

ZASTOSOWANIE MAPY WEKTOROWEJ POLSKI W SKALI 1:50 000 (VMAPL2) DO BUDOWY MODELI PRZEPEŁYWU WÓD PODZIEMNYCH

APPLICATION OF THE VECTOR MAP OF POLAND 1:50 000 (VMAPL2) TO THE DEVELOPMENT OF NUMERICAL GROUNDWATER FLOW MODEL

DARIUSZ KASZTELAN¹, MAREK MARCINIAK²

Abstrakt. W trakcie budowy matematycznych modeli przepływu wód podziemnych jednym z najważniejszych zadań jest dokładne odwzorowanie ukształtowania powierzchni modelowanego obszaru. Dla terytorium Polski nie opracowano cyfrowego modelu terenu DTM w dużej skali. Dotychczas dla potrzeb modelowania przepływu wód podziemnych przeprowadzano schematyzację powierzchni terenu z mapy topograficznej na siatkę dyskretyzacyjną modelu. Inną drogą do uzyskania modelu rzeźby jest digitalizacja rastrowych map topograficznych. W artykule omówiono procedurę konwersji warstw informacyjnych mapy wektorowej poziomu drugiego VMAPL2 do bazy danych programu Surfer. Pokazany został także wpływ kroku siatki dyskretyzacyjnej na dokładność odwzorowania ukształtowania powierzchni terenu.

Słowa kluczowe: modelowanie matematyczne, cyfrowy model powierzchni terenu, mapa wektorowa.

Abstract. During the development of numerical groundwater flow models the accurate surface terrain reproduction is one of the most important tasks. No large-scale digital terrain models (DTM) of Poland have been developed yet. The numerical groundwater flow models were hitherto based on a digital terrain model schematically transformed from topographic maps. The other way to obtain DTM was digitizing topographic maps. This paper shows the procedure of thematic layer conversion from a vector map (VMAPL2) to a database of Surfer software. Moreover, the influence of different discretization network steps on the accuracy of the surface terrain reproduction is presented.

Key words: numerical modelling, digital terrain model, vector map.

WSTĘP

Mapa wektorowa poziomu drugiego (VMAPL2) posiada pokrycie arkuszowe dla całego kraju. Powstała na podstawie wojskowych map topograficznych w skali 1:50 000. Opracowana została w formacie VPF (*Vector Product Format*), który jest standardem NATO. Mapa składa się z 13 grup tematycznych, w obrębie których znajdują się warstwy informacyjne. Geometria poszczególnych obiektów mapy zapisana jest w układzie współrzędnych WGS-84. W skład mapy wektorowej wchodziły obiekty punktowe, liniowe i obszaro-

we wraz z przypisanymi tym obiektom informacjami zapisanymi w bazie danych.

Do modelowania matematycznego można wykorzystać dwie grupy tematyczne: powierzchnię terenu oraz hydrografię. W grupach tych znajdują się informacje o ukształtowaniu powierzchni terenu w formie odwzorowanych poziomic wraz z rzędnymi, rzędnych punktów charakterystycznych oraz rzędnych wód powierzchniowych. Elementy hydrograficzne to m.in. rzeki, rowy, kanały, tereny podmokłe, jeziora.

¹ Uniwersytet im. Adama Mickiewicza, Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych, Instytut Geologii, ul. Maków Polnych 16, 61-606 Poznań

² Uniwersytet im. Adama Mickiewicza, Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych, Instytut Geografii Fizycznej i Kształtowania Środowiska Przyrodniczego, ul. Dziegiełowa 27, 61-680 Poznań; e-mail: mmarc@amu.edu.pl

PROCEDURA IMPORTU WARSTW INFORMACYJNYCH Z MAPY WEKTOROWEJ VMAPL2 DO PROGRAMU VISUAL MODFLOW

Format VPF, w którym została opracowana mapa, jest formatem typowo wojskowym i rzadko wykorzystywanym przez oprogramowanie typu GIS. Pierwszym krokiem umożliwiającym dalsze wykorzystanie VMAPL2 do badań modelowych jest przekonwertowanie danych do innego formatu. Konwersję taką wykonano używając programu MapInfo. Potrzebne w procesie modelowania warstwy informacyjne zostały przekonwertowane do formatu SHP. Jednocześnie zmianie uległ układ współrzędnych – ze współrzędnych kątowych WGS-84 do współrzędnych kartezjańskich w układzie 92. Konwersja taka umożliwiła swobodne operowanie danymi w środowisku GIS oraz w programie Visual MODFLOW ver. 4.1, w którym realizowano model przepływu wód podziemnych (Zheng, 1996). Jednym z najtrudniejszych i czasochłonnych zadań na etapie konstruowania modelu jest dokładne odwzorowanie ukształtowania powierzchni modelowanego obszaru (Harbaugh i in., 2000). Cel ten można osiągnąć poprzez przypisanie każdemu blokowi obliczeniowemu modelu odpowiedniej wartości rzędnej terenu oraz utworzenie mapy izolinowej za pomocą odpowiedniego programu komputerowego.

