



Aleksander Szmidt

Zakład Dynamiki Środowiska i Gleboznawstwa, Katedra Geografii Fizycznej, Wydział Nauk Geograficznych, Uniwersytet Łódzki; [aleksander.szmidt@geo.uni.lodz.pl](mailto:aleksander.szmidt@geo.uni.lodz.pl)

Artykuł wpłynął do redakcji 25.08.2016; po recenzjach zaakceptowany 17.10.2016

## Analysis of the relationships between the spatial arrangement of palaeovalleys and contemporary valleys of Central Poland in the light of GIS methods

### Analiza związków pomiędzy rozmieszczeniem dolin kopalnych i współczesnych w Polsce Środkowej w świetle metod GIS

#### Abstract

The article presents an example of application of selected GIS methods for showing connections between the course of palaeovalleys and contemporary valleys in Central Poland. The analysed area was shaped in the conditions of environment as early as the Palaeogene and Neogene, but the greatest impact on the present-day landscape came from the morphogenetic processes which operated in the Quaternary.

Palaeogeographic studies of the analysed area often point to the possible dependencies between the contemporary landscape and its substrate, particularly as regards the valley system. In order to verify this hypothesis, on the basis of archival cartographic materials and a Digital Elevation Model of the current terrain, a procedure for conducting analyses with the use of commonly available GIS tools was proposed. Results of the conducted analysis allow for stating that the major river valleys of Central Poland in large part correspond to the arrangement of the fossil valley system, and the relationships are most easily noticeable for the largest valleys.

#### Keywords

Palaeovalleys, correlation analysis, skeletal lines, GIS.

#### Zarys treści

W artykule przedstawiono przykład zastosowania wybranych metod GIS w celu wykazania związków pomiędzy przebiegiem dolin kopalnych oraz współczesnych na obszarze Polski Środkowej. Analizowany obszar w warunkach lądowych kształtowany był już w paleogenie i neogenie, natomiast największy wpływ na obecną rzeźbę powierzchni odcisnęły procesy morfogenetyczne w czwartorzędzie.

W opracowaniach paleogeograficznych dla analizowanego obszaru często wskazuje się na możliwe zależności pomiędzy wykształceniem rzeźby współczesnej a jej podłożem, w szczególności zaś sieci dolinnej. W celu weryfikacji tej hipotezy, na podstawie archiwalnych materiałów kartograficznych oraz Cyfrowego Modelu Wysokościowego rzeźby współczesnej, zaproponowano schemat przeprowadzenia analizy z wykorzystaniem zestawu ogólnodostępnych narzędzi GIS. Z wyników przeprowadzonej analizy można stwierdzić, że główne doliny rzeczne Polski Środkowej w dużej części nawiązują swoim przebiegiem do kopalnej sieci dolinnej, gdzie związki te najlepiej są widoczne w przypadku dolin największych.

**Słowa kluczowe** Doliny kopalne, analiza współzależności, linie szkieletowe terenu, GIS.

## 1. Introduction

Numerous studies into the palaeogeography of the river system in Central Poland (Fig. 1) point to a possible correlation between the spatial arrangement of the valley system on the surface of the Quaternary substrate and the arrangement of valley forms on the contemporary surface (Krzemiński 1965; Klatkova 1972; Baraniecka 1975; Sadłowska 1982; Forysiak 2004; Twardy 2004; Turkowska 2006). Conclusions presented in the literature are mostly based on detailed geological and geomorphological analyses of selected field research sites. What is missing, however, is a broader cartographical analysis, which might, to a degree, verify the proposed hypotheses in regional dimension. Another problem is to determine whether the possible identified relationships result from the Quaternary valleys' correspondence to valleys and other depressions in the Pliocene surface, or from erosional processes which occurred in the interglacial periods and reached an older substrate. On the basis of cartographic materials available for this study, it is only possible to indicate

locations of theoretical coincidence between the courses of landforms on both surfaces. The explanation of reasons for the identified situation is a different issue, which lies beyond the scope of this work.

## 2. Data sources, methods and research results

In order to determine the relationships between the spatial arrangement of contemporary and buried valley systems, the author juxtaposed the hypothetical palaeovalley system, based on maps of sub-Quaternary relief, with the current image, based on a digital elevation model. The input layer for the Quaternary substrate consists of Geological maps of Poland without Quaternary formations at the scale of 1:200 000. The analysis concerned data from the following sheets: Konin (Ciuk 1979), Płock (Baraniecka, Skompski 1978), Warszawa-Zachód (Słowański et al. 1995), Kalisz (Baranowski, Mańkowska 1972), Łódź (Piwocki 1980), Skierniewice (Makowska 1972), Kluczbork (Haisig et al. 1979), Częstochowa (Haisig, Biernat 1980), Kielce (Filonowicz 1978).



