

Systemy Tworzenia Map
Obliczenie statycznych zasobów poziomu
geotermalnego z wykorzystaniem programu
ZMAP-Plus

Mgr inż. Bartosz Papiernik

Kraków 2005

I. WPROWADZENIE

Rekonstrukcja budowy wglębnej i ocena parametrów decydujących o możliwościach wykorzystania kompleksu skalnego jako potencjalnego zbiornika geotermalnego jest obecnie wykonywana z zastosowaniem specjalistycznego oprogramowania komputerowego, umożliwiającego tworzenie modeli (map) ilościowych.

W przypadku konieczności dokonania bilansu energetycznego zbiornika (basenu) geotermalnego optymalne wyniki daje zastosowanie oprogramowania opartego na regularnej siatce interpolacyjnej.

Wysoko zaawansowanym przedstawicielem tego typu software'u jest program ZMAP-Plus, umożliwiający integrację danych archiwalnych, otworowych i sejsmicznych, tworzenie modeli pochodnych w wyniku operacji arytmetycznych na siatkach, a ostatecznie umożliwiający precyzyjne policzenie zasobów.

W ramach ćwiczeń dokonamy przykładowego oszacowania wielkości statycznych zasobów geotermalnych. Zastosowana metodologia tak konstruowania modelu strukturalnego (envelope) jak i samego obliczania zasobów jest uproszczona ze względu na ograniczenia czasowe zająć. Tym niemniej, obejmuje ona wszystkie zasadnicze etapy procedury.

Jak podaje Górecki in. (Górecki i in. 1995) Zasoby statyczne energii geotermalnej oblicza się dla poszczególnych zbiorników (poziomów) stosując objętościowy model odbioru ciepła (Muffler, Cataldi 1979) wg wzoru :

$$E_{zs} = A * m [(1 - P_{ef})_s * c_s + P_{ef}_w * c_w] (T_s - T_o), J$$

A - powierzchnia zbiornika w m²

m - miąższość skał zbiornikowych, m

P_e - porowatość efektywna skał zbiornikowych

s, w - gęstość szkieletu skalnego i wody (kg/m³)

c_s, c_w - średnie ciepło właściwe szkieletu skalnego i wody, J/(kg*°C)

T_o - średnia temperatura roczna na powierzchni (°C)

T_s - temperatura w stropie zbiornika hydrotermalnego (°C)

Procedura obliczania zasobów wykorzystująca regularne siatki interpolacyjne jest nieco zmodyfikowana w stosunku do wzoru a jej podstawowe etapy uwzględnione w trakcie ćwiczeń przedstawia niżej zamieszczony schemat.

Schemat budowy modelu strukturalnego i obliczania statycznych zasobów wód geotermalnych na obszarze XY

1. Obliczenie modeli strukturalnych stropu i spągu horyzontu perspektywicznego (M_{st} i M_{sp})

2. Obliczenie miąższości horyzontu złożowego M_{hz}

$$M_{hz} = M_{sp} M_{st}$$

3. Wyznaczenie obszaru zainteresowania (AOI) dla których policzymy zasoby statyczne (L_{AOI})

4. Skonstruowanie modelu miąższości całkowitej na obszarze AOI przez zewnętrzne „Blankowanie” modelu M_{hz} linią (L_{AOI})

$$M_z = M_{hz} [BLANK(L_{AOI})]$$

5. Obliczenia modelu procentowego udziału skał potencjalnie zbiornikowych w analizowanym kompleksie ($M_{\%PC}$)

6. Wyznaczenie miąższości skał potencjalnie zbiornikowych w pułapce (M_{szb}) [w tym miejscu mamy określony parametr m z podanego wyżej wzoru na zasoby statyczne]

$$M_{szb} = M_z * M_{\%Z}$$

7. Obliczenie modelu porowatości efektywnej litofacji zbiornikowej na obszarze badań [P_{ef}]

8. Obliczenie składnika wzoru związanego z parametrami gęstościowymi i termicznymi szkieletu skalnego (M_{szk})

$$M_{szk} = (1 - P_{ef}) * c_s$$

Przyjmujemy dla uproszczenia stałe wartości r_s i c_s . W rezultacie nie jest konieczne obliczenie gridów.

