścianowego
 Fig. 3.1. Rules of description of changing in time longwall geometry during

Programy EDBJ1, EDBJ2 i OPN1w* wykonują prognozę deformacji wykorzystując czasoprzestrzenny wariant teorii S. Knothego [12] i (opcjonalnie) rozszerzenia tej teorii opracowane przez J. Białka [8]. W programach stosowany jest wzór S. Knothego o ogólnej postaci (3.1):

$$w_k(x, y, z, t, r...) = - \iint_{S(t)} \frac{ag}{r^2} \exp\left(-\pi \frac{(\xi - x)^2 + (\eta - y)^2}{r^2}\right) d\xi d\eta \quad (3.1)$$

gdzie:

$r=h(\xi, \eta, z, tg\beta)$ - promień rozproszenia wpływów wyznaczony z pomiarów lub dla powierzchni obliczony ze wzoru $r=h/tg\beta$,

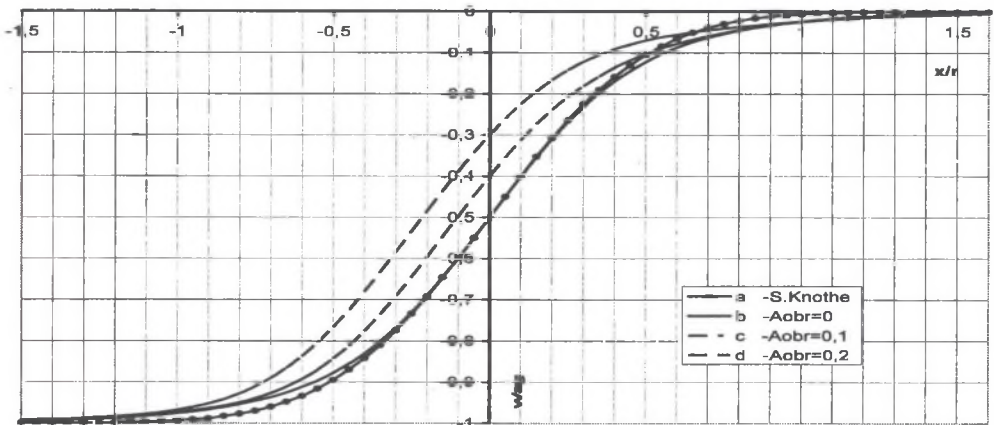
x, y - współrzędne punktu obliczeniowego,

$S(t)$ - powierzchnia wyeksploatowanego pokładu, będąca najogólniej funkcją czasu t ,

ξ, η - współrzędne elementu powierzchni dS ,

$ag=W_{max}$ - maksymalne obniżenie punktu obliczeniowego, które wystąpi, gdy powierzchnia wybrana S wokół tego punktu będzie dostatecznie duża.

Modyfikacje zaproponowane przez J. Białka pozwalają na rozszerzenie zasięgu tzw. wpływów dalekich ($x>r$) oraz uwzględniają w sposób operatorowy tzw. obrzeże eksploatacyjne. Pokazuje to rys. 3.2.



Rys. 3.2. Profile niecek obniżeniowych uzyskiwane programami komputerowymi EDBJ1 i EDBJ2:

a - profil uzyskiwany za pomocą wzoru S. Knothe (3.1),
b,c,d - profile uzyskiwane za pomocą wzoru (3.2) J. Białka dla różnych wartości parametru obrzeża A_{obr}

Fig. 3.2. Profiles of subsidence troughs created using EDBJ1 and EDBJ2 applications:
a - profile obtained with the use of S. Knothe's equation (3.1),
b,c,d - profile obtained with the use of J. Bialek's equation (3.2) for various values of A_{obr} periphery parameter

Wzór J. Białka ma postać:

$$W_k = (1 - a_w)w(r_1) + a_w w(r_2) - A_{obr} \frac{5.3333 \cdot w(r_1) \cdot [r_1 \gamma(r_1)]^2}{6.666 \cdot [0.5 \cdot w(r_1) + 0.5 \cdot w(r_2)]^2 + [r_1 \gamma(r_1)]^2} \quad (3.2)$$

gdzie:

A_{obr} , $w(r_1)$, $w(r_2)$ – obniżenia obliczone według wzoru S. Knothe (3.1) dla $r=r_1$ i $r=r_2$;

$$\gamma(r_1)^2 = \left[0.25 \cdot r_1 \cdot \left(\frac{\partial^2 w(r_1)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w(r_1)}{\partial y^2} \right) \right]^2 + \left(\frac{\partial w(r_1)}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial w(r_1)}{\partial y} \right)^2 \quad (3.3)$$

$$a_w = 0,4 - 1,25 A_{obr}; \quad r_1 = \frac{h}{\text{tg} \beta} F(A_{obr}); \quad r_2 = 2 r_1.$$

