

Spis treści

1	Wprowadzenie / cel	7
2	Zastosowane oprogramowanie	9
3	Zbiory danych wyjściowych	9
3.1	Dane punktowe	9
3.2	Dane liniowe	10
3.3	Dane powierzchniowe	10
3.4	Dalsze informacje	11
4	Podstawy odwzorowania kartograficznego	16
4.1	Geologiczny model strukturalny	16
4.2	Legenda ogólna	16
4.3	Profil normalny	17
4.4	Przekroje geologiczne	18
5	Przygotowanie danych	19
5.1	Sprawdzanie wiarygodności danych z otworów wiertniczych	20
5.1.1	Sprawdzanie rzędnych wysokości otworów	20
5.1.2	Sprawdzanie współrzędnych	20
5.1.3	Badanie stratygraficzne i petrograficzne	21
5.2	Dane punktowe	21
5.2.1	Punkty dokumentacyjne	21
5.2.2	„Sztuczne” punkty opróbowania (otwory wirtualne)	28
5.3	Dane liniowe	29
5.3.1	Izolinie spągu i miąższości jednostek na podstawie map warstwicznych	29
5.3.2	Elementy tektoniczne	32
5.3.3	Przekroje geologiczne	32
5.4	Dane powierzchniowe – wyznaczanie zasięgu jednostek HGE	33
6	Modelowanie 3D	35
6.1	Siatka bazowa „mastergrid”	35
6.2	Granice modelu 3D	36
6.2.1	Opracowanie powierzchni modelu na podstawie cyfrowych modeli wysokości (numerycznych modeli terenu)	36
6.2.2	Opracowanie dolnej granicy (bazy) modelu na podstawie powierzchni górnej	37
6.2.3	Granica boczna modelu i bufor „zewnątrzny”	38

6.2.4	Bufor „wewnętrzny“	39
6.3	Kryteria konstrukcji	40
6.3.1	Kryteria ogólne	40
6.3.2	Kryterium wielkości powierzchni	40
6.3.3	Dopasowanie granic do sąsiednich modeli	41
6.3.4	Utwory antropogeniczne	43
6.3.5	Rozdzielenie osadów dolinnych pod względem wodoprzepuszczalności	44
6.4	Opracowanie modelu 3D w GoCAD	45
6.4.1	Transformacja danych podstawowych na formaty kompatybilne z GoCAD	45
6.4.2	Założenia konstrukcyjne	45
6.4.3	Interpolacja	47
6.5	Przeniesienie modelu GoCAD do formatu rastra	49
6.6	Sprawdzanie wiarygodności	51
7	Tematyka hydrogeologiczna	51
7.1	Obliczenie odległości zwierciadła wód gruntowych od powierzchni	51
7.2	Opis hydrogeologiczny jednostki HGE	56
7.3	Obszary chronione	57
8	Opracowanie map geotermicznych	58
8.1	Przewodności cieplne jednostek HGE	58
8.2	Obliczanie map geotermicznych	59
9	Udostępnianie danych cyfrowych	63
9.1	Podstawy danych	63
9.2	Dane modelu	63
9.3	Mapa geotermiczna przewodności cieplnej skały	63
9.4	Mapa odległości zwierciadła wód gruntowych od powierzchni	63
10	Literatura	63
11	Słownik zastosowanych skrótów i definicji	65

Wykaz rysunków (ilustracji)

Rysunek 1: Schemat przebiegu modelowania 3D i wykonywania map geotermicznych (jedn. geol. = jednostka geologiczna).....	8
Rysunek 2: Przykładowy przekrój geologiczny, jako podstawa modelowania 3D (przewyższenie dziesięciokrotne).....	19
Rysunek 3: Położenie i podział rzeczywistych otworów kodowanych na obszarze projektu TransGeoTherm.....	24
Rysunek 4: Przykład wykorzystania zasięgu i warstw (izolinii spągu) jednostki geologicznej HGE do modelowania 3D.....	31
Rysunek 5: Schemat tworzenia zaktualizowanego zasięgu powierzchni jednostek geologicznych.	33
Rysunek 6: Schemat tworzenia zaktualizowanego zasięgu powierzchni jednostek geologicznych.	35
Rysunek 7: Obszar projektu TransGeoTherm z obszarami buforowymi i podziałami arkuszy mapy 1 : 25 000 (wg cięcia niemieckiego).....	39
Rysunek 8: Podpodział i korelacja osadów okresu kredowego w aspekcie litologicznym i chronostratygraficznym na saksońsko-polskim obszarze granicznym z nałożonym nowym schematem jednostek HGE.....	43
Rysunek 9: Fragment modelu 3D dla trzech jednostek HGE po zachodniej stronie doliny Nysy Łużyckiej z lokalizacją wybranych otworów wiertniczych.....	48
Rysunek 10: Fragment modelu 3D: powierzchnie uskokowe na tle Numerycznego Modelu Terenu (NMT)	49
Rysunek 11: Przeniesienie właściwości geometrycznych obiektów modelu do regularnego rastra punktowego.....	50
Rysunek 12: Schemat przebiegu opracowywania siatki odległości zwierciadła wód gruntowych od powierzchni, jako podstawa obliczania map geotermicznych.....	53
Rysunek 13: Dane wejściowe i wynik końcowy obliczenia odległości zwierciadła wód gruntowych od powierzchni dla obszarów z warstwami wodonośnymi na przykładzie regionu Ödernitz.	56

Rysunek 14: Schematyczny przegląd uwarunkowanego petrograficznie przyporządkowania przewodności cieplnych na przykładzie otworu z różnie zakodowanymi warstwami skalnymi tworzącymi jednostki HGE (uwaga: termin HGK na rysunku jest tożsamy z jednostką HGE).....	60
Rysunek 15: Fragment mapy geotermicznej projektu TransGeoTherm dla obszaru modelowego Berzdorf przedstawiający średnie przewodności cieplne skały w $W/(m \cdot K)$ dla interwału głębokości 0 – 70 m.	62

Wykaz tabel

Tabela 1: Liczba otworów wykorzystanych do modelowania w projekcie TransGeoTherm.....	21
Tabela 2: Zastosowalność i transformacja podstaw danych do modelowania w GoCAD.....	45
Tabela 3: Klasyfikacja przepuszczalności luźnych skał klastycznych (BGR, 1997).....	57
Tabela 4: Wybrane przykłady atrybowania różnych typów skał występujących w otworach kodami petrograficznymi i wartościami (λ_T) oraz (λ_F) z bazy danych wychodni LfULG.	59

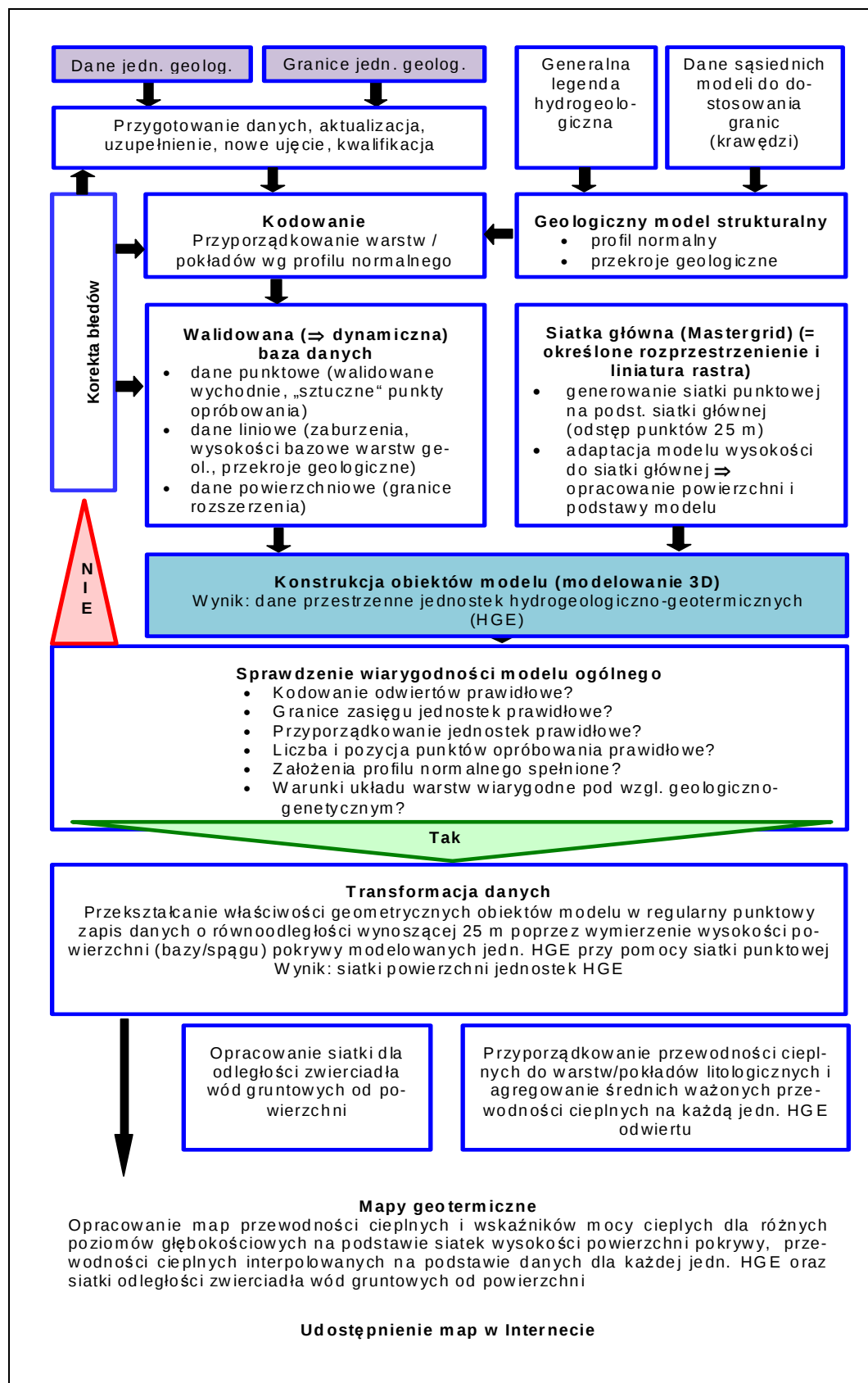
1 Wprowadzenie / cel

Prezentowany podręcznik przedstawia sposób tworzenia map geotermicznych, określanych także jako mapy potencjału geotermicznego lub mapy geotermalne, w oparciu o trójwymiarowy model geologiczny (3D), głębokość zwierciadła wód gruntowych oraz wartości przewodności cieplnej podłoża skalnego.

Podręcznik ten bazuje na pracach, jakie zostały przeprowadzone w ramach projektu *TransGeoTherm – Energia geotermalna dla rozwoju transgranicznego Regionu Nysy – projekt pilotażowy* oraz na podstawie wcześniej opracowanej saksońskiej metodyki Hydrogeologicznego Kartowania Specjalnego (HyK50). Projekt *TransGeoTherm* uzyskał wsparcie Unii Europejskiej w ramach *Programu Operacyjnego Współpracy Transgranicznej Saksonia-Polska 2007-2013* i został zrealizowany przez zespół naukowców-specjalistów w dziedzinie Nauk o Ziemi Państwowego Instytutu Geologicznego – Państwowego Instytutu Badawczego (PIG-PIB) we Wrocławiu oraz Saksońskiej Służby Geologicznej – Saksońskiego Krajowego Urzędu ds. Środowiska, Rolnictwa i Geologii (LfULG) z Freibergu. Obszar projektu o powierzchni ok. 1000 km², obejmuje 8 arkuszy map geologicznych w skali 1 : 25 000 (wg cięcia saksońskiego) na pograniczu niemiecko-polskim w rejonie miast Görlitz/Zgorzelec. Wykonane w wyniku modelowania 3D mapy geotermiczne mogą służyć jako podstawa planowania (projektowania) budowy i szacowania mocy niskotemperaturowych instalacji geotermicznych, tzw. gruntowych pomp ciepła.

Wykonanie map geotermalnych przebiegało w następujących etapach:

1. Inwentaryzacja danych archiwalnych
2. Opracowanie podstawowego modelu strukturalnego (w tym: tzw. profilu normalnego i przekrojów geologicznych)
3. Przygotowanie danych wyjściowych (dane punktowe, dane liniowe, dane powierzchniowe)
4. Modelowanie 3D geoobiektów czyli jednostek hydrogeologiczno-geotermicznych (HGE)
5. Eksport siatek powierzchni jednostek hydrogeologiczno-geotermicznych (HGE)
6. Opracowanie siatki odległości zwierciadła wód gruntowych od powierzchni terenu
7. Przyporządkowanie wartości przewodności cieplnych do zakodowanych wydzielen litologiczno-petrograficznych w otworach wiertniczych
8. Opracowanie map geotermalnych przewodności cieplnych skał dla wyznaczonego obszaru



Rysunek 1: Schemat przebiegu modelowania 3D i wykonywania map geotermicznych (jedn. geol. = jednostka geologiczna).

2 Zastosowane oprogramowanie

Przy przetwarzaniu danych zastosowano następujące oprogramowanie:

- ACCESS 2010 (Microsoft)
- ArcGIS 9.3 i 10.0: ArcView z rozszerzeniem Spatial Analyst oraz 3D-Analyst (Esri)
- CorelDraw
- Geomedia (Intergraph)
- GoCAD 2009.4 i SKUA-GoCAD 2011.3 (Paradigm)
- GeODIN 7 (Fugro Consult GmbH) (tylko w Saksonii)
- Surfer 8 (Golden Software)
- Python 2.6.x
- IE Geothermie dla ArcGIS 9.3 i 10.1 (HGC Hydro-Geo-Consult GmbH)

3 Zbiory danych wyjściowych

W modelowaniu trójwymiarowym (3D) istotne znaczenie mają niżej podane wyjściowe dane geologiczne. Lista ta nie jest kompletna i może być w razie potrzeby poszerzana o inne informacje, tym bardziej, że często występują regionalne różnice w dostępności i jakości danych. Zgromadzone materiały należy zawsze sprawdzić pod względem ich wiarygodności tj. zarówno treści merytorycznej jak i ich aktualności. Doświadczenie uczy, że często występują w nich błędy dotyczące położenia otworów wiertniczych (koordynat geograficznych), poziomu terenu (wysokości n.p.m), wiekowej stratyfikacji wydzieleni litologicznych, jak też inne odchylenia od dokumentów oryginalnych. W takim przypadku należy określić priorytety ich stosowania i standaryzacji. Dane wyjściowe muszą być przedłożone do dalszego przetwarzania w postaci cyfrowej lub zdigitalizowane.

3.1 Dane punktowe

- Dane profili otworów wiertniczych w formie tabelarycznej (informacja minimalna: nazwa, współrzędne geograficzne, rzędna wysokościowa otworu (wysokość poziomu terenu otworu), dane o wysokości napotkanych w profilu wydzieleniach litologicznych (war-

stwach skalnych / pokładów złóż itp.), dane petrograficzne i stratygraficzne, informacje o wodach podziemnych)

- Informacje o lokalizacji dawnych skażeń gleby (w Saksonii np. z katastru SALKA)
- Stany wód podziemnych na podstawie obserwacji poziomu zwierciadła wód podziemnych
- Dane punktowe wzdłuż przebiegu akwenów (wód) (np. na podstawie pomiarów wysokości za pomocą lotniczego skaningu laserowego)
- Dane punktowe dotyczące osadów (utworów) antropogenicznych (w Saksonii z bazy SALKA)

3.2 Dane liniowe

- Przekroje geologiczne
- Zaburzenia tektoniczne (uskoki)
- Profile sejsmiczne i inne profile geofizyczne
- Warstwie wysokości bazowych jednostek geologicznych
- Warstwie wysokości zwierciadła wód podziemnych

3.3 Dane powierzchniowe

- Mapy topograficzne w skali: 1 : 10 000, 1 : 25 000 oraz 1 : 50 000
- Cyfrowy / numeryczny model terenu (w Saksonii DMG25, w Polsce NMT 2003) (zalecana rozdzielczość rastra 2 – 25 m)
- Cyfrowy model użytkowania terenu DLM/ATKIS (w Saksonii)
- Mapy geologiczne o różnej skali, w zależności od dyspozycyjności i dokładności modelu; zalecane mapy w Saksonii: GK100, GK50, GK25, mapy litofacji czwarto- i trzeciorzędowych - LKQ, mapy regionalne; zalecane mapy z Polski: Szczegółowa Mapa Geologiczna Sudetów [SMGS] w skali 1:25 000, Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski [SMGP] w skali 1:50 000
- Istniejące raporty (zestawienia tabelaryczne) dotyczące zwierciadła wody podziemnej (np. siatki wysokości zwierciadła wód podziemnych lub głębokości położenia zwierciadła wód gruntowych)
- Przestrzenne odwzorowania stosunków naprężeń wód podziemnych

- Mapy hydrogeologiczne (zalecane specjalistyczne mapy w Saksonii i w Polsce w przeglądowej skali 1:50 000)
- Przestrzenne odwzorowania nagromadzeń osadów antropogenicznych
- Przestrzenne odwzorowania (plany, mapy dokumentacyjne) dawnej działalności górniczej i pozyskiwania surowców skalnych
- Mapy gleb
- Zdjęcia lotnicze
- Położenie obszaru opracowania

3.4 Dalsze informacje

- Informacje o obiektach kopalnianych (np. plany z lokalizacją szybów i sztolni), inne dane

W Polsce, podstawowe zbiory danych wyjściowych (w tym danych cyfrowych), które można użyć do opracowania map geotermalnych są zarchiwizowane w PIG-PIB w postaci szeregu tematycznych baz danych, dostępnych w większości on-line poprzez portale **Centralnej Bazy Danych Geologicznych (CBDG)** oraz **Centralnej Bazy Danych Hydrogeologicznych – Bank HYDRO**. Obie bazy dostępne są publicznie ze strony internetowej PIG-PIB (<http://www.pgi.gov.pl/pl/geologiczne-bazy-danych.html>) i wyposażone w przeglądarki geograficzne GIS, wraz z instrukcjami ich użytkowania. Aplikacje internetowe CBDG dają możliwość zaawansowanego wyszukiwania danych zarówno tekstowych jak i przestrzennych (GIS) oraz ich przeglądania. Zasady udostępniania regulują odpowiednie przepisy prawne. Wyczerpująca informacja na ten temat, wraz podaniem ścieżki formalnej procedury wglądu i udostępniania danych jest również dostępna na portalu CBDG i Banku Hydro. Większy zakres dostępu do informacji zgromadzonych w bazach danych PIG-PIB odbywa się za pomocą sieci Intranet, przeznaczonej tylko do użytku osób zatrudnionych w PIG-PIB lub innych osób za specjalnym zezwoleniem.

Centralna Baza Danych Geologicznych zawiera szereg podsystemów, spośród których do opracowania map geotermalnych najważniejsze są: **Otworki wiertnicze, Opracowania archiwalne, Geofizyka i Złoża kopalin,**

Podsystem „**Otworki wiertnicze**”, zawiera dane pochodzące z otworów wiertniczych, w tym także informacje o wykonanych w nich badaniach geofizycznych. Zasadnicze znaczenie ma-

ją podane tam - na dzień dzisiejszy tylko dla wybranych, głębszych otworów - szczegółowe informacje o profilach stratygraficznych, litologicznych, badaniach geofizycznych i zachowanych rdzeniach wiertniczych. Dla części otworów przeglądarka umożliwia wyświetlenie profilu w graficznej formie, który prezentuje wybrane przez użytkownika dane uzyskane z otworu wiertniczego. (uwaga: regulacje prawne nie zezwalają na publiczny, internetowy wgląd do niektórych danych pochodzących z otworów wiertniczych).

Uzyskane z podsystemu „Otwory wiertnicze” dane uporządkowane są wg ściśle zdefiniowanej struktury. Dane te można importować do bazy danych otworowych tworzonych na potrzeby opracowania mapy geotermalnej w postaci arkusza kalkulacyjnego. Dalsze przetwarzanie, modyfikacja i dodawanie kolejnych danych w postaci rekordów musi odbywać się w taki sposób aby po zakończeniu prac dane mogły być wyeksportowane do CBDG.

Podsystem **„Opracowania archiwalne”** zawiera dane katalogowe archiwalnych opracowań geologicznych (dokumentacji). Umożliwia on dostęp do rejestru dokumentacji geologicznych zgromadzonych w Narodowym Archiwum Geologicznym (NAG) w Warszawie i jego filiach w oddziałach regionalnych PIG-PIB, a także w innych archiwach w kraju. Dzięki informacjom zawartym w podsystemie można uzyskać wiedzę o wykonanych na danym terenie różnego typu dokumentacjach geologicznych, hydrogeologicznych, geofizycznych, złożowych, geotechnicznych i innych. W dokumentacjach tych mogą znajdować się dane o otworach wiertniczych, których nie ujęto do tej pory w CBDG i Banku Hydro, oraz przekroje geologiczne, które mogą zostać wykorzystane na potrzeby opracowania map geotermalnych.

Udostępnienie treści zasobów archiwalnych (tj. tekstu, załączników graficznych danej dokumentacji) na dzień dzisiejszy nie jest możliwe w postaci on-line. Dostęp do wybranych dokumentacji i zawartych w nich ich szczegółowych danych regulują odpowiednie przepisy, dostępne także na portalu CBDG.

Podsystem **„Geofizyka”**, zawiera dane o wykonanych badaniach geofizycznych z podziałem dokumentacji źródłowych na opracowania: geofizyczne, grawimetryczne, magnetyczne, radiometryczne, sejsmiczne i spektrometryczne.

Właściwe warstwy informacyjne przeglądarki geograficznej podsystemu „Geofizyka” pozwalają uzyskać lokalizację obszarów dla których wykonano dokumentacje geofizyczne jak również liniową lub punktową lokalizację samych pomiarów geofizycznych ujętych w szereg warstw tematycznych. Dla potrzeb opracowania map geotermalnych zaleca się uzyskanie zezwoleń na udostępnienie dokumentacji, w których umieszczono przekroje geofizyczne ze zinter-

pretowaną budową geologiczną, lub innych danych, które po przetworzeniu umożliwiłyby konstrukcje takich przekrojów.

Podsystem „**Złoża kopalin**”, to specjalistyczna aplikacja do wyszukiwania informacji o złożach umieszczonych w działającym na Geoportalu CBDG systemie MIDAS. Przy użyciu przeglądarki geograficznej CBDG, dostępne są trzy warstwy informacyjne: złoża, obszary górnicze, i tereny górnicze. Powyższe informacje pozwalają na ukierunkowanie poszukiwań dokumentacji zawierających zazwyczaj dużą ilość otworów wiertniczych i przekrojów geologicznych, na których oparto obliczenia dotyczące zasobności złóż. Tym samym dokumentacje te stanowią dobre źródło informacji potrzebnych do opracowania map geotermalnych.

Centralna Baza Danych Hydrogeologicznych – Bank HYDRO gromadzi dane dokumentacyjne o odwiertach hydrogeologicznych, ujęciach i źródłach wód podziemnych zwykłych, mineralnych i termalnych z całego obszaru Polski. Zakres informacji przechowywanych w bazie danych obejmuje: lokalizację obiektu hydrogeologicznego (odwiertu, źródła), pomiarowe i obliczeniowe dane hydrogeologiczne, podstawowe dane wiertnicze i litostratygraficzne oraz dane fizykochemiczne próbek wód podziemnych. Bank HYDRO zawiera dane o ponad 140 000 obiektów hydrogeologicznych.

