

7. Badania termometryczne

7.1. Metodyka badań termometrycznych

Badania termiczne stosuje się w celu ilościowego scharakteryzowania pola cieplnego Ziemi (rozkładu wartości temperatury w przestrzeni geologicznej). Główny udział w tworzeniu pola cieplnego ma (1) ciepło przenoszone z głębi Ziemi drogą przewodzenia skał (kondukcji) lub (2) drogą unoszenia (konwekcji) przez wody podziemne, (3) ciepło radiogeniczne powstałe z rozpadu naturalnych izotopów promieniotwórczych znajdujących się w skałach, a lokalnie także (4) ciepło powstałe w wyniku reakcji chemicznych, takich jak np. wietrzenie siarczków czy węgla. Czynnikiem decydującym o termice wód podziemnych jest wartość strumienia cieplnego Ziemi. Jego gęstość jest miarą ilości ciepła przenoszonego z głębi, przede wszystkim na drodze kondukcji przez jednostkę powierzchni w jednostce czasu (Ciężkowski i in. 2011).

Parametrem wpływającym na lokalną zmienność warunków termicznych jest przewodność cieplna właściwa skał podłoża. Na obszarze Sudetów i ich przedpola, w rejonach pokrytych skałami osadowymi w północno-zachodniej i południowo-wschodniej części tego obszaru, zmienność ta jest nieznaczna, natomiast w rejonach wschodni skał krystalicznych przewodność jest bardziej zmienna (Ciężkowski i in. 2011).

Dodatkowo obraz komplikuje występowanie głębokich stref dyslokacyjnych w podłożu oraz stref spękań skał krystalicznych, wzdłuż których można spodziewać się wzmożonego wypływu ciepła, z uwagi na fakt wzmożonego transportu ciepła przez wody migrujące w ośrodkach szczelinowych (Bruszevska 2000). Z sytuacją taką, gdzie w podłożu krystalicznym występują głębokie strefy rozłamowe, będące potencjalnie uprzywilejowanymi drogami przepływu ciepła, mamy do czynienia w Sudetach i na bloku przedsudeckim (Ciężkowski i in. 2011).

Próby prowadzenia badań z wykorzystaniem pomiarów temperatury w warstwach przypowierzchniowych były prowadzone w Polsce na przełomie lat 1970. i 80., przede wszystkim jako metody wspomagającej kartografię stref uskokowych (np. Jaworski 1979, Pomianowski 1988). W latach 1980. badania wykorzystujące pomiary temperatury w gruncie na głębokości do 2 metrów realizowane były również przez Przedsiębiorstwo Badań Geofizycznych. Badania te nie przyniosły, w ogólności, spodziewanych rezultatów, prawdopodobnie dlatego, że nie udało się prawidłowo uwzględnić zmian temperatury gruntu

wywołanych przez zmiany dobowe, sezonalne i roczne, maskujące stosunkowo niewielki wpływ na temperaturę wywołany procesami endogennymi.

Pomiary temperatury w płytkich sondach (do 2,5 m) prowadzone były w okolicach Łądku – Zdroju (Szarszewska, Madej 1974) i w Cieplicach Zdroju (Fistek i in 1975). Pomiary te nie miały charakteru badań statystycznych i nie przyniosły istotnych rezultatów. W Sudetach wykonywano badania temperatury w płytkich odwiertach w trzech lokalizacjach: Łądku – Zdroju (Szarszewska, Madej 1974), Cieplicach Zdroju (Fistek, Dowgiałło 2003) oraz w Dusznikach Zdroju (Fistek i in. 1996). W Łądku i Dusznikach na podstawie wyników pomiarów temperatury górotworu do głębokości 30 m określono stopień i gradient geotermiczny. Stworzenie map anomalii geotermicznych pozwoliło na wyznaczenie miejsc, gdzie otwory ujęły wody o podwyższonych temperaturach.

Na świecie, przypowierzchniowe pomiary temperatury w gruncie, na głębokości nawet jedynie 1 m, są stosowane od lat 1970. jako wstępne badania w poszukiwaniu potencjalnych lokalizacji systemów geotermalnych (np.: Olmsted 1977; LeSchack i Lewis, 1983; Georgsson, 2009; Lira i in. 2011; Zehner 2012). Badania te wykorzystywane są przede wszystkim w rejonach, w których występuje lateralnie ograniczony podwyższony wpływ ciepła i przynoszą dobre rezultaty, nawet dla komercyjnych zastosowań, szczególnie w rejonach gdzie wpływ ten osiąga duże wartości. Należy zaznaczyć, że badania temperatury w przypowierzchniowych warstwach gruntu można traktować jedynie jako metodę prospekcyjną, na podstawie której można planować dalsze, precyzyjne badania z zastosowaniem technik wiertniczych.

Wykonawcy realizowanego zadania PSG przetestowali, czy metodami pomiaru temperatury w płytkich otworach (ok. 2 m poniżej powierzchni terenu) można wstępnie wskazać strefy o lokalnie podwyższonym strumieniu ciepłym bez konieczności stosowania kosztownych metod badawczych angażujących głębsze wiercenia.

Główne czynniki ograniczające możliwość zastosowania pomiarów temperatury w najpłytszych strefach skorupy, to cykliczne zmiany temperatury otoczenia (dobowe, sezonalne, roczne) (Szewczyk 2005), których wartość wielokrotnie przekracza spodziewane zmiany, wynikające z przyczyn endogenicznych, a także lokalna zmienność przewodnictwa cieplnego w warstwach przypowierzchniowych. Czynniki te można uznać za powodujące powstawanie szumów w zapisie pomiarów, natomiast składowa endogeniczna jest w

traktowana jako sygnał użyteczny. W przeprowadzonych badaniach zastosowano podejście statystyczne, powszechnie wykorzystywane do zwiększania proporcji sygnału do szumu w badaniach zjawisk o charakterze falowym, czyli wielokrotne powtarzanie pomiarów w seriach czasowych. Zmiany temperatury gruntu wywołane wpływem czynników zewnętrznych, można potraktować przy tym jako zjawisko o wysokiej częstotliwości, natomiast wpływ procesów endogenicznych – jako zjawisko o częstotliwości skrajnie niskiej. Takie ujęcie częstotliwościowe, umożliwia dokonanie filtracji. Pomiary dla każdej linii pomiarowej wykonano 12 razy w ciągu pełnego roku kalendarzowego, w przybliżeniu co miesiąc. W ten sposób pomiary wykonywano zarówno w porze ciepłej, jak i zimnej. Dodatkowo, dzięki instalacji czujników na stałe, pojedyncza seria pomiarowa dla systemu zainstalowanego na poszczególnych liniach trwała maksymalnie 2 godziny (zwykle krócej) minimalizując wpływ zmian dobowych. Powtórzenie serii pomiarowych w ciągu całego roku miało również w zamyśle autorów pozwolić na identyfikację miejsc o lokalnie skrajnych wartościach przenikalności termicznej warstw przypowierzchniowych. W przypadku wysokiej przenikalności pomiar „letni” będzie wyższy od średniej, ale zarazem pomiar „zimowy” będzie od tej średniej niższy. W przypadku zmniejszonej przewodności amplituda pomiarów będzie lokalnie mniejsza w przeciągu roku.

Rozmieszczenie czujników termicznych obejmowało zarówno same interpretowane strefy uskokowe, jak też i partie terenu sąsiadujące z tymi strefami. Dzięki temu, wyniki uzyskane dla poszczególnych czujników można było odnieść do wyników uzyskanych lokalnie. Podejście takie miało dwa cele: pozwalało zniwelować wpływ lokalnych czynników (mikroklimatu, zacienienia, lokalnych czynników pogodowych) oraz pozwalało na porównanie wyników otrzymanych nad strefą uskokową z wynikami uzyskanymi poza tą strefą. Poszczególne czujniki w liniach pomiarowych były rozmieszczone co około 50 m, co w założeniu miało odpowiadać swym rzędem wielkości, spodziewanej maksymalnej szerokości stref uskokowych.

Przeprowadzone badania termometryczne wymagały wprowadzenia do gruntu, na głębokość 2 m, czujników temperatury zbudowanych z termorezystora i kontrolującego go układu scalonego, a następnie pozostawienia ich na okres 1 roku z możliwością stałego dostępu w celu dokonywania pomiarów. W tym celu wykonano małośrednicowe otwory wiertnicze (średnica 50 mm) sondą mechaniczną lub ręczną, które po zainstalowaniu czujników i kabli umożliwiających pomiar, zasypano. Zgodnie z wymogami prawa

geologicznego i górniczego, otwory zostały zasypane urobkiem w kolejności stratygraficznej, co powinno było w efekcie dać przewodność cieplną zbliżoną do oryginalnej.

W przeprowadzonych badaniach monitorowano wskazania dla, łącznie, 240 czujników rozmieszczonych wzdłuż 6 linii pomiarowych, w poprzek których występują stwierdzone lub przypuszczalne strefy uskokowe. Zestawienie linii pomiarowych objętych badaniami termometrycznymi, ilości czujników i długości profilu zawarto w tabeli 7.1.1

Tabela 7.1.1. Zestawienie wykonanych badań termometrycznych.

Numeracja rejonów badań i linii pomiarowych zgodna z przyjętą w całym raporcie.

Nr rej. badań/linia pomiarowa	ilość pkt. pomiarowych	ilość czujników zainstalowanych	długość profilu
9.I. Tomaszów Bolesławiecki I	32	53	1,65
14. Mokrzeszów	33	33	1,65
18. Niemcza	18	18	0,84
19.I. Ciepłowody I	42	82	2,07
21.I. Tułowice I	31	31	1,5
22. Głuchów Górny	23	23	1,1
SUMA	179	240	8,81
ILOŚĆ PROFILI	6		

7.2. Ocena wyników próbnych serii pomiarowych badań termometrycznych w glebie oraz na linii pomiarowej Mokrzeszów w celu podjęcia decyzji o zasadności prowadzenia dalszych badań.

7.2.1. Pomiary temperatury w glebie

Pomiędzy marcem a lipcem 2015 roku zostały tymczasowo zainstalowane czujniki termometryczne na sześciu liniach pomiarowych. Czujniki te, z uwagi na brak zatwierdzonego projektu robót geologicznych zostały zainstalowane w gruncie, przy powierzchni terenu, bez wykonywania robót geologicznych (zakopane łopatą, na głębokości około 20 cm). Dla każdej linii pomiarowej zainstalowano po 20 czujników w interwałach 50-100 m. Dla wszystkich czujników wykonano od 3 do 5 serii pomiarowych temperatury. Wstępne wyniki miały posłużyć do oceny metodyki i określenia ewentualnych stref docelowej instalacji czujników w głębszych otworach.

Wyniki pomiarów zostały przedstawione w tabeli (plik pomiary w gruncie-2015.xlsx). Obok bezpośrednich pomiarów zaprezentowano wyniki pomiarów znormalizowanych do średniej temperatury dla danej linii pomiarowej w danej serii. Serie pomiarów bezpośrednich i znormalizowanych przedstawiono jako wykresy w pliku.