Tablica 3.1

Wartości funkcji F

A_{obr}	0	0,050	0,100	0,150	0,200	0,250	0,300
$F(A_{obr})$	0,800	0,844	0,916	1,003	1,099	1,200	1,303

We wzorze (3.2) wyróżniamy 3 człony. Człony pierwszy i drugi zawierają liniowy opis obniżen, uwzględniający binormalny rozkład wpływów [4], [8], [14], [18], co pozwala na lepszy opis wpływów dalekich. Trzeci człon, desymetryzując profil niecki względem krawędzi eksploatacyjnej, umożliwia opis obrzeża eksploatacyjnego.

W celu opisania niecki obniżeniowej oprócz znanej geometrii eksploatacji trzeba, tak jak dotychczas, znać (przyjąć lub wyznaczyć z pomiarów) wartości 3 parametrów:

- a - wartość współczynnika osiadania,
- $\operatorname{tg}\beta$ - wartość parametru występującego we wzorze S. Knothego,
- $A_{obr} \cong d/h$ parametr obrzeża.

Obniżenia $w(t)$ tzw. dynamicznej niecki obniżeniowej obliczane są na podstawie równania różniczkowego S. Knothego [13]. Stosowana jest nieco uogólniona przez J. Białka [8] postać tego równania:

$$\frac{dW(t, x, y..)}{dt} = \left(C_1 + C_2 \cdot \frac{dw(r_2, t, x, y..)}{dt} \right) \cdot [W_k(t, x, y,..) - W(t, x, y..)] \quad (3.4)$$

gdzie:

$W_k(t, x, y..)$ - obniżenie potencjalnie możliwe w chwili t , obliczane ze wzoru (3.2)

bez uwzględnienia opóźnienia czasowego ujawnianych wpływów,

$w(r_2, t, x, y..)$ - wielkość obliczona za pomocą wzoru (3.1) dla $r=r_2$,

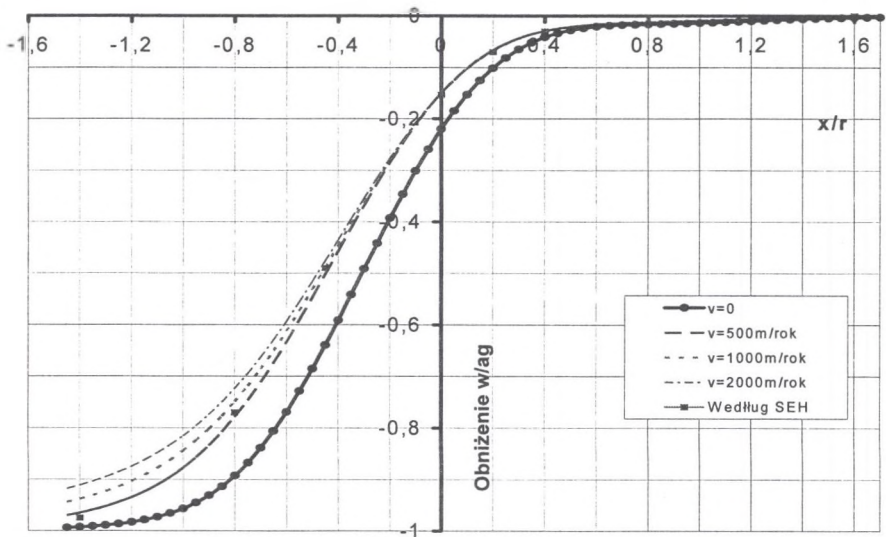
Dla średniozwięzłego górotworu proponuje się przyjmowanie następujących wartości parametrów C_1, C_2 :

$$C_1 = \frac{1400}{r} [1/\text{rok}] \quad C_2 = 6 [1/m] \quad (3.5)$$

Równanie (3.4) stanowi uogólnienie rezultatów badań nad zmiennością współczynnika prędkości obniżenia c [1/czas], występującego w równaniu S. Knothego [13].

Na rys. 3.2 pokazano niecki obniżeniowe nad czynnym frontem ścianowym, obliczone przy użyciu wzorów (3.2) i (3.4) dla różnych prędkości postępu frontu ścianowego. Pomimo znacznych różnic w postępie frontu ścianowego ($V_f = 500 \div 2000$ m/rok) profile niecek są bardzo podobne. Jest to wynik zgodny z obserwacjami terenowymi. Modyfikacja równania różniczkowego S. Knothego do postaci (3.4) przyczyniła się do radykalnego ograniczenia wpływu prędkości eksploatacji na kształt profilu niecki obniżeniowej, przy jednoczesnym zachowaniu pełnej ogólności opisu obniżenia.