Na potrzeby opracowania map geotermalnych istotny jest przegląd i zebranie z Banku HYDRO danych o profilach otworów wiertniczych oraz lokalizacji obszarów ochrony wód i miejsc występowania wód podziemnych leczniczych i mineralnych. Dane te mają znaczenie przy określaniu terenów, dla których istnieją zakazy lub ograniczenia przy drążeniu otworów wiertniczych w celu wykorzystania ciepła ziemi.

PIG-PIB oprócz dwóch podstawowych baz danych tj. CBDG i CBGH-Bank Hydro prowadzi również **bazę danych atlasów geologiczno-inżynierskich aglomeracji miejskich**. Bazy te zawierają dane z archiwalnych kart otworów badawczych oraz otworów i sondowań wykonanych podczas realizacji tych atlasów. Profile otworów, oraz wykonane na ich podstawie przekroje geologiczno-inżynierskie w skali 1:5 000 / 1:500, należy wykorzystać do opracowania map geotermalnych.

Jeszcze inną bazą danych PIG-PIB pomocną przy opracowaniu map geotermalnych jest ogólnokrajowy **System Osłony Przeciwsuwiskowej (SOPO) oraz baza danych „Jaskinie Polski”**. Podstawowym celem systemu SOPO jest rozpoznanie, udokumentowanie i zaznaczenie na mapie w skali 1 : 10 000 wszystkich osuwisk oraz terenów potencjalnie zagrożonych ruchami masowymi w Polsce. Baza „Jaskinie Polski” pozwala na zlokalizowania jaskiń, stano-

wiących naturalnych pustki w podłożu skalnym. Zarówno obszary o rozpoznanym lub potencjalnym zagrożeniu ruchami masowymi, jak i te pod którymi występują jaskinie należą do miejsc, które należy oznaczyć na mapach geotermalnych jako obszary nie nadające się do budowy jakichkolwiek instalacji wykorzystujących ciepło ziemi.

W Polsce, najważniejsze przy kartowaniu potencjału geotermicznego dane powierzchniowe stanowią seryjne lub tematyczne mapy geologiczne o skali 1:50 000 i większej.

Podstawową mapą geologiczną dla całego obszaru kraju jest **Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski w skali 1 : 50 000 (SMGP)** obejmująca łącznie 1069 arkuszy – każdy o powierzchni ok. 300 km². Oparte na tym samym podziale arkuszowych są mapy pochodne w tej samej skali: **Mapa Hydrogeologiczna Polski (MHP)**, **Mapa Geologiczno-Gospodarcza Polski (MGGP)** i **Mapa Geośrodowiskowa Polski (MGP)**. Głównym wykonawcą, koordynatorem i wydawcą tych map jest Państwowy Instytut Geologiczny - Państwowy Instytut Badawczy. Skorowidze wydanych map można przeglądać na portalach internetowych CBDG i CBDH-Banku Hydro, a same geologiczne dane przestrzenne udostępnia **Geoportal IKAR** PIG-PIB. Poszczególne arkusze SMGP, MHP, MGGP, MGP udostępniane są też jako wydruk ploterowy oraz w formie cyfrowej: rastrowej i wektorowej, natomiast „Objaśnienia..” jako wydruki oraz w formie cyfrowej. Zamówienia na mapy można składać za pośrednictwem strony internetowej PIG-PIB lub bezpośrednio do działu dystrybucji wydawnictw PIG-PIB.

Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski w skali 1 : 50 000 (SMGP) jest seryjnym opracowaniem kartograficznym z objaśnieniami tekstowymi, kompleksowo wyjaśniającymi budowę geologiczną z uwzględnieniem litologii, genezy i stratygrafii utworów oraz geomorfologii i tektoniki. Do opracowania map geotermalnych należy w szczególności wykorzystać umieszczone na mapie SMGP dane otworów wiertniczych, schemat litostratygraficzny i przekroje geologiczne. Dodatkowe informacje o wykonanych wierceniach (zwłaszcza ich profile litologiczne) zebrane są w przygotowawczych materiałach dokumentacyjnych służących do autorskiego opracowania arkuszy SMGP. Otwory te podobnie jak inne punkty dokumentacyjne na których oparto treść geologiczną poszczególnych arkuszy w przeważającej mierze wciąż nie są wprowadzone do CBDG.

Mapa Hydrogeologiczna Polski w skali 1:50 000 (MHP) przedstawia syntetyczne odwzorowanie warunków hydrogeologicznych, wskazanie głównego poziomu wodonośnego, podanie jego zasobności i dynamiki wód oraz ich jakości i zagrożeń. Na potrzeby opracowania map geotermalnych z treści MHP należy wykorzystać przede wszystkim dane o głębokości zalegania

wód podziemnych służących do rozróżnienia skał suchych i zawodnionych oraz o strefach ochrony wód, które mogą wyznaczać obszary na których istnieją ograniczenia w wykonywaniu instalacji gruntowych pomp ciepła.

Mapa Geologiczno - Gospodarcza Polski (MGGP) w skali 1:50 000 jest kartograficznym odwzorowaniem występowania kopalin w strefie przypowierzchniowej i wgłębnej oraz gospodarki złożami na tle wybranych elementów górnictwa i przetwórstwa kopalin, hydrogeologii, geologii inżynierskiej, przyrody, krajobrazu i zabytków kultury. Dla treści map geotermalnych istotne mogą być dane MGGP, które charakteryzują warunki geotechniczne podłoża oraz mogą mieć wpływ na ograniczenia w wykonywaniu instalacji gruntowych pomp ciepła (np. zagrożenia środowiska przyrodniczego związane z występowaniem złóż oraz eksploatacją i przeróbką kopalin, przyrodnicze obiekty i obszary chronione).

Mapa Geośrodowiskowa Polski (MGP), w skali 1:50 000 wykonywana od 2002 roku składa się z dwóch plansz: plansza A zawiera zaktualizowane treści MGGP, rozszerzone od 2005 r. o system NATURA 2000, a plansza B - treści dotyczące geochemii środowiska i możliwości lokalizowania składowisk odpadów zapisane w warstwie informacyjnej "Ochrona powierzchni Ziemi". Dane przedstawione na arkuszach MGP mogą pomóc w zlokalizowaniu obszarów wyłączonych lub z ograniczeniami w wykonywaniu instalacji gruntowych pomp ciepła ze względu na zanieczyszczenia gleb, stopień zagrożenia głównego użytkowego poziomu wodonośnego oraz obecnej bądź planowanej lokalizacji składowisk odpadów.

Wiele znacznie bardziej szczegółowych danych o litostratygrafii wydzieleni skalnych i lokalnej budowie geologicznej (zobrazowanej np. przez dokładne przekroje geologiczne) przedstawiają też arkusze Szczegółowej Mapy Geologicznej Sudetów w skali 1 : 25 000 (141 arkuszy) oraz Szczegółowej Mapy Geologicznej Tatr w skali 1 : 10 000 (25 arkuszy, część obecnie w opracowaniu).

Spośród innych, geologicznych map seryjnych możliwych do wykorzystania przy konstrukcji modelu geologiczno-hydrologicznego, a następnie opracowania map geotermalnych należy Mapa Geologiczna Polski w skali 1 : 200 000 wydana w dwóch wersjach: A - mapa geologiczna zakryta oraz B - mapa geologiczna odkryta, bez utworów czwartorzędowych. Mapy te mogą dostarczyć informacji o głębszej budowie geologicznej i tektonice danego rejonu. Szereg cennych informacji zawierają też **geologiczne atlasy i mapy regionalne takie jak:** Atlas Geologiczny Dolnośląskiego Zagłębia Węglowego w skali 1 : 100 000, Atlas Geologiczno-

Złożowy polskiej i czeskiej części Górnośląskiego Zagłębia Węglowego czy Mapa Geologiczna Lausitz – Jizera – Karkonosze (bez utworów kenozoicznych) w skali 1:100 000.

W zależności od skali opracowywanej mapy geotermalnej wykorzystuje się różne podkłady map topograficznych o pożądanej dokładności oraz numeryczne modele terenu (NMT). O zasobach dostępnych map topograficznych i sposobach ich udostępniania informują **centralny i regionalne (wojewódzkie) ośrodki dokumentacji geodezyjnej i kartograficznej**. W zasobach geodezyjnym i kartograficznym znajdują się materiały i zbiory danych obejmujące: bazę danych obiektów topograficznych, mapy topograficzne (m.in. w skalach: 1:10000, 1:25000, 1:50000), mapy hydrograficzne, mapy sozologiczne, ortofotomapy i inne.

4 Podstawy odwzorowania kartograficznego

4.1 Geologiczny model strukturalny

Przed rozpoczęciem modelowania należy dokonać szczegółowej analizy i określić zasadnicze założenia strukturalno-geologicznej budowy obszaru opracowania. Składa się na to zarówno ustalenie dokładnego schematu litologiczno-stratygraficznego, jak też rozpoznanie rozwoju tektonicznego, który warunkuje podział obszaru badań na oddzielone uskokami bloki. Założenia dotyczące geologicznego modelu strukturalnego przenoszone są następnie do konstruowanego w dalszym etapie badań trójwymiarowego modelu hydrogeologiczno-geotermicznego. W przypadku opracowań wykraczających poza obszar jednego kraju (jak w przypadku modelu projektu TransGeoTherm), jednostki geologiczne występujące po obu stronach granicy muszą być dokładnie skorelowane.

4.2 Legenda ogólna

Na początku prac zaleca się zebranie i opracowanie zbiorczej bazy danych (legendy ogólnej) zawierającej usystematyzowane informacje geologiczne, hydrogeologiczne i geotermiczne dla określonego obszaru badań. Baza ta powinna zawierać w formie tabelarycznej wszystkie jednostki geologiczne (wraz z podrzędnymi wydzieleniami litostratygraficznymi) istniejące na obszarze projektu. W dalszym etapie prac baza ta reguluje sposób i schemat wyróżnianych jednostek hydrogeologiczno-geotermicznych (HGE). Do każdej jednostki HGE przyporządkowywane jest określenie kodowe, którym później będą oznaczane odpowiednie odcinki profili litologicznych w otworach wiertniczych.

Baza danych zawiera także informacje dotyczące jednostek HGE jak np. wartości przewodności hydraulicznej lub przewodności cieplnej dla budujących je podrzędnych wydzieliń litologiczno-petrograficznych (np. glin, piaskowców, bazaltów itp.).

4.3 Profil normalny

Dla przyjętego obszaru projektu, z wykorzystaniem zbiorczej bazy danych, tworzony jest w formie tabelarycznej wzorcowy profil geologiczny, tzw. profil normalny (NP). W profilu tym uwidoczniła jest korelacja jednostek geologicznych przedstawionych na opracowanych dla badanego obszaru mapach geologicznych różnej skali. Zawiera on wszystkie, uporządkowane chronostratygraficznie - od najmłodszych do najstarszych - jednostki geologiczne, począwszy od powierzchni terenu, aż do założonej dla konkretnego modelu głębokości (w przypadku projektu TransGeoTherm była to głębokość 340 m). Te wyjściowe jednostki geologiczne (uwzględnione wcześniej w legendzie ogólnej (patrz 4.2) są następnie korygowane i przekształcane (niekiedy grupowane) w jednostki hydrogeologiczno-geotermiczne HGE i odpowiednio kodowane. Tak ustalony schemat jednostek stanowi podstawę dla rozpoczęcia modelowania 3D.

Profil normalny zawiera następujące informacje:

- kod jednostki HGE (w formie liczby)
- deklarowana nazwa HGE
- identyfikator (ID) jednostki geologicznej zastosowany na oryginalnej, cyfrowej mapie geologicznej
- symbol jednostki chronostratygraficznej (np. gfE2v = glaciofluwialne utwory zlodowacenia Elstery 2)
- opis tekstowy danych jednostek geologicznych wg zbioru map danego regionu
- odpowiednie informacje z innych wykorzystanych zbiorów map danego regionu
- oznaczenie kolorystyczne (jako wypełnienie komórki tabeli) luźnych skał klastycznych, warstwy wodonośnej lub warstwy wodonośnej o małej wydajności, jak również warstwy wodonośnej wody reliktovej skał zwięzłych (opcjonalnie)

Wyróżnienie jednostek HGE następuje według kryteriów chronologiczno-stratygraficznych, hydrogeologicznych, geotermicznych odpowiednio do zakładanego stopnia dokładności modelu. Należy przy tym wziąć pod uwagę istotne cechy wydzieliń geologicznych takie jak ich: geneza, struktura, petrografia czy przynależność facjalna. Poszczególne kryteria są

hierarchizowane pod względem ich zastosowania. W przypadku łączenia jednostek geologicznych należy pamiętać, aby nie dochodziło do niespójności na granicach opracowania (np. na krawędziach łączonych seryjnych arkuszy map geologicznych).

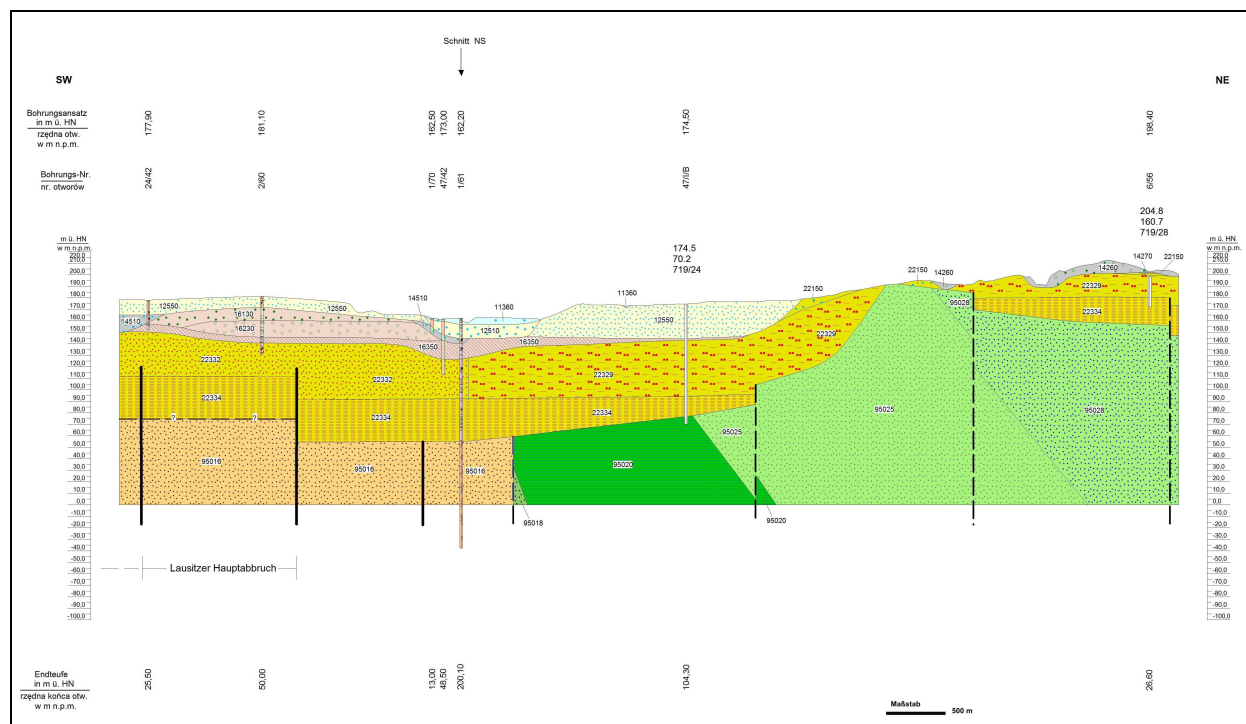
Jeżeli stan wiedzy dotyczący danych jednostek geologicznych jest niewystarczający, a ich odwzorowanie kartograficzne nie jest możliwe ze względu na niewielką skalę zmienności lub zbyt małą miąższość, należy takie jednostki odpowiednio połączyć w większe, rozpoznawalne ciała (np. w przypadku projektu *TransGeoTherm* połączeń dokonano dla jednostek paleozoicznych w Zgorzeleckich Górach Łupkowych i metamorfiku kaczawskim oraz w utworach basenów trzeciorzędowych zawierających pokłady węgla brunatnego).

4.4 Przekroje geologiczne

Jako podstawę w pracy nad konstrukcją modelu 3D zaleca się sporządzenie, **co najmniej** trzech przekrojów geologicznych dla obszaru wielkości arkusza mapy geologicznej w skali 1 : 50 000 (patrz rys.2). Pokazują one przestrzenne warunki warstwowego układu jednostek HGE i umożliwiają wczesne rozpoznanie obszarów problemowych. Przebiegi przekrojów są tak dobierane, aby ujmowały one wszystkie istotne dla modelowania jednostki geologiczne. W przypadku projektów międzynarodowych należy zapewnić merytoryczną adaptację opracowanych już pod względem geologicznym obszarów sąsiadujących i spójne połączenie transgranicznych przekrojów.

Rozdzielczość przekrojów geologicznych musi odzwierciedlać przynajmniej szczegółowość przedstawionych w profilu normalnym jednostek HGE aż do bazy (podstawy) modelu, czyli jego dolnej granicy. Przewyższenie pionowe powinno być dostosowane do danego reliefu terenu i istniejących miąższości jednostki HGE, przy zachowaniu skali poziomej rozdzielczości docelowej.

Na przekrojach projektu *TransGeoTherm*, dla regionu Nysy, przy skali poziomej wynoszącej 1 : 25 000 dla przekrojów prezentujących tylko nadkład kenozoiczny przyjęto przewyższenie wynoszące 1 : 10 (rys. 2), a dla innych przekrojów obejmujących też starsze skały głębszego podłoża skalę 1 : 5. Przekroje opracowywane są graficznie przy pomocy odpowiedniego oprogramowania (np. GeODin, CorelDraw). Przy zastosowaniu przez partnerów projektu różnych programów graficznych spojenie przekrojów możliwe jest poprzez wykonanie i wymianę palety znaków litologiczno-petrograficznych (szrafur).



Rysunek 2: Przykładowy przekrój geologiczny, jako podstawa modelowania 3D (przewyższenie dziesięciokrotne).

5 Przygotowanie danych

Każdy z partnerów projektu przeprowadza przygotowanie danych na swoim terenie, na podstawie niezbędnej do tego znajomości geologii regionu.

Dla każdej konstruowanej jednostki HGE musi być określona granica zasięgu (maksymalne rozprzestrzenienie HGE w rzucie poziomym) oraz przynależna jej spójna baza danych na podstawie danych punktowych i liniowych w celu przyszłego wyznaczenia rozkładu miąższości. Na podstawie takiego zapisu danych, aktualizowanego i kwalifikowanego według ustalonych kryteriów, możliwe jest obliczenie i ustalenie położenia przestrzennego każdego geoobjektu modelu 3D.

Jednolity, przestrzenny układ odniesienia jest warunkiem podstawowym dla korzystania z różnych danych. W przypadku projektu *TransGeoTherm* do umiejscowienia elementów bazy danych zastosowano współrzędne UTM układu odniesienia ETRS89 pas 33. W przypadku gdy oryginalne lokalizacje archiwalnych obiektów podane są w innych formatach koordynat geograficznych należy dokonać odpowiednich przeliczeń dostosowawczych na układ UTM.

5.1 Sprawdzanie wiarygodności danych z otworów wiertniczych

Sprawdzanie błędów w cyfrowych danych punktowych, reprezentowanych w większości przez otwory wiertnicze jest procesem ciągłym, powtarzającym się przez cały okres realizacji projektu. Niektóre niezgodności ujawniają się dopiero podczas analizy trójwymiarowej. Jeżeli błąd nie daje się skorygować, należy wówczas zrezygnować z wykorzystania konkretnego otworu wiertniczego.

5.1.1 Sprawdzanie rzędnych wysokości otworów

Aby uniknąć braku wiarygodności w odniesieniu do wysokościowego położenia jednostki HGE względem poziomu morza podczas modelowania 3D, niezbędne jest sprawdzenie udokumentowanych rzędnych wysokości otworów przy pomocy - będącego w dyspozycji - najbardziej aktualnego i najdokładniejszego, numerycznego modelu terenu (NMT). Doświadczenie uczy, że w przypadku dużej ilości otworów, udokumentowanych w szerokim przedziale czasu, występują liczne i niekiedy dość znaczne odchylenia w wartościach rzędnych terenu. Spowodowane są one błędami w rejestracji podczas prac polowych lub sporządzania raportów, różnicach w zastosowanych modelach wysokości, ale także na ciągłych zmianach powierzchni Ziemi. W takich przypadkach należy zdecydować o sposobie ewentualnej korekty i odpowiednim dostosowaniu danych takich otworów.

Podczas sprawdzania rzędnych wysokości otworów należy porównać podaną wartość z odpowiadającą mu wartością rastra modelu NMT. W programie ArcGIS dla modelu NMT może być zastosowana funkcja „Extract value to points“ (Spatial Analyst Tools / Extraction), dostarczająca siatkę punktów. Następnie obliczana jest różnica wysokości poziomu rzędnej otworu i najbliższego położonego punktu siatki. W przypadku różnic rzędnych większych niż 1 m i mniejszych niż -1 m wykonuje się badanie takich otworów pod kątem m.in. poprawności współrzędnych geograficznych, w szczególności w przypadkach lokalizacji w rejonach hałd poeksploatacyjnych lub wyeksploatowanych złóż kopalin stałych (np. w kamieniołomach, wyrobiskach węgla brunatnego). W przypadku różnic mniejszych od 1 m wartości wysokości zastępowane są bez dodatkowego badania przez wartości rastra NMT (patrz 6.2.1).

5.1.2 Sprawdzanie współrzędnych

Celem sprawdzenia, czy istnieją błędy w zapisie współrzędnych geograficznych lokalizacji otworów wiertniczych, najprzydatniejszym sposobem jest ich porównanie z danymi dla najbliższych, otaczających otworów. Korekta położenia takich otworów jest także możliwa poprzez

ocenę opisów położenia lub graficzną wizualizację ich lokalizacji zaznaczoną na wycinkach map geologicznych lub topograficznych w dokumentacjach archiwalnych (kartach otworów).

5.1.3 Badanie stratygraficzne i petrograficzne

Jeżeli dla danego wydzielenia litologicznego przedstawionego na karcie otworu wiertniczego występują błędy w jego klasyfikacji stratygraficznej lub w opisie litologiczno-petrograficznym, należy dane cyfrowe porównać z dokumentami oryginalnymi.

5.2 Dane punktowe

5.2.1 Punkty dokumentacyjne

W zależności od lokalnej budowy geologicznej, dla merytorycznie właściwego skonstruowania jednostek HGE modelu 3D na obszarze przykładowego arkusza mapy w skali 1 : 50 000 potrzeba minimum 4 000 punktów dokumentacyjnych, którymi mogą być otwory wiertnicze, odsłonięcia naturalne (skałki), rowy ziemne, szyby i szybiki kopalniane lub dobrze rozpoznane powierzchniowe wychodnie skał. Należy przy tym uwzględnić fakt, że zdecydowana większość punktów dokumentacyjnych lub wychodni nie penetruje (zgłębia) wszystkich wyróżnionych na mapie geologicznej jednostek. Dlatego też ich niezbędna liczba do konstrukcji modelu 3D może być wyższa. Preferuje się stosowanie większej liczby otworów - w razie ich dostępności - w stosunku do tworzenia „sztucznych” punktów opróbowania / tzw. otworów wirtualnych/.