Jeśli jednak wartości te różnią się znacznie w otworach rozpoznających profil zbiornika konieczne jest także dla nich policzenie modeli.

9. Obliczenie składnika wzoru związanego z parametrami gęstościowymi i termicznymi wody (M_w)

$$M_w = P_{ef} * c_w$$

Przyjmujemy dla uproszczenia stałe wartości r_w i c_w . W rezultacie nie jest konieczne obliczenie gridów.

10 Obliczenie sumarycznego modelu parametrów gęstościowo-ciepnych zbiornika geotermalnego

M_{SZ-W}

$$M_{SZ-W} = M_{szk} + M_w$$

11 Obliczenie modelu przejściowego uwzględniającego miąższość i porowatość oraz parametry gęstościowo-ciepne zbiornika geotermalnego, V_w

$$V_w = M_{szb} * M_{SZ-W}$$

12 Obliczenie zasobów statycznych E_{zS}

$$E_{zS} = V_w * (T_s - T_o)$$

$(T_s$ i $T_o)$ potraktowano dla uproszczenia jako wartości nie zmienne na całym obszarze badań a więc do wzoru wprowadzimy stałą policzoną przez ich odjęcie

W toku ćwiczeń zostanie przedstawiony najprostszy, a tym samym najmniej dokładny sposób szacowania zasobów w pułapce, wykorzystujący prostą statystykę grida.

Oprogramowanie firmy Landmark Graphics Corp. umożliwia jednak bardzo precyzyjne określanie objętości. Do tego celu przeznaczono moduły *Volumetrics* programów ZMAP-Plus oraz StratWorks.

II. DANE I SPOSÓB WYKONANIA ĆWICZENIA:

Do obliczenia zasobów ropy w hipotetycznym złożu ropy użyjecie państwo danych zapisanych w pliku typu MFD: HYDROTERM.MFD. Wyniki modelowań będziecie państwo wizualizować w pliku: STATYCZNE.ZGF, w rysunkach (*Picture*):

- | | |
|------------------------|--------------------|
| A) StropPulapk | B) MiazszosAOI |
| C) %Facji Zbiornikowej | D) MiazszoscZbiorn |
| E) Porowatosc | F) Termika |
| G) Zasobystatyczne | |

I. A. Obliczenie modelu stropu horyzontu złożowego

Strop horyzontu
perspektywicznego [M_{st}]



Dane wejściowe (*Input data*): Strop-Kc (DATA)

PRZETWARZANIE NUMERYCZNE

1. MODELOWANIE

(*Modeling -----> Point Gridding Plus*)

Proponowany algorytm - *Least Squares* Proponowana nazwa pliku wyjściowego (*GRIDA*): STROP KC (GRID)

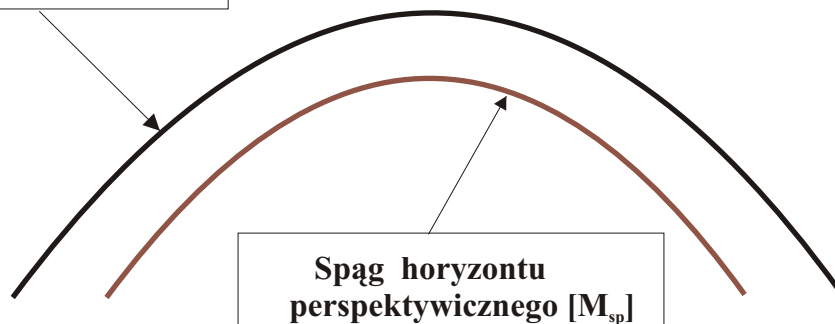
2. WIZUALIZACJA

(*Features ----> Contouring*)

Konturowania w trybie (*Contour i colorfill*) dokonać w rysunku (*PICTURE*) StropPulapki

I. B. Obliczenie modelu spągu horyzontu złożowego

Strop horyzontu
perspektywicznego [M_{st}]



Spąg horyzontu
perspektywicznego [M_{sp}]

Dane wejściowe (Input data): Strop-J3(DATA)

PRZETWARZANIE NUMERYCZNE

1. MODELOWANIE

(Modeling -----> Point Gridding Plus)

Proponowany algorytm: *Least Square* Proponowana nazwa pliku wyjściowego (GRIDA): *STROP J3 (GRID)*