Na wszystkich liniach pomiarowych notuje się oczywisty wzrost temperatury w gruncie z upływem czasu (badania były prowadzone na wiosnę) z lokalnymi odchyleniami, prawdopodobnie spowodowanymi lokalnymi warunkami (nasłonecznienie, zawilgocenie gleby, pokrywa roślinna). Wykresy wartości znormalizowanych wykazują dużą niestabilność. Dla większości linii pomiarowych pozytywne i negatywne odchylenia temperatury od średniej nie są stałe w czasie. Jedynie w przypadku linii pomiarowej Niemcza subtelne pozytywne odchylenie na początku linii pomiarowej utrzymuje się przez trzy miesiące w jednym miejscu, co można wiązać z jednorodnym pokryciem terenu, brakiem zawilgoceń i stałym nachyleniem stoku.

Na podstawie uzyskanych wyników uznano, że pomiary temperatury w glebie nie spełniają swojego zadania, są niemiernodajne i z tego względu je zakończono demontując tymczasowy system pomiarowy.

7.2.2. Pomiary temperatury na linii pomiarowej Mokrzyszów

W dniach 27-28.06.2016 roku na linii pomiarowej Mokrzyszów zostały zainstalowane 33 czujniki termometryczne. Montaż został wykonany w małych średnicowych otworach wiertniczych o głębokości 2 m.

Czujniki składają się z elementu termorezystorowego połączonego z mikroprocesorem, który to element pomiarowy znajduje się w gruncie (zasypyany), wyprowadzonego do powierzchni terenu kabla sygnałowego, dzięki któremu możliwe jest podłączenie termorezystora do przenośnego miernika na powierzchni oraz złącza elektronicznego, dzięki któremu sprawnie podłącza się miernik.

Miernik przenośny podaje bezpośrednio temperaturę w stopniach Celsjusza. Całe urządzenie skalibrowane jest tak, że dokładność pomiaru jest nie gorsza niż 0,05 stopnia.

Po montażu czujniki zostały pozostawione na 1 dobę, żeby osiągnęły równowagę termiczną z otoczeniem. Pomiaru temperatury dla wszystkich 33 czujników dokonano 29 czerwca i ponownie 8 lipca. Wykresy temperatury przedstawione są na figurze 7.2.2.1 jako bezpośredni wynik pomiarów (wykres górny) i wykres temperatury znormalizowanej (wartość temperatury pomierzonej dla każdego czujnika podzielona przez wartość średnią dla wszystkich pomiarów danej serii pomiarowej).

Zarówno na wykresie przebiegu temperatury, jak i na wykresie wartości znormalizowanych zaznacza się wyraźne podniesienie wartości w końcowym odcinku linii pomiarowej. Podniesienie to nie daje się powiązać z oczywistymi zmianami warunków terenowych, jak stopień nasłonecznienia, czy nachylenie stoku. Na podstawie tych niepełnych danych przyjęto, że zanotowana anomalia termiczna ma charakter trwały, zarówno pod względem jej lokalizacji, jak i wartości temperatury. Zdecydowano, że należy prowadzić dalsze obserwacje na linii pomiarowej Mokrzeszów, a wstępne wyniki zachęcają do przeprowadzenia badań na innych liniach pomiarowych.

7.3. Pomiar temperatury na 6 liniach pomiarowych

W sierpniu 2016 roku zainstalowano serię gruntowych czujników temperatury na sześciu liniach pomiarowych. Do badań wykorzystano linie pomiarowe, na których wcześniej prowadzone były badania w warstwie przypowierzchniowej, czyli linie pomiarowe Ciepłowody, Niemcza, Tułowice, Głuchów i Tomaszów Bolesławiecki. Lokalizacje linii, wzdłuż których prowadzono badania termometryczne, ilustrują figury 7.3.1-7.3.6. Na linii pomiarowej Mokrzeszów wykorzystano system pomiarowy zainstalowany wcześniej. Procedura instalacji czujników dla wszystkich linii odpowiadała procedurze instalacji opisaną dla linii pomiarowej Mokrzeszów, przy czym dla linii pomiarowych Ciepłowody i Tomaszów Bolesławiecki zainstalowano czujniki dla dwóch poziomów głębokości 2 m i 1 m pod powierzchnią terenu w tych samych utworach wiertniczych. Po zainstalowaniu czujniki zostały pozostawione do uzyskania równowagi termicznej z otoczeniem (przynajmniej dobę), następnie dokonano pierwszej serii pomiarów na każdej z linii pomiarowych. System pomiarowy na wszystkich 6 liniach pozostawiono na okres 12 miesięcy. W tym czasie wykonano co miesiąc 12 serii pomiarowych dla każdej linii pomiarowej. Seria pomiarowa na każdej z linii zwykle zajmowała około 1-2 godzin. Można przyjąć że zmiany dobowe w trakcie wykonywania pojedynczej serii pomiarowej dla konkretnej linii pomiarowej były zanedbywalne. Comiesięczny pomiar dla wszystkich linii pomiarowych realizowano, zależnie od warunków w 2 do 3 dni. Układ pomiarowy na linii Tomaszów Bolesławiecki uległ w zasadniczej części zniszczeniu po 2 cyklach pomiarowych. Prawdopodobnie został zdewastowany naumyślnie, a samych czujników nie udało się odnaleźć. Do końca rocznego cyklu pomiarowego pozostały jedynie 4 czujniki w zachodniej części linii pomiarowej Tomaszów Bolesławiecki. Systemy pomiarowe na pozostałych liniach pomiarowych funkcjonowały sprawnie do końca rocznego cyklu pomiarowego.

Zestaw uzyskanych wyników pomiarów temperatur gruntu zawarty jest w pliku cyfrowym (katalogu danych). Wyniki pomiarów poddano normalizacji. Normalizację przeprowadzono metodą standaryzacji dla każdej z serii pomiarowych. Do normalizacji przyjęto średnią temperatur dla danej linii dla kolejnych miesięcy (serii). Przy normalizacji uwzględniono odchylenie standardowe populacji (pomiarów dla poszczególnych linii pomiarowych w danej serii). Do normalizacji zastosowano wzór:

$$z=(x-\mu)/\sigma$$

Gdzie

z – wartość znormalizowana;

x – zmienna (temperatura pomierzona);

μ – średnia z populacji (pomiarów dla danej linii pomiarowej w jednej serii);

σ – odchylenie standardowe populacji (pomiarów dla danej linii pomiarowej w jednej serii).

Przebiegi pomierzonych temperatur i wartości znormalizowane przedstawiono na zbiorczych wykresach. Na skali poziomej zaznaczono pozycję czujnika na profilu, na skali poziomej zaznaczono czas (miesiąc) dokonania pomiaru. Wartości temperatury i wartości znormalizowane są reprezentowane w skali barwnej dla każdego czujnika punktowo, bez stosowania interpolacji między poszczególnymi punktami. Graficzne przedstawienie wyników zaprezentowano na figurach 7.3.1.1, 7.3.2.1, 7.3.3.1, 7.3.4.1 i 7.3.5.1. Należy podkreślić, że rejestrowane zmiany temperatury na poszczególnych liniach pomiarowych były nieznaczne i zawierały się zwykle w przedziale 1-2°C. Dopiero dzięki przeprowadzonej normalizacji możliwe było rozpoznanie regularności przestrzennych i czasowych.

7.3.1. Wyniki badań temperatury w gruncie

Analizę przebiegu zmian temperatury przeprowadzono, poszukując na wykresach stref charakteryzujących się anomalnym przebiegiem zmian w ciągu roku. Generalnie znacznie czytelniejsze są wykresy wartości znormalizowanych, w których roczne zmiany temperatury nie przesłaniają subtelnych zmian na linii pomiarowej występujących dla poszczególnych miesięcy. Na wykresach wartości znormalizowanych można wyróżnić generalnie cztery typy anomalnych przebiegów wartości. Pierwszy, występujący najczęściej typ anomalii (opisywany dalej jako typ A) charakteryzuje się dodatnim odchyleniem wartości temperatur w zimnej porze roku (temperatury wyższe niż średnie dla linii pomiarowej) i ujemnym

odchyleniem w ciepłej porze roku (temperatury niższe niż średnie). Taki typ anomalii zidentyfikowano między innymi w sąsiedztwie strefy źródłiskowej na linii pomiarowej Ciepłowody. Można przypuszczać, że anomalie typu A związane są ze strefami wypływu wód gruntowych nie wykazujących podwyższonej temperatury. Wody podziemne o stosunkowo stałej temperaturze, migrując do powierzchni w zimnej porze roku doprowadzają ciepło do warstw przypowierzchniowych, natomiast w ciepłej porze roku ochładzają te warstwy.

Anomalie typu B charakteryzują się odwrotnym rozkładem wartości. W zimnej porze roku występuje ujemne odchylenie, natomiast w porze ciepłej występuje odchylenie dodatnie. Taki typ anomalii można wiązać ze strefami ułatwionej infiltracji wód powierzchniowych. Wody takie w ciepłej porze roku dostarczają efektywnie ciepło do głębokości badań, podczas gdy w porze zimnej są chłodniejsze niż średnia temperatura gruntu.

Anomalie typu C charakteryzują się dodatnim odchyleniem wartości temperatur w zimnej porze roku oraz średnimi temperaturami w porze ciepłej. Anomalię taką zidentyfikowano na stoku skierowanym na południe. Najprawdopodobniej ma ona związek z nasłonecznieniem stoku. W porze chłodnej, przy niskim położeniu słońca nachylenie stoku ma największe znaczenie na wpływ nasłonecznienia na ilość ciepła przekazywanego do gruntu. W porze ciepłej zależność ta traci na znaczeniu.

Najrzadszym typem anomalii (typ T) charakteryzuje się odchyleniem dodatnim w ciągu całego roku, czyli temperaturą wyższą od średniej. Taka anomalia może mieć związek z endogennym źródłem ciepła, na przykład z dopływem wód głębokiego krążenia. W przypadku anomalii o odchyleniu permanentnie dodatnim, przed zaklasyfikowania ich do tej kategorii należy zweryfikować lokalizację punktu i wykluczyć możliwość wpływu czynników innych niż endogenne na zapisy temperatury. Permanentnie dodatnia anomalia termiczna może być związana z występowaniem egzotermicznych procesów chemicznych, jak wietrzenie siarczków.

Linia pomiarowa Mokrzeszów (nr 14).