Fig. 1. Location of the study area in Poland and Europe (ed. by A. Szmidt)

Rys. 1. Położenie obszaru badań w Polsce i Europie (opr. A. Szmidt)

A total of 30 836 km<sup>2</sup> of land was analysed. For contemporary relief, a digital elevation model was used, with grid interval of at least 100 m, accessible free of charge from CODGiK (Centralny Ośrodek Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej – Main Geodetic and Cartographical Documentation Centre).

The first problem to be dealt with was the identification of valley forms in maps of both surfaces. In theory, for the contemporary surface, the contents of geomorphological sketches at the scale of 1:100 000, included with the Detailed geological maps of Poland at the scale of 1:50 000, could be used. A greater difficulty may be related to defining borders of geomorphological forms on the basis of maps of

palaeosurfaces, where the presented relief is largely generalised. To handle this problem, the author assumed that both surfaces should be described by models of similar quality, where the actual current or past occurrence of streams is not indicated. For this, skeletal lines of terrain were drawn instead of valley forms. The term "skeletal lines of terrain" is defined differently by traditional cartography and GIS (Geographic Information Systems). Traditional cartography defines skeletal lines as valley axes – the so-called stream lines, and lines which outline ridges of forms – the so-called ridge lines (Szaflarski 1965). In GIS, skeletal lines also mean axes of ridges and valleys but the term includes more

elements, which cannot be represented with contour line drawing or digital elevation models, such as rock walls (Urbański 2008). The traditional method of outlining skeletal lines involves analysing the contour drawing, where these lines are drawn by tracing the alignment of contour lines. When contour lines are bent towards the slope direction, it is possible to outline a ridge. For valley axes the situation is reverse. Skeletal lines of terrain should be perpendicular to the contour lines they cross. Unfortunately, this method is time-consuming (Chodyń 2004).

In order to automate the outlining of stream lines, the author used the ArcHydro module, an extension of the ArcGIS software. This tool is designed for hydrologic modelling. It is used, among other things, for delineating drainage areas on the basis of digital terrain models, and consequently, for hydrologic forecasting (Maidment 2002; Urbański 2008; Gudowicz, Zwoliński 2009).

In this case, it was practical to create the so-called raster stream map, which can later be used for further hydrologic analyses.

The process is as follows (Maidment 2002; Urbański 2008):

1. DEM reconditioning, consisting in incorporating data on existing streams in the raster map;
2. Filling sinks, which eliminates landlocked depressions, which might have been imaged during the interpolation process;
3. Creating a flow direction map;
4. Creating a flow accumulation map;

5. Stream definition;
6. Stream segmentation.

The first step, i.e. incorporation of the existing drainage system in the DEM (Digital Elevation Model) image, was skipped as it is impossible to perform this operation for the Quaternary substrate relief map (Jaskulski, Szmidt 2013). The author decided that in this case it would be better to assume that both surfaces are theoretical. Steps 2, 3, 4 were performed automatically. In step 5, i.e. defining streams in hydrologic applications, appropriate modelling should be used, so the actual water flow zones are taken into account (it is essential for hydrologic forecasting).

For this task, identification of all the lines along which water may flow was necessary. No hydrologic models were used for determining these values, and the obtained result was evaluated on the basis of a comparison with the contour drawing of the study area. So as to verify the quality of results obtained in this way, the author outlined skeletal lines for the Quaternary substrate surface using the traditional technique (Jaskulski, Szmidt 2013). Then, both sets of generated linear objects were superimposed (Fig. 2). In the author's opinion, the automated method provides better results for outlining such forms, although skeletal lines drawn using the traditional technique are characterised by a more natural shape.

It must also be kept in mind that automated delineation of objects using constant algorithms reduces the subjectivity of human evaluation, and allows repeatability of measurements.