Ten drugi sposób jest dziś częściej wykorzystywany, gdyż jest bardziej dokładny oraz umożliwia wizualizację uzyskanej powierzchni w formie mapy izolinowej albo blokdiagramu. Dodatkowo dokładność tak uzyskanej mapy można łatwo sprawdzić, nakładając ją na podkład topograficzny. Mapę izolinową można też wykorzystać do zobrazowania wyników badań modelowych. Sposobem na wierne odwzorowanie powierzchni terenu jest zdigitalizowanie poziomicy i punktów wysokościowych z mapy topograficznej, a następnie utworzenie cyfrowego modelu rzeźby terenu

(DTM). Do tego celu posłużyć może dobrze znany geologom program Surfer. Digitalizację obiektów z rastrowych podkładów topograficznych oraz ich przetworzenie do postaci wektorowej (przebieg cieków, kształt jezior) czy bazy danych (współrzędne studni, piezometrów, punktów kalibracyjnych) można wykonać w niemal każdym programie GIS. Może to być wspomniany program Surfer lub program Digger, którego przykłady zastosowania w badaniach hydrogeologicznych opisał Kasztelan (2007). Aby uzyskać cyfrowy model powierzchni terenu w programie Surfer, niezbędna jest baza danych, która będzie zawierać współrzędne x , y oraz rzędną z . Baza taka umożliwia otrzymanie po przeliczeniach statystycznych tablicy z danymi, która następnie może być zaimportowana do programu komputerowego realizującego modelowanie przepływu wód podziemnych. Aby skrócić czas żmudnego digitalizowania poziomicy i punktów wysokościowych, do budowy modelu wykorzystano warstwy informacyjne mapy wektorowej VMAPL2.

Do programu Digger zaimportowane zostały pliki *.SHP zawierające: rzędną punktów wysokościowych, rzędną wód powierzchniowych, przebieg poziomicy wraz z ich rzędną. Następnie dane te zostały wyeksportowane do pliku *.DAT, w którym uzyskano współrzędne x , y oraz rzędną z . Dla arkusza VMAPL2, który składa się z dwóch arkuszy mapy 1:50 000, otrzymano bazę 257 801 punktów z przypisaną rzędną. Baza ta posłużyła do stworzenia w programie Surfer cyfrowego modelu rzeźby terenu (DTM), zapisanego w formacie pliku *.GRD. Format ten jest rozpoznawalny przez programy do modelowania matematycznego przepływu wód podziemnych, takie jak Visual MODFLOW, Processing MODFLOW czy też GMS (McDonald, Harbaugh, 1988).

WPLYW SIATKI DYSKRETYZACYJNEJ MODELU NA DOKŁADNOŚĆ ODWZOROWANIA MORFOLOGII TERENU

Dobór kroku siatki dyskretyzacyjnej ma ważne znaczenie dla dokładności odwzorowania modelowanego procesu (Franke i in., 1987). W modelach korzystających z algorytmów obliczeniowych metody różnic skończonych siatka dyskretyzacyjna powinna być zagęszczona w obszarach o dużej dynamice modelowanego procesu (Harbaugh, McDonald, 1996). Natomiast w obszarach gdzie zmiany modelowanego procesu są niewielkie, krok siatki dyskretyzacyjnej może być większy. Zmiana kroku siatki dyskretyzacyjnej ma także wpływ na dokładność odwzorowania kształtu powierzchni terenu. A kolei kształt powierzchni terenu ma znaczący wpływ na warunki obiegu wody. Dlatego konieczne okazało się sprawdzenie, jaki wpływ na dokładność odwzorowania powierzchni importowanej z mapy wektorowej ma krok siatki dyskretyzacyjnej modelu (Reilly, 2001).

Badania testowe przeprowadzono na przykładzie modelu filtracji wód podziemnych w rynnę gryżyńsko-grabińskiej położonej na Ziemi Lubuskiej. Rzeźba powierzchni tego obszaru jest bardzo urozmaicona (fig.1). Głównym ciekim odwadniającym rynnę jest Gryżynka, która płynie z północy na południe i uchodzi do Odry. Zlewnia Gryżynki w części północnej i środkowej obejmuje obszar rynny gryżyńsko-grabińskiej, natomiast w części południowej Pradolinę Warszawsko-Berlińską. Po północno-wschodniej oraz północno-zachodniej stronie zlewni Gryżynki występują dwa obszary bezodpływowe, które zasilają rzekę sphywem podziemnym.

Rynna jest usytuowana południkowo i ma 12 km długości oraz około 3 km szerokości. W środku rynny występują dwa południkowo usytuowane wały ozowe, które dzielą rynnę na trzy doliny: zachodnią, środkową i wschodnią. Tworzy to ra-