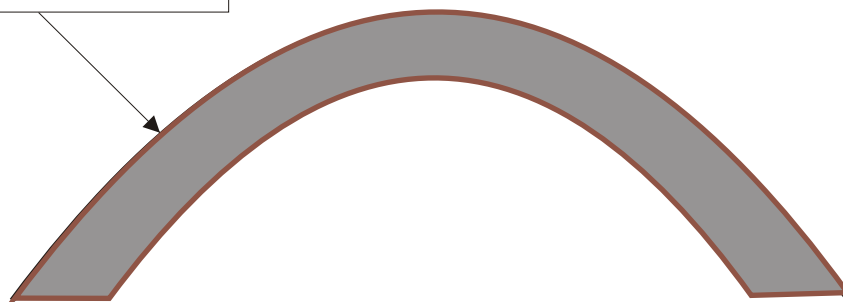
2. WIZUALIZACJA

(Features ----> Contouring)

Konturowanie w trybie (Contour)_stosując inny kolor i grubość izolinii dokonać w rysunku (PICTURE) StropPulapki

II. Obliczenie modelu miąższości horyzontu złożowego M_{hz}

Miąższość horyzontu
złożowego [M_{hz}]



Dane wejściowe (Input data): Strop-Kc , Strop J3 (GRID)

PRZETWARZANIE NUMERYCZNE

1. OPERACJE NA GRIDACH

(Operations -----> Grid operations (subtract models) - odejmowanie modeli

Proponowana nazwa pliku wyjściowego (GRIDA): *MIAŻSZOŚĆ KC (GRID)*

2. WIZUALIZACJA

(Features ----> Contouring)

Konturowania w trybie (Contours i Colorfill) dokonać w rysunku (PICTURE) MiazszoscPulapki

III. Wyznaczenie granic obszaru zainteresowania (L_{AOI})

Dane wejściowe (*Input data*): BRAK

PRZETWARZANIE NUMERYCZNE

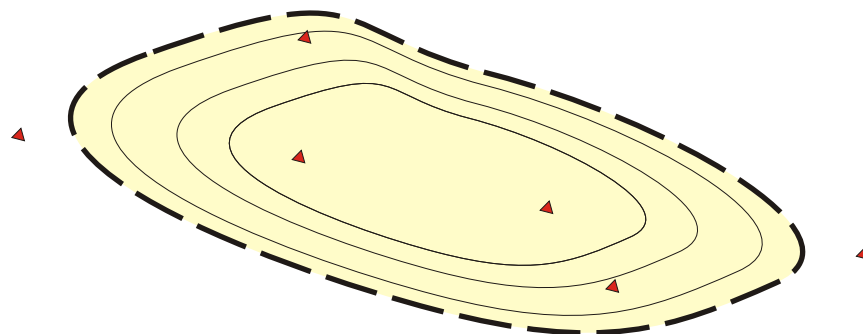
1. EDIT -----> DATA EDYTOR - --> CREATE DATA

Należy utworzyć dane typu *Polyline*. Utworzyć plik o nazwie *AOI*;

Wybrany obszar *AOI*, nie mniejszy niż 10 km² scyfrować na ekranie. Procedurę cyfrowania zamknąć poleceniem (*End And Close*) Opuścić edytor (Klawisz **OK**)

IV. Skonstruowanie modelu miąższości całkowitej na obszarze *AOI* przez zewnętrzne „Blankowanie” modelu M_{hz} linią (L_{AOI})

$$M_z = M_{hz} [\text{BLANK}(L_{AOI})]$$



1. Dane wejściowe (*Input data*): , MIAZSZOSC KC (grid), *AOI* (*vert*)

2. Przetwarzanie numeryczne: Dokonaj blankowania modelu miąższości horyzontu złożowego, tak by usunąć jego część leżącą poza konturem złoża

(Operations -----> Grid Operations----->Blank GRID)

Jako poligonu blankującego użyj pliku typu *VERT*. Zastosuj blankowanie w opcji *OUTSIDE*

Proponowana nazwa pliku wyjściowego: MIAZSZOSC-TOTAL

3. WIZUALIZACJA

Wizualizacja (*Features* -----> *Contour*)

Konturowania w trybie (*Contours i Colorfill*) dokonać w rysunku (*PICTURE*) MiazszoscAOI

V. Obliczenia modelu procentowego udziału skał potencjalnie zbiornikowych w analizowanym kompleksie ($M_{\%Z}$)

W profilu horyzontu złożowego „czyste” skały zbiornikowe w praktyce zawsze są przewarstwione wkładkami o nieco gorszych bądź nawet złych własnościach zbiornikowych. W przypadku skał klastycznych są to przewarstwienia skał ilastych lub mułowców, zaś w skałach węglanowych będą to na ogół wkładki margli, wapieni marglistych i ilów.