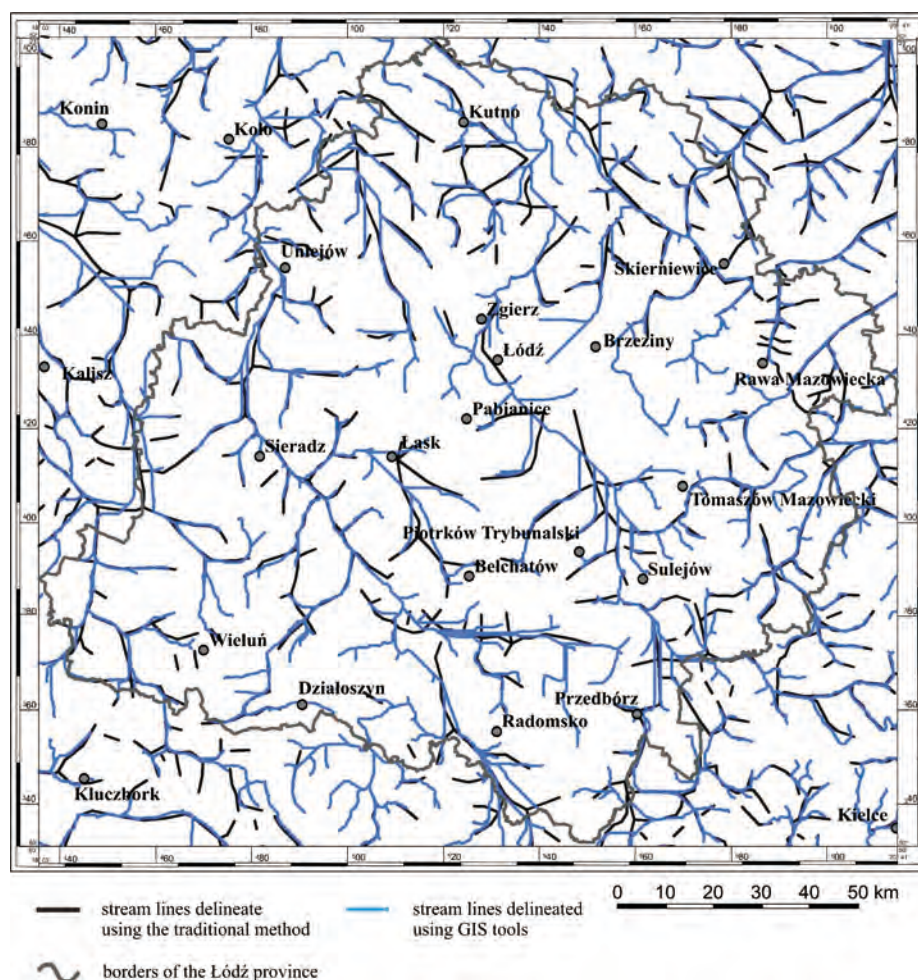


Fig. 2. A comparison of stream lines of the sub-Quaternary surface based on data from the Geological map of Poland without Quaternary formations at the scale of 1:200 000, drawn using traditional and computer-based techniques (ed. by A. Szmidt)

Rys. 2. Zestawienie linii ciekowych powierzchni podczwartorzędowej na podstawie danych z Map geologicznych Polski bez utworów czwartorzędowych w skali 1:200 000, wyznaczone techniką tradycyjną i komputerową (opr. A. Szmidt)

Owing to the above considerations, it was decided to generate stream lines for both analysed surfaces in the ArcHydro module for the ArcGIS 9.1 software. For the contemporary relief stream lines, a greater density of objects is noticeable, which still results from greater precision of this subject layer (Fig. 3, 4). The generated layers were exported to vector format as linear objects. From the cartographic point of view, such signatures only describe the central course of the given forms. An attempt at a direct demonstration of relationships between both sets of lines is difficult and such an operation may detect only intersection points of the analysed objects.

As it was mentioned before, no geomorphological or geological delineations of valley forms were used for the analyses. The author decided to create entirely theoretical valleys based on linear structures, with the use of the tool for creating buffers, understood as polygons surrounding the given object or group of objects at a predetermined border distance (Werner 2004; Urbański 1997, 2008). When setting the buffer value for analysed objects, one may take into consideration e.g. the average width of contemporary valleys, but in this analysis it was assumed that both surfaces are theoretical.

Owing to this, it was decided to use figures related to measuring errors and errors in reading both input layers as the buffer value. For the Quaternary substrate relief map, the possible reading error for the map at the scale of 1:200 000 was recalculated to 100 m. Precision of the CODGiK model is

recalculated to be about 100 metres, but the possible inaccuracies in assigning specific values to individual cells must also be accounted for. As a consequence, it can be assumed that inaccuracies in locating points between both layers can reach at least several hundred metres. A more precise determination of this value would involve additional analyses of source materials. For the purposes of this study, the author accepted the buffer value of 500 metres. The resulting polygon objects, representing hypothetical river valleys, increase the chance to detect overlapping between the two analysed systems (Fig. 3, 4, 5).