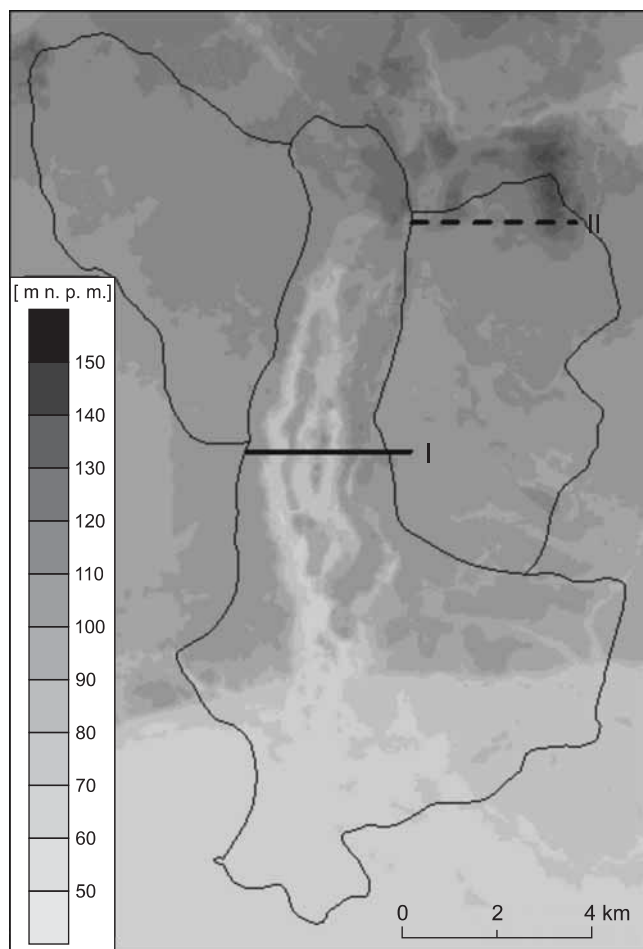


Fig. 1. Zlewnia Gryżynki wraz z przyległymi obszarami bezodpływowymi

Gryżynka river basin with surrounding blind drainage areas

zem bardzo urozmaiconą rzeźbę terenu. Deniwelacje pomiędzy dnem dolin położonym na rzędnych około 50 m n.p.m. a wysoczyzną o rzędnych około 90 m n.p.m. dochodzą do 40 m. Rzeźba obszarów bezodpływowych jest znacznie mniej urozmaiconą, od około 90 do około 110 m n.p.m., maksymalnie do 130 m n.p.m.

Odwzorowanie powierzchni terenu przeprowadzono na siatkach dyskretyzacyjnych o wymiarach: 200×200 , 100×100 , 50×50 oraz 25×25 m. Zazwyczaj w tym przedziale wymiarowym bloków obliczeniowych siatki dyskretyzacyjnej poszukuje się kompromisu pomiędzy niezbędną dokładnością odwzorowania modelowanego procesu a możliwościami obliczeniowymi komputera.

Ocenę dokładności odwzorowania powierzchni terenu przeprowadzono na podstawie analizy dwóch przekrojów testowych. Pierwszy z nich (I – fig. 1) poprowadzono przez środek rynny gryżyńsko-grabińskiej. Na przekroju tym występuje sześć stoków o dużym nachyleniu, co pozwala dobrze ocenić jakość odwzorowania powierzchni terenu na siatkach dyskretyzacyjnych o różnym kroku. Na figurze 2 pokazano przekrój testowy przy dyskretyzacji powierzchni siatkami

dyskretyzacyjnymi kwadratowymi o bokach: 200, 100, 50 oraz 25 m na tle zarysu rzeczywistego przekroju rynny.

Odchyłki odwzorowania rzędnych terenu obliczono ze wzoru:

$$\Delta = Z_T - Z_M \quad [1]$$

gdzie:

Δ – odchyłka [m],

Z_T – rzędna terenu [m n.p.m.],

Z_M – rzędna terenu na modelu [m n.p.m.].

Wykresy przestrzennego rozkładu odchyłek dla różnych kroków siatki dyskretyzacyjnej pokazano na figurze 3.

Drugi przekrój testowy (II – fig. 1) poprowadzono przez północny fragment wschodniego obszaru bezodpływowego. Na przekroju tym ukształtowanie powierzchni jest znacznie łagodniejsze i tylko incydentalnie pojawia się fragment wału kemowego o rzędnych około 130 m n.p.m. Na figurze 4 pokazano ten przekrój przy dyskretyzacji powierzchni siatkami dyskretyzacyjnymi kwadratowymi o bokach: 200, 100, 50 oraz 25 m na tle zarysu rzeczywistego przekroju rynny. Wykresy przestrzennego rozkładu odchyłek dla różnych kroków siatki dyskretyzacyjnej przedstawiono na figurze 5.

Jak widać na figurach 3 i 5, odchyłki mają znak zarówno dodatni, jak i ujemny. Dlatego wartość średnią odchyłki Δ_{sr} dla poszczególnych kroków siatki dyskretyzacyjnej obliczono jako:

$$\Delta_{sr} = \frac{\sum_i^n |Z_{Ti} - Z_{Mi}|}{n} \quad [2]$$

gdzie:

n – liczba bloków obliczeniowych na przekroju testowym.

Także mediany obliczono na podstawie wartości bezwzględnych odchyłek dla poszczególnych kroków siatki dyskretyzacyjnej. W tabelach 1 i 2 zestawiono najważniejsze elementy charakterystyki statystycznej. Elementy statystyki zbiorów odchyłek pokazano również na wykresach (fig. 6).

Zmienność powierzchni terenu rynny gryżyńsko-grabińskiej była bardzo duża. Przy siatce dyskretyzacyjnej o boku 200 m maksymalne błędy odwzorowania powierzchni na obszarze rynny dochodziły do 12 m. Natomiast na obszarze wysoczyzny maksymalne błędy nieznacznie przekroczyły 4 m. Wartość średnia odchyłek w rynnach wyniosła około 3 m, natomiast na wysoczyźnie była o metr mniejsza. Mediana zbioru odchyłek w całym badanym obszarze była zbliżona i wyniosła około 1,5 m.

Kryteria oceny jakości odwzorowania powierzchni terenu powinny każdorazowo uwzględniać nie tylko cel i skalę modelowania, ale także zróżnicowanie powierzchni. Ważne znaczenie ma lokalizacja i długość przekrojów testowych. Przekroje testowe powinny być sytuowane zarówno w podobszarach o bardzo zróżnicowanej rzeźbie, jak i w podob-