Na linii pomiarowej Mokrzeszów, przedstawionej na fig. 7.3.1.1, zanotowano występowanie przede wszystkim anomalii termalnych typu B. Są one zlokalizowane na względnie płaskich fragmentach terenu i podłożu przede wszystkim piaskowcowym, co umożliwia migrację wód opadowych od powierzchni w głąb podłoża. Między strefami anomalnymi czujniki rejestrowały normalny (średni) przebieg rocznych zmian temperatury. W południowo-zachodniej części linii pomiarowej, jedynie na jej samym początku zarejestrowano anomalię termiczną typu A. Obraz przebiegów temperatury zmienia się diametralnie w NE części linii

pomiarowej, u podnóża i poniżej stoku (na NE od uskoku brzeżnego sudeckiego). W części tej rejestruje się znacząco wyższe średnie temperatury w gruncie. Sam wzrost średniej temperatury może być związany z innym składem podłoża, oraz zmianą szaty roślinnej. W tej części Występują kolejno anomalie typu A (u samego podnóża stoku, w miejscu występowania zawodnień na sąsiednich polach) oraz poniżej, anomalie typu B z wysoką średnią temperaturą gruntu. Permanentnie dodatnia anomalie na około 1550 m nie charakteryzuje się najbardziej dodatnimi odchyleniami temperatury w cieplej porze roku, co wskazuje, że jest ona związana z wygasaniem anomalii typu A występującej (topograficznie) powyżej. Jedynie wyniki rejestrowane czujnikiem zlokalizowanym na około 1600 m linii pomiarowej może wskazywać na obecność anomalii typu T, jednak wyniki nie są jednoznaczne.

Linia pomiarowa Niemcza (nr 18)

Na linii pomiarowej Niemcza zarejestrowano jedną czytelną anomalie typu A zlokalizowaną w zachodniej części linii (fig. 7.3.2.1). W bezpośrednim sąsiedztwie lokalizacji czujnika nie występują na powierzchni wypływy wody, jednak czujniki rejestrujące anomalie są ulokowane u podnóża wzgórz, na linii występowania źródeł. Około 300 i 600 metra linii pomiarowej występują dwie anomalie typu B. W najbardziej wschodniej części linii pomiarowej, około 800 i 850 metra linii występuje nietypowa anomalie o maksymalnym odchyleniu dodatnim przebiegu temperatur występującym późną zimą i na wiosnę. Jest to prawdopodobnie anomalie typu C, powstała w wyniku nagrzewania terenu przez zimowe słońce. Czujniki rejestrujące tą anomalie zlokalizowane były na południowym stoku wkopu drogi. Prawdopodobnie słoneczne nagrzewanie podłoża możliwe było dopiero od końca zimy, co spowodowało przesunięcie maksimum (wartości znormalizowanej) ku wczesnej wiosnie. Na około 650 metrze linii, na jednym z czujników zarejestrowano nieznaczne pozytywne odchylenie przebiegów temperatury. Wartości odchylenia są nieznaczne i nie można jednoznacznie przypisać tej lokalizacji cech anomalii typu T.

Linia pomiarowa Ciepłowodny (nr 19.I.)

Na linii pomiarowej Ciepłowodny (fig. 7.3.3.1) zarejestrowano wyraźną obecność anomalii temperatury typu A w dwóch odcinkach. Pierwszy zlokalizowany jest w zachodnim krańcu linii, na stoku wzgórza zbudowanego z łupków krystalicznych. W rejonie anomalii nie zanotowano źródeł ani stref zawodnionych. Druga anomalie typu A występuje u podnóża stoku, w sąsiedztwie źródła małego potoku (między 700 a 800 metrem linii pomiarowej). W

centralnej i wschodniej części linii pomiarowej notuje się serię trzech anomalii typu B, przy czym anomalia w części środkowej jest zdecydowanie słabsza. Anomalie typu A i B manifestują się zarówno na wykresach sporządzonych dla głębokości 1 i 2 metrów. Zapis na głębokości 1 m jest zdecydowanie mniej koherentny, strefy anomalii są słabiej zdefiniowane, zarówno przestrzennie, jak i czasowo. W części zachodniej linii pomiarowej, w dolnej części stoku (około 550 metr linii) zarejestrowano lokalną anomalię dodatnią. Anomalia ta jest rejestrowana w jednym punkcie przez cały cykl pomiarowy, większe odchylenia od średniej występują w zimnej porze roku. Anomalia rejestrowana jest wyraźnie na głębokości 2 m, natomiast czujnik na głębokości 1 m nie rejestruje jej. Brak lub niemierzalny efekt termiczny na głębokości 1 m wskazuje, że anomalia ta nie ma genezy zewnętrznej (na przykład szczególnego nasłonecznienia). Lokalizacja punktu pomiarowego nie odbiegała od sąsiednich punktów na linii pomiarowej. Można przyjąć, że anomalia ta jest anomalią typu T i ma pochodzenie endogenne.

Linia pomiarowa Tułowice (nr 21)

Na linii pomiarowej Tułowice (fig. 7.3.4.1) zarejestrowano najbardziej niejednorodny rozkład temperatur i wartości znormalizowanych. Generalnie można wyróżnić 3 strefy. W części zachodniej (początek linii) i w części wschodniej (od około 1200 metra linii) obserwuje się występowanie anomalii typu A. W strefach tych występują osady piaszczyste, a poziom wód gruntowych jest zlokalizowane poza zasięgiem instalacji czujników. Teren porośnięty jest lasem. W części centralnej linii pomiarowej obserwuje się normalny (średni) przebieg temperatur rocznych lub, szczególnie pomiędzy około 600 a 1100 metrem linii pomiarowej, anomalię typu B. W tym rejonie linia pomiarowa przebiega w sąsiedztwie podmokłości. Wody powierzchniowe będące w kontakcie z wodami gruntowymi znacząco podwyższają przewodnictwo termiczne powodując intensywniejszą zależność temperatury gruntu od temperatury atmosfery. Lokalne, wyraźne maksima można przypisać gwałtownym zmianom nasłonecznienia powstałym w wyniku przeprowadzonej w trakcie trwania pomiarów wycinki drzew, i odsłonięcia fragmentów powierzchni terenu. Na linii pomiarowej nie zidentyfikowano żadnej strefy, którą można zinterpretować jako anomalię termiczną typu T.

Linia pomiarowa Głuchów Górny (nr 22)

Na linii pomiarowej Głuchów Górny (fig. 7.3.5.1) zanotowano występowanie trzech segmentów o różnym charakterze reakcji termicznych. W części południowej, poniżej podnóża Wzgórz trzebnickich (Równina nadodrzańska) występuje szeroka strefa o cechach

anomalia typu B. Anomalia ta w miarę przemieszczania się ku północy traci swoją wyrazistość przechodząc we fragment o normalnym (średnim) rozkładzie rocznym temperatur. U podnóża wzgórz, w strefie występowania nieznacznego nachylenia terenu na południe, i bezpośrednio na stoku wzgórza występuje wyraźna anomalia typu C, wynikająca z nagrzewania stoku przez słońce. Maksimum odchylenia dodatniego tej anomalii przesuwa się stopniowo ku stromszym częściom zbocza wraz nadciągającą porą ciepłą. Może być to związane z łatwiejszym spływem wód roztopowych w końcu zimy ze stromszych stoków i mniejszym wychładzaniem gruntu przez infiltrujące wody. W wierzchowinowej partii wzgórz zanotowano występowanie rozległej anomalii typu A. Teren w tej części linii pomiarowej jest nieznacznie nachylony na południe i porozcinany przez liczne jary z płynącymi w nich okresowymi strumieniami. Na linii pomiarowej nie występują strefy, które można by interpretować jako anomalię termiczną typu T.

7.4. Wnioski z badań temperatury w gruncie

Badania temperatury w glebie wykazują się znaczną zmiennością zależną od lokalnych warunków i nie mogą być wystarczającą podstawą do wyciągania wniosków na temat endogenicznych procesów związanych z warunkami geotermalnymi w podłożu skalnym.

- W przypadku pomiarów temperatury na głębokości 2 m konieczne jest przeprowadzenie serii pomiarowych obejmujących okres całego roku, co pozwala na określenie zmian rozkładu temperatur w czasie i na tej podstawie wnioskowanie o przyczynach przestrzennej zmienności rozkładu temperatur gruntu. Pomiar w jednej porze roku wykazuje obecność stref o temperaturach odbiegających od średniej, jednak nie można określić, czy anomalia taka wynika z charakteru warstw przypowierzchniowych lub stopnia nasłonecznienia, czy też z przyczyn endogenicznych.
- Jedynie na linii pomiarowej Ciepłowody zidentyfikowano strefę anomalnych temperatur, której geneza może mieć przyczyny endogeniczne.
- Na linii pomiarowej Mokrzeszów obecność takiej strefy jest dyskusyjna.
- W przypadku identyfikacji strefy anomalii typu T na linii pomiarowej Ciepłowody istotne znaczenie miało zainstalowanie czujników na 2 poziomach, co pozwoliło wykluczyć wpływ lokalnych warunków nasłonecznienia na wyniki czujnika zainstalowanego na 2 m.

- Wyniki zebrane dla wszystkich linii pomiarowych wykazują, że zapis temperatur ma koherentny przebieg w czasie, a dzięki normalizacji można rozróżnić wpływ czynników sezonalnych i gruntowych od prawdopodobnego wpływu procesów endogenicznych.
- Przed stwierdzeniem skuteczności badań temperatury należałoby zweryfikować obecność zidentyfikowanej strefy występowania podwyższonej temperatury głębszym otworem wiertniczym.
- Biorąc pod uwagę pracochłonność i czasochłonność, oraz utrudnienia formalne prowadzenia badań temperatury, w stosunku do często zbyt mało zadowalających rezultatów należy uznać, że użyteczność takich badań dla rozpoznania stanu termicznego podłoża skalnego oraz poszukiwań wód termalnych jest wątpliwa.

Literatura

- Fistek, J., Iwanowski, S., Iciek, A., Jagodziński, A.,** 1975 - *Badania geologiczne, geofizyczne i hydrogeologiczne jako przykład kompleksowego rozwiązania problemu poszukiwań wód leczniczych w uzdrowiskach sudeckich.* Biul. Inf. Geofizyka, nr 1, pp. 5-30.
- Fistek, J., Fistek, A., Rippel, J.,** 1996 - *Problematyka poszukiwań nowych wystąpień wód termalnych na obszarze województwa wałbrzyskiego.* Górnictwo Odkrywkowe, XXXVIII, 6, pp. 85-102.
- Ciężkowski W., Michniewicz M., Przylibski T.A.** 2011 - *Wody termalne na Dolnym Śląsku,* PTG 107-120.
- Dowgiałło J.,** 2002 - *The Sudetic geothermal region of Poland,* Geothermics, 31
- Dowgiałło J., Fistek J.,** 2003 - *New findings in the Walbrzych – Kłodzko geothermal sub-region,* Geothermics 32.
- Georgsson L. S.,** 2009: *Geophysical methods used in geothermal exploration,* Short Course IV on Exploration for Geothermal Resources Kenya, November 1-22, 2009
- Florides G., Kalogirou S.,** 2015: *Annual ground temperature measurements at various depths,* <http://www.researchgate.net/publication/30500353>
- Jaworski A.,** 1979: *Rtęć arsen i pierwiastki grupy żelaza w utworach fliszowych kredy górnej i paleogenu łuski Bystrego koło Baligrodu.* Rocznik PTG vol. 49/3-4: 379-394