Aby prawidłowo oszacować zasoby pułapki złożowej należy z jej objętości wyłączyć objętość utworów zaliczanych do facji nie zbiornikowych. Można tego dokonać wprowadzając współczynnik zailenia (lub jego dopełnienie do 100 % zapiaszczenia). Dane ilościowe określające udział facji „nie zbiornikowych” można uzyskać uśredniając wyniki profilowań geofizycznych (profilowania składu litologicznego) bądź w ostateczności na podstawie oznaczeń w materiale rdzeniowym (bardzo grube przybliżenie.)

1. Dane wejściowe (Input data): PARAM-ZBIORN (DATA), kolumna Zapiaszczenie

2. Przetwarzanie numeryczne: (Modeling----- Point Gridding Plus)

A) Zastosuj algorytm *Least Squares* lub *Weighted Average* (czy są widoczne jakieś różnice?)

B) Wymiary siatki interpolacyjnej muszą być takie jak w poprzednio policzonych gridach:

PROPONOWANA NAZWA PLIKU WYJŚCIOWEGO: ZAPIASZCZENIE (Grid)

3. Wizualizacja:

(Features ----> Contouring ----- File)

Wykonać w rysunku (PICTURE): %Facji Zbiornikowej

VI. Wyznaczenie miąższości skał potencjalnie zbiornikowych w pułapce (M_{pz})

Model ten otrzymujemy w wyniku prostej operacji arytmetycznej mnożenia modeli miąższości pułapki złożowej (M_z) oraz modelu współczynnika udziału utworów zaliczanych do facji zbiornikowej ($M_{\%Z}$)

$$M_{pz} = M_z * M_{\%Z}$$

1. Dane wejściowe (Input data): ZAPIASZCZENIE (Grid) oraz MIAZSZOSC-TOTAL (Grid)

2. Przetwarzanie numeryczne: (Operations-----> Grid Operations -----> Dual Grid Operations (Multiply))

PROPONOWANA NAZWA PLIKU WYJŚCIOWEGO: MIAZSZ_ZBIORN (Grid)

3. Wizualizacja

(Features ----> Contouring)

Wykonać w rysunku (PICTURE): MiazoscZbiorn

VII. Obliczenie modelu porowatości efektywnej litofacji zbiornikowej na obszarze złoża [P_{ef}]

W obrębie potencjalnie zbiornikowych skał budujących poziom wodonośny (hydrotermalny) przestrzeń dostępna dla wody może stanowić maksymalnie 47.6% objętości skały. W praktyce w skałach klastycznych porowatość efektywna dla wód (objętość porów o tzw. średnicy ponad kapilarnej, wzajemnie komunikujących się ze sobą) rzadko przekracza 20%, a w skałach węglanowych na ogół jest jeszcze niższa.

Porowatość jest niezwykle zmiennym parametrem zbiornikowym (choć przepuszczalność jest jeszcze trudniejsza do predykcji). Jej przestrzenna zmienność jest na ogół nieprzewidywalna i zbliżona do losowej. Wykazując bardzo słabe powiązania z głębokością pograżenia kompleksu, typem litologicznym czy przepuszczalnością

Dlatego w ostatnich 10 latach do estymacji przestrzennej zmienności tego parametru stosowane są przez wielu autorów tzw. metody stochastyczne. Upraszczając polegają one na wielokrotnej losowej symulacji możliwych rozkładów porowatości na podstawie „losowania” wyników ze zbioru danych wejściowych (np. uśrednione porowatości w wierceniach) i wyborze rozwiązań najczęściej powtarzających się. Symulacje stochastyczne nie są do końca losowe, gdyż biorą pod uwagęprawdopodobieństwo wystąpienia danego wyniku, wiążąc proces losowania możliwych wyników z odległością obliczanych węzłów grida (modelu) od punktów kontrolnych, gdzie mamy „zapisane” dane wejściowe. W programie ZMAP- Plus “przedstawicielem” technik stochastycznych jest algorytm *Random Closest*.