In order to identify common locations for both layers, the Intersect function was used. As a result, all locations of potential overlapping between the theoretical drainage system for both analysed surfaces were found (Fig. 6). It must be taken into account that stream lines for the contemporary surface, in this method of analysis, may in fact be dry valleys whose origins are rather not related to the older surface relief. In order to reduce the number of such locations, the author superimposed a layer representing the major rivers of Central Poland on the locations of potentially overlapping stream lines. In this case, similarly to the stream lines, the buffering process was applied to the layer and, as before, this operation did not account for actual widths of contemporary river valleys (Fig. 7). After applying the Intersect function again, locations were obtained where contemporary valleys (river channels) coincide with valleys and depressions in the Quaternary substrate surface (Fig. 8).

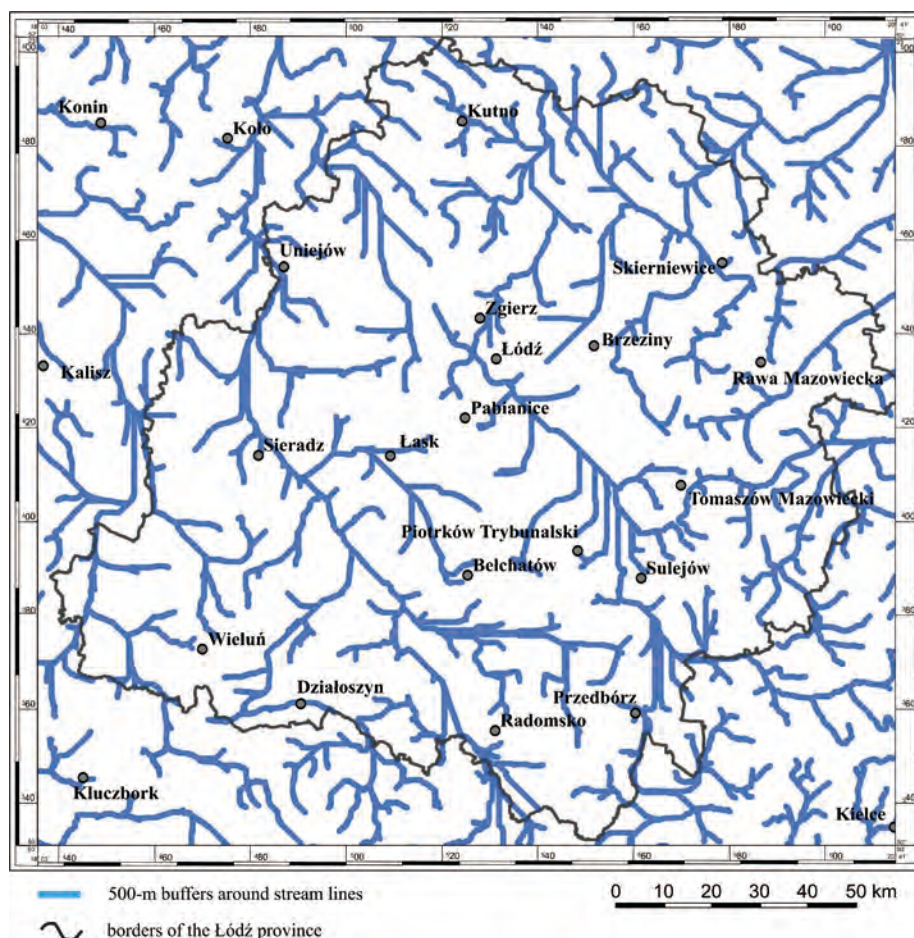


Fig. 3. 500-metre buffers around the stream lines of the sub-Quaternary surface, based on data from the Geological map of Poland without Quaternary formations at the scale of 1:200 000 (ed. by A. Szmidt)

Rys. 3. Bufory 500-metrowe wokół linii ciekowych powierzchni podczwartorzędowej na podstawie danych z Map geologicznych Polski bez utworów czwartorzędowych w skali 1:200 000 (opr. A. Szmidt)