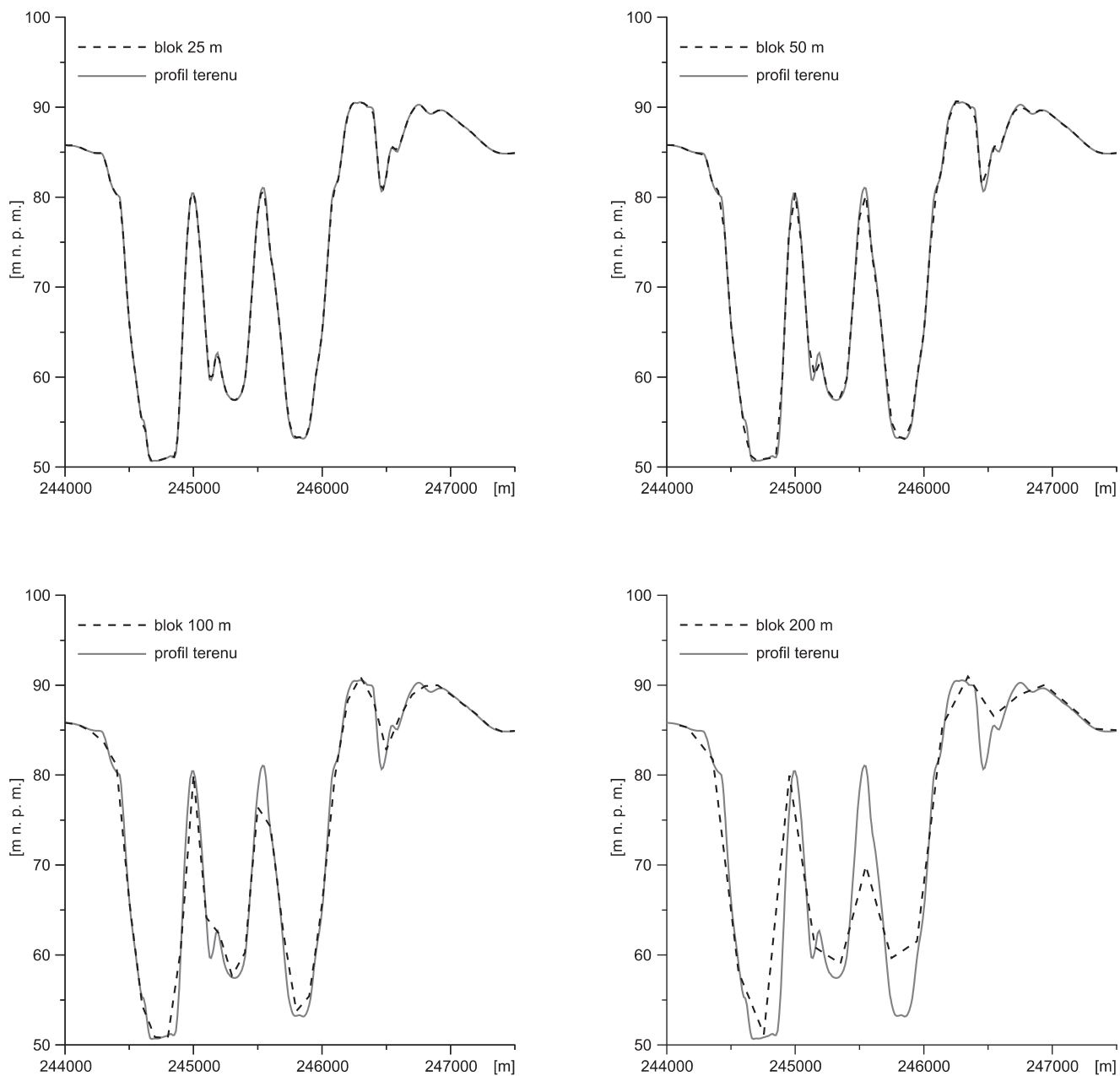


Fig. 2. Dokładność odwzorowania powierzchni terenu na przekroju testowym przez rynnę

The accuracy of surface terrain reproduction presented on the cross-section test through a postglacial channel