Rozkłady porowatości bywają również w bardziej tradycyjny sposób. Tradycyjne podejście polega na traktowaniu porowatości jako parametru wykazującego ciągłość zmian. Umożliwia to zastosowanie powszechnie znanych technik interpolacji (*Least Squares*, *Weighted Average*, *Kriging*) do wykonania map porowatości efektywnej. Wydaje się, że zastosowanie tego podejścia - zwłaszcza w zbiornikach klastycznych - może być w wielu wypadkach uzasadnione.

1. Dane wejściowe (Input data): PARAM-ZBIORN (DATA), kolumna Porowatosc

2. Przetwarzanie numeryczne: Modeling----- Point Gridding Plus)

Zastosuj algorytm *Random Closest Point*

PROPONOWANA NAZWA PLIKU WYJŚCIOWEGO: **POROWATOSC (Grid)**

3. Wizualizacja

(Features ----> Contouring)

Wykonać w rysunku (PICTURE): **Porowatosc**

Konturowanie wykonać nie nakładając na mapę izol linii. Wybrać opcje *Colorfill* i *Mosaic*.

Zastosowanie opcji *Mosaic* powoduje wypełnianie poszczególnych węzłów modelu jednym kolorem bez interpolacji. Otrzymany obraz przypomina bitmapę, na której widoczne są poszczególne pixele.

VIIa. Obliczenie modelu współczynnika udziału szkieletu skalnego w objętości skały zbiornikowej

Ten współczynnik stanowi dopełnienie współczynnika porowatości do Będzie niezbędny do obliczania parametrów gęstościowo- termicznych skał w dalszym etapie prac. Procedura wymaga dwukrotnego zastosowania operacji na pojedynczym gridzie (Single Grid Opertaion)

1. Dane wejściowe (*Input data*): **POROWATOSC** (Grid)

2. Przetwarzanie numeryczne:

A) Operations----> **Grid Operations- ---> Single grid operations)**

Zastosuj operację mnożenia siatki interpolacyjnej przez stałą (**Scale**)

Wartość stałej: -1

PROPONOWANA NAZWA PLIKU WYJŚCIOWEGO: G/**POROWATOSC** (Grid)

B) Operations----> **Grid Operations- ---> Single grid operations)**

Zastosuj operację dodawania siatki interpolacyjnej do stałej (**Bias**)

Wartość stałej: 1

Jako dane wejściowe wykorzystaj plik powstały w wyniku poprzedniej operacji (G/**POROWATOSC** (Grid)

PROPONOWANA NAZWA PLIKU WYJŚCIOWEGO: **SZKIELET** (Grid)

3. Wizualizacja **BRAK**

VIII. Obliczenie składnika wzoru związanego z parametrami gęstościowymi i termicznymi szkieletu skalnego (M_{szk})

$$M_{szk} = (1 - P_{ef}) \cdot \rho_s \cdot c_s$$

1. Dane wejściowe (*Input data*): **SZKIELET** (Grid)

$$\left. \begin{array}{l} \rho_s = 2740 \text{ kg/m}^3 \\ c_s = 840 \text{ J/(kg} \cdot \text{°C)} \end{array} \right\} = \text{Stała } Rc1$$

2. Przetwarzanie numeryczne:

(Operations----> **Grid Operations- ---> Single grid operations)**

Zastosuj operację mnożenia siatki interpolacyjnej przez stałą (**Scale**)

Wartość stałej: obliczona wartość Rc1

PROPONOWANA NAZWA PLIKU WYJŚCIOWEGO: **TERM-SZKELET** (Grid)

3. Wizualizacja **BRAK**

Przyjmujemy dla uproszczenia stałe wartości ρ_s i c_s . W rezultacie nie jest konieczne obliczenie gridów. Jeśli jednak wartości te różnią się znacznie w otworach rozpoznających profil zbiornika konieczne jest także dla nich policzenie modeli.