Zasadniczo obowiązuje zasada mówiąca, że im więcej wykorzystanych otworów oddziałuje na modelowanie 3D, tym dokładniejsza może być rozdzielczość jednostek HGE użytych w tym modelu. Liczba otworów wiertniczych (z pominięciem otworów, w których zakodowano tylko „wypełnienia antropogeniczne”) wykorzystanych w projekcie *TransGeoTherm* wynosi 7.154 (patrz rys.3) Ich rozkład po obu stronach granicy jest następujący:

Tabela 1: Liczba otworów wykorzystanych do modelowania w projekcie TransGeoTherm.

Specyfikacja obszaru	Liczba otworów wiertniczych z wykorzystanymi opisanymi wydzieleniami litologicznymi
Obszar specjalny Berzdorf	2.015
Obszar po stronie saksońskiej (bez rejonu miejscowości Berzdorf)	3.874
Obszar po stronie polskiej	1.265

Powyższe zestawienie wyraźnie wskazuje, że na polskim obszarze projektu ze względu na niewielką gęstość otworów, szczególne znaczenie miało wykonanie dodatkowych, „sztucznych” punktów z zapisem przewidywanej w tym miejscu miąższości danej jednostki HGE.

Przy selekcji otworów wiertniczych konieczna jest ich wstępna ocena według poniższych kryteriów:

- Czy i ile w danej jednostce HGE wykonano wierceń?
- Które jednostki HGE penetruje dany otwór?
- Czy profil litologiczny danego wiercenia reprezentuje typową dla danej lokalizacji miąższość jednostek HGE?

Wstępnego wyboru otworów można też dokonać za pośrednictwem kryteriów „rzędna/głębokość końca otworu” oraz „szczegółowość” dokumentacji wydzielen litologicznych na profilu wiertniczym. Następnie, w zależności od tak osiągniętej gęstości danych, można dokonać ich dalszego zagęszczenia dodatkowymi otworami stosownie do zasięgu wszystkich jednostek HGE. Obszary o dużej gęstości wychodni geologicznych charakteryzuje często duża zmienność miąższości i głębokości zalegania spągu jednostek HGE. Należy tutaj określić wychodnie **reprezentatywne** oraz, w razie konieczności, dokonać zamiany wybranych wstępnie otworów.

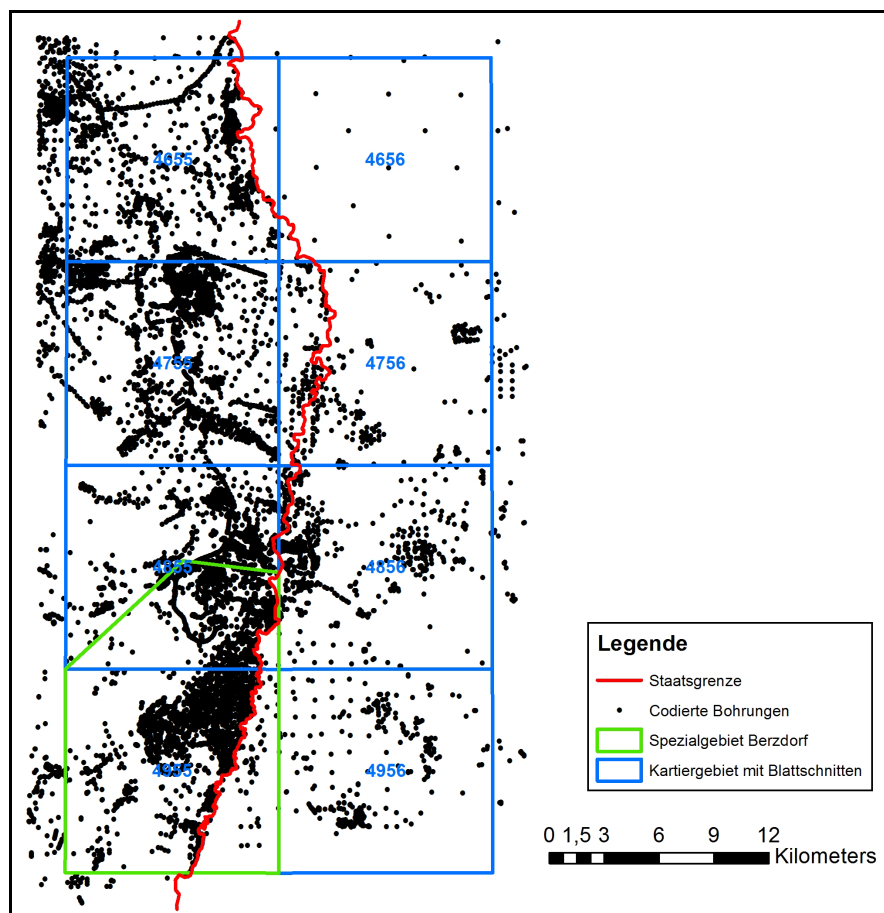
Istnieje ponadto możliwość wykorzystania przy modelowaniu tylko pojedynczych ogniw / wydzielen litologicznych otworu, które można przypisać konkretnym jednostkom HGE. Reprezentatywność i przydatność (zastosowalność) poszczególnych ogniw z oryginalnego profilu geologicznego otworu dla ustalenia profilu jednostki HGE powinna być jednak oceniana w każdym przypadku indywidualnie. Niektóre otwory mogą posiadać bogatą treść informacyjną (profil geologiczny otworu w pełni użyteczny) lub też tylko częściowo odpowiadać na istotne pytania dotyczące wieku i typu skał oraz ich cech strukturalno-petrograficznych (np. dolna granica utworów czwartorzędowych opisana może być tylko jako granica luźnych skał klastycznych / skał zwięzłych). Na podstawie rozważań interpolacyjno-technicznych uzasadnione może być zastąpienie w rzeczywistych otworach wiertniczych części ich profili ocenionych jako nieprzydatne „sztucznym” punktem opróbowania z fragmentem „wirtualnego” profilu (patrz 5.2.2).

W celu wykorzystania przy modelowaniu 3D oryginalnych profili litostratygraficznych z kart otworów wiertniczych należy przyporządkować poszczególne ich fragmenty do ustalonych jednostek HGE zgodnie z uprzednio nadaną kodyfikacją zawartą w profilu normalnym (patrz rozdz. 4.3). Należy pamiętać, aby nie tworzyć niewiarygodnych miąższości jednostek HGE. Je-

żeli ujęte w oryginalnym profilu otworu wydzielenia skalne nie są wystarczająco zróżnicowane pod względem opisu, muszą one być podzielone na więcej jednostek HGE, odnosząc się np. do bardziej szczegółowych danych z sąsiednich otworów. Można tego również dokonać poprzez zastąpienie danego wydzielenia „sztucznym“ punktem opróbowania. Można tak postępować np. w przypadku przedstawionego w oryginalnej dokumentacji otworu jednego, nierozdzielonego wiekowo pokładu gliny, składającego się z gliny lessowej, zboczowej lub zwałowej oraz gliniastego produktu rozkładu skały zwięzłej, które to składniki – bazując na wiedzy z innych lokalizacji – można przyporządkować do różnowiekowych jednostek HGE .

Podczas kodowania profili litostratygraficznych otworów należy korzystać z istniejących map geologicznych oraz ustalonego profilu normalnego. Każdorazowo muszą być uwzględniane i stale porównywane profile sąsiednich otworów, tak aby osiągnąć obiektywny i przestrzennie stały wynik. Zaleca się udostępnianie (przygotowywanie), o ile są dostępne, reprezentatywnych w skali lokalnej profili glebowych, o bardzo dobrej stratyfikacji. Można się nimi kierować przy kodowaniu, co gwarantuje powtarzalność wyników.

Dana jednostka HGE może być zbudowana ze skał jednolitych pod względem petrograficznym (np. granitów) lub też składać się z kilku lub kilkunastu (i więcej) różnych, naprzemianległych warstw/pokładów reprezentujących odmienne typy petrograficzne (np. zestawu warstw piaskowców, mułowców i iłowców w utworach fliszowych). Wyróżnione odmiany petrograficzne w jednostkach HGE muszą być zgodne z nadanymi im w bazie danych oznaczeniami (kodyfikacją) właściwości hydrogeologicznych i geotermicznych (np. wartościami przewodności cieplej). Wyjątek mogą stanowić tylko drobne wkładki o niewielkiej miąższości, których wyraźnie odmienny charakter petrograficzny i genetyczny nie ma istotnego wpływu na ogólne właściwości fizyczne całej jednostki HGE.



Opis rysunku:

<i>Legende</i>	<i>Legenda</i>
<i>Staatsgrenze</i>	<i>Granica państwowa</i>
<i>Codierte Bohrungen</i>	<i>Otworki kodowane</i>
<i>Spezialgebiet Berzdorf</i>	<i>Obszar specjalny Berzdorf</i>
<i>Kartiergebiet mit Blattsnitten</i>	<i>Obszar kartowania z podziałem arkuszy mapy (wg cięcia niemieckiego)</i>
<i>Kilometers</i>	<i>kilometry</i>

Rysunek 3: Położenie i podział rzeczywistych otworów kodowanych na obszarze projektu Trans-GeoTherm.

Techniczne zasady przetwarzania danych w Polsce (zastosowane w OD PIG-PIB)

Główną podstawą zbioru danych punktowych, na których opiera się konstrukcja modelu 3D i wynikowych map geotermalnych, są otwory wiertnicze. Podzbiór bazy danych przeznaczony do przechowywania informacji o otworach wiertniczych powinien być zaprojektowany w taki sposób aby było możliwe zaimportowanie danych z Centralnej Bazy Danych Geologicznych (CBDG) PIG-PIB, a następnie - po wprowadzeniu nowych otworów - ponowne przeniesienie

tych informacji do zasobu CBDG. Niżej opisany, przeznaczony do tego celu przykładowy podzbiór bazy danych powinien składać się z trzech tabel przechowujących następujące informacje:

1. Tabela metryk otworów wiertniczych, obejmująca m.in.: nazwę otworu, identyfikator otworu z Centralnej Bazy Danych Geologicznych, numer arkusza mapy, numer otworu, dane administracyjne, cel wiercenia, głębokość otworu,
2. Tabela danych litologicznych otworów wiertniczych, m.in.: głębokość stropu i spągu zalegania poszczególnych warstw, opis litologiczny, podstawa opisu,
3. Tabela danych stratygraficznych otworów wiertniczych, m.in.: głębokość stropu i spągu zalegania poszczególnych warstw, opis stratygraficzny.

Tabele pkt. 2 i 3 zawierają klucz obcy pochodzący z tabeli pkt. 1 zawierający numer arkusza mapy i numer otworu na tym arkuszu. Klucz ten jest zapisany w dwóch odrębnych polach w każdej tabeli i stanowi identyfikator otworu.

Tak zaprojektowany zestaw tabel pozwala na sprawne wprowadzanie nowych otworów wiertniczych, których nie ma w zasobach CBDG. Informacje o nowych otworach, mogą zostać pozyskane z geologicznych dokumentacji archiwalnych. Spisana lub zeskanowana treść profilu litologicznego powinna zostać przetworzona na cyfrową postać edytowalną i wpisana do bazy danych. Weryfikacja poprawności wprowadzonych danych jest możliwa, ponieważ w tabelach utworzono pola przechowujące nazwę pliku graficznego wybranego dokumentu będącego podstawą wpisu.

Operator bazy danych ma dostęp do wybranych części tabel poprzez stosowny formularz, gdzie każda z tabel jest przedstawiona w zakładkach, wraz przyciskami umożliwiającymi dodawanie nowych rekordów, usuwanie zbędnych informacji oraz zatwierdzanie zmian. Edycja poszczególnych pól tabel jest możliwa poprzez okna edycyjne zamieszczone w zakładkach (formanty formularza). Po dodaniu nowej warstwy otworu wiertniczego aparat bazy danych automatycznie wpisuje numer otworu i numer arkusza z aktualnego rekordu tabeli przechowującej metryki otworów wiertniczych. Edycja tych pól jest także możliwa z poziomu formularza, jednak użytkownik otrzymuje stosowne ostrzeżenia.

Wybór otworu wiertniczego jest możliwy poprzez menu rozwijalne, w którym uwidaczniają się nagłówki wszystkich otworów wiertniczych wraz z aktualną informacją o głębokości oraz liczbie warstw litologicznych i stratygraficznych. Użytkownik bazy danych ma możliwość

wstępnego zawężenia zbioru otworów w menu rozwijalnym poprzez wprowadzenie ograniczenia w postaci numeru arkusza (albo jego fragmentu) i/lub numeru otworu (albo jego fragmentu).

W projekcie bazy danych przewidziano potrzebę sprawdzania poprawności, zwłaszcza pod kątem spójności danych liczbowych dotyczących miąższości warstw oraz głębokości otworów. Użycie narzędzi sprawdzających jest możliwe w dowolnym momencie w celu weryfikacji istniejących danych.

Kolejnym etapem przygotowywania danych punktowych (otworowych) do zbudowania geologicznego modelu trójwymiarowego było przyporządkowanie jednolitych oznaczeń chronostratygraficznych dla każdej warstwy skalnej w otworach wiertniczych, czyli kodowanie treści otworów wg ustalonego słownika jednostek hydrogeologiczno-geotermicznych (HGE). W tym celu posłużono się słownikiem jednostek geologiczno-hydrogeologicznych stosowanych przez Saksońską Służbę Geologiczną (LfULG) z uwzględnieniem specyficznych jednostek geologicznych występujących po polskiej stronie obszaru badań. Słownik ten przygotowano w taki sposób, że – oprócz języka niemieckiego - każde jego pojęcie figuruje także w tłumaczeniach na język angielski i polski. Element stratygraficzny słownika jednostek hydrogeologiczno-geotermicznych (HGE) został skonstruowany wg tabeli stratygraficznej w sposób hierarchiczny i powstał on ze złożenia szeregu tabel przechowujących pojęcia przynależne odpowiednio erze, okresowi i epoce, oraz szczegółowym jednostkom niemieckim. Odpowiedni termin stratygraficzny figuruje w słowniku jednostek HGE jako pojedynczy kod (klucz obcy) i jednoznacznie definiuje przedział wiekowy. Postać wynikowa słownika jednostek hydrogeologiczno-geotermicznych (HGE) została zrzutowana do jednej tabeli, lecz przez jej znaczne rozmiary, użytkownik ma dostęp jedynie do skrótowych określeń poszczególnych pojęć, natomiast pełny jego opis wyświetla się w formularzu po przypisaniu go do warstwy otworu wiertniczego.

Podczas projektowania bazy danych uwzględniono potrzebę wielostanowiskowego przypisywania pojęć słownika HGE do litologiczno-petrograficznych opisów warstw otworów wiertniczych. Każdy operator bazy danych – ekspert w/z geologii - posiada własny formularz, a elementem wspólnym jest tabela zawierająca pierwotny opis litologiczny i stratygraficzny otworu, która została umieszczona na dysku sieciowym dostępnym dla wszystkich operatorów bazy danych. Pozostałe elementy widoczne w formularzu obsługi otworów wiertniczych przechowywane są lokalnie w celu redukcji opóźnień związanych z komunikacją siecią. Pojęcie ze słownika HGE jest wprowadzane w przygotowane pole jako 5-cio cyfrowy kod jednoznacznie definiujący wybraną jednostkę hydrogeologiczno-geotermicznych (HGE). Ponadto przy każdej war-

stwie otworu wiertniczego znajduje się wskazanie na autora wpisu (eksperta w/z geologii). Zabicie ten w znacznym stopniu ułatwił komunikację między specjalistami podczas wyjaśniania ewentualnych wątpliwości. Ponieważ dostęp wielu użytkowników do tabeli sieciowej był możliwy w tym samym czasie, zdecydowano się na skonstruowanie wskaźników postępu procesu kodowania, który był dostępny dla każdego użytkownika i pozwalał ocenić zaawansowanie prac podczas tego etapu.

Ponadto w celu zachowania spójności kodowanych wydziałów względem pierwotnych pojęć litologicznych i stratygraficznych, przygotowano narzędzia wspomagające kodowanie. Pozwalały one na wgląd jakiego z pierwotnych fraz litologicznych i stratygraficznych zostały już przypisane do wybranego pojęcia HGE co mogło stanowić sugestię w dalszej pracy. Bardziej zaawansowana wersja tego narzędzia oferowała podobną funkcjonalność w lokalnym otoczeniu otworu, tj. wg promienia wokół otworu zadawanego przez operatora bazy danych. Dzięki tym narzędziom, wszelkie odstępstwa od wspólnego trendu w/z przypisywania pojęć HGE do pierwotnych fraz litologicznych i stratygraficznych stały się łatwe do wychwycenia i poddania dyskusji

Techniczne zasady przetwarzania danych w Saksonii (zastosowane w LfULG)

Po dokonaniu analizy zawartych w tabelarycznym zestawieniu bazy danych otworów wiertniczych kombinacji oznaczeń stratygrafii i petrografii wszystkich wydziałów skalnych (warstw, pokładów itp.) tworzących profil danego otworu, w powiązaniu z jego położeniem w jednostce geologicznej uwidocznionej na mapie geologicznej w skali 1 : 50 000, określone partie (odcinki) profilu wiertniczego łączone są w grupy. Dla tych grup ustalane są następnie kryteria dla przyporządkowywania kodu danej jednostki HGE, przy pomocy, których w bazie danych ACCESS formułowane są potem kwerendy odnośnie całej bazy danych (kodowanie pogrupowane). Jest to możliwe tylko wtedy, gdy dostępna jest dokładna stratyfikacja (odpowiadająca, co najmniej dokładności zdefiniowanych HGE) i opis petrografii danego wydziału litologicznego. Zdarza się, że nie dla wszystkich wydziałów w profilu otworu dane te są dostępne. Następnie dokonuje się sprawdzenia kodowania pogrupowanego oraz stopniowego kodowania pozostałych otworów przy pomocy map geologicznych i otaczających otworów.

Zaletą kodowania pogrupowanego polega na szybkim kodowaniu dużej liczby pojedynczych wydziałów litologicznych przedstawionych na profilu otworu. Ponieważ jednak w wielu przypadkach nie jest możliwe ujęcie całego następstwa warstw skalnych przy pomocy kwerend, nieodzowne jest sprawdzenie i poprawienie wszystkich zgrupowanych otworów kodowanych, co

również wymaga znacznego nakładu czasu. Dlatego w zależności od położenia danych, ram czasowych i wymogów dokładności należy rozważyć, jaka metoda kodowania (grupowanie + warstwami, czy też selektywnie metodą klasyfikacji wydzielen litologicznych) winna być preferowana.

Zakodowany zapis danych profilu otworu wiertniczego przenoszony jest za pomocą skryptu Python do pliku tekstowego (.py) kompatybilnego z programem GoCAD, który służy do tworzenia modelu 3D. Plik ten pobiera z zapisu cyfrowego danej jednostki HGE tylko następujące informacje dotyczące otworu: nazwa, współrzędne, rzędna wysokości terenu, kod jednostki HGE, głębokości zalegania jej stropu i spągu oraz miąższość.

5.2.2 „Sztuczne” punkty opróbowania (otwory wirtualne)

Przy konstruowaniu jednostek HGE zastosowanie znajdują tylko otwory, osiągające spągową, dolną granicę jednostek. Najczęściej na danym obszarze spotyka się niewielką ilość wystarczająco głębokich otworów wiertniczych przebijających jednocześnie dużą ilość jednostek HGE. Skutkiem tego wraz z głębokością otworów zmniejsza się też liczba tych, które są zdadne do wykorzystania i do stworzenia poprawnego modelu 3D. W takim przypadku przy pomocy wiedzy ekspertów znających budowę geologiczną danego rejonu należy podjąć prace polegające na stworzeniu „sztucznych” punktów opróbowania określanych też mianem otworów wirtualnych. Punkty/otwory „wirtualne” wyznacza się zatem w miejscach, w których rozmieszczenie rzeczywistych otworów wiertniczych jest zbyt rzadkie.

Wirtualne otwory tworzone są zarówno dla pojedynczych warstw / typów skalnych (imitują wówczas jedną jednostkę HGE), jak również mogą mieć postać następstwa szeregu warstw.

Wyznaczanie otworów wirtualnych dla pojedynczej jednostki HGE ogranicza się najczęściej do określenia miąższości jaką dane wydzielenie HGE może osiągać w określonym miejscu. Miąższość określa się na podstawie innych otworów wiertniczych oraz na podstawie rzeźby terenu (np. w rejonie wyniesień może być większa dla utworów budujących to wyniesienie, niż w rejonie zrównań). Eksport pliku z otworami wirtualnymi do oprogramowania umożliwiającego modelowanie 3D pozwala na określenie stropu i spągu wydzielenia. Jest to jednak możliwe dopiero wtedy gdy wymodelowano spąg warstwy wyżej ległej.

Wirtualny profil wiertniczy może imitować jedno lub kilka ciał HGE. Tworzone są w ten sposób nowe, osobne „wirtualne profile wiertnicze” lub przedłużenie otworów już istniejących.

Opracowanie „wirtualnych profili wiertniczych” powinno być przedkładane nad korzystanie z pojedynczych punktów opróbowania, ponieważ w przypadku tej ostatniej metody istnieje możliwość, że podczas modelowania 3D zostaną uzyskane problematyczne wyniki interpolacji (np. wzajemnego przenikania interpolowanych powierzchni). W przypadku przedłużania istniejących profili wiertniczych może być wykorzystana dodatkowa o samej miąższości nie spektrowanych (zglobionych) jednostek HGE. Jest to o tyle ważne, że w razie pominięcia tych „nieostrych” informacji, podczas tworzenia modelu 3D może dojść w niektórych, słabo udokumentowanych obszarach do błędnych interpolacji z powodu zbyt małej miąższości modelowanej jednostki HGE.

Dla punktów opróbowania zarówno pojedynczej jednostki HGE lub szeregu HGE definiowane są w bazie danych podobne parametry jak dla rzeczywistych otworów wiertniczych: współrzędne, rzędna terenu oraz spąg i/lub miąższość. Informacje dotyczące „sztucznych” punktów opróbowania przenoszone są, tak jak dane rzeczywistych otworów, za pomocą programu Python do pliku tekstowego (.py) kompatybilnego z GoCAD.

Na rysunku 6 pokazany jest przykład, jak w obrębie przykładowej jednostki HGE ustanowione zostały punkty „sztucznego” profilu - z jednej strony w sposób równomierny między istniejącymi otworami, a z drugiej w sposób zagęszczony wzdłuż granicy jednostki.