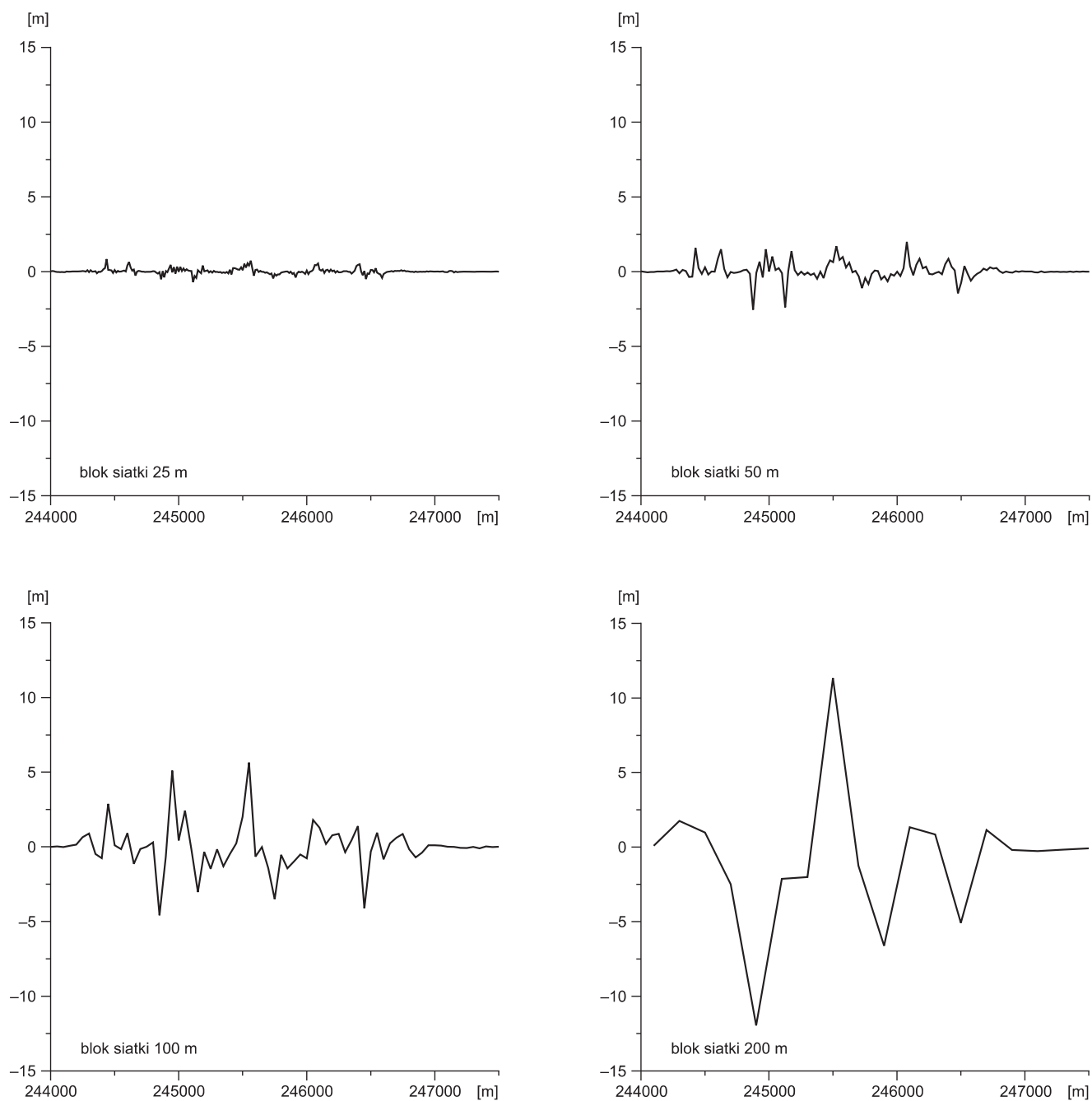


Fig. 3. Przestrzenny rozkład odchyłek dla różnych kroków siatki dyskretyzacyjnej dla przekroju testowego przez rynię

Spatial distribution of deviation of different discretization network steps presented on the cross-section test through a postglacial channel

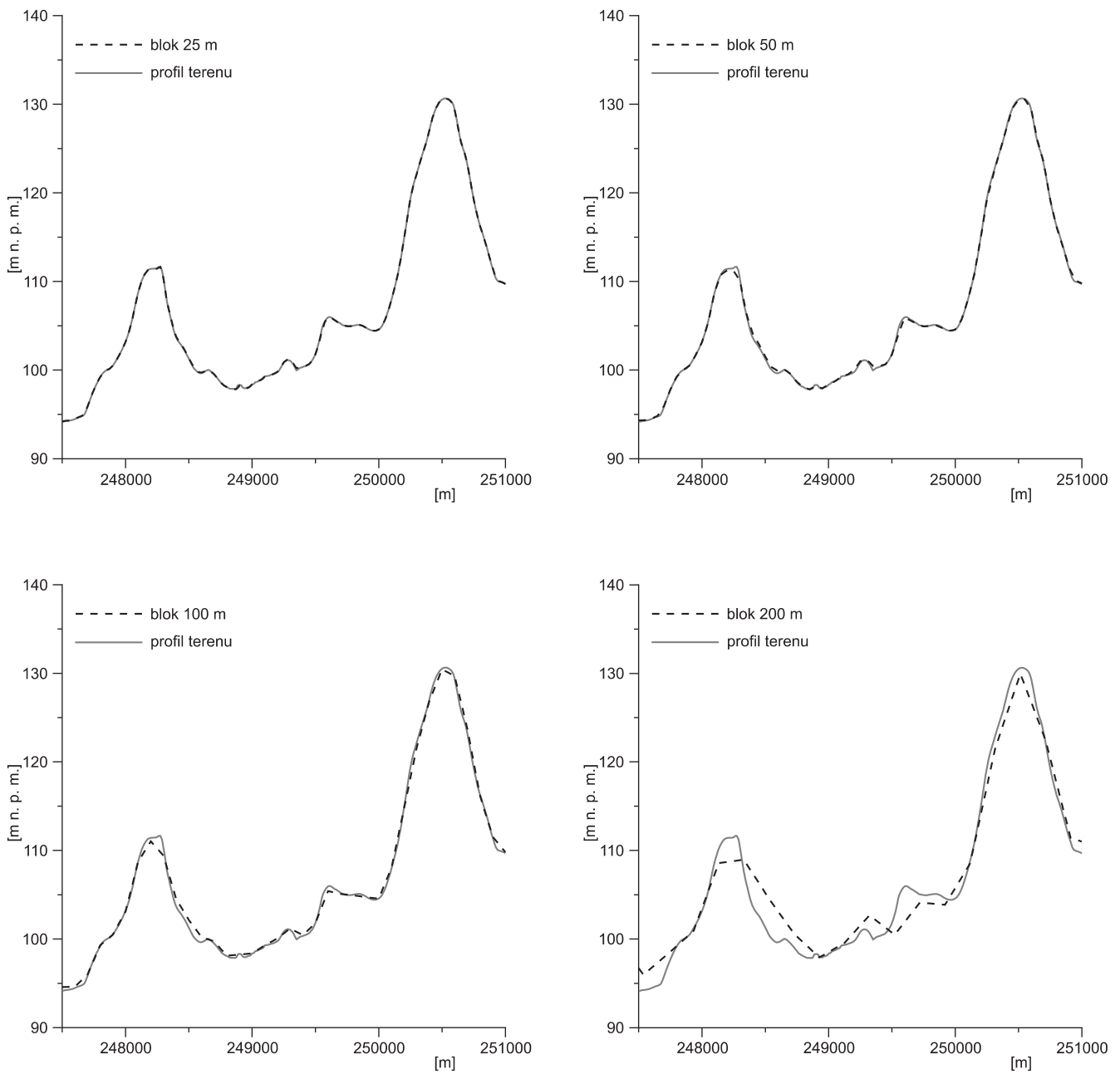


Fig. 4. Dokładność odwzorowania powierzchni terenu na przekroju testowym przez wysoczyznę