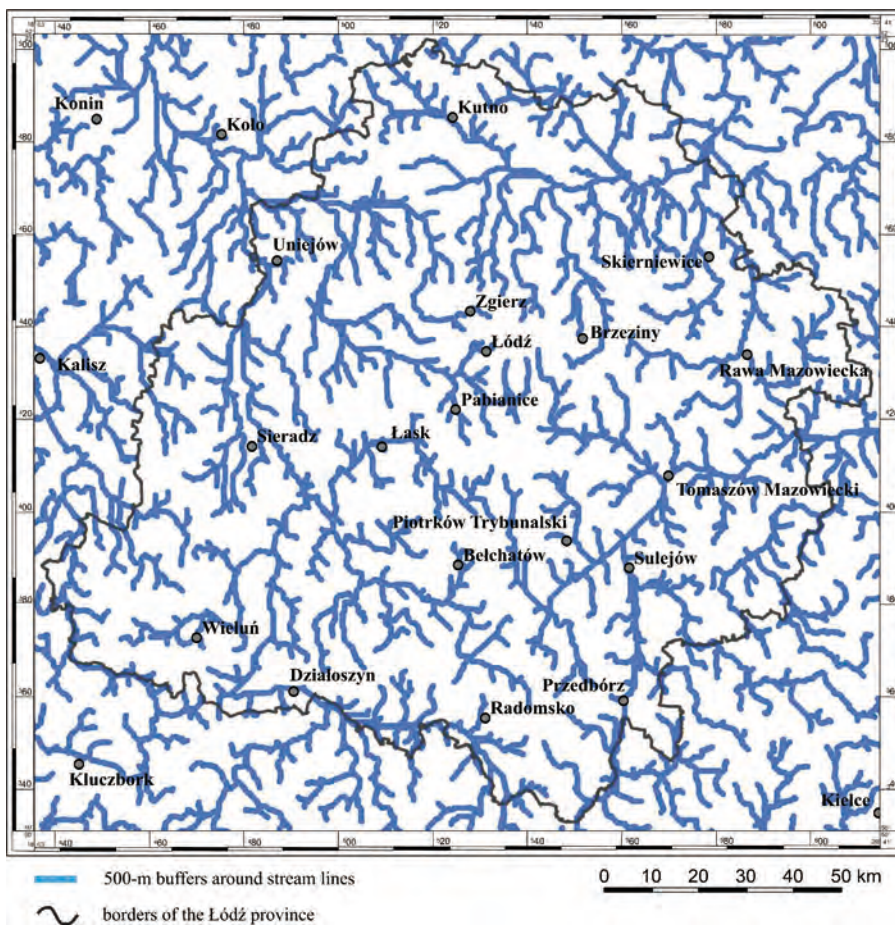


Fig. 4. 500-metre buffers along the stream lines of contemporary surface, based on a digital elevation model, made available by CODGIK, with the grid interval of at least 100 m (ed. by A. Szmidt)

Rys. 4. Bufory 500-metrowe wzdłuż linii ciekowych powierzchni współczesnej na podstawie cyfrowego modelu wysokościowego udostępnianego przez CODGIK o interwale co najmniej 100 m (opr. A. Szmidt)

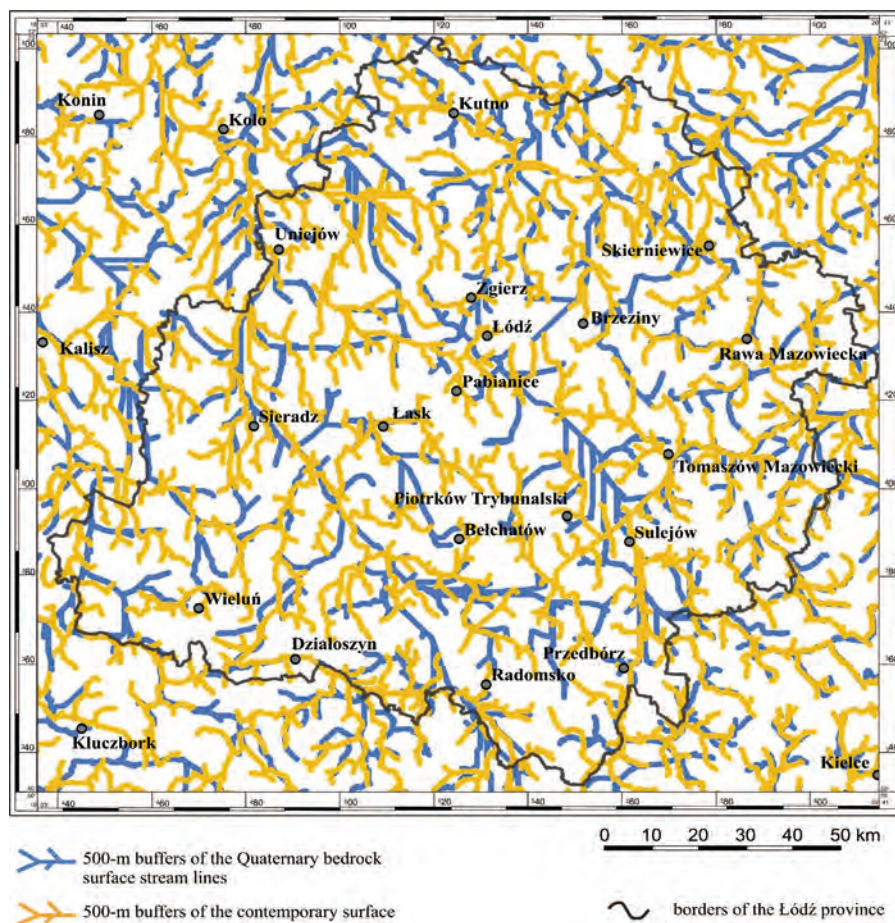


Fig. 5. Superimposed 500-metre buffers around the stream lines for the sub-Quaternary and contemporary surfaces (ed. by A. Szmidt)