5.3 Dane liniowe

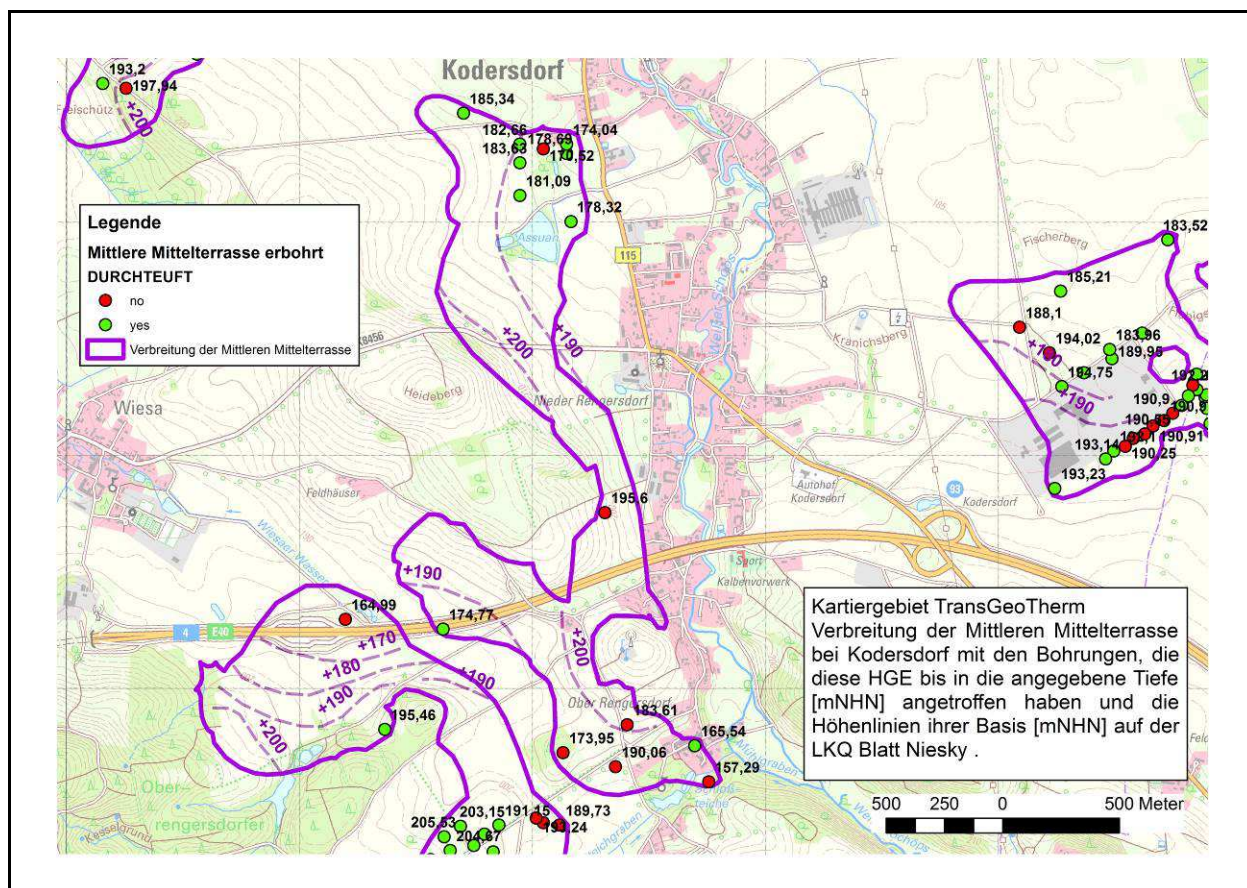
Podczas konstrukcji zasięgu przestrzennego jednostek HGE należy wykorzystać dane z otworów wiertniczych oraz granice liniowe jednostek przedstawione na mapach geologicznych (najlepiej w formie cyfrowej). Tam gdzie na mapie zaznaczono wychodnie skał, a nie ma wykonanych otworów wiertniczych należy stworzyć otwory wirtualne. O ile na badanym obszarze zostały opracowane specjalistyczne mapy obrazujące dla danej jednostki geologicznej izolinie spągu i zmienności miąższości (mapy izopachytowe, mapy warstwiczne) należy je wykorzystać do konstrukcji modelu 3D.

5.3.1 Izolinie spągu i miąższości jednostek na podstawie map warstwicznych

Na potrzeby projektu *TransGeoTherm* wykorzystano po stronie saksońskiej mapy litofacji czwartorzędowych (LKQ) w skali 1 : 50 000 zawierające izolinie bazy (spągu) i miąższości jednostek geologicznych. Przedstawione na tych mapach warstwicznych struktury przestrzenne, jak np. czwartorzędowe rynny i terasy wzdłuż akwenów (wód) posiadają rzadkie dane otworowe o odstępach między punktami z reguły 100-500 m co powoduje, że konstrukcja modelu 3D tylko

w oparciu o te otwory może być mało wiarygodna. Niezbędne w takiej sytuacji było stworzenie wielu dodatkowych, sztucznych punktów opróbowania w oparciu o odczytane z izolinii i izopachyt wartości rzędnych wysokościowych i miąższości jednostek geologicznych. Przed wykonaniem tych czynności, zarówno zasięgi jak i miąższości jednostek HGE zostały dostosowane do zaktualizowanego stanu danych otworowych przy pomocy oprogramowania GIS.

Na poniższym rysunku (Rys.4) pokazano zasięg przestrzenny rzecznych żwirów terasowych zlodowacenia Elstery (środkowa terasa) wyrysowany na podstawie izolinii bazowych w oparciu o mapę litofacji czwartorzędowych (LKQ) 1 : 50 000 arkusz Niesky. Podczas gdy wschodni fragment tej formacji rzecznej posiada dobre rozpoznanie otworami wiertniczymi o tyle jej wychodnia środkowa udokumentowana jest w niewielkim stopniu, a ponadto otwory są tam rozprzestrzenione niekorzystnie (większość skoncentrowana w części północnej lub południowej). Modelowanie trójwymiarowe wychodni środkowej tej jednostki HGE bez wykorzystania informacji w postaci izolinii bazowych nie dałoby wiarygodnego wyniku. Izolinie bazowe mogą być zarówno importowane do oprogramowania 3D (np. GoCAD) jako linie typu shape i wykorzystywane bezpośrednio do konstruowania powierzchni spągowej HGE, lub też mogą być przekształcane w szereg punktów z określonym atrybutem wysokości, pozwalających na ich przekształcenie w dodatkowe otwory wirtualne.



Opis rysunku:

Legende	Legenda
Mittlere Mittelterrasse erbohrt	Śródkowa część terasy środkowej z wykonanym wierceniem, które
DURCHTEUFT	PRZEBIJA całą jednostkę:
No	nie
Yes	tak
Verbreitung der Mittleren Mittelterrasse	Zasięg środkowej części terasy środkowej
Meter	Metr
Kartiergebiet TransGeoTherm Verbreitung der Mittleren Mittelterrasse bei Kodersdorf mit den Bohrungen, die diese...	Obszar kartowania TransGeoTherm Zasięg środkowej części terasy środkowej w pobliżu m. Kodersdorf, wraz z otworami, które natrafiły na tę jednostkę HGE na danej głębokości [w m npm] oraz warstwie jej spągu [w m npm] na mapie litofacji czwartorzędowych, arkusz Niesky

Rysunek 4: Przykład wykorzystania zasięgu i warstw (izolinii spągu) jednostki geologicznej HGE do modelowania 3D.

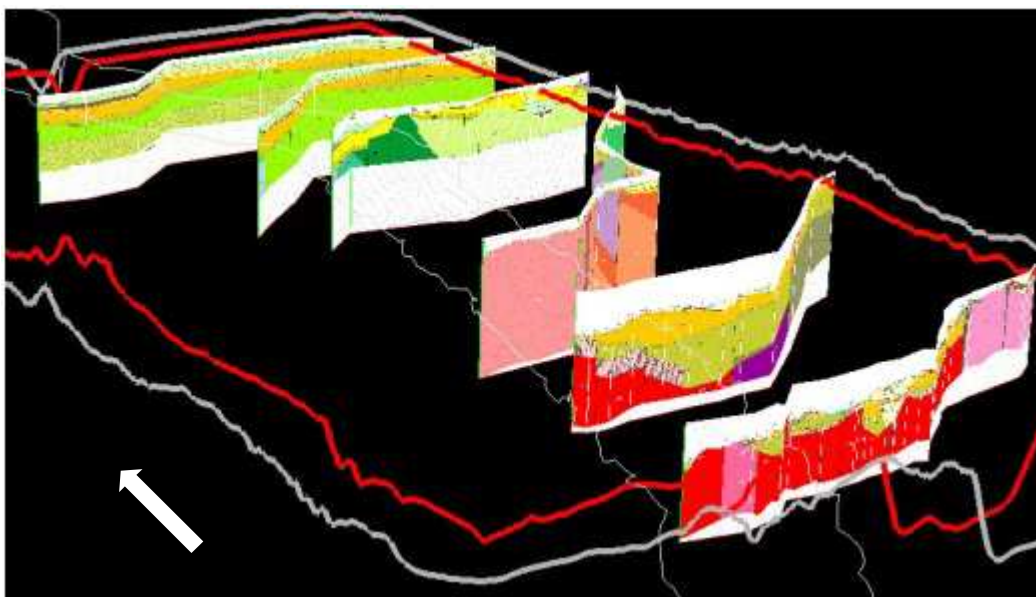
5.3.2 Elementy tektoniczne

Przebieg elementów tektonicznych, przede wszystkim uskoków, przenoszony jest z map geologicznych jako informacja liniowa. Z reguły linie te przedstawiane są na różnoskalowych mapach w odmienny sposób i w celu ich uwzględnienia w modelu 3D należy dokonać ich selekcji i ujednolicenia położenia (przebiegu) dostosowując zasób i dokładność informacji do rozdzielczości docelowej. W projekcie *TransGeoTherm* przedstawiane są tylko uskoki mające istotne znaczenie dla odwzorowania jednostek HGE.

Z tektonicznych danych liniowych na podstawie zbiorów map nie zawsze wynika informacja odnośnie upadu uskoków. Jest ona jednak niezbędna przy opracowywaniu modelu 3D. Dlatego zaczynając tworzenie modelu geologicznego należy określić istotne elementy uskoków i opatrzyć je atrybutem kąta upadu. Może on wynosić także 90° i jest stosowany z reguły wtedy, gdy brak jest innych informacji.

5.3.3 Przekroje geologiczne

Przekroje geologiczne (pomocniczo także przekroje geofizyczne) mogą być wykorzystywane do konstruowania obrazów przestrzennych jednostek HGE w środowisku 3D. Przekroje te są importowane do oprogramowania 3D (GoCAD), jako obrazy (np. w formacie jpg), rzutowane na linie przekroju, dopasowywane do profili otworów wiertniczych, a następnie dodatkowo digitalizowane (Rys. 5). Jeżeli na danym przekroju z zastosowanym przewyższeniem pionowym przedstawiane są jednostki o niewielkiej miąższości, wtedy późniejsza digitalizacja może być utrudniona i prowadzi miejscami do niezgodności ze stanem danych punktowych. Ponieważ przebieg przekrojów geologicznych wybierany jest z reguły według położenia otworów i prostopadle do rozciągłości jednostek geologicznych, przekroje charakteryzują się częstymi zmianami kierunku. W programie GoCAD przekrój musi być w każdym „załomie” odniesiony do odpowiedniego otworu. W przypadku projektu *TransGeoTherm* dla wykonania tej pracochłonnej czynności udostępniony jest podprogram Python dla wersji 2009.2 programu GoCAD. Dla lepszej obsługi programu, zaleca się by przekroje włączane były w postaci obrazów czarno-białych. Ze względu na w/w problemy, korzyść z zastosowania ogólnych przekrojów geologicznych dla wybranych obszarów lub poszczególnych elementów powinna być rozważona na samym początku procesu modelowania. Alternatywą jest przeniesienie informacji geologicznej zamieszczonej na przekrojach do formatu GIS, jako dodatkowej możliwości kumulowania danych i selektywnego opracowania modelu.



Rysunek 5: Schemat tworzenia zaktualizowanego zasięgu powierzchni jednostek geologicznych.

5.4 Dane powierzchniowe – wyznaczanie zasięgu jednostek HGE

Granice zasięgu jednostek HGE (maksymalne rozprzestrzenienie warstw geologicznych w rzucie poziomym) stanowią podstawowe dane wyjściowe dla modelowania 3D. Informacje o nich pochodzą z:

- 1) obrazu wychodni na tradycyjnych mapach geologicznych,
- 2) ich rozprzestrzenienia na mapach specjalistycznych (np. mapach warstwicowych),
- 3) obecności danego wydzielenia skalnego w profilach otworów wiertniczych.

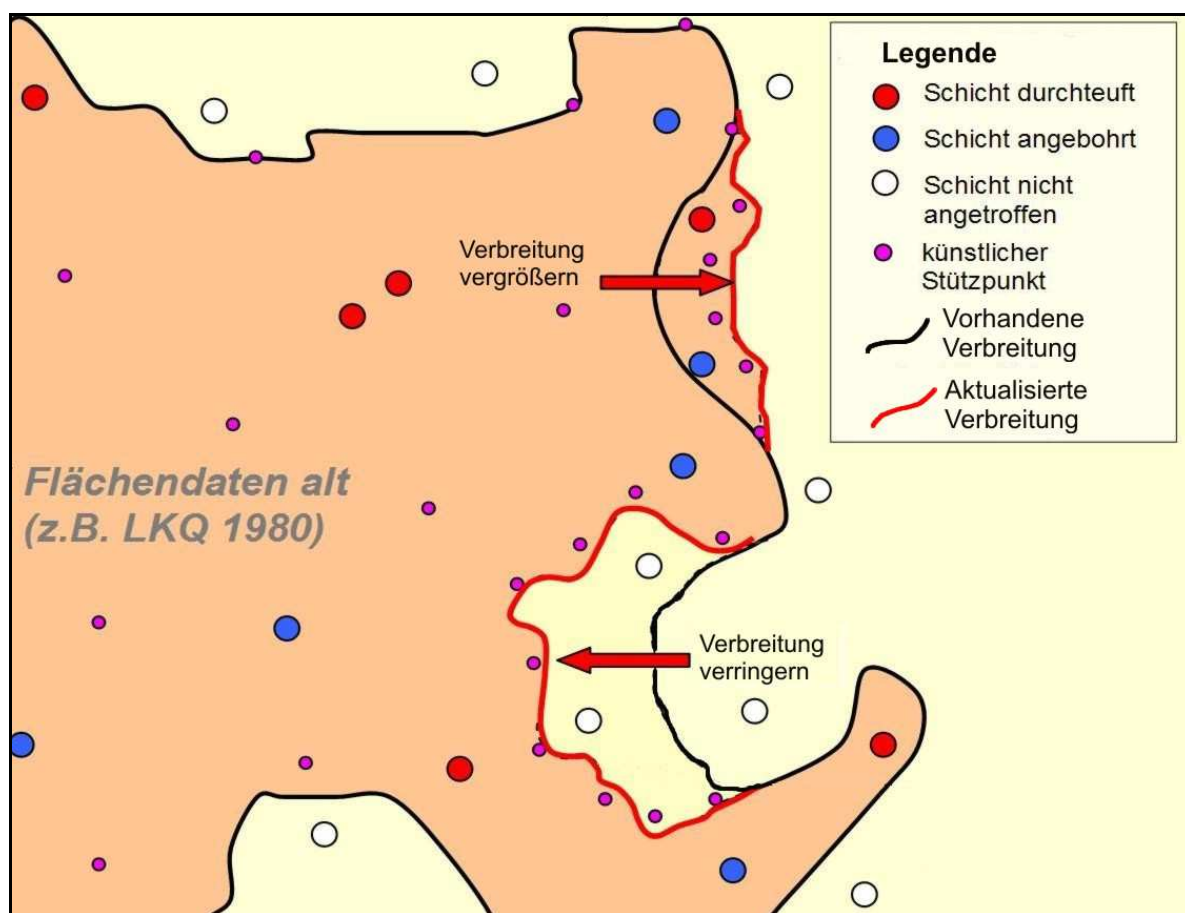
Przed przeniesieniem obrazu wychodni danej jednostki z mapy geologicznej, niezbędne jest sprawdzenie ogólnej wiarygodności zastosowanego numerycznego modelu terenu (NMT). Podczas takiej analizy należy, oprócz modelu wysokościowego, posłużyć się mapami topograficznymi w znacznej skali (1:10 000, 1:25 000) oraz zdjęciami lotniczymi.

Największych rozbieżności wymagających stosownych korekt należy oczekiwać w obszarach, gdzie graniczą ze sobą różne utwory, genetycznie związane z morfologią terenu np. krawędzie dolin rzecznych wraz z towarzyszącymi im skarpami i osadami dennymi.

Tworzenie i edycję zasięgów warstw geologicznych przeprowadza się z wykorzystaniem specjalistycznych narzędzi środowiska GIS, wspomagających poprawną topologię i wzajemną spójność poszczególnych zasięgów przyszłego modelu trójwymiarowego

Informacje przestrzenne o warstwach/ jednostkach geologicznych (HGE) pochodzące z różnych źródeł są weryfikowane, a ewentualne sprzeczności szczegółowo analizowane. Często spotykanym problemem (np. na mapach LKQ) są niedokładne współrzędne geograficzne. Na tym etapie - w oparciu o posiadaną wiedzę i dane geologiczne – dokonuje się redukcji bądź poszerzenia analizowanego fragmentu wybranej warstwy geologicznej. Zadanie to można wykonać posługując się zarówno narzędziami GIS jak i oprogramowaniem umożliwiającym modyfikowanie obiektów w przestrzeni trójwymiarowej.

Schemat przygotowywania informacji punktowych i powierzchniowych do modelowania 3D pokazano na rysunku 6. Ilustruje on, w jaki sposób granica warstwy geologicznej jest modyfikowana poprzez dodawanie punktów wirtualnych stosownie do aktualnych danych geologicznych uzyskanych z profili wiertniczych.



<i>Legende</i>	<i>Legenda</i>
Schicht durchteuft	Pokład spenetrowany
Schicht angebohrt	Pokład nawiercony
Schicht nicht angetroffen	Nie natrafiono na pokład

<i>künstlicher Stützpunkt</i>	<i>Sztuczny punkt opróbowania</i>
<i>Vorhandene Verbreitung</i>	<i>Istniejący zasięg</i>
<i>Aktualisierte Verbreitung</i>	<i>Zaktualizowany zasięg</i>
<i>Verbreitung vergrößern</i>	<i>Powiększyć zasięg</i>
<i>Verbreitung verringern</i>	<i>Zmniejszyć zasięg</i>
<i>Flächendaten alt (z.B. LKQ 1980)</i>	<i>Dane powierzchniowe stare (np. LKQ 1980)</i>

Rysunek 6: Schemat tworzenia zaktualizowanego zasięgu powierzchni jednostek geologicznych.

Niewielkie nakładanie się zasięgów jednostek geologicznych (np. w obrębie ujść rzek, strefie przejściowej utworów zbocza i doliny, itp.) powinny być sprawdzone pod względem wiarygodności. Należy ich w miarę możliwości unikać, tak aby uprościć konstrukcję modelu.

W projekcie *TransGeoTherm* gęstość punktów węzłowych granic warstw geologicznych jest dwukrotnie wyższa od rastra wynikowego, co umożliwia tworzenie dokładnego, wielobocznego układu sieci trójkątów przy konstruowaniu spągu warstwy. Zagęszczenie to można wykonać za pomocą narzędzia „Densify” dostępnego w pasku narzędzi: „Surface - Tools”.

6 Modelowanie 3D

Modelowanie warstw / jednostek geologicznych HGE odbywa się stosownie do ustalonego profilu litostratygraficznego (tzw. profilu normalnego). Każda taka warstwa geologiczna jest w bazie danych ograniczona poprzez jej strop i spąg, lub poprzez spąg oraz miąższość. Model trójwymiarowy składa się z zestawu wewnętrznie jednorodnych ciał geologicznych, które mają wspólne granice i są względem siebie rozłączne. Jest on wykorzystany do sporządzania map geotermicznych.

6.1 Siatka bazowa „mastergrid”

W celu jednoznacznego określenia przestrzeni trójwymiarowej podczas opracowywania polskiej i niemieckiej części projektu, ustanowiono prostokątną siatkę bazową, tzw. „mastergrid” w którym pojedyncza komórka ma rozmiar 25 na 25 m. Rozciągłość przestrzenna tej siatki w układzie UTM strefa 33 wynosi: X: 486150 – 513600; Y: 5647650 – 5696200.

6.2 Granice modelu 3D

6.2.1 Opracowanie powierzchni modelu na podstawie cyfrowych modeli wysokości (numerycznych modeli terenu)

Górna powierzchnia (ograniczenie poziome) modelu 3D projektu *TransGeoTherm* została ustanowiona poprzez połączenie polskich arkuszy Numerycznego Modelu Terenu (NMT 2004) w skali 1:10 000 (w Polsce) z modelem DGM25 w Saksonii, który utworzono na bazie modelu DGM2 przetworzonego stopniowo za pomocą narzędzia „Statystyka blokowa” rozszerzenia programu ArcGIS Spatial Analyst.

Uzyskany model powierzchni terenu należy zawsze sprawdzić pod względem ogólnej wiarygodności i zmodyfikować w przypadku zauważenia lokalnych sytuacji odbiegających od normy.

Na przykład, aby uniknąć błędów w przypadku stwierdzenia niewiarygodnych geologicznie zmian miąższości lub obrazu wychodni przypowierzchniowych jednostek HGE, niezbędne jest wyeliminowanie budowli infrastrukturalnych (np. budynki, wały, nasypy szlaków komunikacyjnych, mosty itp.).

Kolejny etap korekt dotyczy akwenów wodnych. Dla zbiorników wodnych o powierzchni powyżej 1 ha oraz cieków wodnych o szerokości powyżej 50 m (tj. o szerokości co najmniej dwóch punktów rastra wynikowego), gdzie model powierzchni obrazował powierzchnie wody, wprowadzano zmiany mające na celu uzyskanie reliefu dna zbiornika wodnego lub cieku.

W Saksonii odpowiednie powierzchnie akwenów można pobrać z warstw informacyjnych systemu ATKIS (Urzędowy Topograficzno-Kartograficzny System Informacyjny), który udostępnia informacje o wielkościach powierzchni akwenów. Jeżeli taki plik shape nie jest dostępny, akweny należy digitalizować za pomocą mapy topograficznej.

Techniczne zasady postępowania przy stosowaniu oprogramowania ESRI ArcGIS:

W celu identyfikacji infrastruktury drogowej na numerycznym modelu terenu (NMT, DGM25) zastosowano widok cieniowany (Hillshade) wzmacniający relief terenu. W oparciu o mapy topograficzne w skali 1:25 000 nałożone na model z odpowiednią przezroczystością, każdy rejon modelu jest szczegółowo analizowany. Miejsca dyskusyjne są otoczone wielokątem, który jest przekształcany w raster o rozkładzie punktów identycznym jak numeryczny model te-

renu (NMT, DGM25) z przypisanymi mu odpowiednimi wartościami w celu lokalnej aktualizacji numerycznego modelu terenu. Do tej procedury wykorzystano następujące narzędzia ArcGIS z grupy Spatial Analyst: Raster Calculator (Con), FocalStatistic. Dla większych zbiorników wodnych o zróżnicowanej rzeźbie dna tworzy się liczne wewnętrzne „bufory pierścieniowe” ułożone równolegle do zewnętrznej linii konturowej – ArcGIS: Analysis Tools / Proximity / Multiple Ring Buffer. Krawędź każdego następnego wewnętrznego bufora jest przesunięta względem poprzedniego o co najmniej 25 m i przechowuje inne głębokości dna akwenu. Wszystkie bufory przekształca się w raster z wykorzystaniem narzędzia „Polygon to Raster” z grupy Conversion Tools. W etapie końcowym aktualizuje się numeryczny model terenu przy użyciu wartości z uzyskanego rastra stosując funkcję Con narzędzia Raster Calculator (ArcGIS – Spatial Analyst).

Powyższy schemat postępowania należy poddać krytycznej ocenie i w razie konieczności wykonać go ponownie. Podczas pracy na krawędziach numerycznego modelu (NMT, DGM25) może dochodzić do przypadkowej zmiany geometrii rastra wynikowego. W celu przeciwdziałania temu zjawisku wykorzystano narzędzie ArcGIS z grupy Spatial Analyst: „Extract by Mask”, gdzie jako maskę użyto pierwotnego rastra wynikowego.