The accuracy of surface terrain reproduction presented on the cross-section test through a till plain

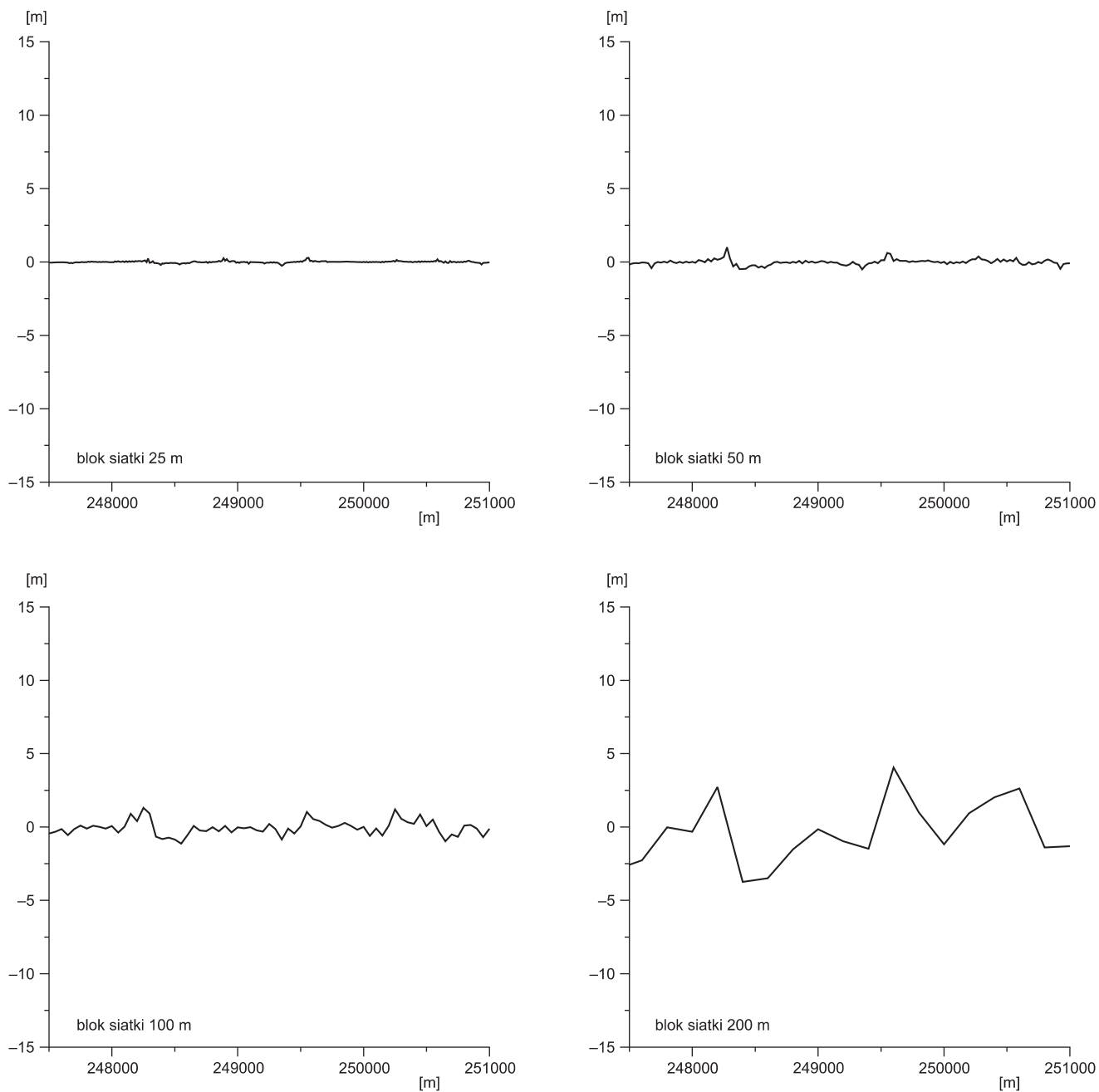


Fig. 5. Przestrzenny rozkład odchylek dla różnych kroków siatki dyskretyzacyjnej dla przekroju testowego przez wysoczyznę

Spatial distribution of deviation of different discretization network steps presented on the cross-section test through a till plain

Tabela 1

Statystyki odchyłek dla różnych kroków siatki dyskretyzacyjnej dla przekroju przez rynnę

Statistics of deviation of different discretization network steps presented on the cross-section test through a postglacial channel

Krok [m]	Minimum [m]	Maximum [m]	Średnia [m]	Mediana [m]
25	-0,7039	0,8419	0,0986	0,0374
50	-1,8515	1,9932	0,3084	0,1317
100	-4,5888	5,6506	0,8941	0,5221
200	-11,9596	11,3424	2,7625	1,2925

Tabela 2

Statystyki odchyłek dla różnych kroków siatki dyskretyzacyjnej dla przekroju przez wysoczyznę

Statistics of deviation of different discretization network steps presented on the cross-section test through a till plain

Krok [m]	Minimum [m]	Maximum [m]	Średnia [m]	Mediana [m]
25	-0,2570	0,2855	0,0437	0,0289
50	-0,5079	1,0122	0,1328	0,0848
100	-1,1413	1,3039	0,3678	0,2729
200	-3,7452	4,0518	1,7787	1,4854