Rys. 5. Nałożenie buforów 500-metrowych wokół linii ciekowych dla powierzchni podczwartorzędowej oraz współczesnej (opr. A. Szmidt)



Fig. 6. Areas of overlapping stream lines for the sub-Quaternary and contemporary surfaces (ed. by A. Szmidt)

Rys. 6. Obszary pokrywania się linii ciekowych dla powierzchni podczwartorzędowej oraz powierzchni współczesnej (opr. A. Szmidt)



Fig. 7. Areas of overlapping stream lines for the Quaternary substrate and contemporary surface with the present major rivers of Central Poland (ed. by A. Szmidt)

Rys. 7. Nałożenie obszarów pokrywania się linii ciekowych dla powierzchni podłoża czwartorzędowej oraz powierzchni współczesnej ze współczesnymi głównymi rzekami Polski Środkowej (opr. A. Szmidt)



Fig. 8. Areas of theoretical coincidence of the contemporary valley system with the valley system recorded in the surface of the Quaternary substrate (ed. by A. Szmidt)

Rys. 8. Obszary teoretycznego pokrywania się współczesnej sieci dolinnej z siecią dolinną zapisaną na powierzchni podłoża czwartorzędowego (opr. A. Szmidt)

### 3. Conclusions

The obtained results of research into the correspondence between valley forms of different age indicate usefulness of the proposed analysis conducted using GIS (Geographic Information Systems) techniques. Widespread availability of IT tools used during the works may be considered as an additional benefit of this type of analysis. Outlining the hypothetical valley systems, calculating equidistant lines for the stream lines and intersection analysis confirm the correspondence between the genesis and spatial arrangement of the palaeovalleys and contemporary valleys, described in the literature. Besides the horizontal and vertical resolution of the input objects, an important component for the representation obtained using the presented methods is also their actual comparability. Using a Digital Elevation Model (DEM) of the contemporary surface that is more precise than 100 metres (horizontal resolution) would certainly allow for detecting many smaller, interrelated objects. However, it must be kept in mind that, despite a similar horizontal resolution, the DEM for the sub-Quaternary surface is characterised by low vertical resolution – only 10 metres, which makes it impossible to describe objects smaller than that, which means many smaller forms of the buried surface.

A cartographic analysis of the obtained data indicates that the major river valleys of Central Poland, including the Warta, Pilica or Bzura valleys, correspond in their course to the arrangement of the ancient system, which confirms the research results of such authors as Galon (1970), Klatkova

(1972), or Baraniecka (1975). Similar observations may also be presented for valleys of lower order in the system hierarchy – e.g. the Rawka valley (Rdzany 1997; Kobjek 2000), Grabia valley (Maksymiuk 1970; Klatkova 1972), Proсна valley (Haisig, Wilanowski 2007), or Ner valley (Twardy 2004). As can be expected, the most frequent overlapping between the ancient and contemporary drainage systems is visible in the area of the Polish Uplands. This confirms the concepts of palaeodevelopment of the Pilica valley between Przedbórz and Sulejów and further eastwards (Sadłowska 1982; Wachecka-Kotkowska 2004, 2006; Rdzany 2006) and of the development of the Warta valley near Działoszyn (Krzemiński 1965). What is important, relationships of this type can be observed in the zone of the Polish Lowland, in many sections of the Warta River to the north of Wieluń, which was pointed out by such authors as Forsyia (2004).