Podczas omawianych korekt należy zwracać uwagę na obowiązujący znak separatora wartości dziesiętnych.

Skorygowany numeryczny model terenu (NMT, DGM25) należy dostosować do rozdzielczości rastra wynikowego (mastergrid) stosując narzędzie „Resample” z grupy Data Management / Raster / Raster Processing (ArcGIS). Wynikiem powyższych działań jest gotowa do zastosowania górna, cyfrowa powierzchnia modelu.

6.2.2 Opracowanie dolnej granicy (bazy) modelu na podstawie powierzchni górnej

Do obliczania map geotermicznych przy pomocy specjalnego rozszerzenia (nakładki) ArcGIS (narzędzie zostało udostępnione PIG-PIB przez LfULG w ramach projektu *Trans-GeoTherm*) (patrz 8.2) niezbędne jest zbudowanie modelu 3D o głębokości co najmniej 130 m. Jednak aby można było w pełni uwidocznić ważne struktury geologiczne i warunki ich zalegania, ustalono dolną powierzchnię modelu na głębokości 340 m. W ten sposób ujęte zostały najgłębsze osady trzeciorzędowych basenów sedymentacyjnych m.in. w rejonie obszaru specjalnego Berzdorf/Radomierzyce wraz z niezbędnym marginesem głębokości wchodzącym minimum 20 m w skały głębszego podłoża.

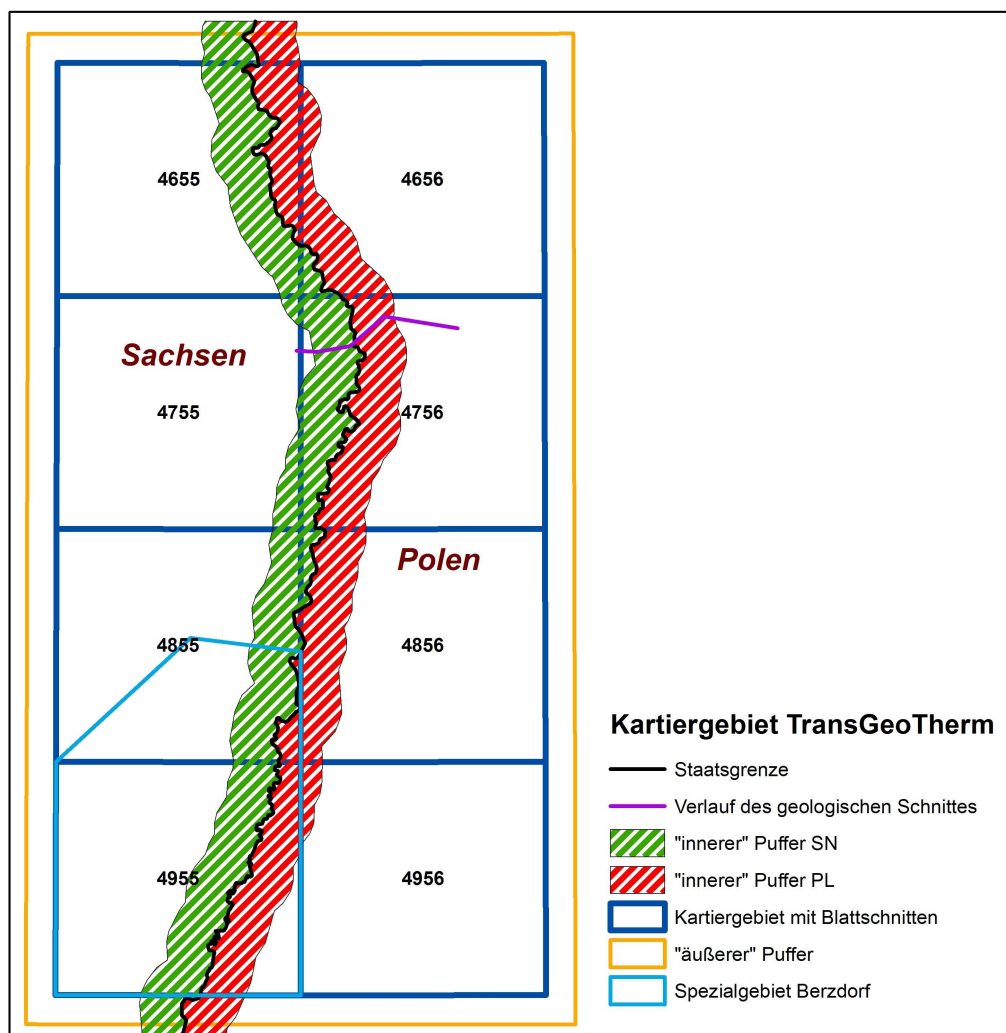
ESRI ArcGIS / Paradigm GOCAD– procedury techniczne:

Dolna powierzchnia modelu powstaje w oparciu o gotową powierzchnię terenu (patrz pkt.6.2.1), lecz jego rozdzielczość zmniejszana jest 40-krotnie (1×1 km) i wygładzana przy zastosowaniu narzędzia „Resample” z grupy Data Management Tools (ArcGIS). Następnie rzędna (wartości rastra) tej powierzchni jest obniżana o 340 m, po czym ponownie przywraca się rozdzielczość, aby była zgodna z gotową powierzchnią terenu (25×25 m). Obniżenia rzędnej można także dokonać w środowisku 3D posługując się odpowiednim skryptem. Przed wczytaniem tej powierzchni do programu GOCAD należy przekonwertować ją do zestawu punktów i zapisać jako zbiór typu shape.

6.2.3 Granica boczna modelu i bufor „zewnątrzny“

Dla projektu *TransGeoTherm* wyznaczono obszar modelowania powstały z ośmiu arkuszy mapy topograficznej (wg cięcia niemieckiego: 4655, 4656, 4755, 4756, 4855, 4856, 4955, 4956) w skali 1 : 25 000 wzdłuż rzeki Nysy (patrz rys. 7). W celu uniknięcia niejasności na brzegach modelu, cały obszar badań otoczono buforem zewnętrznym o szerokości 2 km, dla którego także zgromadzono dane i zbudowano model trójwymiarowy. Bufor ten nie wchodzi w skład map wynikowych potencjału geotermicznego. W celu uniknięcia nieporozumień, podczas realizacji projektów międzynarodowych należy zwracać uwagę na to, że mapy tej samej skali pochodzące z różnych źródeł mogą być opublikowane w innych cięciach arkuszowych.

6.2.4 Bufor „wewnętrzny“



Opis rysunku:

Kartiergebiet	Obszar kartowania (obszar badań projektu)
Staatsgrenze	Granica państwowa
Verlauf des geologischen Schnittes	Przebieg przekroju geologicznego
„innerer“ Puffer SN	Bufor „wewnętrzny” Saksonia
„innerer“ Puffer PL	Bufor „wewnętrzny” Polska
Kartiergebiet mit Blattsnitten	Obszar kartowania z podziałami arkuszy mapy
„äußerer“ Puffer	Bufor „zewnątrzny”
Spezialgebiet Berzdorf	Obszar specjalny Berzdorf
Sachsen	Saksonia
Polen	Polska

Rysunek 7: Obszar projektu TransGeoTherm z obszarami buforowymi i podziałami arkuszy mapy 1 : 25 000 (wg cięcia niemieckiego).

W celu opracowania spójnego modelu obejmującego transgraniczny obszar projektu TransGeoTherm po obu stronach Nysy Łużyckiej, został zdefiniowany wspólny pas buforowy o

szerokości 4 km. Ten „wewnętrzny bufor“ posłużył jako obszar testowy dla realizacji wszystkich niezbędnych czynności modelowania oraz dla zapewnienia stałego przejścia między obu modelami tworzonymi oddzielnie przez partnerów projektu na obszarze granicznym. Model 3D dla „bufora” został opracowany w pierwszej kolejności i zastosowana tam metodyka modelowania była wiążąca dla dalszych prac (patrz rys. 7).

W celu zapewnienia optymalnego podziału pracy, „wewnętrzny” pas buforowy został podzielony, po spojeniu występujących tam jednostek HGE na obszar północny i południowy. Na granicy części północnej i południowej dla celów późniejszego dostosowania krawędzi jednostek opracowano wspólny przekrój geologiczny (patrz rys. 7).

6.3 Kryteria konstrukcji

6.3.1 Kryteria ogólne

Do konstruowania jednostek HGE stosować można tylko ich wiarygodnie sprawdzone przestrzenne zasięgi ustanowione wg aktualnego stanu danych otworowych w aspekcie stratygraficznym i petrograficznym oraz odpowiednio zakodowanych wg ustalonego profilu normalnego. Następnie, po włączeniu do modelu siatki uskoków tektonicznych, wykonuje się topologicznie prawidłowy „model blokowy” pozbawiony luk i wzajemnego „nakładania się” jednostek modelu. Warunki przestrzennego układu jednostek HGE muszą być przedstawione w sposób wiernie oddający ich miąższość i granice. Przy konstruowaniu geoobiektów formy powierzchniowe takie jak np. biegi rzek, skarpy drogowe lub nasypy kolejowe nie mogą „przebijać się” w dół.

W celu obliczenia map geotermicznych tworzy się zapisy danych rastra dla geoobiektów, o rozdzielczości 25x25 [m]. Bazując na wcześniejszych doświadczeniach, zauważono, że rastry o mniejszej rozdzielczości, np. 50x50 [m] niedostatecznie oddają budowę struktur geologicznych o bardzo wąskich formach geometrycznych (np. osady dolinne) lub o dużym nachyleniu zboczy.

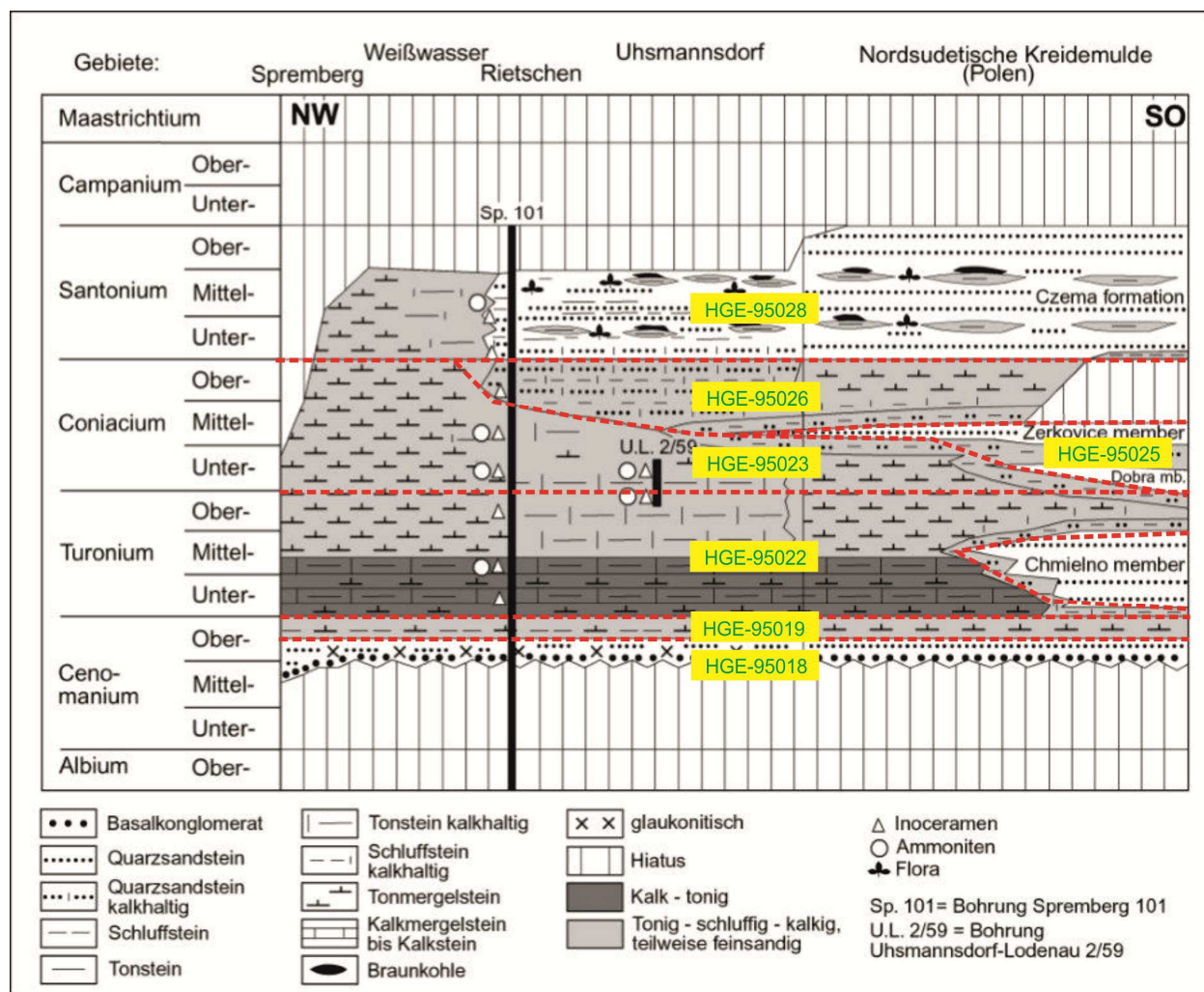
6.3.2 Kryterium wielkości powierzchni

Podczas kreowania w rzucie poziomym zasięgów powierzchni jednostek HGE, przyjęto zasadę, że dla każdej, oddzielnej części danej jednostki, jej wielkość minimalna powinna wynosić 10 000 m² (1 ha). Kryterium to dotyczy również „okien” w powierzchniach zasięgów. Zbyt małe powierzchnie należy „stopić” z otaczającą jednostką modelu, natomiast „okna” usunąć.

Rozciągnięte na długość geologiczne elementy strukturalne (np. żyły, wkładki litologiczne o małej miąższości, wąskie doliny) są włączane do modelu, tylko wówczas jeżeli ich szerokość wynosi minimum 25 m. Należy pamiętać, że na mapach o mniejszych podziałkach (od 1 : 50 000) elementy tego typu są z reguły przedstawiane jako nieproporcjonalnie duże.

6.3.3 Dopasowanie granic do sąsiednich modeli

Jeżeli opracowywany model graniczy z już istniejącym modelem 3D lub ma być jego uzupełnieniem, jak w przypadku łączenia modeli w strefie buforowej projektu *TransGeoTherm*, należy uwzględnić procedurę dopasowania granic/krawędzi. Dopasowanie krawędzi do otaczających modeli należy zapewnić w sensie matematycznym w sposób ciągły i odpowiednio zróżnicowany. Na styku modeli nie mogą występować żadne, nagłe zmiany wysokości (skoki miąższości), a nachylenie powierzchni granicznych musi być kontynuowane w sposób ciągły. W sensie merytorycznym należy uwzględnić istniejące, transgraniczne schematy korelacyjne jednostek geologicznych, których przykład zastosowania dla projektu *TransGeoTherm* pokazano na rys. 8. Zastosowane rozwiązania techniczne należy przy tym przenieść i kontynuować dla obu sąsiadujących modeli. W niektórych miejscach konieczna może się okazać modyfikacja istniejących modeli 3D w strefie granic. Prace nad dostosowaniem krawędzi są czasochłonne. Dlatego w miarę możliwości należy unikać podziału obszaru opracowania na zbyt wiele obszarów cząstkowych.



Opis rysunku:

Gebiete	Obszary
Ober	Górny
Mittel	Środkowy
Unter	Dolny
Basalkonglomerat	Zlepieniec podstawowy
Quarzsandstein	Piaskowiec kwarcowy
Quarzsandstein kalkhaltig	Piaskowiec kwarcowy, wapnisty
Schluffstein	Mułowiec
Tonstein	Iłowiec
Tonstein kalkhaltig	Iłowiec wapnisty
Schluffstein kalkhaltig	Mułowiec wapnisty
Tonmergelstein	Iłowiec marglisty
Kalkmergelstein bis Kalkstein	Margiel wapnisty do wapienia
Braunkohle	Węgiel brunatny
glaukonitisch	glaukonitowy
Hiatus	Przerwa (hiatus)
Kalk - tonig	Wapnisto - ilasty

<i>Tonig – schluffig – kalkig, teilweise feinsandig</i>	<i>Ilasty – pylasty – wapnisty, częściowo z piaskiem drobnoziarnistym</i>
<i>Inoceramen</i>	<i>Małże Inoceramus</i>
<i>Ammoniten</i>	<i>Amonity</i>
<i>Flora</i>	<i>Flora</i>
<i>Bohrung</i>	<i>Otwór</i>

Rysunek 8: Podział i korelacja osadów okresu kredowego w aspekcie litologicznym i chronostratygraficznym na saksońsko-polskim obszarze granicznym z nałożonym nowym schematem jednostek HGE.

6.3.4 Utwory antropogeniczne

Poniższe dane stanowią podstawę dla opracowania konstrukcji jednostki HGE „Utwory antropogeniczne:

- istniejące otwory wiertnicze,
- aktualny model NMT o dużej rozdzielczości,
- mapy geologiczne w różnej skali (w Saksonii: GK50, GK25, LKQ; w Polsce: SMGS, SMGP),
- informacje dotyczące miejsc eksploatacji surowców mineralnych (w Saksonii: SOBA; w Polsce CBDG),
- dokumentacje archiwalne, raporty i ekspertyzy,
- mapy topograficzne o dużej skali (np. 1 : 10 000),
- zdjęcia lotnicze,
- aplikacje internetowe (np. w Saksonii: TK krajowej służby geodezyjnej, w Polsce: Geoportal),
- informacje o dawnych skażeniach,
- cyfrowe modele krajobrazu (np. ATKIS-DLM w Saksonii).

Wymienione wyżej informacje sprawdzane są pod względem **wiarygodności i aktualności**, a następnie porównywane z sobą i przetwarzane w sposób umożliwiający doprecyzowanie lokalizacji utworów antropogenicznych.

Składowiska odpadów, hałdy, usypiska, itp. konstruowane są z reguły, jako pojedyncze obiekty. Do ustalenia miąższości utworów antropogenicznych służą dokumenty organów górniczych, starostw, wzgl. podmiotów prawnych lub innych użytkowników tych obiektów. Jeżeli nie są one dostępne, wtedy na terenie hałd i składowisk wyznaczana jest przypuszczalna powierzch-

nia spągu osadów antropogenicznych i na tej podstawie w odniesieniu do modelu wysokości, obliczana jest ich miąższość.

W Saksonii, dla centrów zurbanizowanych o gęstej zabudowie (tzw. „powierzchni śródmiejskich“) korzystne jest ich przedstawienie jako zwartych obszarów podścielonych utworami pochodzenia antropogenicznego, przy czym na obszarach niezbadanych wyznaczana jest ich miąższość minimalna (tutaj 2 m). Tereny zielone, w przypadku których nie są znane wpływy antropogeniczne, są z „powierzchni śródmiejskiej“ wyłączane. Zasięg przestrzenny powierzchni śródmiejskiej oraz identyfikacja istotnych terenów zielonych odbywa się w oparciu o zapisy danych powierzchni „SDE_ATKIS_Sie_Ortslage_F“ i „SDE_ATKIS_Sie_FreiflaecheGrd_F“ modelu ATKIS-DLM. Związane z „powierzchnią śródmiejską“ mniejsze lokalizacje (osiedla) w okolicy są wyłączane z modelu, a następnie miejscowo „wygładzane” ręcznie. W tym przypadku można ewentualnie stosować „narzędzia wygładzające“ oprogramowania GIS, przy czym należy jednak zwracać uwagę na wiarygodność wyników. Akweny (wody) naturalne są z „powierzchni śródmiejskiej“ wyłączane.

W przypadku prowadzenia odrębnych prac nad modelem geologicznym w wydzielonym rejonie, jak np. w obszarze specjalnym Berzdorf w ramach projektu *TransGeoTherm*, należy zadbać ze szczególną starannością o to, aby całość modelu była spójna, logiczna i zgodna z danymi geologicznymi i modelem opracowanym dla jego otoczenia.

6.3.5 Rozdzielenie osadów dolinnych pod względem wodoprzepuszczalności

Ze względów hydrogeologicznych niezbędne jest rozdzielenie sekwencji warstw litologicznych podpowierzchniowych utworów dolinnych wieku od późnego plejstocenu do holocenu na części niespoiste i spoiste, inaczej mówiąc: na części przewodzące wody podziemne i przewodzące je w niewielkim stopniu. Utrudnione jest dokonanie takiego rozdzielenia w średnich i małych dolinach, ponieważ dane dotyczące małych dolin są przeważnie niekompletne, a miąższości ich wypełnień osadowych niewielkie, na małą skalę występują też zmiany facji sedymentacyjnych. Jedynie dla dużej struktury dolinnej Nysy Łużyckiej jednostki HGE opisywane jako „gliny aluwialne“ oraz „piaski i żwiry rzeczne“ konstruowane są oddzielnie. Natomiast dla średnich i małych dolin tworzona jest jednostka HGE stanowiąca mieszaninę obu tych osadów.

6.4 Opracowanie modelu 3D w GoCAD

6.4.1 Transformacja danych podstawowych na formaty kompatybilne z GoCAD

Rozpoczęcie tworzenia modelu poprzedzone jest odpowiednim przygotowaniem danych do zastosowania w środowisku 3D. Dane te sprawdzane są przed konstrukcją jednostek HGE pod względem ich wzajemnej zgodności, tak aby od razu wychwycić błędy, które nie były widoczne w obrazie 2D.

Aby zastosować dane w GoCAD należy przeprowadzić następujące transformacje:

Tabela 2: Zastosowalność i transformacja podstaw danych do modelowania w GoCAD.

Typ danych	Dostępny format danych	Stosowany format danych GoCAD
Otworki wiertnicze	Tabela ACCESS	Plik tekstowy (.py)
„Sztuczne“ punkty opróbowania (otworki wirtualne)	Tabela ACCESS	Plik tekstowy (.py)
Powierzchnia pokrywy i spągu modelu (granica górna i dolna)	Siatka ESRI	Kształt punktowy siatki Grid
Zaburzenia tektoniczne (uskoki)	Kształt liniowy	Kształt liniowy
Przekroje geologiczne	Plik GeODIN (.ggf) (tylko w Saksonii)	Plik .jpg
Linie przekroju	Kształt liniowy	Kształt liniowy
Granice zasięgu jednostek HGE	Kształt wielokątny	Kształt wielokątny
Izolinie spągu jednostek HGE	Kształt liniowy	Kształt liniowy lub punktowy

6.4.2 Założenia konstrukcyjne

Pod względem metodycznym można dokonać wyboru różnych sposobów podejścia do modelowania 3D:

Opracowanie modelu 3D na podstawie granic struktur geologicznych

1. Opracowanie granic zasięgu jednostek HGE (maksymalnego obrysu powierzchni HGE w rzucie poziomym) lub wykorzystanie powierzchni wychodni jednostek geologicznych,
2. Wykorzystanie analogicznego, regionalno-geologicznego i genetycznego stanu wiedzy odnośnie np. przebiegu, kąta i kierunku upadu granic geologicznych lub typowych, uwarunkowanych genetycznie form strukturalnych

3. Ręczne konstruowanie powierzchni granicznych jednostek HGE lub zastosowanie przepływów informacji „Workflows“ w programie GoCAD-SKUA
4. Przekształcenie modelowanych powierzchni w bryły (ciała lite, ang. „solids“) (opcjonalnie)

Obiekty modelu 3D dla skał podłoża starszych od trzeciorzędu (= utworów przedtrzeciorzędowych) wykonywane są przeważnie z pionowo nachylonymi granicami/kontaktami geologicznymi bądź tektonicznymi (uskokami) (patrz rys.10) Niektóre jednostki HGE starszego podłoża konstruowane są także za pomocą nachylonych powierzchni uskokowych. Linie uskoku rzutowane są w takim przypadku na powierzchnię starszego trzeciorzędu lub powierzchnię w danym przypadku młodszej trzeciorzędowej jednostki modelu, którą ten uskok przecina. Następnie dokonuje się powielenia linii uskoku i przesunięcia powielonej linii w zależności od kąta upadu o określone wartości bezwzględne w kierunku X-, Y- i Z. Na podstawie obu linii tworzona jest następnie powierzchnia ograniczająca jednostkę HGE. W przypadku tego „schematycznego“ sposobu opracowywania powierzchni należy pamiętać o uwzględnieniu udokumentowanych w otworach granic litologicznych.