Przyjmując w obliczeniach wartość C_1, C_2 ze wzoru (3.5), obliczone maksymalne nachylenie niecki obniżeniowej osiągnie wartość ok. 75-90% maksymalnego nachylenia niecki statycznej, a maksymalne odkształcenie poziome niecki dynamicznej osiągnie wartość ok. 60% wartości charakteryzujących nieckę statyczną.



Rys. 3.3. Wpływ prędkości eksploatacji na kształt niecki obniżeniowej obliczonej za pomocą wzorów (3.2) i (3.4)

Fig. 3.3. Influence of speed of exploitation on the shape of subsidence trough calculated using the equations 3.2 and 3.4

Składowe poziome U_x , U_y wektora przemieszczenia w chwili t obliczane są za S.G. Awierszymem według wzorów:

$$U_x(t) = -B \cdot \frac{\partial w(t)}{\partial x}, \quad U_y(t) = -B \cdot \frac{\partial w(t)}{\partial y} \quad (3.6)$$

gdzie:

B - współczynnik proporcjonalności.

Istnieje również wersja programów EDBJ1, EDBJ2 oraz TGB, w której zaimplementowano funkcję czasu, stanowiącą analogię do modelu utworzonego przez szeregowe połączenie dwóch reologicznych modeli Kelvina i elementu sprężystego [10].

Programy w sposób ścisły obliczają malejące w miarę upływu czasu odkształcenie zastępcze, zwane też odkształceniem efektywnym [5], [6], [11]. Problem odkształceń zastępczych występuje przy sporządzaniu prognoz długoterminowych, gdzie stosowane w praktyce różne sposoby „redukcji” wpływów w czasie przyczyniają się do ich nieporównywalności.

Malejące z upływem czasu odkształcenie zastępcze (lub inaczej odkształcenie efektywne) można uznać za miarę zmniejszających się z upływem czasu (podlegających relaksacji) naprężeń w układzie grunt – fundamenty budowli. W programach zastosowano wzory

stanowiąc analogię modelu „Standard”, obliczając odkształcenie zastępcze przy użyciu następującej zależności:

$$\varepsilon_e(t) = a_{rel} \cdot \varepsilon(t) + (1 - a_{rel}) \cdot \int_0^t \frac{d\varepsilon(\tau)}{d\tau} e^{-\frac{t-\tau}{T_{rel}}} d\tau \quad (3.7)$$

gdzie:

$\varepsilon(t)_e$ - zastępcze odkształcenie poziome w chwili t ,

$\varepsilon(t)$ - rzeczywiste odkształcenie poziome,

t - czas,

T_{rel} - czas relaksacji [rok],

a_{rel} - współczynnik o wielkości od 0 do 1, określający stosunek wielkości odkształceń zastępczych do wielkości odkształceń rzeczywistych po czasie dostatecznie długim:

$$a_{rel} = \frac{\varepsilon_e(t)}{\varepsilon(t)} \text{ dla } t \rightarrow \infty \quad (3.8)$$

Wzór (3.7) ujmuje wpływ prędkości eksploatacji na wartość odkształcenia zastępczego. Wielkość odkształcenia zastępczego w chwili t jest sumą (całką) malejących z upływem czasu przyrostów odkształceń poziomych.

Opisywane są dwa równoczesne procesy:

- proces wzrostu (zmian) odkształcenia wskutek rozwoju eksploatacji w czasie,
- proces zmniejszania się kolejnych składników sumy (całki) w miarę upływu czasu.

Można uznać, że szkodliwość deformacji powodowana przez określoną eksploatację jest jednoznacznie charakteryzowana przez maksymalne odkształcenie rzeczywiste ε_{max} oraz maksymalne (ekstremalne w czasie) odkształcenie zastępcze (efektywne) ε_{emax} .

Dla małej prędkości eksploatacji maksymalna (ekstremalna w czasie) wartość odkształcenia zastępczego ε_{emax} jest znacznie mniejsza od wartości ekstremalnego w czasie odkształcenia rzeczywistego, gdyż kolejny przyrost odkształcenia rzeczywistego jest dodawany do sumy wartości, które wskutek upływu czasu uległy zmniejszeniu. Odwrotnie, przy odpowiednio dużej prędkości eksploatacji odkształcenie zastępcze w chwili t może być bardzo bliskie odkształceniu rzeczywistemu.