The presented analysis and its results will not provide an answer to the question posed initially: whether the compliance between the given sections results from the correspondence of the Quaternary drainage system to the drainage system from the end of the Pliocene, or it is rather an effect of erosional activity of geological processes on the older relief. In formulating conclusions, the method of drawing maps of palaeosurfaces must be taken into consideration. Usually, during their creation, the authors do not have at their disposal a sufficient amount of data from boreholes and other geophysical measurements. In such cases, the image is completed on the basis of intermediate information, coming from analyses of available scientific

studies, concerning the charted area as well as the surrounding ones. During such an interpretation, it is especially important for the researcher to have a direct familiarity with the charted area (Szmidt 2015). In this case, knowing the confirmation of geological circumstances at selected field sites, the continuity of the course of linear buried forms was frequently determined on the basis of the course of the contemporary forms. This is what makes it difficult to determine to what extent the image of the palaeosurface represented in the maps is a reflection of direct geological data, and to what extent it is a derivative of analyses of contemporary relief based on topographic base maps. Before conclusions can be drawn from studies based on this kind of cartographic data, an in-depth verification and evaluation must be conducted.

#### 4. References

- Baraniecka, M.D., 1975. Zależność wykształcenia osadów czwartorzędowych od struktur i dynamiki podłoża w środkowej części Niżu Polskiego. *Biuletyn Instytutu Geologicznego* 288, 16, 5–97.
- Baraniecka, M.D., Skompski, S., 1978. Mapa geologiczna Polski w skali 1:200 000 ark. Płock, wyd. B, Mapa geologiczna odkryta, bez utworów czwartorzędowych. PIG Warszawa.
- Baranowski, J., Mańkowska, A., 1972. Mapa geologiczna Polski w skali 1:200 000 ark. Kalisz, wyd. B, Mapa geologiczna odkryta, bez utworów czwartorzędowych. PIG Warszawa.
- Chodyń, R., 2004. Zastosowanie cyfrowego modelu terenu (DEM) w badaniach geologicznych na przykładzie obszaru między Dobczycami a Mszaną Dolną (polskie Karpaty zewnętrzne). *Przegląd Geologiczny* 52, 315–319.
- Ciuk, E., 1979. Mapa geologiczna Polski w skali 1:200 000 ark. Konin, wyd. B, Mapa geologiczna odkryta, bez utworów czwartorzędowych. PIG Warszawa.
- Filonowicz, P., 1978. Mapa geologiczna Polski w skali 1:200 000 ark. Kielce, wyd. B, Mapa geologiczna odkryta, bez utworów czwartorzędowych. PIG Warszawa.
- Forysiak, J., 2004. Wpływ podłoża mezozoicznego na morfologię i przebieg doliny Warty między Burzeninem i Dobrowem, [w:] III. Świętokrzyskie spotkania geologiczno-geomorfologiczne nt. Rzeźba i osady czwartorzędowe na tle struktur starszego podłoża obszaru Polski, „Jodłowy Dwór” pod Świętym Krzyżem, 13–15.05.2004, Kielce, 22–23.
- Galon, R., 1970. Uwagi o wpływie konfiguracji i struktury podłoża plejstocenu na rozwój sieci dolinnej Polskiego Niżu. *Acta Geographica Lodziensia* 24.
- Gudowicz, J., Zwoliński, Z., 2009. Geoinformacyjne modelowanie hydrologiczne, [w:] Zwoliński Z. (red.), GIS platforma integracyjna geografii. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, 101–114.
- Haisig, J., Wilanowski, J., Biernat, S., Kaziuk, H., Kotlicki, S., 1979. Mapa geologiczna Polski w skali 1:200 000 ark. Kluczbork, wyd. B, Mapa geologiczna odkryta, bez utworów czwartorzędowych. PIG Warszawa.
- Haisig, J., Biernat S., 1980. Mapa geologiczna Polski w skali 1:200 000 ark. Częstochowa, wyd. B, Mapa geologiczna odkryta, bez utworów czwartorzędowych. PIG Warszawa.
- Haisig, J., Wilanowski, S., 2007. Szczegółowa mapa geologiczna Polski w skali 1:50 000 ark. Kalisz. PIG Warszawa.
- Klatkowa, H., 1972. Paleogeografia Wyżyny łódzkiej i obszarów sąsiednich podczas zlodowacenia warciańskiego. *Acta Geographica Lodziensia* 28, 1–220.