IX. Obliczenie składnika wzoru związanego z parametrami gęstościowymi i termicznymi wody (M_w)

$$M_w = P_{ef} \cdot c_w$$

1. Dane wejściowe (*Input data*): **POROWATOSC** (Grid)

$$\left. \begin{array}{l} \rho_w = 975-1045 \text{ kg/m}^3 \\ c_w = 410 \text{ J/(kg} \cdot \text{°C)} \end{array} \right\} = \text{Stała Rc2}$$

2. Przetwarzanie numeryczne:

(Operations----> Grid Operations- ----> Single grid operations)

Zastosuj operację mnożenia siatki interpolacyjnej przez stałą (Scale)

Wartość stałej: obliczona wartość Rc2

PROPONOWANA NAZWA PLIKU WYJŚCIOWEGO: **TERM-WODA** (Grid)

3. Wizualizacja **BRAK**

X. Obliczenie sumarycznego modelu parametrów gęstościowo-ciepnych zbiornika geotermalnego M_{SZ-W}

$$M_{SZ-W} = M_{szk} + M_w$$

1. Dane wejściowe (*Input data*): **TERM-WODA** (Grid) oraz **TERM-SZKELET** (Grid)

2. Przetwarzanie numeryczne: (Operations----> Grid Operations -----> Dual Grid Operations (Add))

PROPONOWANA NAZWA PLIKU WYJŚCIOWEGO: **TERM-ALL** (Grid)

3. Wizualizacja

BRAK

XI Obliczenie modelu przejściowego uwzględniającego miąższość i porowatość oraz parametry gęstościowo-ciepne zbiornika geotermalnego, V_w

$$V_w = M_{szb} * M_{SZ-W}$$

1. Dane wejściowe (*Input data*): **TERM-ALL** (Grid) oraz **MIAZSZ_ZBIORN** (Grid)

2. Przetwarzanie numeryczne: (Operations----> Grid Operations -----> Dual Grid Operations (Multiply))

PROPONOWANA NAZWA PLIKU WYJŚCIOWEGO: **VOLUME-ALL** (Grid)

3. Wizualizacja

BRAK

XII. Obliczenie zasobów statycznych E_{zs}

$$E_{zs} = V_w * (T_s - T_o)$$

1. Dane wejściowe (*Input data*): VOLUME-ALL (Grid)

$$\left. \begin{array}{l} T_s = 41-48 \text{ } ^\circ\text{C} \\ T_o = 8 \text{ } ^\circ\text{C} \end{array} \right\} = \text{Stała } dT$$

2. Przetwarzanie numeryczne:

(Operations----> Grid Operations- ----> Single grid operations)

Zastosuj operację mnożenia siatki interpolacyjnej przez stałą (Scale)

Wartość stałej: **obliczona wartość dT**

PROPONOWANA NAZWA PLIKU WYJŚCIOWEGO: **ZASOBY -STATYCZNE**

3. Wizualizacja

(*Features ----> Contouring*)

Konturowania w trybie (*Contour i colorfill*) dokonać w rysunku (*PICTURE*) **Zasobystatyczne**

B) Nanieść na mapę zasięg projektu geotermalnego (plik : AOI)

Features ----> Lines---->File

III. Obliczenia objętościowe (Volumetrics)

Najprostszy, ale i najmniej dokładny sposób obliczenia zasobów V_w polega na przeprowadzeniu statystyki modelu -grida (*Grid Statistic*) i odczytaniu z niej następujących informacji:

X- spacing - spacjowanie grida w kierunku X [X_{sp}]

Y- spacing - spacjowanie grida w kierunku Y [Y_{sp}]

Number of Z value nodes - liczba węzłów grida, w których obliczono wartość Z [N]

Mean (średnia wartość Z dla modelu) [M]

Na podstawie tych informacji jesteśmy w stanie obliczyć zasoby statyczne obiektu

E_{zs} w obrębie wcześniej wyznaczonej linii zasięgu (L_z), stosując proste przeliczenie:

$$E_{zs} = X_{sp} * Y_{sp} * N * M$$

IV. Obliczenia do wykonania

1. Stosując opcję *Grid Statistic* proszę obliczyć:

- A) Powierzchnię obszaru AOI
- B) Średnią miąższość całkowitą
- C) Średnie zapiaszczenie utworów
- D) Średnią porowatość
- E) Zasoby statyczne