- LeSchacka L. A., Lewis J. E.,** 1983: *Geothermal prospecting with shallo-temp surveys*, Geophysics, vol. 48, no. 8, p. 975-996
- Lira, E.; Clavero, J. E.; Arcos, R.; Giavelli, A.; Mayorga, C.,** 2011: *Shallow Temperature Measurements at Juncalito, a Geothermal Prospect, Central Andes, Chile*, American Geophysical Union, Fall Meeting 2011, abstract #NS23A-1562
- Olmsted F. H.,** 1977: *Use of Temperature Surveys at a Depth of 1 Meter In Geothermal Exploration in Nevada*, Geohydrology of Geothermal Systems, Geological Survey Professional Paper 1044-B
- Pomianowski P.,** 1988: *Anomalie termiczne nad strefą kontaktu pienińskiego pasa skałkowego z fliszem podhalańskim*. Przegl. Geol. 2: 1, 27-128
- Szarszewska Z., Madej E.,** 1974: *Sprawozdanie z badań związanych z poszukiwaniem wód termalnych w Łądku Zdroju*, PB Balneoprojekt Warszawa
- Szewczyk J.,** 2005: *Wpływ zmian klimatycznych na temperaturę podpowierzchniową Ziemi*, Przegląd Geologiczny, vol. 53, nr. 1
- Zehner R., E., Tullar K. N., Rutledge E.,** 2012: *Effectiveness of 2-Meter and Geoprobe Shallow Temperature Surveys in Early Stage Geothermal Exploration*, GRC Transactions, Vol. 36, 2012

WYKRES PRÓBNYCH SERII POMIARU TEMPERATURY
LINIA POMIAROWA MOKRZESZÓW

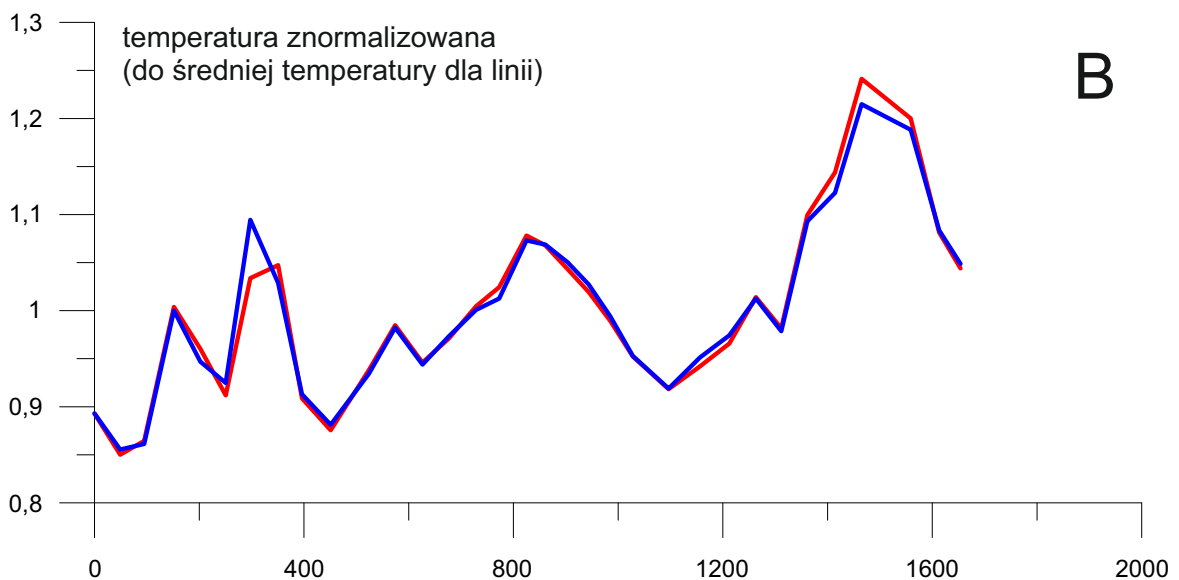
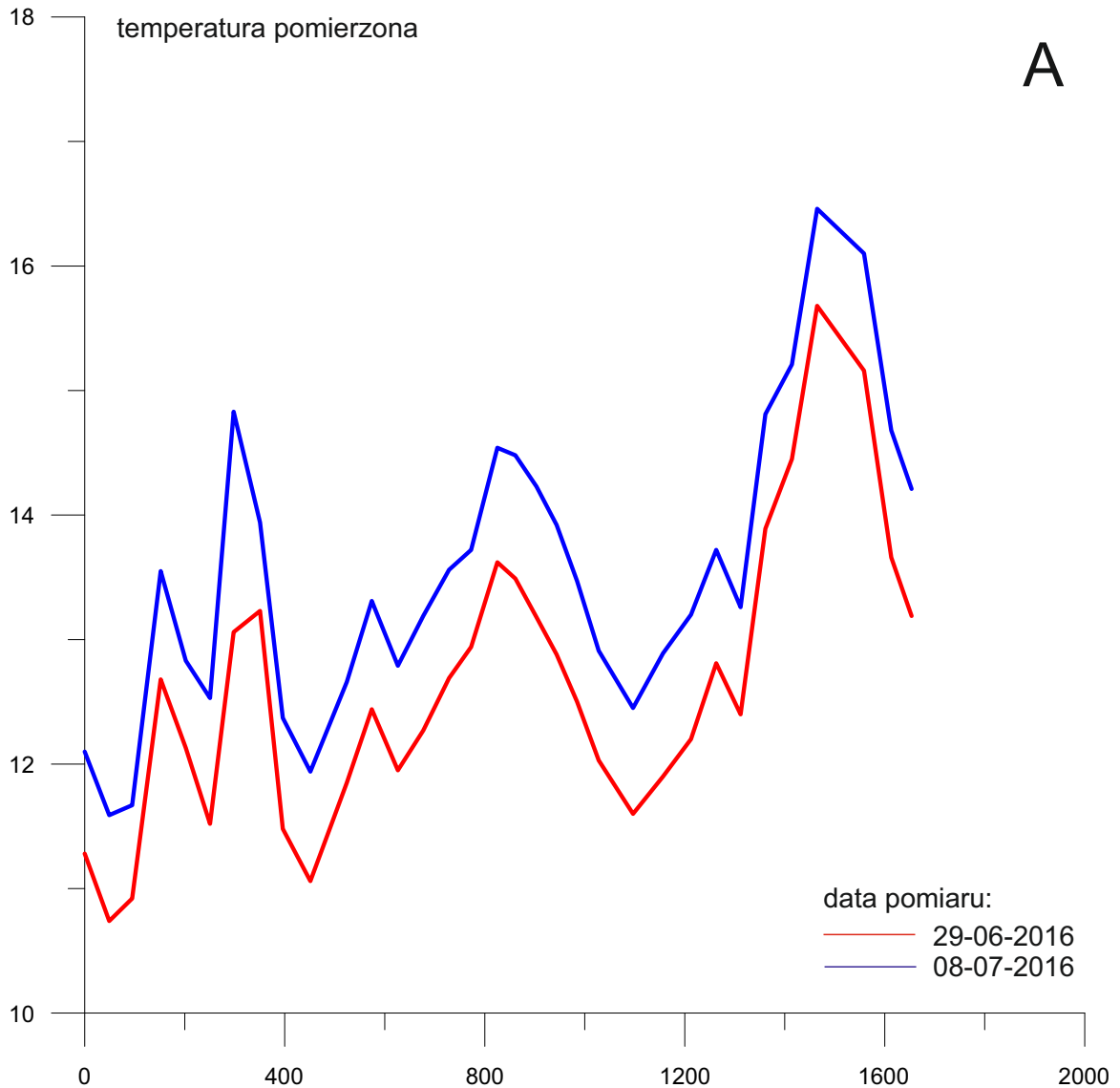
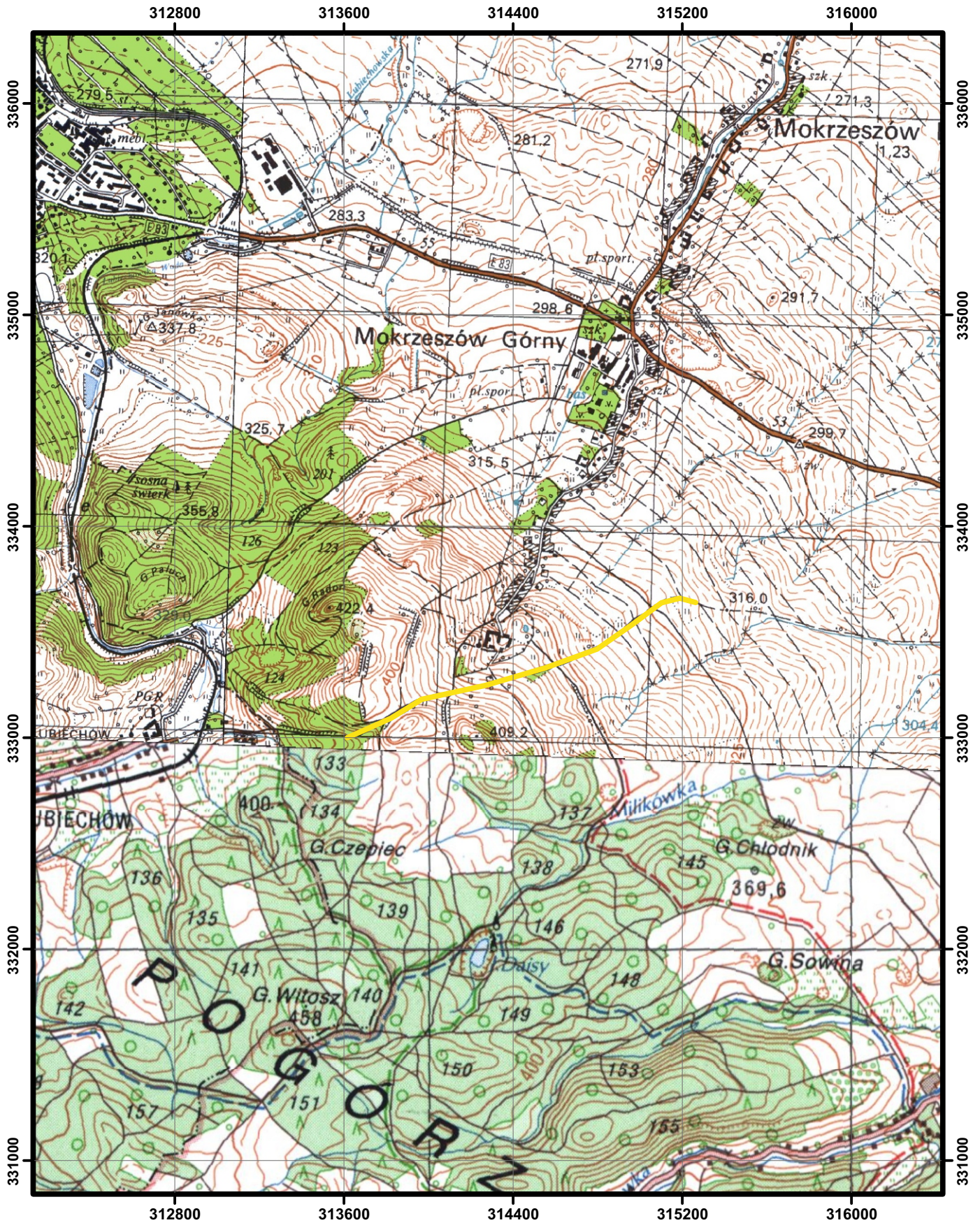
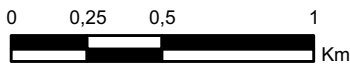