Opracowanie modelu 3D przez interpolację

1. Opracowanie granic zasięgu jednostek HGE (maksymalnego obrysu powierzchni HGE w rzucie poziomym)
2. Ręczne wprowadzenie informacji o jednostkach HGE na podstawie aktualnego, regionalno-geologicznego stanu wiedzy: konstrukcja wirtualnych punktów opróbowania (otworów) dla całego zasięgu jednostki HGE przy uwzględnieniu lokalnie udokumentowanych miąższości warstw geologicznych w istniejących otworach i ich rozprzestrzenienia
3. Geostatystyczna interpolacja miąższości jednostek HGE (lub określonych warstw litologicznych w ich obrębie) oraz ich powierzchni spągowych przy zastosowaniu wszystkich adekwatnych danych zasięgu wychodni geologicznych, wirtualnych punktów opróbowania i znanych izolinii spągu (w przypadku istniejących map warstwicznych)
4. Konstruowanie modelu za pośrednictwem powierzchni bazy (spągu) jednostki modelu
5. Przekształcenie modelowanych powierzchni w bryły („Solids“) na podstawie górnych i dolnych powierzchni granicznych (opcjonalnie)
6. Przy konstruowaniu jednostek podpowierzchniowych o małej miąższości (głina aluwialna, wypełnienia utworów antropogenicznych), ze względu na niedokładności w modelu wysoko-

ści należy preferować interpolację miąższości. Nie można jednak doprowadzić do sytuacji, aby formy powierzchniowe (np. biegi rzek) „przebijały się” na głębiej położone powierzchnie jednostek HGE, co może się zdarzyć w przypadku odejmowania zregionalizowanej miąższości od wytworzonej powierzchni spągowej nakładających się jednostek. W przypadku głębiej położonych powierzchni zaleca się sposób ich konstrukcji przy pomocy dolnych granic jednostek. Zapobiega to ponadto przewlekaniu i podsumowywaniu odchyłek między „twardymi” danymi, a wynikami interpolacji w dół.

W przypadku różnych założeń modelowania mogą wystąpić błędy topologiczne (np. przenikanie nakładających się powierzchni), których należy zawsze unikać. Jeżeli np. w przypadku interpolacji przypisywana jest miąższość minimalna, wtedy błędy przenikania mogą być wychwycone. Inną możliwość daje zagęszczenie danych przez dodatkowe punkty opróbowania.

6.4.3 Interpolacja

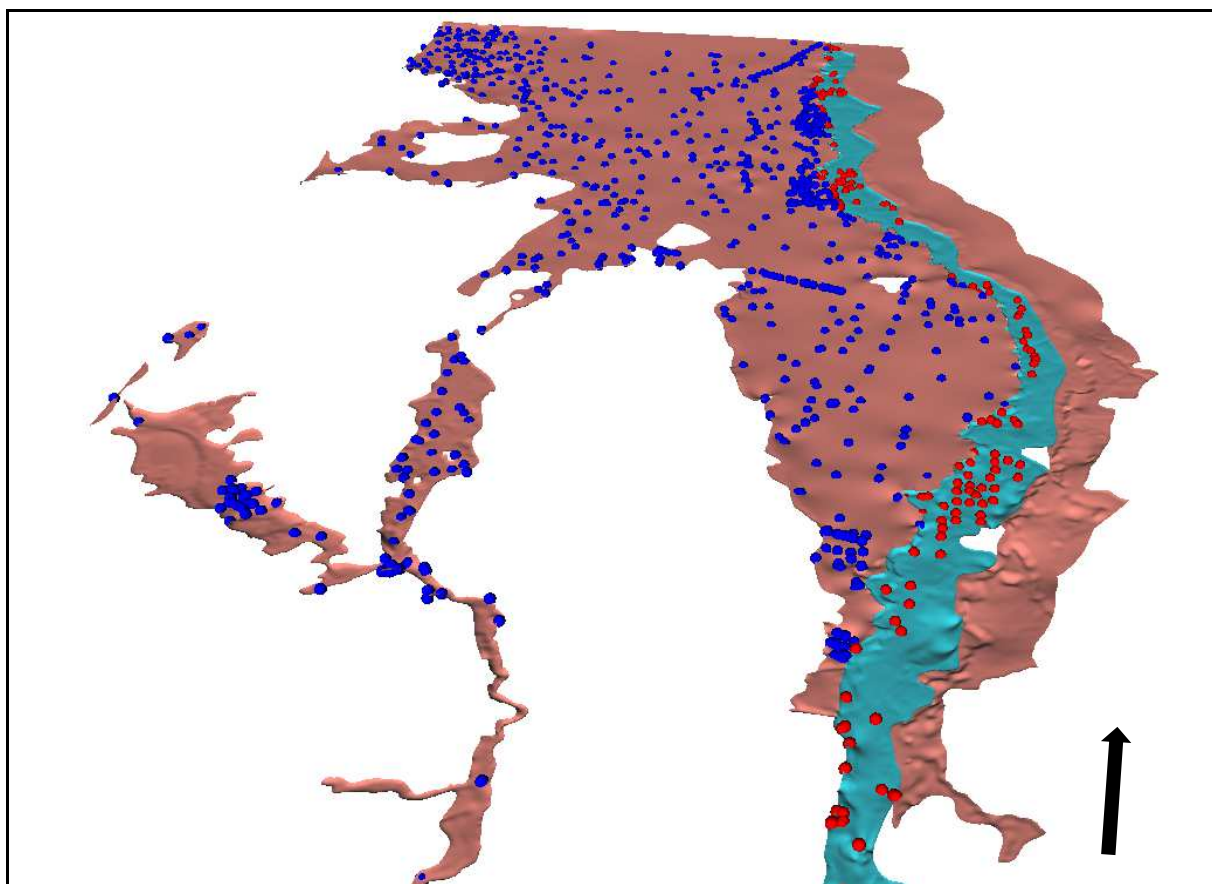
Oprogramowanie 3D dysponuje z reguły różnymi, geostatystycznymi algorytmami interpolacyjnymi. Przy wyborze odpowiedniej metody należy skorzystać z literatury fachowej z dziedziny geostatystyki. Wpływ wybranego algorytmu nie jest jednak tak ważny, jak jakość danych wyjściowych.

Celem interpolacji jest, aby obliczona wartość odpowiadała w miarę dokładnie wartości zmierzonej lub zaobserwowanej na miejscu (Rys.9). Należy unikać sytuacji, gdy w miejscach wykonania otworów i wirtualnych punktów opróbowania powstaną w modelowanych powierzchniach nienaturalne „garby” lub „dołki” spowodowane przewyższeniem lub zaniżeniem miąższości. Tego rodzaju zjawiska są przeważnie następstwem niewłaściwie zdefiniowanych parametrów interpolacji lub zaprojektowania zbyt małej liczby punktów opróbowania.

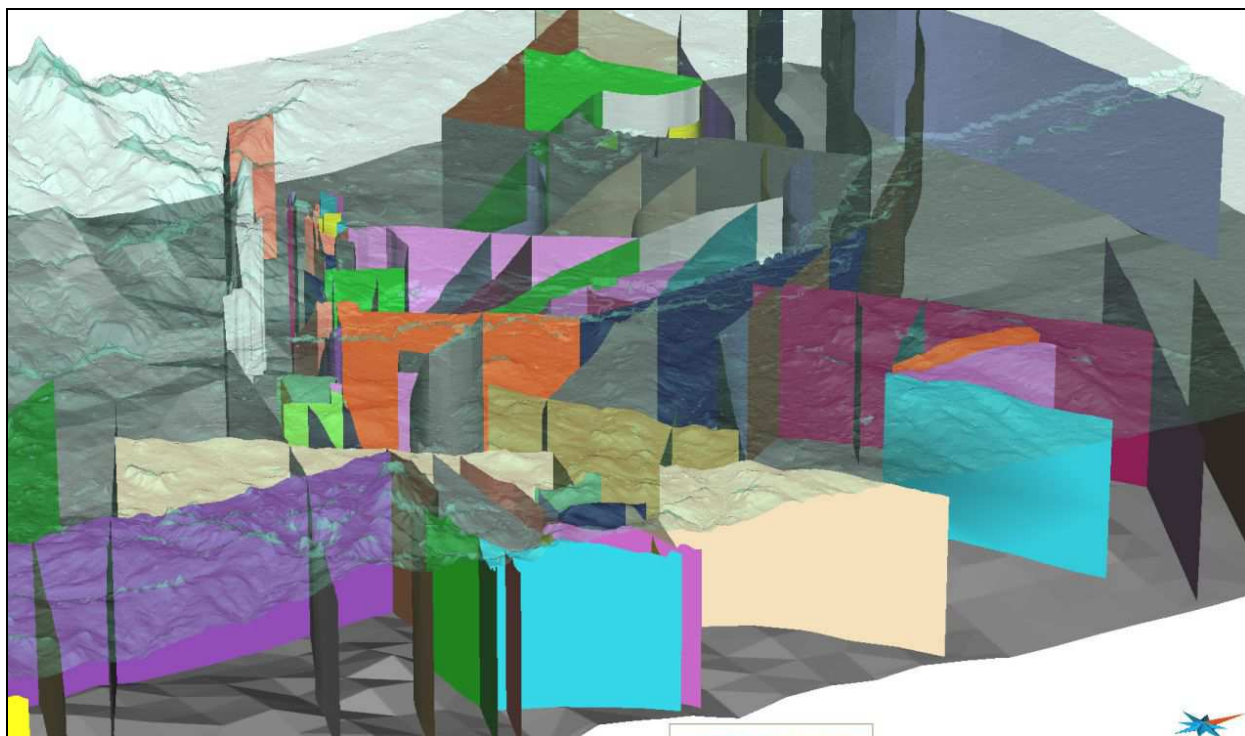
Większa część jednostek HGE przynależnych wiekowo do ery kenozoicznej opracowana została w projekcie *TransGeoTherm* przy założeniu „modelowania powierzchni spągowej” metodą interpolacji DSI, dostępną w oprogramowaniu GoCAD. Metodą DSI (Disrete Smooth Interpolation) wykonywana jest średnia powierzchnia trendu przy najmniejszym odchyleniu od punktów danych. Za pośrednictwem powtarzających się algorytmów powierzchnia ta jest potem stopniowo, w możliwie najlepszy sposób dostosowywana do danych i wygładzana.

Metoda DSI może być stosowana do interpolacji w obrębie pojedynczej jednostki HGE lub w obrębie określonego obszaru. Jeżeli interpolacja ma być dokonana w obrębie wydzielonego obszaru, niezbędne jest sporządzenie „skrzynki” („Box“)(Voxet) o zdefiniowanym rozprze-

strzeniu. Po dokonaniu interpolacji można wykonać przekroje powierzchni spągowej poszczególnych jednostek modelu wraz z ich zasięgami, najczęściej muszą one jednak być potem dopracowywane. Powierzchnia spągu warstwy geologicznej może być poddana dokładniejszej interpolacji przy krawędzi z inną, sąsiadującą warstwą (np. w przypadku budowy soczewkowej/nieckowej) lub ograniczona ścianką pionową (ang. tube). Interpolowanie powierzchni można uszczegółowić stosując ograniczenia (ang. constrains) w oprogramowaniu GoCAD, m.in. „Control Nodes“ i „Control Points“ oraz przez zdefiniowanie miąższości minimalnej.



Rysunek 9: Fragment modelu 3D dla trzech jednostek HGE po zachodniej stronie doliny Nysy Łużyckiej z lokalizacją wybranych otworów wiertniczych.

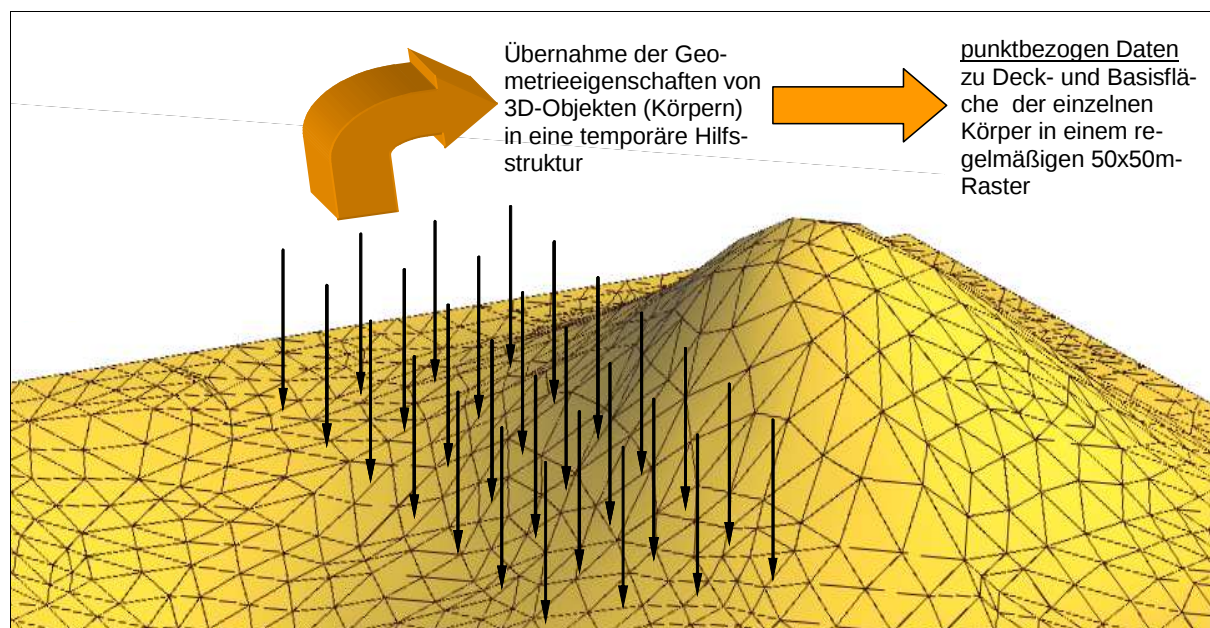


Rysunek 10: Fragment modelu 3D: powierzchnie uskokowe na tle Numerycznego Modelu Terenu (NMT)

6.5 Przeniesienie modelu GoCAD do formatu rastra

Opracowany przy pomocy oprogramowania GoCAD model 3D może istnieć albo w formie powierzchni wielobocznego układu sieci trójkątów, albo jako jednostki przestrzenne modelu (tzw. bryły - ang. solids). W projekcie *TransGeoTherm* wykonane zostały powierzchnie stropu i spągu (pokrywy i podstawy/bazy) wielobocznego układu sieci trójkątów jednostek hydrogeologiczno-geotermicznych (HGE).

W celu obliczenia map geotermicznych przy pomocy rozszerzenia (nakładki) ArcGIS dla warstwy informacyjnej Geotermia (patrz 8.2) umieszczone nieregularnie na powierzchniach stropu (pokrywy) jednostki HGE punkty węzłowe przenoszone są do rastra w którym rozmiary komórki bazowej wynoszą 25x25m (rys. 11).



Opis rysunku:

Übernahme der Geometrieeigenschaften von...	Przeniesienie danych geometrycznych obiektów 3D (jednostek) do tymczasowej struktury pomocniczej
<u>punktbezogen Daten</u> zu Deck- und Basisfläche...	Odnoszące się do punktu dane odnośnie powierzchni stropu i spągu (pokrywy i bazy) poszczególnych jednostek w rastrze regularnym 50 x 50 m

Rysunek 11: Przeniesienie właściwości geometrycznych obiektów modelu do regularnego rastra punktowego.

Czynność ta w przypadku projektu *TransGeoTherm* realizowana jest za pomocą powierzchni składającej się z trójkątów równoramiennych rozmieszczonych na regularnej siatce punktów o boku długości 25 m. Poprzez polecenie „Remove Crossover“ powierzchnia ta rzutowana jest na odpowiedni strop warstwy geologicznej (HGE), a następnie jej zbędne fragmenty znajdujące się poza zasięgiem tej warstwy są usuwane. W dalszym etapie powierzchnie te przekształca się w zestaw punktów przechowujących rzędne warstwy po to, aby utworzyć z nich raster.

Alternatywnie można wykonać zapis danych otworu, gdzie otwory rozmieszczone są co 25 m. Do tych „pustych“ otworów przypisywane są następnie „markery“, znajdujące się w miejscach połączeń otworów i modelowanej powierzchni. Opracowane „markery“ są eksportowane, jako plik ASCII i przekształcane w raster.

Wynikiem obu wariantów jest regularny raster wysokości powierzchni stropu (pokrywy) jednostki HGE w jej aktualnym rozszerzeniu o liniaturze rastra 25 m.

6.6 Sprawdzanie wiarygodności

Wyniki konstruowania modelu 3D muszą być sprawdzone pod względem wiarygodności. Sprawdzenia można dokonać w środowisku 3D lub na danych przestrzennych wyeksportowanych do środowiska GIS w formacie rastra (powierzchnie stropu / pokrywy/, powierzchnie spągu /bazy/, rozkład miąższości). Istnieje możliwość dokonania porównania np. na podstawie znanych modeli spągu powierzchni pod- czwarto- i trzeciorzędowej lub innych wyrazistych i dobrze rozpoznanych poziomów geologicznych. Widoczne w małej skali błędy są przeważnie dobrze identyfikowalne w siatce rozkładu miąższości, wynikającej z danych przestrzennych. W programie GoCAD dostępne jest też narzędzie do opracowywania wirtualnych przekrojów powierzchni tworzących jej zarys, przy pomocy którego można kontrolować położenie przestrzenne konstruowanych jednostek modelu między sobą.

7 Tematyka hydrogeologiczna

7.1 Obliczenie odległości zwierciadła wód gruntowych od powierzchni

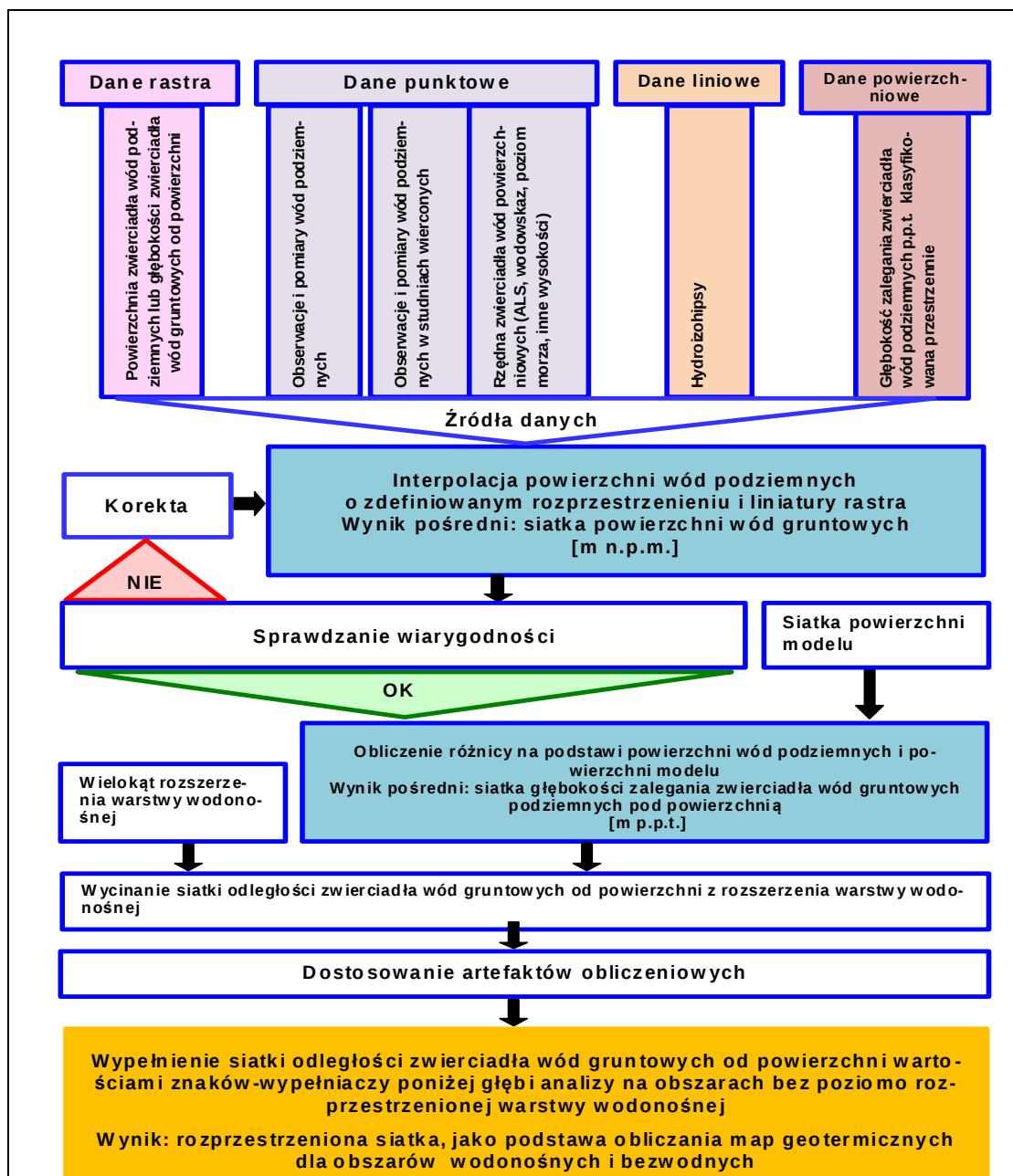
Oprócz danych przestrzennych jednostek hydrogeologiczno-geotermicznych przy obliczaniu mapy geotermicznej uwzględnia się nasycenie wodą skały w postaci kompatybilnego z siatką Mastergrid zapisu danych rastra odległości zwierciadła wód podziemnych od powierzchni terenu.