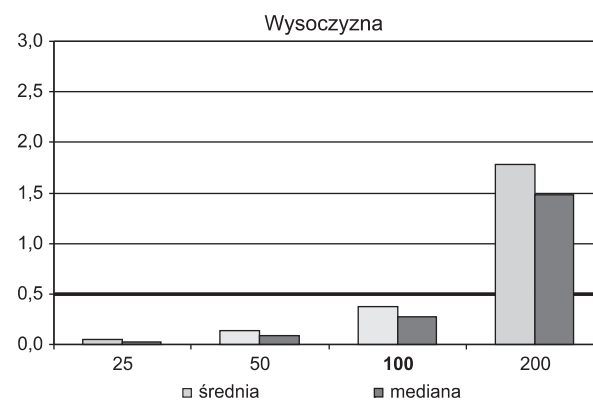
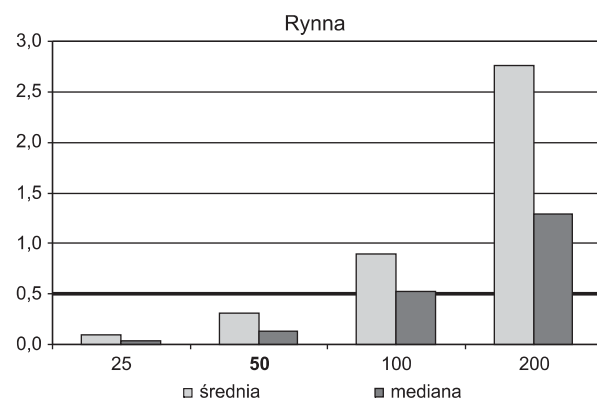
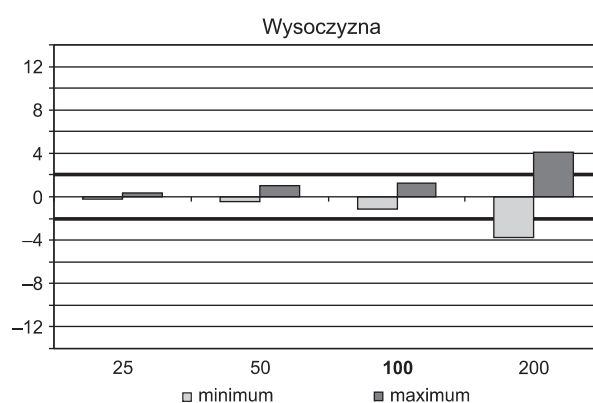
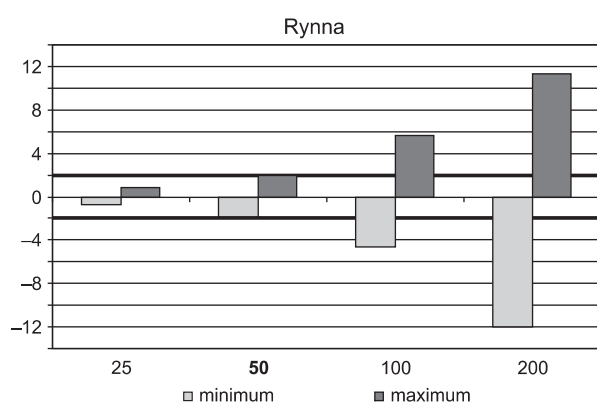


Fig. 6. Wybrane statystyki zbiorów odchyłek dla różnych kroków siatki dyskretyzacyjnej

Selected statistics of deviation sets of different discretization network steps

szarach płaskich. Dla terenów o bardzo zróżnicowanej rzeźbie można przeprowadzić kilka przekrojów testowych. Długość każdego przekroju powinna być tak dobrana, aby przekrój oddawał lokalne cechy ukształtowania powierzchni (Okońska i in., 2004).

Dla badanego obszaru przyjęto, że dokładność odwzorowania powierzchni powinna spełniać następujące kryteria: maksymalny błąd odwzorowania nie przekracza 2,0 m, śred-

nia i mediana zbioru odchyłek są mniejsze niż 0,5 m. Tak sformułowane kryteria na obszarze rynny spełnia siatka dyskretyzacyjna o boku 50 m, natomiast na obszarze wysoczyzny siatka o boku 100 m (tab. 1, 2, fig. 6).

Zmniejszenie kroku siatki dyskretyzacyjnej wiąże się ze znacznym wzrostem liczby bloków obliczeniowych, który tylko częściowo można ograniczyć stosując siatkę dyskretyzacyjną o zmiennym kroku.

MODEL PRZEPIYU WÓD PODZIEMNYCH DLA RYNNY GRYŻYŃSKO-GRABIŃSKIEJ

Przy budowie modelu przepływu wód podziemnych dla rynny gryżyńsko-grabińskiej wykorzystano dwie warstwy informacyjne z VMAPL2: ukształtowanie powierzchni oraz sieć hydrograficzną. Współrzędne siatki modelu przyjęto zgodnie z siatką kilometrową układu 92. Modelem objęto zlewnię Gryżynki oraz oba obszary bezodpływowe, łącznie obszar o powierzchni 270 km². Po konwersji baza danych liczyła 48 631 punktów wysokościowych, średnia 180 punktów na km². Bazę punktów przeliczono w programie Surfer, stosując następujące kroki siatki:

$\Delta x = \Delta y = 200$ m – 66 kolumn, 101 wierszy, czyli 6666 bloków;

$\Delta x = \Delta y = 100$ m – 131 kolumn, 201 wierszy, czyli 26 331 bloków;

$\Delta x = \Delta y = 50$ m – 261 kolumn, 401 wierszy, czyli 104 661 bloków;

$\Delta x = \Delta y = 25$ m – 521 kolumn, 801 wierszy, czyli 417 321 bloków;

$\Delta x = \Delta y = 12,5$ m – 1041 kolumn, 1601 wierszy, czyli 1 666 641 bloków.