Fig. 7.2.2.1. Wyniki pomiarów temperatury serii próbnej na linii pomiarowej Mokrzeszów. A - temperatura pomierzona na głębokości 2m; B - wartość znormalizowana względem średniej wartości dla serii (ułamek wartości średniej)

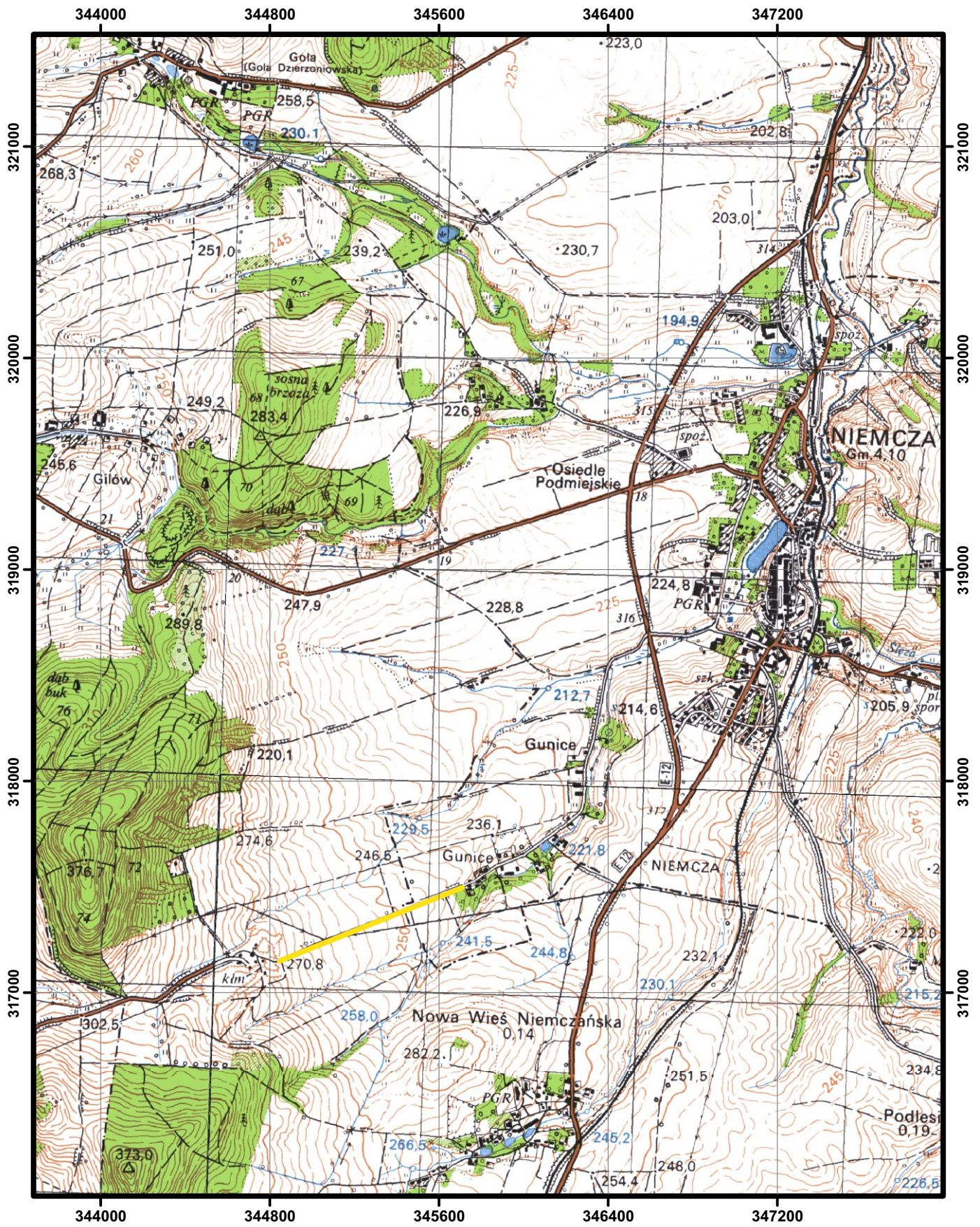


Układ współrzędnych "1992"
 Skala mapy topograficznej 1: 25 000

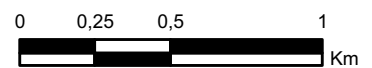


— Przebieg linii pomiarów termometrycznych

Fig 7.3.1
 Lokalizacja badań termometrycznych
 linia badawcza **Mokrzeszów**

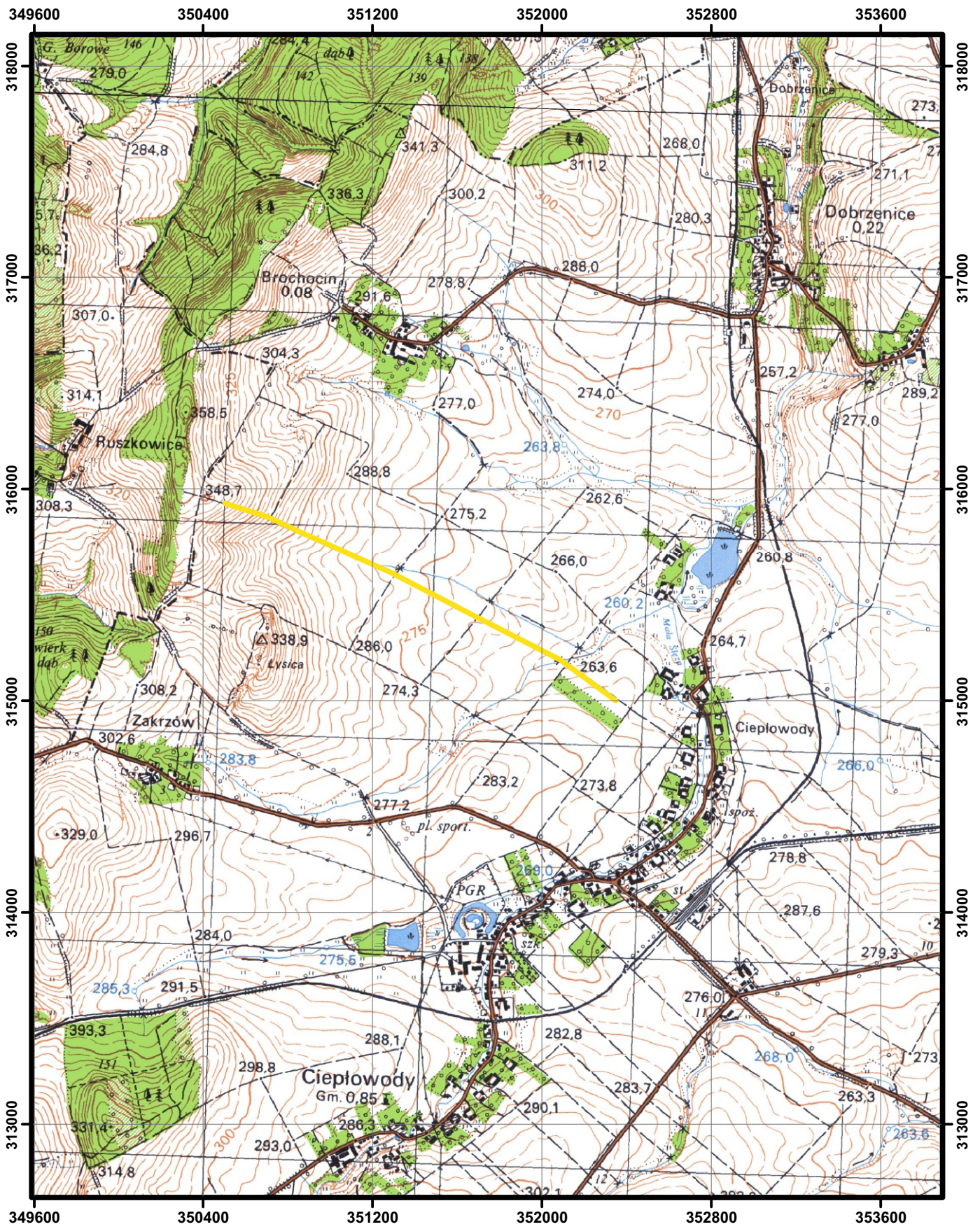


Układ współrzędnych "1992"
 Skala mapy topograficznej 1 : 25 000

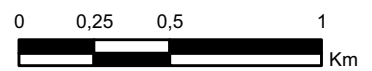


— Przebieg linii pomiarów termometrycznych

Fig 7.3.2
 Lokalizacja badań termometrycznych
 linia badawcza **Niemcza**

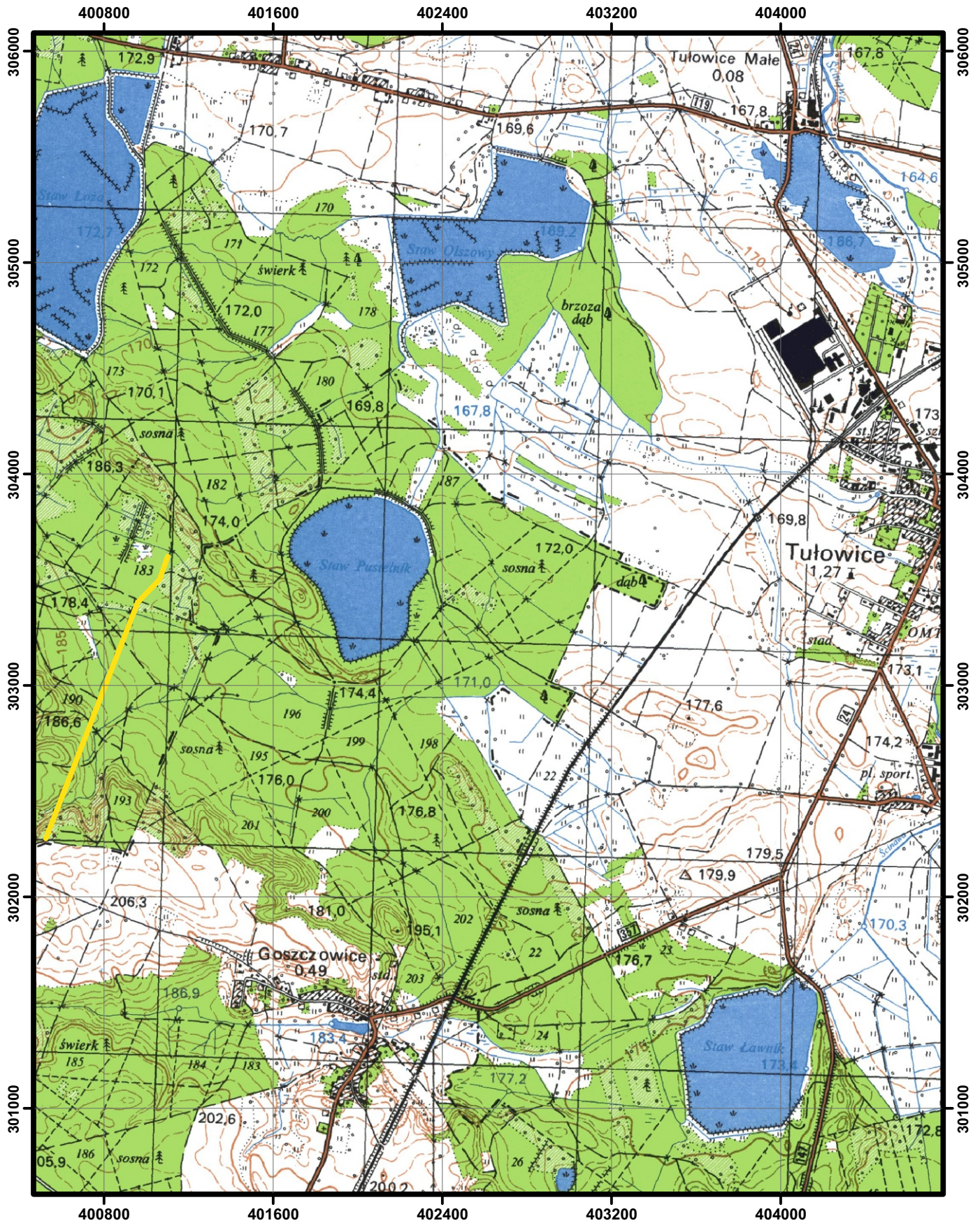