- Krzemiński, T., 1965. Przełom doliny Warty przez Wyżynę Wieluńską. *Acta Geographica Lodziensia* 21, 1–95.
- Jaskulski, M., Szmidt, A., 2013. Ocena przydatności automatycznego wyznaczenia linii szkieletowych terenu do analiz geomorfometrycznych, [w:] Jażdżewska, I., Urbański, J. (red.), GIS w nauce. *Acta Universitatis Lodziensis. Folia Geographica Socio-Oeconomica* 14, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź, 145–156.
- Kobojek, E., 2000. Morfogenezę doliny Rawki. *Acta Geographica Lodziensia* 77, 1–157.
- Kondracki, J., 1968. Fizycznogeograficzna regionalizacja Polski i krajów sąsiednich w systemie dziesiętnym. *Prace Geograficzne IG PAN* 69, 13–69.
- Kondracki, J., 1998. *Geografia regionalna Polski*. PWN, Warszawa.
- Krzemiński, T., 1965. Przełom doliny Warty przez Wyżynę Wieluńską. *Acta Geographica Lodziensia* 21, 1–95.
- Maidment, D., 2002. *ArcHydro GIS for water resources*. Redlands, California, ESRI Press.
- Makowska, A., 1972. Mapa geologiczna Polski w skali 1:200 000 ark. Skiernewice, wyd. B, Mapa geologiczna odkryta, bez utworów czwartorzędowych. PIG Warszawa.
- Maksymiuk, Z., 1970. Hydrografia dorzecza Grabi. *Acta Geographica Lodziensia* 25, Łódzkie Towarzystwo Naukowe, Łódź, 1–102.
- Piwocki, M., 1980. Mapa geologiczna Polski w skali 1:200 000 ark. Łódź, wyd. B, Mapa geologiczna odkryta, bez utworów czwartorzędowych. PIG Warszawa.
- Rdzany, Z., 1997. Kształtowanie rzeźby terenu między górną Rawką a Pilicą w czasie zaniku lądolodu warciańskiego. *Acta Geographica Lodziensia* 73, Łódzkie Towarzystwo Naukowe, Łódź, 1–146.
- Rdzany, Z., 2006. Glacjalne uwarunkowania rozwoju dolin rzecznych na przykładach z SE części regionu łódzkiego. *Materiały Konferencyjne IV. Świętokrzyskiego spotkania geologiczno-geomorfologicznego nt. Regionalne aspekty funkcjonowania systemów dolinnych, „Jodłowy Dwór” pod Świętym Krzyżem*, 11–13.05.2006, Kielce, 65–66.
- Różycki, S.Z., 1967. Plejstocen Polski Środkowej na tle przeszłości w górnym trzeciorzędzie. PWN, Warszawa, 1–236.
- Różycki, S.Z., 1972. Plejstocen Polski Środkowej na tle przeszłości w górnym trzeciorzędzie. PWN, Warszawa, 1–316.
- Sadłowska, A., 1982. Rozwój rzeźby międzyrzecza Pilicy, Czarnej i Drzewiczki. *Acta Geographica Lodziensia* 47, 1–108.
- Słowański, W., Piechulska-Słowańska, B., Gogotek, W., 1995. Mapa geologiczna Polski w skali 1:200 000 ark. Warszawa-Zachód, Polska Agencja Ekologiczna.
- Szaflarski, J., 1965. *Zarys kartografii*. Wyd. II, PPWK, Warszawa, 1–699.
- Szmidt, A., 2015. Ocena przydatności archiwalnych materiałów kartograficznych dla analiz paleopowierzchni wykonywanych w technikach GIS na obszarze Polski Środkowej. *Acta Universitatis Lodziensis. Folia Geographica Physica* 14, 63–68.
- Turkowska, K., 2006. *Geomorfologia regionu łódzkiego*, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź, 1–238
- Twardy, J., 2004. Odzwierciedlenie dynamiki podłoża mezozoicznego w morfologii i budowie geologicznej doliny Neru w okolicach Lutomierska (Wysoczyzna Łaska), [w:] Sołtysik, R. (red.), *Czwartorzęd obszaru Polski na tle struktur starszego podłoża*. *Prace Instytutu Geografii Akademii Świętokrzyskiej* 13, 107–124.
- Urbański, J., 2008. GIS w badaniach przyrodniczych. Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, 1–252.
- Wachecka-Kotkowska, L., 2004. Związek między budową geologiczną i dynamiką podłoża podczwartorzędowego a ukształtowaniem współczesnej powierzchni obszaru między Piotrkowem Trybunalskim a Przedborzem. *Przegląd Geologiczny* 52, 10, 1006.
- Wachecka-Kotkowska, L., 2006. Tektoniczne i glacjalne uwarunkowania rozwoju sieci rzecznej w południowo-wschodniej części regionu łódzkiego. *Materiały Konferencyjne IV. Świętokrzyskiego spotkania geologiczno-geomorfologicznego nt. Regionalne aspekty funkcjonowania systemów dolinnych, „Jodłowy Dwór” pod Świętym Krzyżem*, 11–13.05.2006, Kielce, 81–84.
- Werner, P. 2004. *Wprowadzenie do systemów geoinformacyjnych*. *Wydział Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego*, Jark Sp. z o.o., Warszawa, 0–198.