



IHOR ROMANYSHYN  
Kielce University of Technology  
e-mail: [iromanyshyn@tu.kielce.pl](mailto:iromanyshyn@tu.kielce.pl)

MACIEJ HAJDUKIEWICZ  
Kielce University of Technology  
e-mail: [mhajdukiewicz@tu.kielce.pl](mailto:mhajdukiewicz@tu.kielce.pl)

Manuscript submitted 2018.11.25 – revised 2019.01.14,  
initially accepted for publication 2019.02.10, published in June 2019

## THE HEIGHT SURVEY OF MOUNT ŁYSICA IN THE CONTEXT OF VERIFICATION OF GEODESICAL AND CARTOGRAPHIC STUDIES

## POMIAR WYSOKOŚCIOWY GÓRY ŁYSICY W KONTEKŚCIE WERYFIKACJI OPRACOWAŃ GEODEZYJNO-KARTOGRAFICZNYCH

DOI: 10.30540/sae-2019-012

### Abstract

*The subject of the article is the measurements of normal height ( $H$ ) of the western top of Mount Łysica (Świętokrzyskie Mountains, Poland), carried out using the GNSS and geometric leveling methods according to standards for geodetic control network. As the elevation system EN-KRON86-NH was assumed. The reference data was the result of earlier measurements made using different methods: ALS, GNSS RTN and geometric levelling between selected points of Mount Łysica. The analysis of the survey results showed differences between the DEM from ALS measurement and the actual height reaching up to 0.47 m on small boulders and not exceeding the value of 0.17 m in the flat area. Differences between GNSS RTN measurement and geometric leveling based on GNSS static measurement did not exceed 0.03 m. An inventory of former state geodetic control network point "12 Góra Łysica" was also conducted. The point was found to be partially destroyed, and located 12 m south and 1.5 m below the actual top of the mountain. Therefore it was assumed, that a new geodetic control network point should be located on the top for the needs of forest inventory as well as setting the actual height of Mount Łysica.*

**Keywords:** Aerial Laser Scanning, DEM, GNSS static

### Streszczenie

*W artykule opisano wyniki pomiarów wysokości normalnej  $H$  wybranych punktów na wierzchołku zachodnim góry Łysicy w paśmie Łysogór (Góry Świętokrzyskie), przeprowadzone metodami GNSS i niwelacji geometrycznej według standardów dla osnowy wysokościowej. Jako układ wysokościowy przyjęto PL-KRON86-NH, a wyniki zestawiono z wcześniejszymi pomiarami ALS, GNSS RTN i niwelacją geometryczną między wybranymi punktami wysokościowymi na masywie Łysicy. Analiza wyników pomiarów wykazała rozbieżności pomiędzy modelem terenu z pomiaru ALS a wysokością rzeczywistą osiągającą wartości do 0,47 m na niewielkich wypukłych formach terenu i nieprzekraczające wartości 0,17 m na terenie płaskim. Rozbieżności pomiędzy pomiarem GNSS RTN a niwelacją geometryczną w oparciu o pomiar GNSS static nie przekraczały wartości 0,03 m. Przeprowadzono również inwentaryzację stanu starego punktu osnowy geodezyjnej 12 góra Łysica. Wobec faktu, że punkt ten jest częściowo zniszczony i znajduje się w odległości 12 m w poziomie i 1,5 m poniżej rzeczywistego wierzchołka, zasadne wydaje się założenie nowego punktu osnowy, który służyłby m.in. pomiarom w ramach inwentaryzacji stanu lasu, a także wyznaczał rzeczywistą wysokość szczytu Łysicy.*

**Słowa kluczowe:** lotniczy skaningu laserowy (ALS), numeryczny model terenu (NMT), pomiar statyczny GNSS

### 1. INTRODUCTION

Mount Łysica, is the highest peak of the Świętokrzyskie Mountains, with elevation of the 611.8 m a.s.l. according to contemporary topographic maps. On

### 1. WPROWADZENIE

Wysokość Łysicy, najwyższego szczytu Gór Świętokrzyskich, jest na współczesnych mapach topograficznych określana na 611,8 m n.p.m. Na podstawie