Układ współrzędnych "1992"
 Skala mapy topograficznej 1: 25 000



— Przebieg linii pomiarów termometrycznych

Fig 7.3.3
 Lokalizacja badań termometrycznych
 linia badawcza **Ciepłowody I**

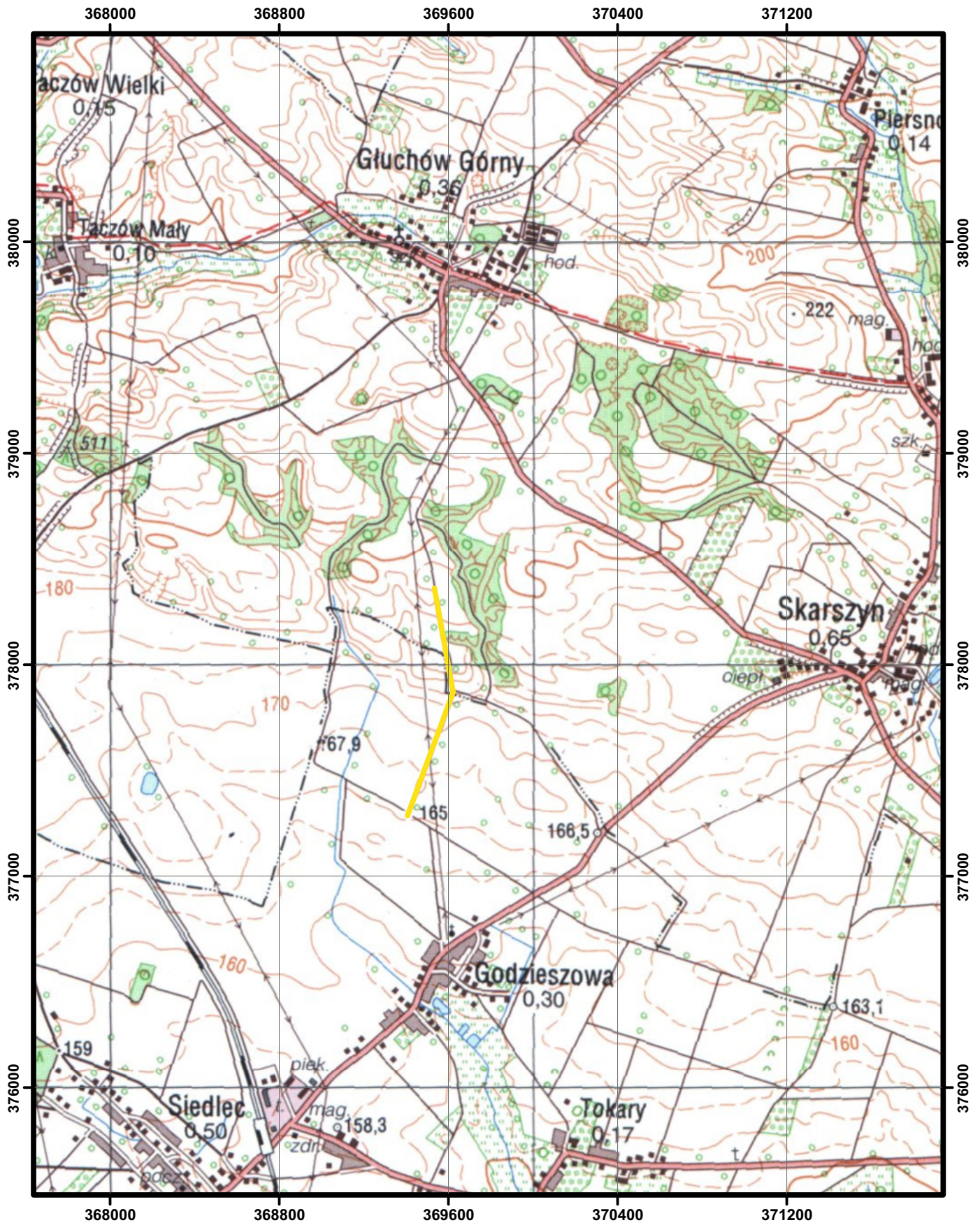


Układ współrzędnych "1992"
 Skala mapy topograficznej 1: 25 000

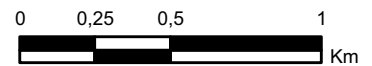


— Przebieg linii pomiarów termometrycznych

Fig 7.3.4
 Lokalizacja badań termometrycznych
 linia badawcza **Tułowice**

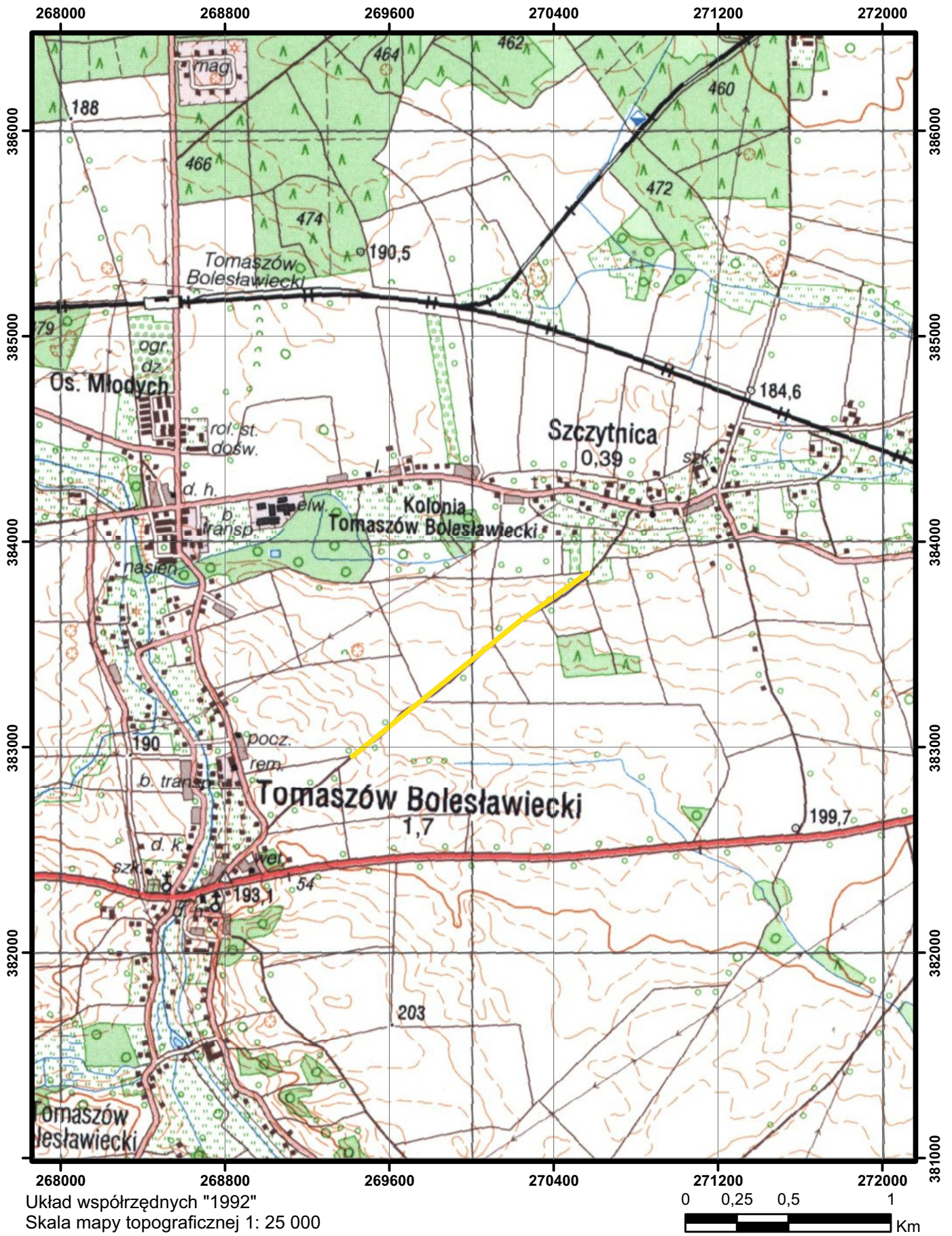


Układ współrzędnych "1992"
 Skala mapy topograficznej 1: 25 000



— Przebieg linii pomiarów termometrycznych

Fig 7.3.5
 Lokalizacja badań termometrycznych
 linia badawcza **Gluchów Górny**



— Przebieg linii pomiarów termometrycznych

Fig 7.3.6
 Lokalizacja badań termometrycznych
 linia badawcza **Tomaszów Bolesławiecki I**