Dostępne informacje dotyczące zwierciadła wód podziemnych charakteryzuje z reguły bardzo zróżnicowany zasięg obszarowy (nierównomierne rozmieszczenie), szczegółowość czasowa i przestrzenna oraz ich jakość. Generalnie przy konstrukcji tej warstwy informacyjnej oraz jej analizie i ocenie korzystać można z następujących źródeł danych:

- istniejące obliczenia wielkoobszarowe dotyczące zwierciadła wód podziemnych lub głębokości ich zalegania pod powierzchnią terenu (muszą być ewentualnie przeliczane na inny raster w kontekście położenia lub liniatury rastra)
- stany wód zmierzone w punktach monitoringu wód podziemnych (np. sieć obserwacyjno-badawcza wód podziemnych, państwowa sieć pomiarowa, specjalne sieci pomiarowe)
- nawiercone zwierciadło wód podziemnych zmierzone w ramach robót wiertniczych i stany wód w innych istniejących otworach wiertniczych
- lokalne mapy hydroizohips (w miarę możliwości aktualne, ewentualnie także historyczne)

- dane i informacje analogowe odnośnie zwierciadła wód podziemnych ustalone na podstawie ekspertyz i raportów odnalezionych w toku poszukiwań dokumentacyjnych
- wybrane wysokości wzdłuż akwenów mających połączenie z wodami podziemnymi, na podstawie modelu wysokości o dużej rozdzielczości lub pomiarów laserowym skanerem lotniczym (ALS)
- szacunkowe wysokości wód podziemnych, jako dodatkowe „sztuczne = wirtualne“ obliczeniowe punkty opróbowania

Dane hydrogeologiczne pochodzące z różnych źródeł podlegają wahaniom czasowym. Mimo, że nie wykazują one wzajemnego odniesienia czasowego, łączone są w jeden zapis danych (patrz rys.12).



Rysunek 12: Schemat przebiegu opracowywania siatki odległości zwierciadła wód gruntowych od powierzchni, jako podstawa obliczania map geotermicznych.

Obszar projektu został za pomocą rozszerzeń HGE schematycznie podzielony na obszar zawodniony i obszar pozbawiony utworów wodonośnych. Dla obszaru zawodnionego głębokość zwierciadła wód podziemnych pod powierzchnią terenu obliczana jest na podstawie powyższych danych (rys. 13).

Ponieważ powierzchnia zwierciadła wód podziemnych w projekcie *TransGeoTherm* używana jest wyłącznie do obliczania map geotermicznych, w przypadku operacji częściowych wy-

bierany jest uproszczony sposób postępowania (odległość zwierciadła wód podziemnych od powierzchni dla obszarów bez warstw wodonośnych, dostosowanie wyników obliczenia za pośrednictwem danej odległości, niezależne od daty zestawienie danych). Osiągnięta dokładność oceny jest merytorycznie za wystarczającą.

Obszar zawodniony

Obszar zawodniony zawiera wszystkie jednostki HGE, ocenione w profilu normalnym, jako warstwy wodonośne (niem. GWL) (porowa warstwa wodonośna jednostek skał luźnych, klastycznych i zwięzłych), jak też „hydrogeologiczne jednostki mieszane”. Wyróżnia się obszary z wodami podziemnymi o zwierciadle napiętym i wodami podziemnymi o zwierciadle swobodnym. Zatem na obszarach zawodnionych o zwierciadle swobodnym powierzchnia wód podziemnych, interpolowana na podstawie danych o stanie wód podziemnych jest bezpośrednio używana do dalszych obliczeń. Na obszarach zawodnionych o zwierciadle napiętym za powierzchnię przyjmowany jest spąg warstwy napinającej / strop warstwy wodonośnej.

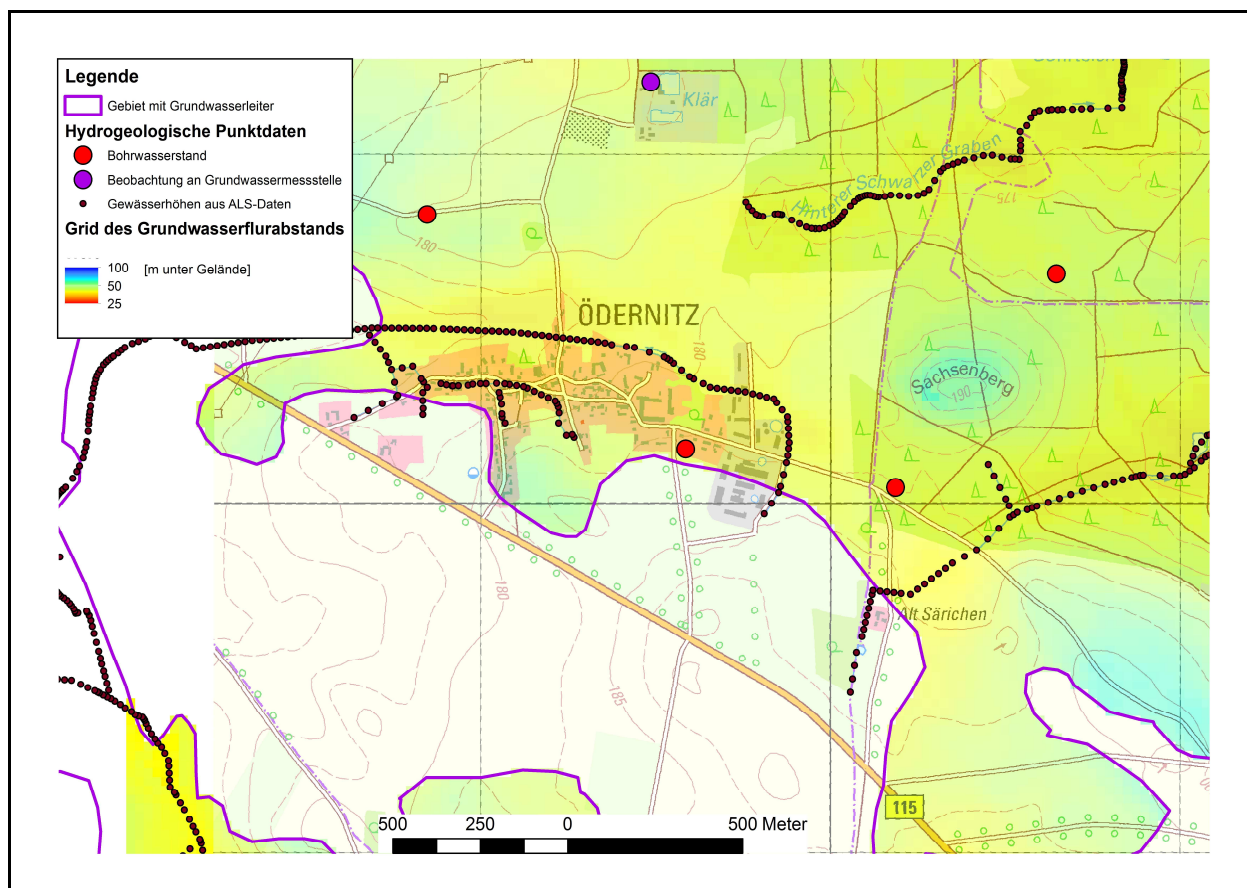
Dla saksońskiej części obszaru kartowania wszystkie dostępne źródła danych przekształcane są w dane punktowe i łączone w zapis danych miejscowych z wartością rzędnej wód podziemnych. Na podstawie ww. danych, przy pomocy oprogramowania Surfer i obliczeń metodą krigingu, dokonuje się regionalizacji spójnej powierzchni zwierciadła wód podziemnych. Powierzchnia zwierciadła wód podziemnych jest różnicą pomiędzy rzędną powierzchni terenu, a rzędną zwierciadła wód podziemnych. Wartości rzędnej zwierciadła wód podziemnych większe niż rzędna terenu stanowią podczas obliczeń często spotykany problem, szczególnie w obrębie obniżen, skarp i krawędzi zbocza. W tym przypadku w celu dokładniejszej analizy należałoby wykonać niewspółmiernie duże zagęszczenie punktów. Dlatego dla takich niewiarygodnych punktów przyjmuje się wartość rzędnej zwierciadła wód podziemnych równą rzędnej powierzchni terenu. Sprawdzenie warunków wód podziemnych o zwierciadle napiętym i swobodnym następuje przy pomocy powierzchni pokrywy i bazy modelowanej jednostki HGE zgodnie z jej właściwością, jako GWL w środowisku 3D.

W polskiej części obszaru kartowania wszystkie dostępne dane importowane są do programu środowiska GIS typu Geomedia Professional lub ArcGis. W aplikacji są one prezentowane jako udokumentowana głębokość do zwierciadła wód podziemnych. Następnie na ich podstawie tworzone są hydroizobaty, które w kolejnym etapie zamieniane są na zbiór danych punktowych i poddawane interpolacji w programie Surfer metodą krigingu. Uzyskany w ten sposób zbiór, importowany jest do programu GoCad. W celu stworzenia ciągłej warstwy danych i ich

weryfikacji, oblicza się powierzchnię zwierciadła wód podziemnych odejmując od powierzchni terenu głębokość zalegania zwierciadła wody. Otrzymana powierzchnia zawiera informację z rzędną zwierciadła wody i umożliwia poprawienie ewentualnych błędów powstałych podczas interpolacji. Po weryfikacji poprawności danych, otrzymanej powierzchni przypisywane są wartości głębokości zalegania zwierciadła wody, obliczone jako różnica pomiędzy rzędną zwierciadła wody, a rzędną terenu.

Obszar bez warstw wodonośnych

Za obszar bezwodny przyjmuje się natomiast mało wydajne (niem. GWGL) jednostki skał luźnych klastycznych oraz jednostki wyznaczone w spękanych i zwietrzałych skałach krystalicznych, które tworzą kolektor wodonośny o charakterze szczelinowym i szczelinowo - porowym. Na takim obszarze szczególną trudność stanowi wyznaczenie głębokości zalegania zwierciadła wód podziemnych. Często brak jest spójnego, rozprzestrzonego w sposób ciągły, zwierciadła wód podziemnych lub jego wyznaczenie nie jest możliwe. W przypadku utworów wodonośnych, szczelinowych nasycenie wodą w stosunku do przewodności cieplnej nie stanowi z reguły czynnika mającego istotny wpływ na wynik modelowania. Z tego powodu obszary te wypełniono w opracowanej później w programie ArcGIS powierzchni zwierciadła wód podziemnych wartością 200 m poniżej powierzchni terenu (Data Management Tools\Raster\Raster-Dataset\Mosaic to new Raster). Tym samym są one położone poniżej zakresu poziomów geotermicznych, dla którego mapy geotermiczne zostały opracowane. Wartość 200 m jest czysto fikcyjna i pełni jedynie funkcję znaku-wypełniacza przy obliczaniu.



Opis rysunku:

Legende	Legenda
Gebiet mit Grundwasserleiter	Obszar z warstwami wodonośnymi
Hydrogeologische Punktdaten	Hydrogeologiczne dane punktowe
Bohrwasserstand	Stan wody w otworze
Beobachtung an Grundwassermessstelle	Obserwacja na posterunku wód podziemnych
Gewässerhöhen aus ALS-Daten	Stany wód na podstawie danych z lotniczego skanera (ALS)
Grid des Grundwasserflurabstands	Siatka odległości zwierciadła wód gruntowych od powierzchni
m unter Gelände	m poniżej terenu

Rysunek 13: Dane wejściowe i wynik końcowy obliczenia odległości zwierciadła wód gruntowych od powierzchni dla obszarów z warstwami wodonośnymi na przykładzie regionu Ödernitz.

7.2 Opis hydrogeologiczny jednostki HGE

Obiekty modelu mogą być w programie GoCAD opatrzone atrybutami numerycznymi. Możliwość ta wykorzystywana jest do hydrogeologicznego charakteryzowania i prezentacji kolorystycznej jednostki HGE zgodnie z klasą przepuszczalności. W tym celu prowadzi się badania dokumentacyjne wartości reprezentatywnych dla przewodności hydraulicznej dla jednostek HGE obszaru opracowania i przyporządkowuje je do niżej podanych klas przepuszczalności. W przy-

padku HGE, dla których istnieją konkretne wartości, korzysta się z zakresów wartości z innych obszarów opracowania lub literatury.

Tabela 3: Klasyfikacja przepuszczalności luźnych skał klastycznych (BGR, 1997).

HK 50 - Vorschlag

Leitertyp	Grundwassergeringleiter					Grundwasserleiter						
Durchlässigkeits- klasse	7 äußerst gering	6 sehr gering		5 gering		4 mäßig		3 mittel		2 hoch		1 sehr hoch
Unterklasse	7	6.2	6.1	5.2	5.1	4.2	4.1	3.2	3.1	2.2	2.1	1
k_f -Wert (Grenzen) [m/s]	$1 \cdot 10^{-9}$	$1 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-2}$	

Opis tabeli:

<i>Vorschlag</i>	<i>Propozycja</i>
<i>Leitertyp</i>	<i>Typ warstwy wodonośnej</i>
<i>Grundwassergeringleiter</i>	<i>Warstwa wodonośna o małej wydajności</i>
<i>Grundwasserleiter</i>	<i>Warstwa wodonośna</i>
<i>Durchlässigkeitsklasse</i>	<i>Klasa przepuszczalności</i>
<i>Unterklasse</i>	<i>Podklasa</i>
<i>k_f-Wert (Grenzen)</i>	<i>Współczynnik k_f (granice)</i>
<i>äußerst gering</i>	<i>Skrajnie mała</i>
<i>sehr gering</i>	<i>Bardzo mała</i>
<i>gering</i>	<i>Mała</i>
<i>mäßig</i>	<i>Umiarkowana</i>
<i>mittel</i>	<i>Średnia</i>
<i>hoch</i>	<i>Wysoka</i>
<i>sehr hoch</i>	<i>Bardzo wysoka</i>

Na szczeblu międzynarodowym istnieją różne klasyfikacje przewodności hydraulicznych. Ze względu na kompatybilność z innymi opracowaniami saksońskimi, na całym obszarze opracowania projektu *TransGeoTherm* przy klasyfikowaniu przewodności hydraulicznych kierowano się wyżej cytowanym zaleceniem z „Hydrogeologicznej instrukcji kartowania” BGR.

7.3 Obszary chronione

Ponieważ obszary ochrony wód podziemnych są obszarami wyłączonymi z użytkowania na cele wykorzystania energii geotermicznej (ciepła Ziemi), zarysy ustanowionych prawnie obszarów ochrony tych wód na obszarze opracowania należy sprawdzić wg stanu aktualnego i włączyć ich wizualizację do aplikacji internetowej map geotermicznych.

W Polsce wyznacza się strefy ochrony wód podziemnych dwojakiego rodzaju:

- teren ochrony bezpośredniej czyli obszar ujęcia oraz gruntu wokół niego o promieniu 8 – 20 m, którego nie wolno użytkować do celów niezwiązanych z eksploatacją wód; teren ten musi

być ogrodzony, oznaczony i posiadać tablice informacyjne; jego utworzenie jest obligatoryjne dla wszystkich ujęć wód podziemnych i powierzchniowych.

- teren ochrony pośredniej wyznacza obszar zasilania ujęcia wody; wyznacza się go na podstawie dokumentacji hydrogeologicznej ujęcia. Dla każdego terenu ochrony pośredniej ustala się obowiązujące nakazy i zakazy użytkowania gruntów, w zależności od warunków infiltracji zanieczyszczeń do poziomu wodonośnego. Granice obszaru należy oznaczyć w punktach charakterystycznych poprzez umieszczenie tablic informacyjnych.

W uzasadnionych przypadkach (warunki hydrogeologiczne, hydrologiczne i geomorfologiczne zapewniające ochronę ujmowanej wody) można wyznaczyć jedynie strefę ochrony bezpośredniej ujęcia wody.

Na polskim obszarze badań projektu *TransGeoTherm* nie ma wyznaczonych stref ochrony pośredniej. Są natomiast ustalone (według katastru wodnego) cztery strefy ochrony bezpośredniej.

Lokalizacje rezerwatów przyrody mogą być pokazane w przeglądarce map geotermicznych w postaci informacji dodatkowej.

8 Opracowanie map geotermicznych

8.1 Przewodności cieplne jednostek HGE

W Saksonii, w bazie geodanych LfULG istnieje słownik odpowiednio zakodowanych odmian petrograficznych skał, wraz z przypisanymi im wartościami przewodności cieplnej właściwymi dla skał w stanie suchym (λ_T) i nasyconym wodą (λ_F). Dane te zostały uprzednio zebrane na podstawie własnych pomiarów przewodności cieplnej na rdzeniach wiertniczych oraz źródeł w literaturze. W celu umożliwienia transgranicznego wykorzystania tego zbioru danych w ramach projektu *TransGeoTherm* w pierwszej kolejności wydzielenia litologiczne opisane w profilach otworów wiertniczych po stronie polskiej i niemieckiej zostały opatrzone kodami petrograficznym, kompatybilnymi ze źródłową bazą geodanych LfULG. Następnie dla obu zbiorów z tak ustaloną kodyfikacją petrograficzną warstw skalnych dokonano przyporządkowania wartości (λ_T) i (λ_F) (Tabela 4).

Tabela 4: Wybrane przykłady atrybutowania różnych typów skał występujących w otworach kodami petrograficznymi i wartościami (λ_T) oraz (λ_F) z bazy danych wychodni LfULG.

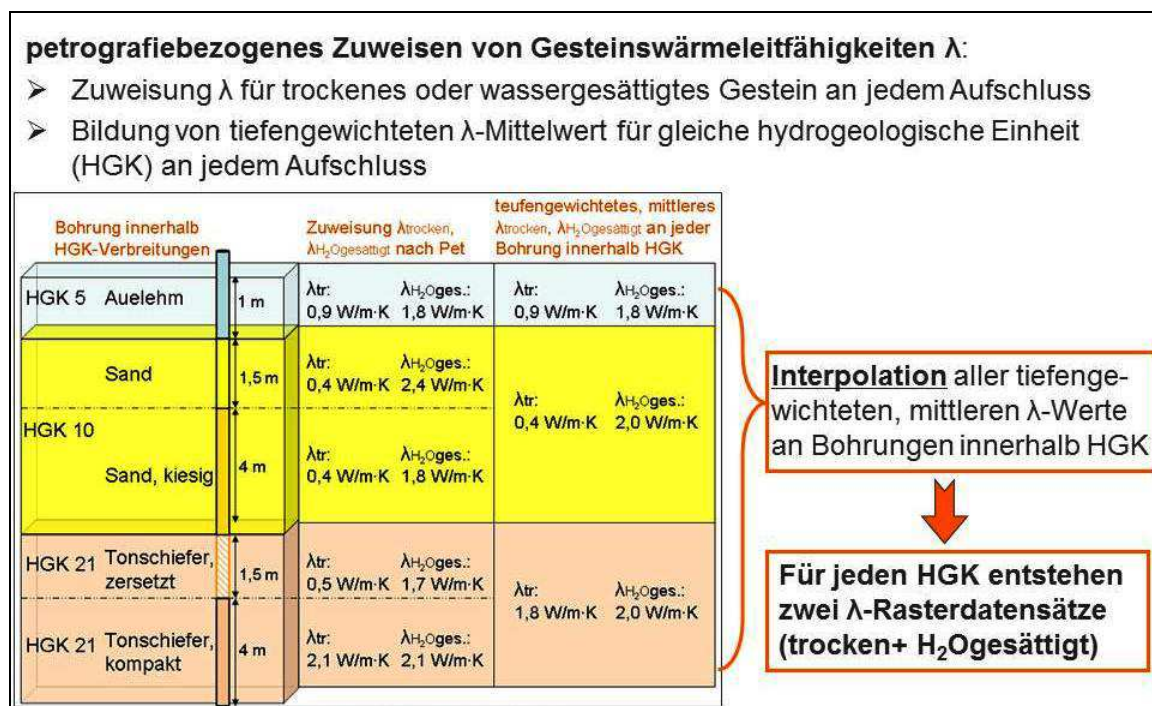
Kod petrograficzny	Skała	λ_F [W/(m·K)]	λ_T [W/(m·K)]
IIPDgD.....	Granodioryt	2,30	2,30
MTSpTs.....	Łupek ilasty	2,10	2,10
SKFSWg.....	Szarogłaz	2,50	2,50
SKLSsd.....	Piasek	2,40	0,40
SKLSt.....	Gлина	1,70	0,50
SKLSus.....	Pył piaskowy	1,70	0,50
SOLOKo.....	Węgiel brunatny	0,60	0,30

8.2 Obliczanie map geotermicznych

Utworzona baza danych otworowych z zakodowanymi dla wszystkich jednostek hydrogeologiczno-geotermicznych (HGE) wartościami suchej (λ_T) i nasyconej wodą (λ_F) przewodności cieplnej warstw skalnych (patrz 5.2.1, 8.1), jak też siatki powierzchni modelowanych jednostek (patrz 6.5) oraz odległości zwierciadła wód gruntowych od powierzchni terenu (patrz 7.1) stanowią podstawę dla obliczenia średnich rozkładów przewodności cieplnej [W/m·K] i wskaźnika mocy cieplnej [W/m] dla zdefiniowanych interwałów głębokości (0-40 m, 0-70 m, 0-100 m oraz 0-130 m). Obliczeń tych dokonuje się wg następującej procedury:

Dla każdego otworu wiertniczego, po przyporządkowaniu współczynników właściwej przewodności cieplnej wyróżnionym w jego profilu warstwom skalnym, obliczany jest, wg miąższości jednostek HGE, średni, ważony współczynnik przewodności cieplnej dla λ_T i λ_F . Obliczenie polega na tym, że dla każdej jednostki HGE zbudowanej z jednej lub z wielu warstw skalnych mnoży się wartości λ poszczególnych warstw przez ich miąższość w metrach. Iloczynny te są następnie dodawane i dzielone przez ogólną sumę metrów (miąższość) danej jednostki HGE występującej w otworze (patrz rys. 14). Wynik końcowy stanowią dla konkretnej lokalizacji wszystkie średnie wartości λ_T i λ_F dla poszczególnych jednostek HGE.

W przypadku stosowanych przy konstruowaniu HGE „sztucznych“ punktów opróbowania określa się szacunkowo suche (λ_T) i nasycone wodą (λ_F) współczynniki przewodności cieplnej.



Opis rysunku:

<i>petrografiebezogenes Zuweisen von...</i>	<i>Uwarunkowane petrograficznie przyporządkowanie przewodności cieplnych skały λ:</i>
<i>Zuweisung λ für trockenes oder...</i>	<i>Przyporządkowanie λ do skały suchej lub nasyconej wodą dla każdej warstwy skalnej</i>
<i>Bildung von tiefengewichteten λ-Mittelwert...</i>	<i>Tworzenie - ważonej wg głębokości - wartości średniej λ dla tej samej jednostki hydrogeologicznej (HGK)</i>
<i>Bohrung innerhalb HGK-Verbreitungen</i>	<i>Otwór w obrębie jednostki HGK (=HGE)</i>
<i>Zuweisung λ_{trocken}, $\lambda_{\text{H}_2\text{Ogesättigt}}$ nach Pet</i>	<i>Przyporządkowanie $\lambda_{\text{dla skał suchych}}$, $\lambda_{\text{H}_2\text{O}}$ dla skał nawodnionych uwarunkowane petrograficznie</i>
<i>teufengewichtetes, mittleres λ_{trocken}...</i>	<i>Wartość średnia $\lambda_{\text{dla skał suchych}}$, $\lambda_{\text{H}_2\text{O}}$ dla skał nawodnionych ważona wg miąższości, każdym otworze w obrębie HGK</i>
<i>Auelehm</i>	<i>Gлина aluwialna</i>
<i>Sand</i>	<i>Piasek</i>
<i>kiesig</i>	<i>żwirowy</i>
<i>Tonschiefer, zersetzt</i>	<i>Łupek ilasty, zwietrzały</i>
<i>Tonschiefer, kompakt</i>	<i>Łupek ilasty, zwarty (spoisty)</i>
<i>Interpolation aller tiefengewichteten, mittleren...</i>	<i>Interpolacja wszystkich wartości średnich λ ważonych wg miąższości w otworach w obrębie HGK</i>
<i>Für jeden HGK entstehen zwei...</i>	<i>Dla każdej jednostki HGK powstają dwa zapisy danych rastra λ (suchy + nasycony H_2O)</i>

Rysunek 14: Schematyczny przegląd uwarunkowanego petrograficznie przyporządkowania przewodności cieplnych na przykładzie otworu z różnie zakodowanymi warstwami skalnymi tworzącymi jednostki HGE (uwaga: termin HGK na rysunku jest tożsamy z jednostką HGE).