the basis of an analysis of DEM data of ALS survey, and GNSS measurements it was shown that this value is not exact [1]. Moreover, the relief of Łysica massif is more complicated than the mentioned maps presented. The massif of Łysica, lying in the western part of Łysogóry between The Krajeńska pass in the West and the Kakonińska pass to the East, has two tops: the western one (main), having the same name as Mount Łysica, and the eastern one, named Skała Agaty (The Rock of Agatha). Altitude of the western and eastern tops, measured using GNSS RTN referenced to PL KRON86-NH geoid are as follows: 613.4 and 613.7 m a.s.l., and differ from the values on the older maps, or on the DEM of contemporary ALS survey. Due to this fact, and for the need of an update of the database of the Świętokrzyski National Park (ŚPN), an inventory and measurement works were conducted in 2017. It was a part of the statutory work of the Geomatics Department of the Kielce University of Technology. The aim was to estimate the geodetic control network in the Łysica massif, and to determine the elevation and horizontal coordinates of inventoried control points, which are the basis for surveys for update of forest digital maps (LMN). The part of this work was also the calculation of the height above the sea level of the western peak of Łysica with high accuracy. The purpose of the work was to specify the height of the western peak of Mount Łysica in the state altitude reference system, based on the latest measurements of this area using the satellite leveling method, in relation to previous works. Although the western top is 0.3 m lower than the eastern one, it is treated as the main one, due to its relief, the location at the border of forest divisions and the location of the sign of geodetic control network (presently deleted from the current state database). Since the main top is formed as a fairly large peak platform, this location of the point has been considered as correct. The summit is not visibly eroded or denudated, which is normal for the relief of low mountains. The rock basement is dominated by hard and resistant to weathering quartzites of the Cambrian age. It is considered as tectonically stable, the same as the entire area of the Świętokrzyskie Mountains [2]. Therefore, it can be assumed, that geomorphological processes should not affect the results of altitude measurements carried out in this area during the last 150 years, as well as now. The survey works were undertaken to determine the actual height of the main Łysica peak

analizy danych NMT z pomiarów ALS oraz pomiarów GNSS wykazano, że wartość ta nie jest ścisła [1], a ponadto że topografia masywu Łysicy jest bardziej skomplikowana, niż przedstawiały to dotychczasowe opracowania. Masyw Łysicy, leżący w zachodniej części pasma Łysogór, pomiędzy Przełęczą Krajeńską na zachodzie a Przełęczą Kakonińską na wschodzie, posiada dwie kulminacje: wierzchołek zachodni (główny), do którego odnosi się nazwa góry Łysicy, oraz wierzchołek wschodni, czyli tzw. Skałę Agaty. Wysokości nad poziomem morza tych wierzchołków pomierzone metodą RTN GNSS w układzie PL-KRON86-NH wynoszą odpowiednio 613,4 i 613,7 m n.p.m. i różnią się od wartości na starszych opracowaniach kartograficznych oraz (w mniejszym stopniu) współczesnych opracowaniach na podstawie skaningu ALS. W związku z tym faktem oraz potrzebą uaktualnienia bazy danych dla Świętokrzyskiego Parku Narodowego (ŚPN) przeprowadzono w 2017 roku, w ramach pracy statutowej Zakładu Geomatyki Politechniki Świętokrzyskiej, pomiary mające na celu oszacowanie stanu osnowy geodezyjnej na terenie masywu Łysicy oraz określenie współrzędnych wysokościowych i poziomych odnalezionych i zinwentaryzowanych punktów osnowy pomiarowej, będącej bazą dla aktualizacji leśnej mapy numerycznej (LMN). Częścią tych prac było również określenie z wysoką dokładnością wysokości nad poziomem morza wierzchołka zachodniego góry Łysicy w aktualnym układzie wysokościowym, w oparciu o najnowsze pomiary tego terenu metodą niwelacji satelitarnej. Pomimo że wierzchołek ten jest niższy o 0,3 m od Skały Agaty, ze względu na ukształtowanie, położenie na granicy oddziałów leśnych oraz umieszczenie na nim znaku osnowy geodezyjnej (obecnie skreślonego z ewidencji w banku osnow) jest traktowany wciąż jako główny. Ponieważ wierzchołek ten ma postać dość rozległej platformy szczytowej, taka lokalizacja punktu została uznana za poprawną. Szczyt nie podlega w widoczny sposób niszczącym procesom geomorfologicznym, co jest typowe dla rzeźby gór niskich. W podłożu dominują twarde i odporne na wietrzenie kwarcyty wieku górnokambryjskiego. Jest ono traktowane jako stabilne, podobnie jak cały obszar Gór Świętokrzyskich [2]. Można zatem przyjąć, że procesy geomorfologiczne nie powinny mieć wpływu na wyniki pomiarów wysokościowych prowadzonych na tym terenie w ciągu ostatnich 150 lat, jak również obecnie. Celem artykułu jest zestawienie rzeczywistej (tzn. pomierzonej precyzyjnie metodą GNSS static i niwelacji geometrycznej) wysokości wierzchołka głównego Łysicy w aktualnym układzie wysokościowym

in the current altitude system, as well as to verify the accuracy of the height of the geodesic control point "12 Góra Łysica", in the context of the update of cartographical studies, as well as for assessment of the accuracy of DEM made using ALS survey.