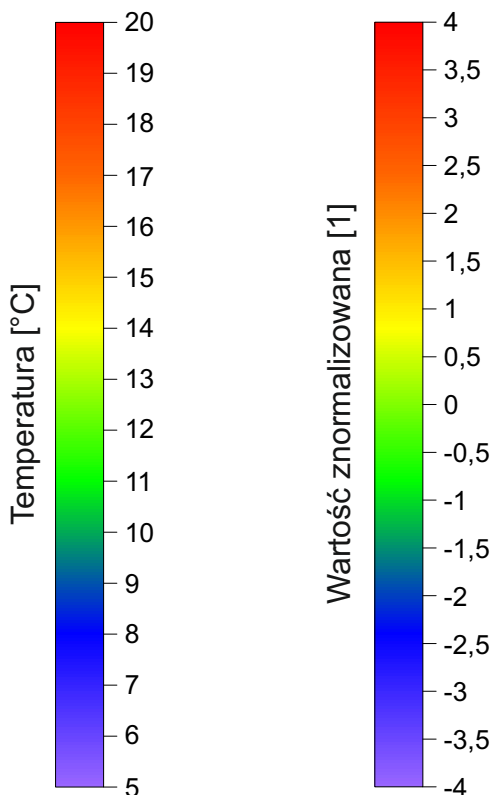
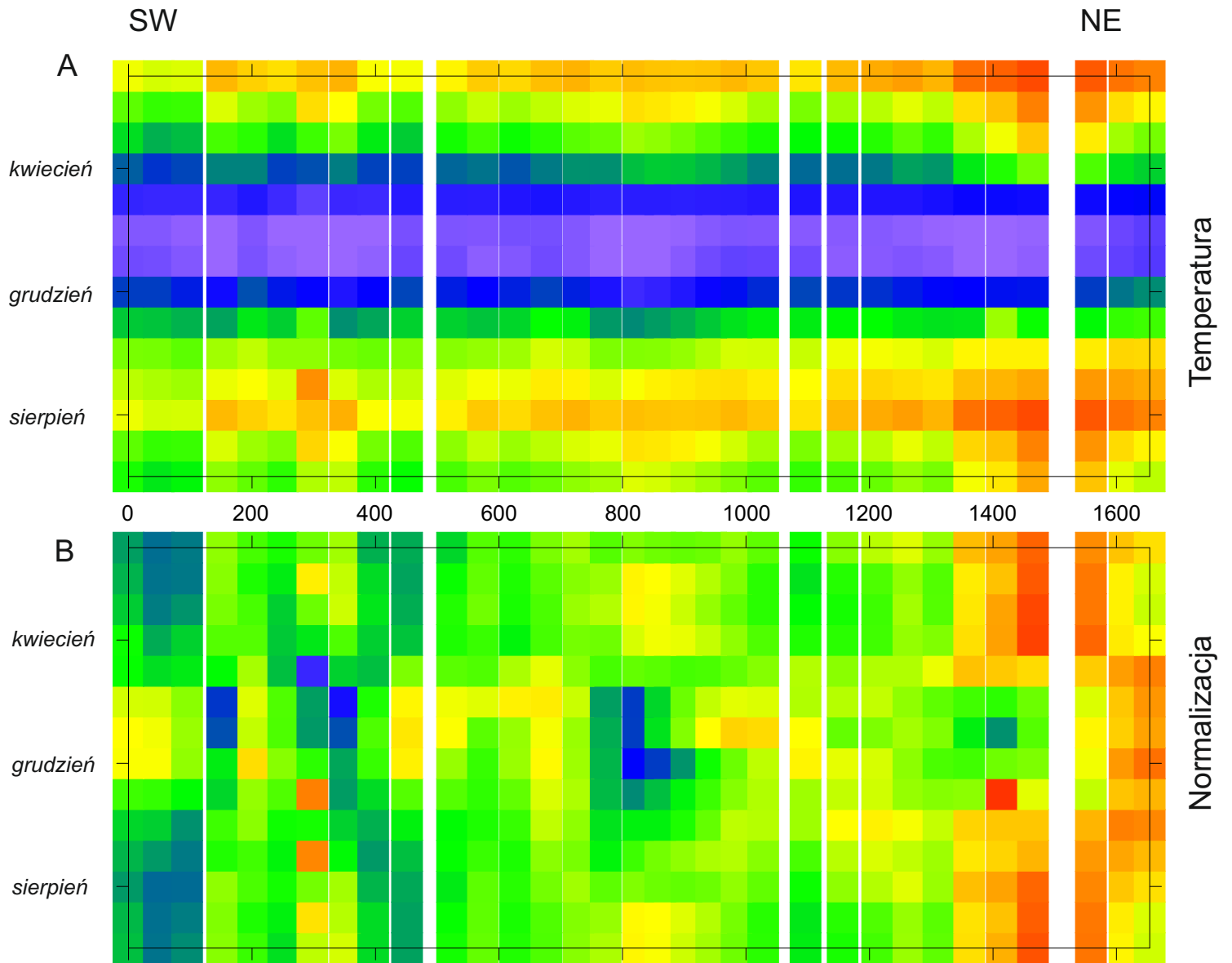


Fig. 7.3.1.1. Wykres rocznego przebiegu temperatur na głębokości 2m dla linii pomiarowej Mokrzyszów (A) i wartości znormalizowanych względem wartości średniej dla serii pomiarowej (B).

Niemcza 2m

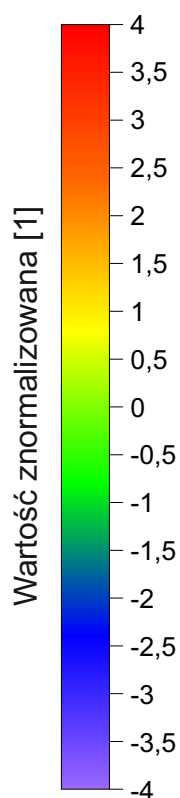
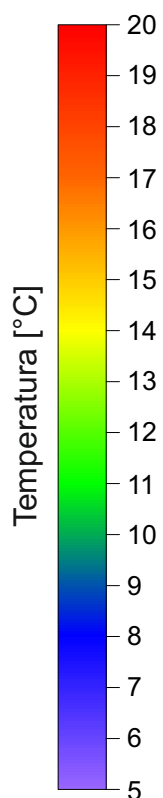
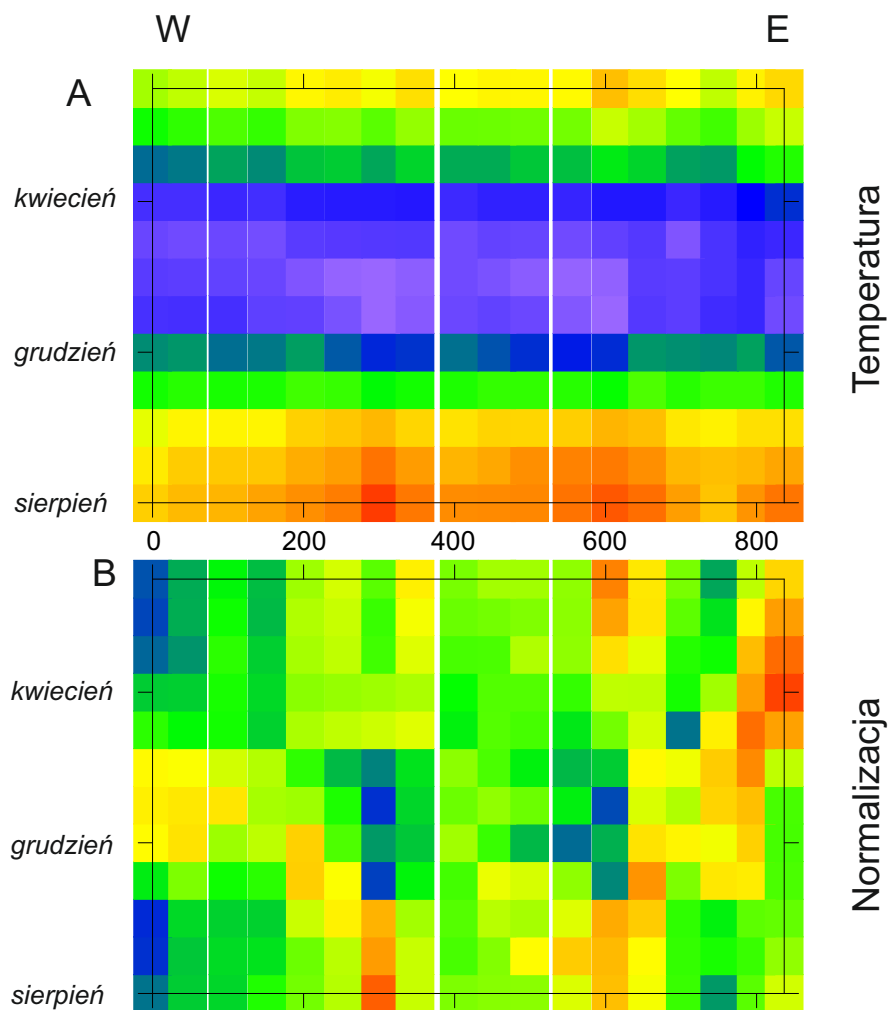


Fig. 7.3.2.1. Wykres rocznego przebiegu temperatur na głębokości 2m dla linii pomiarowej Niemcza (A) i wartości znormalizowanych względem wartości średniej dla serii pomiarowej (B).