Otrzymane mapy izoliniowe były następnie porównywane z mapą topograficzną w skali 1:50 000. Po analizie błędów odwzorowania na obu przekrojach testowych ostatecznie przyjęto siatkę dyskretyzacyjną o zmiennym kroku (fig. 7).

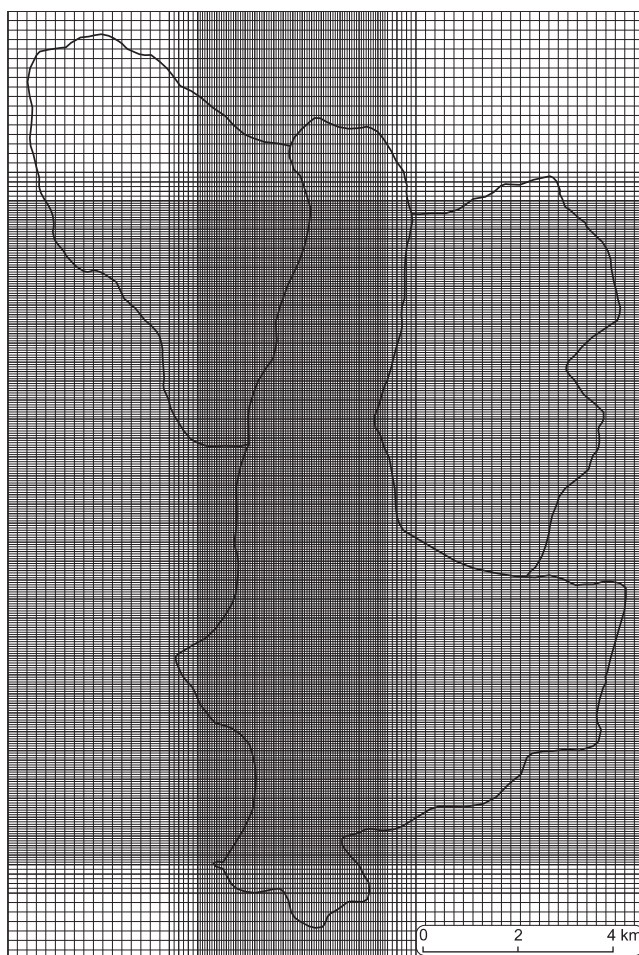


Fig. 7. Siatka dyskretyzacyjna modelu przepływu wód podziemnych w rynnie gryżyńsko-grabińskiej

Discretization network of numerical groundwater flow model in the area of Gryżynka–Grabin postglacial channel

PODSUMOWANIE

Mapa wektorowa Polski w skali 1:50 000 może być bardzo efektywnym narzędziem do zadawania ukształtowania powierzchni terenu na modelach przepływu wód podziemnych. Z mapy tej można także wykorzystać inne warstwy informacyjne, np. sieć hydrograficzną czy rodzaj pokrycia powierzchni terenu. Dla zachowania wystarczająco dokładnego odwzorowania zarówno powierzchni terenu, jak i innych elementów obiegu wody w modelowanym obsza-

rze konieczny jest właściwy dobór kroku siatki dyskretyzacyjnej.

Przedstawioną w artykule procedurę można rozszerzyć na tematyczne mapy wektorowe: hydrograficzną, sozologiczną, geologiczną czy geośrodowiskową. Zawsze jednak konieczne będzie sprawdzenie dokładności odwzorowania poszczególnych elementów środowiska przyrodniczego dla przyjętego rodzaju siatki dyskretyzacyjnej.

LITERATURA

- FRANKE O.L., REILLY T.E., BENNETT G.D., 1987 – Definition of boundary and initial conditions in the analysis of saturated ground-water flow systems – an introduction. U.S. Geological Survey Techniques of Water-Resources Investigations, Book 3, Chapter B5.
- HARBAUGH A.W., BANTA E.R., HILL M.C., McDONALD M.G., 2000 – MODFLOW-2000, the U.S. geological survey modular. Ground-water model – user guide to modularization. Concepts and the ground-water flow process. U.S. Geological Survey.
- HARBAUGH A.W., McDONALD M.G., 1996 – User's documentation for MODFLOW-96, an update to the USGS Modular Three-dimensional Finite-Difference Ground-Water Flow Model. OFR 96-485.
- KASZTELAN D., 2007 – Didger – zaawansowane narzędzie do digitalizacji map. *W*: Informacja geograficzna w kształtowaniu i ochronie środowiska przyrodniczego (red. B. Medyńska-Gulij, L. Kaczmarek): 177–193. Bogucki Wyd. Nauk., Poznań.
- McDONALD M.G., HARBAUGH A.W., 1988 – A modular three-dimensional finite-difference ground-water flow model. USGS TWRI Chapter 6-A1.
- OKOŃSKA M., KASZTELAN D., MARCINIAK M., 2004 – Uwagi o dyskretyzacji obszaru dla modelu migracji znaczków przez próbkę gruntu. *W*: Hydrogeologia. Modelowanie przepływu wód podziemnych: 185–195. Wyd. UWroc., Wrocław.
- REILLY T.E., 2001 – System and boundry conceptualization in ground-water flow simulation. USGS TWRI Book 3, Chapter B8.
- ZHENG Ch., 1996 – MT3D99 a modular 3D multispecies transport simulator. User's guide. S.S. Papadopoulos & Associates, Inc.