W celu wykonania rastrów przewodności cieplnej, dokonuje się następnie interpolacji średnich, ważonych wg miąższości, wartości przewodności cieplnej między otworami, a „sztucznymi” punktami opróbowania w obrębie każdego rozszerzenia HGE dla skały nasyconej

wodą (λ_F) i dla skały suchej (λ_T) metodą „odwrotnej odległości“ (IDW – ang. Inverse Distance Weighted). Za pomocą odpowiedniego ustawienia środowiska w menu „Raster Analysis Settings“ wytwarzane są rastry przewodności cieplnej o liniaturze rastra i rozciągłości siatki powierzchni każdej jednostki HGE. Jeżeli zagęszczenie punktów do interpolacji na obszarze zasięgu jednostki jest za małe, należy na tym obszarze dokonać uzupełnienia dalszych wartości średnich dla λ_T i λ_F za pośrednictwem dalszych punktów sztucznego opróbowania. Ponieważ w obliczeniu uwzględnia się także kolejność warstw (pokładów) skalnych, które nie osiągają spągu jednostki HGE, należy zalecić sprawdzenie wyniku średniej ważonej pod względem reprezentatywności oraz wykluczyć budzące wątpliwości wartości „niespenetrowanej (niezgłębionej)“ części HGE.

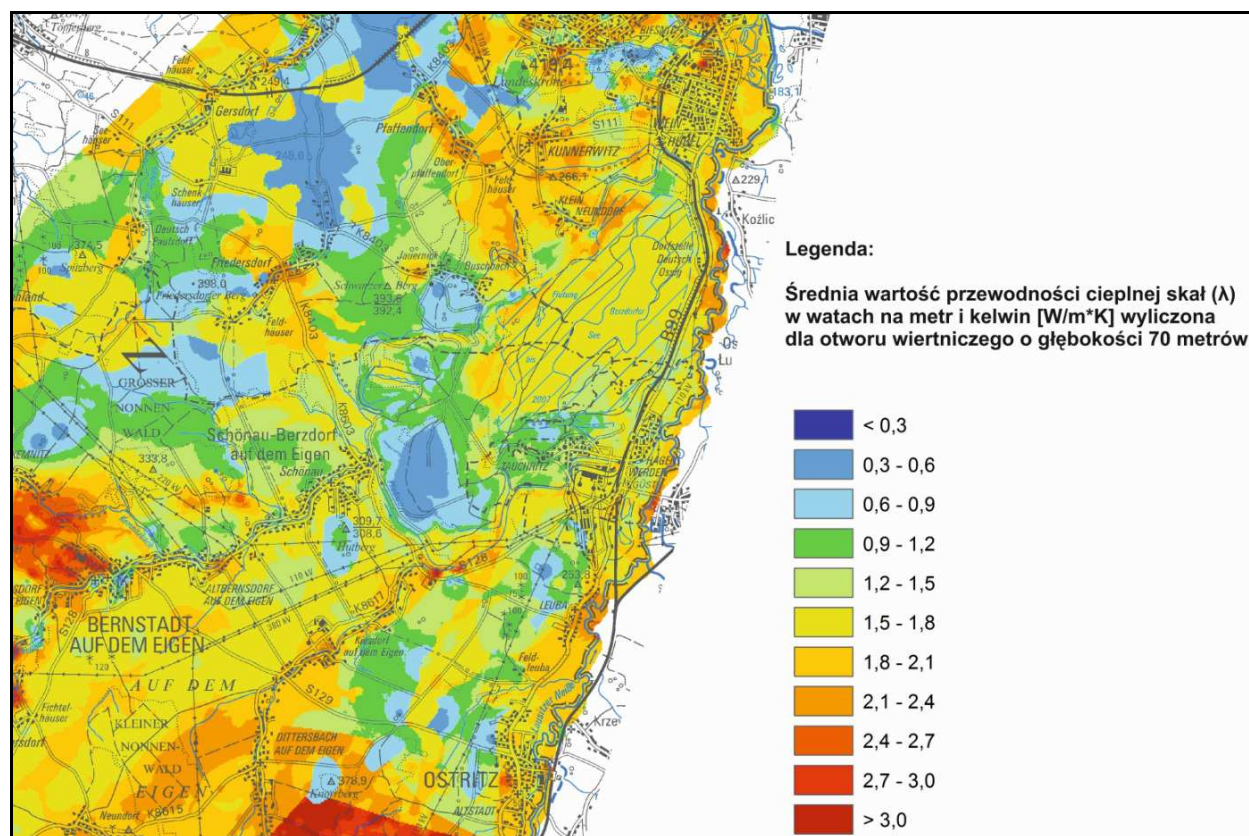
Przy opracowywaniu wspólnego zbioru map geotermicznych dla regionu Nysy Łużyckiej wykorzystywane jest specjalne rozszerzenie (nakładka) ArcGIS z warstwą informacyjną Geotermia. Przy użyciu tego narzędzia siatki powierzchni jednostek HGE przecinają odpowiadające im rastry przewodności cieplnej („siatki λ_T i λ_F “) oraz siatkę odległości zwierciadła wód gruntowych. Odległość zwierciadła wód gruntowych od powierzchni stanowi w programie kryterium decydujące o przyporządkowaniu „nasyconego wodą“ lub „suchego“ rastra przewodności cieplnej do jednostek HGE.

Ostatnią czynnością jest obliczenie, za pomocą rozszerzenia ArcGIS, rozkładów, średnich ważonych λ wg miąższości, średnich wartości przewodności cieplnych wyrażonych w [W/m*K] lub wartości współczynnika mocy cieplnej wyrażonych w [W/m]. Każdorazowo obliczeń tych dokonuje się dla czterech wybranych zakresów głębokości: do 40 m, 70 m, 100 m i 130 m ppt.

Wydajność lub moc poboru sondy geotermicznej (gruntowej pompy ciepła) wyrażona współczynnikiem mocy cieplnej jest tym większa, im większa jest właściwa przewodność cieplna skał podłoża. Oprócz przewodności cieplnej przy obliczaniu wydajności gruntowej pompy ciepła, uwzględniane są jeszcze inne **parametry charakterystyczne dla danego obiektu**, jak np. specyficzne dane techniczne sond geotermalnych (dolnych wymienników ciepła), konstrukcja samej pompy cieplnej, typ budynku itp.. W celu dokonania odpowiednich przeliczeń został opracowany wzór empiryczny dla standardowego, „przeciętnego” typu domu jednorodzinnego wykorzystującego instalację pompy ciepła o średniej mocy grzewczej 11,8 kW. Za jego pomocą można obliczyć możliwy do uzyskania geotermiczny współczynnik mocy cieplnej w watach na metr długości sondy [W/m], dla rocznego czasu użytkowania urządzenia (instalacji pompy ciepła) wynoszącego 1.800 godzin w przypadku użytkowania wyłącznie na potrzeby ogrzewania.

Jeżeli urządzenie jest eksploatowane dłużej, np. 2.400 roboczogodzin rocznie z dodatkowym przygotowywaniem ciepłej wody, wówczas wydajność ta jest mniejsza i do jej obliczenia opracowany został inny wzór empiryczny. Ewentualny silny przepływ wody podziemnej, który może pozytywnie oddziaływać na wydajność sondy geotermicznej, nie jest w obu równaniach uwzględniony.

Wyniki obliczeń potencjału geotermicznego danego obszaru przedstawia się w postaci map rozkładu wartości przewodności cieplnych skał [$\text{W/m}^*\text{K}$] lub współczynnika mocy cieplnej [$\text{W/m}^*\text{K}$] dla odpowiedniego interwału głębokości z podziałem na klasy (przykład patrz rys. 15).



Rysunek 15: Fragment mapy geotermicznej projektu TransGeoTherm dla obszaru modelowego Berzdorf przedstawiający średnie przewodności cieplne skały w $\text{W}/(\text{m}^*\text{K})$ dla interwału głębokości 0 – 70 m.

9 Udostępnianie danych cyfrowych

9.1 Podstawy danych

Wszystkie kompatybilne z GIS zapisy danych, jak dane punktowe, liniowe i powierzchniowe (wielokąty, siatki), opracowane jako podstawa modelowania lub z modelowania wyprowadzone, deponuje się w bazie geodanych instytucji wykonujących model. Baza jest podzielona na kategorie tematyczne: geologia, geotermia, hydrogeologia i topografia. Tym sposobem zapisy danych są nadal dostępne dla innych opracowań lub aktualizacji.

9.2 Dane modelu

Dane jednostek HGE oraz elementy składowe (powierzchnie, bryły) modelu 3D zdeponowane są w kompatybilnym z GoCAD oprogramowaniu GST firmy GiGa infosystems, zakupionym na potrzeby projektu *TransGeoTherm*. Mogą one być ponownie eksportowane w różnych formatach do dalszego użytku lub udostępniane w Internecie za pośrednictwem specjalnej przeglądarki. GST umożliwia szybki dostęp i wymianę dużych ilości danych pomiędzy instytucjami tworzącymi jeden wspólny model przestrzenny.

9.3 Mapa geotermiczna przewodności cieplnej skały

Mapy geotermiczne przewodności cieplnej skały wykonane w ramach projektu *TransGeoTherm* będą udostępnione w Internecie poprzez przeglądarki internetowe środowiska GIS lub w formie plików graficznych typu .pdf i/lub plików wektorowych .shp.

9.4 Mapa odległości zwierciadła wód gruntowych od powierzchni

Mapa odległości zwierciadła wód gruntowych od powierzchni udostępniona będzie w Internecie poprzez przeglądarki internetowe środowiska GIS.

10 Literatura

ATKIS (2001)	ATKIS DGM – Amtliches Topographisches Informationssystem Digitales Geländemodell 25. - Dokumentations-Faltblatt, Landesvermessungsamt Sachsen, Dresden. 11/2001. (ATKIS DGM – Urzędowy Topograficzny System Informacyjny, Cyfrowy Model Terenu 25. – folder dokumen-
--------------	--

	<i>tacyjny, Krajowy Urząd Geodezji Saksonii, Drezno. 11/2001.)</i>
BGR (1997)	Hydrogeologische Kartieranleitung. In: Geologisches Jahrbuch, Reihe G, Heft 2, S. 3-157. Hannover. (<i>Hydrogeologiczna instrukcja kartowania. W: Rocznik Geologiczny, seria G, zeszyt 2, str. 3-157. Hanower.</i>)
BURGER, H. (2004-1)	Schriftliche Empfehlung an das LfULG, Thema: Zur 3D-Verarbeitung von Bohrdaten. - Freie Universität Berlin, FB Geowissenschaften. (<i>Zalecenie pisemne dla LfULG, odnośnie trójwymiarowego przetwarzania danych z odwiertów. - Wolny Uniwersytet Berlin, Wydział Nauk o Ziemi.</i>)
BURGER, H. (2004-2)	Schriftliche Empfehlung an das LfULG, Thema: Zur 3D-Verarbeitung von Bohrdaten. - Freie Universität Berlin, FB Geowissenschaften. (<i>Modelowanie 3D następstwa warstw w przypadku niepewności geologicznej. - Wolny Uniwersytet Berlin, Wydział Nauk o Ziemi.</i>)
GOLDEN SOFTWARE, INC. (1993-2002)	Surfer 8, User's Guide (<i>Surfer 8, Podręcznik użytkownika</i>)
HGC/HGN (2008)	Hydrogeologische Spezialkarte Sachsen M 1 : 50 000, Generallegende. (<i>Hydrogeologiczna mapa specjalna Saksonii, w skali 1: 50 000, legenda ogólna.</i>)
HGN/HGC (2008)	Methodik Hydrogeologische Spezialkartierung Sachsen Maßstab 1 : 50.000 mit Anhang Methodik Ingenieurgeologie und Modul Geothermie. Torgau/Freiberg [im Auftrag des LfULG, Referat Hydrogeologie] (cum lit.) (<i>Metodyka Hydrogeologicznego Kartowania specjalnego Saksonii w skali 1 : 50 000 z dodatkiem: Metodyka Geologia inżynierska i moduł Geotermia. Torgau/Freiberg [na zlecenie LfUG, Referat Hydrogeologii] (cum lit.)</i>)
HGC (2008)	IE Geothermie für ArcGIS 9.3 (<i>Warstwa informacyjna Geo-</i>

	<i>termia dla ArcGIS 9.3)</i>
HGC (2013)	IE Geothermie für ArcGIS 10.1 (<i>Warstwa informacyjna Geotermia dla ArcGIS 10.1</i>)
LfULG (2012)	Methodik der hydrogeologischen Spezialkartierung (Hyk50) (<i>Metodyka hydrogeologicznego kartowania specjalnego (Hyk50)</i>)
TU BERGAKADEMIE FREIBERG (2013)	Introduction to 3D Geomodelling with GOCAD short course material,
PARADIGM GEOPHYSICAL CORP. (2008-2013)	GOCAD (Geological Object Computer Aided Design), wersja 2011.3, Paradigm Geophysical Corp., Pau/France.
GST GIGA INFOSYSTEMS (2013)	GST Version 2.5.9, Dokumentation (<i>GST wersja 2.5.9, dokumentacja</i>)

11 Słownik zastosowanych skrótów i definicji

ALK

Zautomatyzowana mapa nieruchomości Państwowego Zakładu Informacji Geobazy i Geodezji Saksonii (GeoSN)

ALS

Airborne Laser Scanning, lotniczy skaner laserowy

ATKIS

Urzędowy Topograficzno-Kartograficzny System Informacyjny (w Saksonii)

Zawiera następujące komponenty:

ATKIS-DGM: Cyfrowy Model Terenu

ATKIS-DLM: Cyfrowy Model Krajobrazu

ATKIS-DOP: Cyfrowe Ortofotografie

ATKIS-DTK: Cyfrowa Mapa Topograficzna

NMT

Cyfrowy, numeryczny model (wysokości) terenu, cyfrowy model terenu: (DGM w Saksonii)

DSI

Discrete Smooth Interpolation: własna metoda interpolacji oprogramowania GoCAD

Woda podziemna o zwierciadle napiętym

Woda podziemna, której powierzchnia i powierzchnia piezometryczna na rozpatrywanym obszarze nie są identyczne.

GW

Woda gruntowa: woda podziemna, która w sposób logiczny wypełnia puste przestrzenie litosfery i której możliwość przemieszczania określona jest wyłącznie przez siłę ciężkości (DIN 4094).

GWGL

Warstwa wodonośna o małej wydajności: ciało skalne o współczynniku przepuszczalności $k_f \leq 1 \times 10^{-5}$ m/s

GWL

Warstwa wodonośna: ciało skalne, zdolne do prowadzenia wody gruntowej (współczynnik przepuszczalności $k_f > 1 \times 10^{-5}$ m/s).

Grid

Siatka (angielskie określenie rastra), patrz raster

HGE – jednostka hydrogeologiczno-geotermiczna

jednostka hydrogeologiczno-geotermiczna agregowana na podstawie jednostek geologicznych. Jednostkę HGE opisują rzeczywiście istniejące warstwy/ciała skalne, które na podstawie ich petrografii, tekstury lub struktury w ramach ustalonego limitu charakteryzują jednolite właściwości hydrogeologiczne i geotermiczne, ograniczone granicą geologiczną, facjalną, erozyjną lub zaburzeniem tektonicznym (uskokiem). Jednostka HGE może składać się z pojedynczego lub wielu warstw/ciał skalnych (=wydzielen litologicznych).

HyK50

Specjalna mapa hydrogeologiczna w skali 1:50 000 (w Saksonii)

Izolinia spągu

Poziomica/warstwica spągu jednostek geologicznych

Izohipsy wody podziemnej (synonim: izopiezy)

Linie powierzchni piezometrycznej o tej samej wysokości. Powierzchnia wody podziemnej w określonym czasie. Wysokość powierzchni wody podziemnej wizualizowana jest z reguły przez linie tej samej wysokości (mapy izolunii) stanu wody podziemnej. Mapa izopiez dotyczy zawsze określonego kompleksu warstwy wodonośnej.

Izolinia miąższości

Linie o tej samej grubości warstwy litologicznej / pokładu, ciała skalnego

Kodowanie

Przyporządkowywanie kombinacji znaków celem nazwania wydzielonych grup danych

LfULG

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Saksoński Krajowy Urząd ds. Środowiska, Rolnictwa i Geologii (w Saksonii)

Linia prądu wody podziemnej

Obraz wyidealizowanego śladu przemieszczania cząstek wody podziemnej w polu potencjalnym części wód podziemnych.

Linia przekroju geologicznego

Linia na powierzchni ziemi, wyznaczona przebiegiem przekroju geologicznego

Marker (ang., także well marker)

Oznaczenie granic w profilach wiertniczych

Nadkład poziomu wodonośnego

Ciało skalne powyżej powierzchni wody podziemnej. Wolna od wody podziemnej przestrzeń warstwy wodonośnej.

NAG

Narodowe Archiwum Geologiczne (w Polsce)

Odległość zwierciadła wód gruntowych

Odległość powierzchni wód gruntowych od powierzchni terenu

PIG-PIB

Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy

Podział arkuszy mapy AV (w Saksonii)

Podział arkuszy mapy topograficznej TK 1 : 25 000, wydanie gospodarki narodowej (informacja autorów: podział arkuszy mapy właściwy dla NRD)

Powierzchnia wody podziemnej (gruntowej)

Górna powierzchnia graniczna części wód podziemnych.

Przewodność cieplna

Zdolność substancji (skały) do przewodzenia energii termicznej w postaci ciepła. Przewodność cieplna (λ) jest tu użyta w sensie zależnej od temperatury stałej materiałowej jako "specyficzna" przewodność cieplna i podana w watach na metr na stopień Kelvina [$W / (m \cdot K)$].

Raster

Układ wartości (w formie siatki) w obrębie rozprzestrzenienia określonej powierzchni.

SALKA

Saksoński Kataster Dawnych Skażeń (w Saksonii)

Mapy warstwiczne

Przedstawienie położenia powierzchni granicznych warstw za pośrednictwem warstw nrm (izobazy)

UHYDRO

Program do zewnętrznej rejestracji danych geograficznych w Saksonii (SVZ, obudowa, wypełnienie, stany wód, hydrochemia, parametry, geofizyka, geochemia) w celu ich zapisania w krajowej bazie danych wydziałów geologicznych (GeoDB).

Woda podziemna o zwierciadle swobodnym

Woda podziemna, której powierzchnia i powierzchnia piezometryczna na rozpatrywanym obszarze są identyczne.

Współczynnik kf

Współczynnik przepuszczalności: iloraz prędkości filtracyjnej i przynależnego spadku zwierciadła wody w studni kontrolnej. Współczynnik przepuszczalności, jako miara przepuszczalności zależny jest od właściwości fizycznych wody (np. wielkości zależnych od temperatury, lepkości i gęstości) oraz właściwości des warstwy wodonośnej (pory, szczeliny dylatacyjne). Wyróżnia się współczynnik przepuszczalności porów i współczynnik przepuszczalności szczeliny dylatacyjnej. Razem tworzą one z reguły anizotropową przepuszczalność górotworu.

Współczynnik mocy cieplnej

Rzutowana poziomo powierzchnia maksymalnego zasięgu Specyficzny geotermiczny współczynnik mocy cieplnej jest przedstawiany w watach na metr długości sondy [W/m]. Jest to funkcja przewodności cieplnej podłoża. Na mapach przedstawiana jest jako „średni geotermiczny współczynnik mocy cieplnej” dla danej głębokości. Obliczany jest na podstawie przewodności cieplnych skał nawierconych przez otwory wiertnicze. Produkt wartości średniego geotermicznego współczynnika mocy cieplnej odczytanego na podstawie legendy i głębokości odwiertu stanowi całkowity współczynnik mocy cieplnej. Oddaje on dostępną moc cieplną do parownika gruntowej pompy ciepła.

Zasięg HGE

Rzutowana poziomo powierzchnia maksymalnego zasięgu (rozprzestrzenienia) jednostki HGE.

Zbiór map

Zbiór map jest to merytoryczne połączenie wielu map, różniących się przedstawianą na nich treścią (tematyką), ale odwzorowujące ten sam region, często w jednolitej podziałce.

Stopka redakcyjna

Wydawca:

Saksoński Krajowy Urząd ds. Środowiska, Rolnictwa i Geologii
Pillnitzer Platz 3, 01326 Drezno, Niemcy

Telefon: + 49 351 2612-0

Telefaks: + 49 351 2612-1099

www.smul.sachsen.de/lfulg

W Polsce: Państwowy Instytut Geologiczny –
Państwowy Instytut Badawczy, Oddział Dolnośląski
(PIG-PIB OD)

www.pgi.gov.pl

al. Jaworowa 19

53-122 Wrocław, Polen

www.pgi.gov.pl

Redakcja:

LfULG / Team EU-Projekt TransGeoTherm: dr Peter Riedel, Silke Reinhardt, Karina Hofmann (LfULG)

Halsbrücker Str. 31 a, 09599 Freiberg

Telefon: + 49 3731 294-1409 / -1509

Telefaks: + 49 3731 294-1099

E-Mail: transgeotherm.lfulg@smul.sachsen.de

PIG-PIB / Team EU-Projekt TransGeoTherm: Dr Wiesław Kozdrój, dr Maciej Kłonowski,
dr Małgorzata Ziółkowska-Kozdrój, dr Adam Mydłowski, Urszula Domańska

E-mail: transgeotherm@pgi.gov.pl

Zdjęcia i ilustracje:

Autorzy: Wydział 10, LfULG,

PIG-PIB OD

Układ i skład:

EU-Projekt TransGeoTherm

Data zamknięcia wydania:

18.11.2014

Zakup:

www.transgeotherm.eu

Informacja o dystrybucji

Niniejszy informator został wydany przez rząd Saksonii w ramach projektu unijnego dotyczącego informowania opinii publicznej. Nie może on być wykorzystywany do celów agitacji wyborczej ani przez partie polityczne, ani przez ich kandydatów lub asystentów. Dotyczy to wszystkich rodzajów wyborów. Nadużyciem jest w szczególności jego dystrybucja na imprezach wyborczych, w punktach informacyjnych partii, jak też wykładanie, drukowanie lub rozlepianie w informacji lub materiałach agitacyjnych partii politycznych. Zabronione jest także przekazywanie go osobom trzecim do wykorzystania w agitacji wyborczej.

Także bez odniesienia czasowego do najbliższych wyborów broszura niniejsza nie może być wykorzystywana w taki sposób, aby mogła ona być zrozumiana, jako opowiedzenie się wydawcy po stronie poszczególnych grup politycznych.

Powyższe ograniczenia obowiązują niezależnie od kanału dystrybucji, a więc niezależnie od tego, jaką drogą i w jakiej ilości niniejszy informator dotrze do odbiorcy. Partie mogą jednak wykorzystywać niniejszy informator do informowania swoich członków.

Prawo autorskie

Niniejsza publikacja jest chroniona prawem autorskim. Wszystkie prawa, także prawo przedruku we fragmentach i odtwarzania fotomechanicznego, są zastrzeżone przez wydawcę.