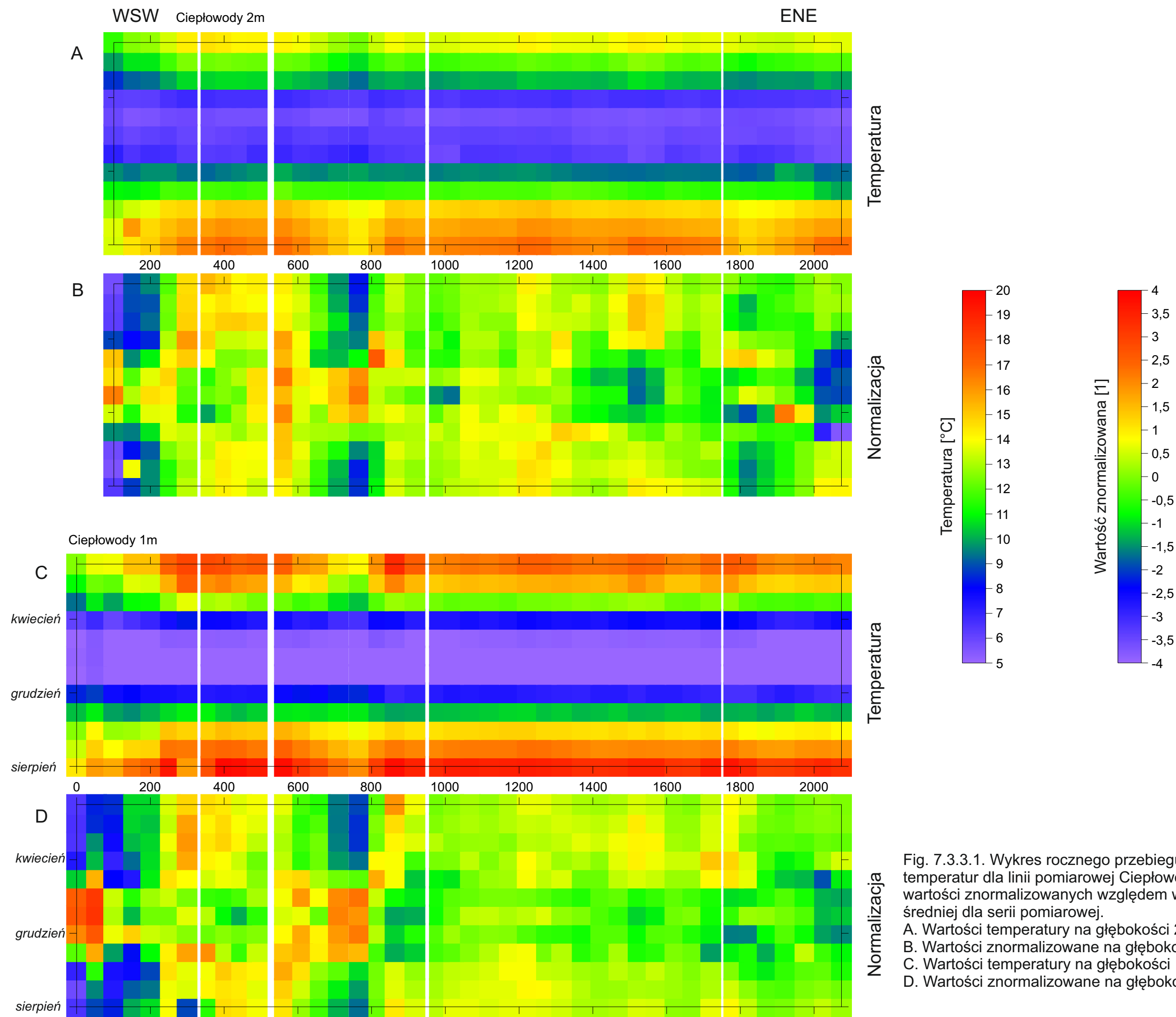


Fig. 7.3.3.1. Wykres rocznego przebiegu temperatur dla linii pomiarowej Ciepłowody i wartości znormalizowanych względem wartości średniej dla serii pomiarowej.
 A. Wartości temperatury na głębokości 2m.
 B. Wartości znormalizowane na głębokości 2m;
 C. Wartości temperatury na głębokości 1m;
 D. Wartości znormalizowane na głębokości 1m.

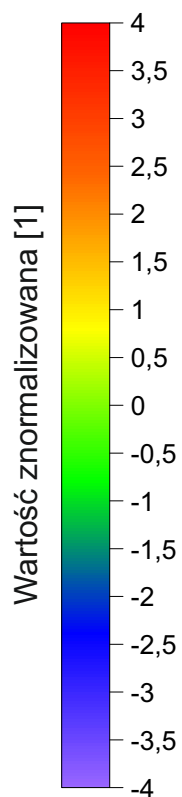
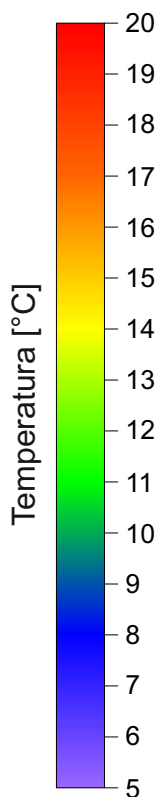
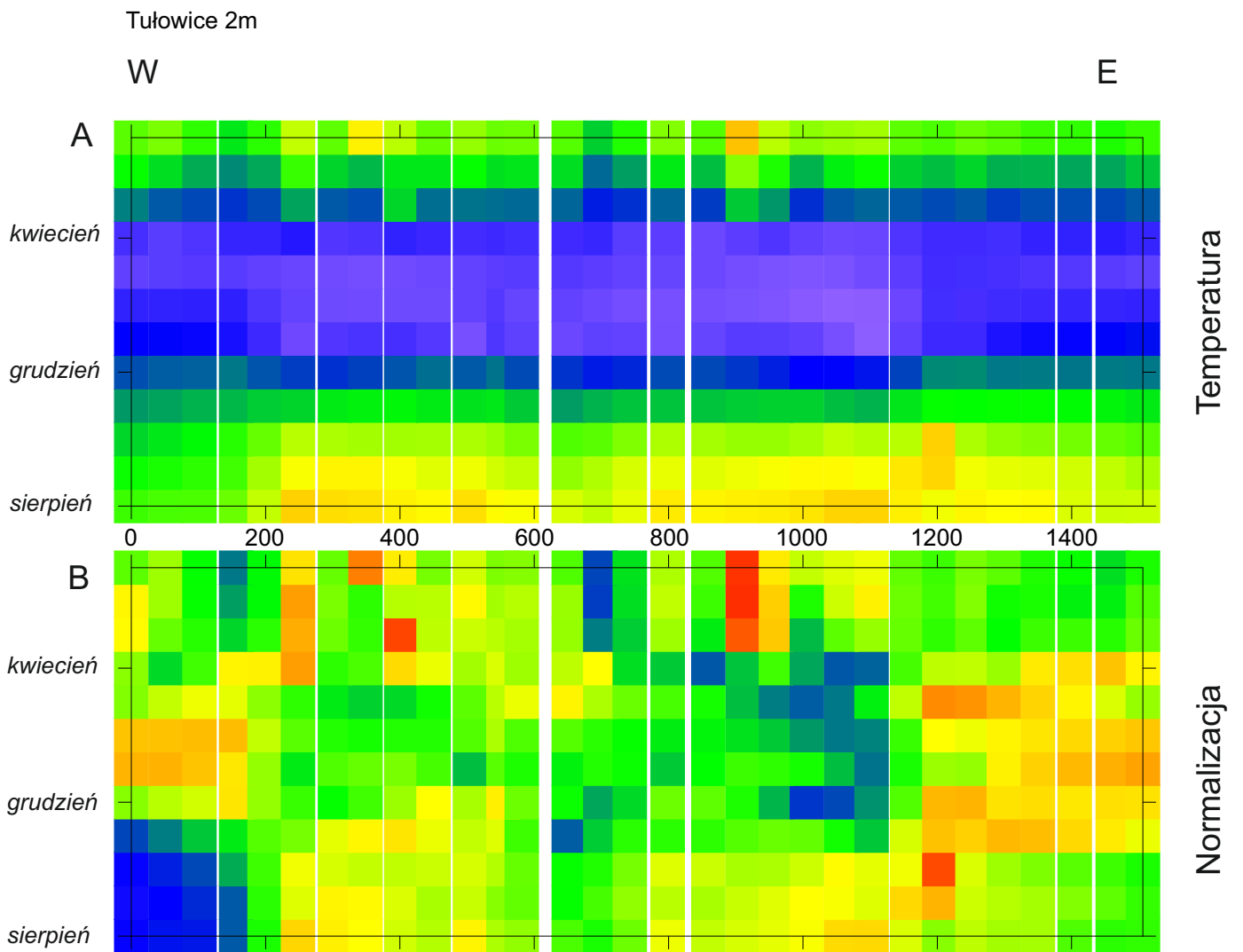


Fig. 7.3.4.1. Wykres rocznego przebiegu temperatur na głębokości 2m dla linii pomiarowej Tułowice (A) i wartości znormalizowanych względem wartości średniej dla serii pomiarowej (B).

Głuchów 2m

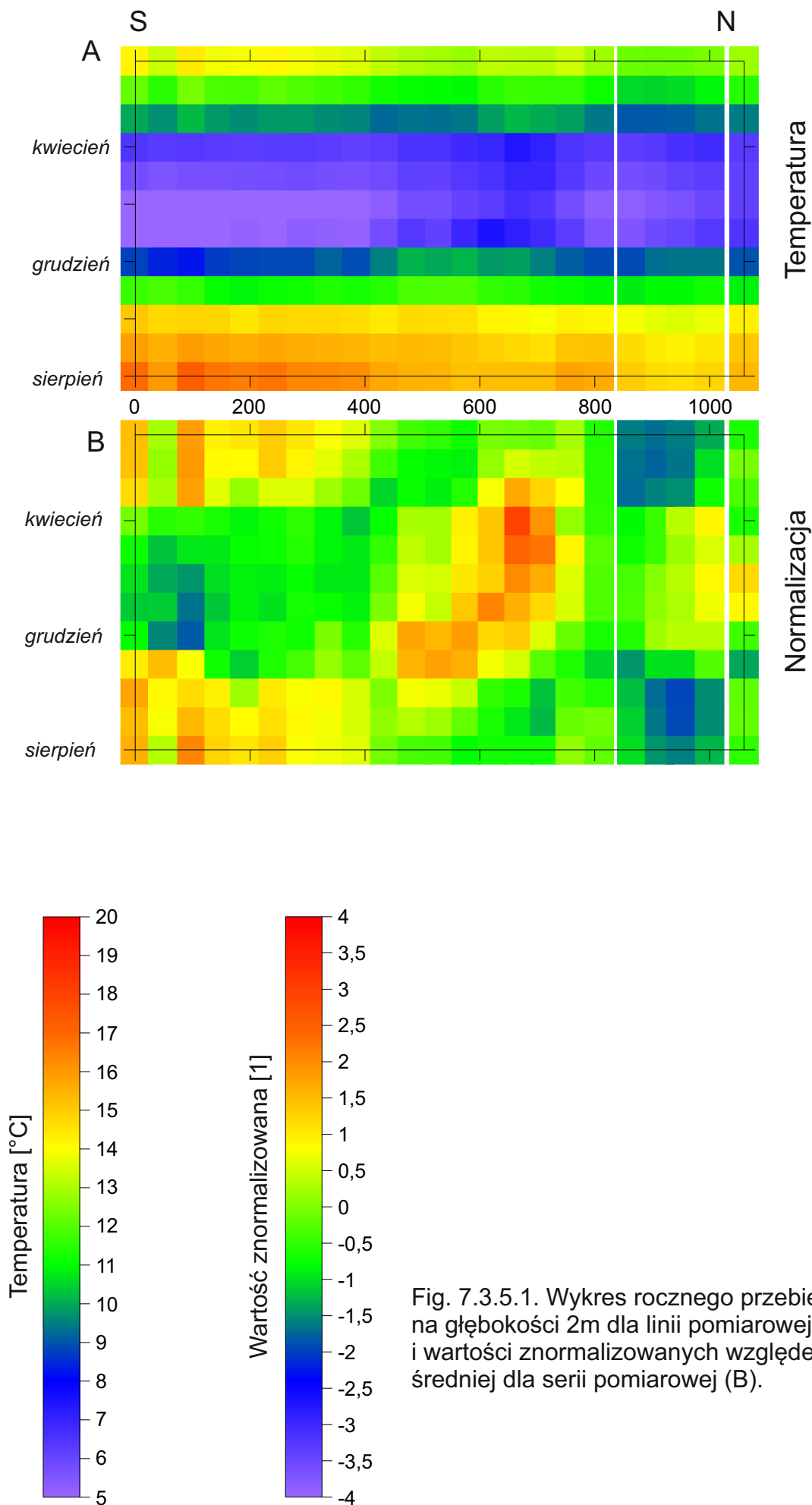


Fig. 7.3.5.1. Wykres rocznego przebiegu temperatur na głębokości 2m dla linii pomiarowej Głuchów Górny(A) i wartości znormalizowanych względem wartości średniej dla serii pomiarowej (B).