Powyższy wynik odpowiada aktualnym poglądom, zgodnie z którymi wolno prowadzona eksploatacja jest mniej szkodliwa dla obiektów budowlanych.

LITERATURA

1. Białek J.: Algorytm obliczania chwilowych i czasowo ekstremalnych wskaźników deformacji przestrzennej dynamicznej niecki osiadania wraz z oprogramowaniem. Praca doktorska niepublikowana. Politechnika Śląska, Gliwice 1980.
2. Białek J.: Programy na EMC do prognozowania wskaźników dynamicznych deformacji niecek osiadania. Ochrona Terenów Górniczych nr 71, Katowice 1985.
3. Białek J., Drzęzła B.: Przegląd aktualnego stanu oprogramowania problematyki prognozowania poeksploatacyjnych deformacji górotworu. Konferencja Naukowo – Techniczna II Dni Miernictwa Górniczego i Ochrony Terenów Górniczych, Ustroń – Jaszowiec, maj 1993.
4. Białek J.: Opis nieustalonych warunków i warunków terenów górniczego z uwzględnieniem asymetrii wpływów końcowych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Górnictwo z. 194, Gliwice 1991.
5. Białek J.: Wpływ postępu frontu ścianowego na szkody w obiektach. Bezpieczeństwo pracy i ochrona środowiska w górnictwie. Miesięcznik WUG nr 7/96.
6. Białek J.: Problematyka oceny długotrwałych wpływów eksploatacji górniczej. Materiały konferencji naukowej: III Dni Miernictwa Górniczego i Ochrony Terenów Górniczych, Ustroń Zawodzie, 24-26 września 1995.
7. Białek J.: Komputerowy system prognozowania deformacji terenu górniczego – jego rozwój i zastosowanie. Konferencja naukowo – techniczna V Dni Miernictwa Górniczego i Ochrony Terenów Górniczych, Szczyrk, 29.09-1.10.1999.
8. Białek J.: Algorytmy i programy komputerowe do prognozowania deformacji terenu górniczego. Monografia. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2003.
9. Drzęzła B.: Opis programów do prognozowania deformacji górotworu pod wpływem eksploatacji górniczej - aktualny stan oprogramowania. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Górnictwo z. 165, Gliwice 1989.
10. Kowalska – Kwiatek J.: Propozycja opisu osiadania terenu górniczego w czasie. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Górnictwo z. 274, Gliwice 2006.
11. Kwiatek J.: Sumowanie wskaźników deformacji podłoża budowli przy wielokrotnych eksploatacjach górniczych. Ochrona Terenów Górniczych nr 70, Katowice 1985.
12. Knothe S.: Równanie profilu ostatecznie wykształconej niecki osiadania. Archiwum Górnictwa i Hutnictwa, t. I, z. 1, 1953.
13. Knothe S.: Wpływ czasu na kształtowanie się niecki osiadania. Archiwum Górnictwa i Hutnictwa, t. I, z. 1, 1953.
14. Niederhofer G.: Neues Verfahren für die Vorausberechnung von Bodensenkungen vornehmlich über Abbauen in steiler Lagerung. Mitteilung aus dem Markscheidewesen. Heft 2, Gladbeck 1962.
15. Pielok J.: Określenie zmienności współczynnika czasu dla opisu kształtowania się niecek obniżeniowych w górotworze na eksploatowanym pokładem. Praca doktorska, AGH, Kraków 1974.
16. Poniewiera M.: Pakiet programów wspomagających tworzenie i obsługę kopalnianych map numerycznych GEOLISP. Problemy eksploatacji górniczej pod terenami zabudowanymi. Materiały GIG 2005. VIII Dni Miernictwa Górniczego i Ochrony Terenów Górniczych, Ustroń, 15-17 czerwca 2001.
17. Popiołek E., Ostrowski J.: Próba ustalenia głównych przyczyn rozbieżności prognozowanych i obserwowanych poeksploatacyjnych wskaźników deformacji. Ochrona Terenów Górniczych nr 58, Katowice 1981.

18. Smolarski A. Z.: On some applications of linear mathematical models to the strata mechanics. Prace Komisji Nauk Technicznych PAN Oddział w Krakowie - Mechanika 3, Kraków 1967.
19. Strzałkowski P.: Wpływ warunków geologiczno-górnich na parametry asymetrycznego rozkładu deformacji powierzchni terenu. Praca doktorska, Politechnika Śląska, Gliwice 1989.
20. Zych J.: Metoda prognozowania wpływów eksploatacji górniczej na powierzchnię terenu uwzględniająca asymetryczny przebieg procesu. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Górnictwo z. 164, Gliwice 1987.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Jerzy Kwiatek