## 2. THE HEIGHT AND RELIEF OF THE MAIN PEAK OF MOUNT ŁYSICA IN THE PREVIOUS STUDIES

The oldest height measurements in the first half of the 19th century [3] were not conducted on Mount Łysica, but on the more accessible Łysiec (currently named Łysa Góra), where the triangulation tower was located. Later cartographic studies show the following heights of Mount Łysica: 612 m a.s.l. on the Austro-Hungarian map of 1910 [4], 611.5 m a.s.l. on the German map of 1914 [5] and the map of the Polish edition WIG of 1936 [6]. The difference in the values of the shown height results from the application of different altitude systems at different times on this territory. Also the accuracy of leveling measurements was variable. The applied signatures indicate that the shown heights refer to the geodetic control point (there is even no information about the name of the mountain on the Austrian map) so it does not have to exactly coincide with the highest point of the terrain. In 1935, a topographic survey of the Łysica massif was prepared for the needs of the forest economic map (Fig. 1 part B), which shows the heights of the massif's tops as follows: western one 612.13 m a.s.l. and the eastern one 612.3 m a.s.l. [7]. The fact that the eastern top is 17 cm higher, proves that the given heights refer not to geodetic control points but to actual tops. The height of the top of Mount Łysica on the contemporary topographic map in the scale 1 : 10000 [8] is 611.8 m a.s.l. and there is no marked control point there (as it was on older maps), but only a spot height (Fig. 1, part A). The latest elevation data for this area is DEM, available in the Centre of Geodesy and Cartography Documentation (pol. CODGiK), which was extracted from ALS measurements conducted in 2014 as a part of the ISOK project (IT System of Country Shield) [14]. The height of Mount Łysica (main peak) on this model is 613.14 m a.s.l. and it is 20 cm lower than the height measured using GNSS RTN technique at the highest point (a boulder next to the cross, marked as "C" on Fig. 3) of the summit. It is worth mentioning that the height of the eastern peak (Skała Agaty), is 613.4 m a.s.l. on this DEM, and the GNSS RTN measurement shown 613.7 m a.s.l. in the same place. However, for practical reasons, the westernmost

z pomiarami wcześniejszymi i weryfikacja wysokości punktu osnowy geodezyjnej 12 góra Łysica, w kontekście możliwości uaktualnienia istniejących opracowań kartograficznych, jak i określenia rzeczywistej dokładności pomiaru tego typu punktów na numerycznym modelu terenu otrzymanym metodą ALS.

## 2. WYSOKOŚĆ I UKSZTAŁTOWANIE GŁÓWNEGO WIERZCHOŁKA GÓRY ŁYSICY W ŚWIELE DOTYCHCZASOWYCH OPRACOWAŃ

Najwcześniejsze pomiary wysokościowe w I połowie XIX wieku [3] nie były prowadzone na górze Łysicy, lecz na łatwiej dostępnym Łyscu (obecnie Łysa Góra), gdzie zlokalizowana była wieża triangulacyjna. Późniejsze opracowania kartograficzne podają następujące wysokości góry Łysicy: 612 m n.p.m. na mapie austro-węgierskiej z 1910 roku [4], 611,5 m n.p.m. na mapie niemieckiej z 1914 roku [5] i mapie polskiej wydawnictwa WIG z 1936 roku [6]. Różnica w wartościach podanej wysokości wynika ze stosowania na tym terytorium na przestrzeni lat różnych układów wysokościowych oraz dokładności wykonania pomiarów niwelacyjnych. Zastosowane sygnatury wskazują, że podaną wysokość stosuje się do punktu osnowy geodezyjnej, zatem nie musi się dokładnie pokrywać z najwyższym punktem terenu. Na wspomnianej mapie austriackiej brak jest nawet informacji o nazwie góry. W roku 1935 sporządzono również zdjęcie topograficzne masywu Łysicy na potrzeby leśnej mapy gospodarczej (rys. 1, część B), z którego wynika, że wysokości wierzchołków masywu wynoszą odpowiednio: zachodni 612,13 m n.p.m. i wschodni 612,3 m n.p.m. [7]. Fakt, że wschodni wierzchołek jest o 17 cm wyższy wskazuje, że podane wysokości dotyczą nie punktów osnowy, lecz rzeczywistych wierzchołków. Wysokość wierzchołka głównego góry Łysicy na współczesnej mapie topograficznej w skali 1 : 10000 [8] wynosi 611,8 m n.p.m. i nie ma tam oznaczonego punktu osnowy jak na opracowaniach wcześniejszych, a jedynie pikieta wysokościowa (rys. 1, cz. A). Najnowsze dane wysokościowe, dotyczące tego terenu a dostępne w państwowym zasobie geodezyjnym to NMT, udostępniony przez Centralny Ośrodek Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej (CODGiK), który został opracowany z pomiarów ALS przeprowadzonych w 2014 roku w ramach projektu ISOK (Informatyczny System Osłony Kraju) [14]. Wysokość góry Łysicy (głównego wierzchołka) odczytana z tego modelu wynosi 613,14 m n.p.m. i jest o 20 cm mniejsza niż wysokość pomierzona techniką GNSS RTN na najwyższym punkcie (głazie obok krzyża)

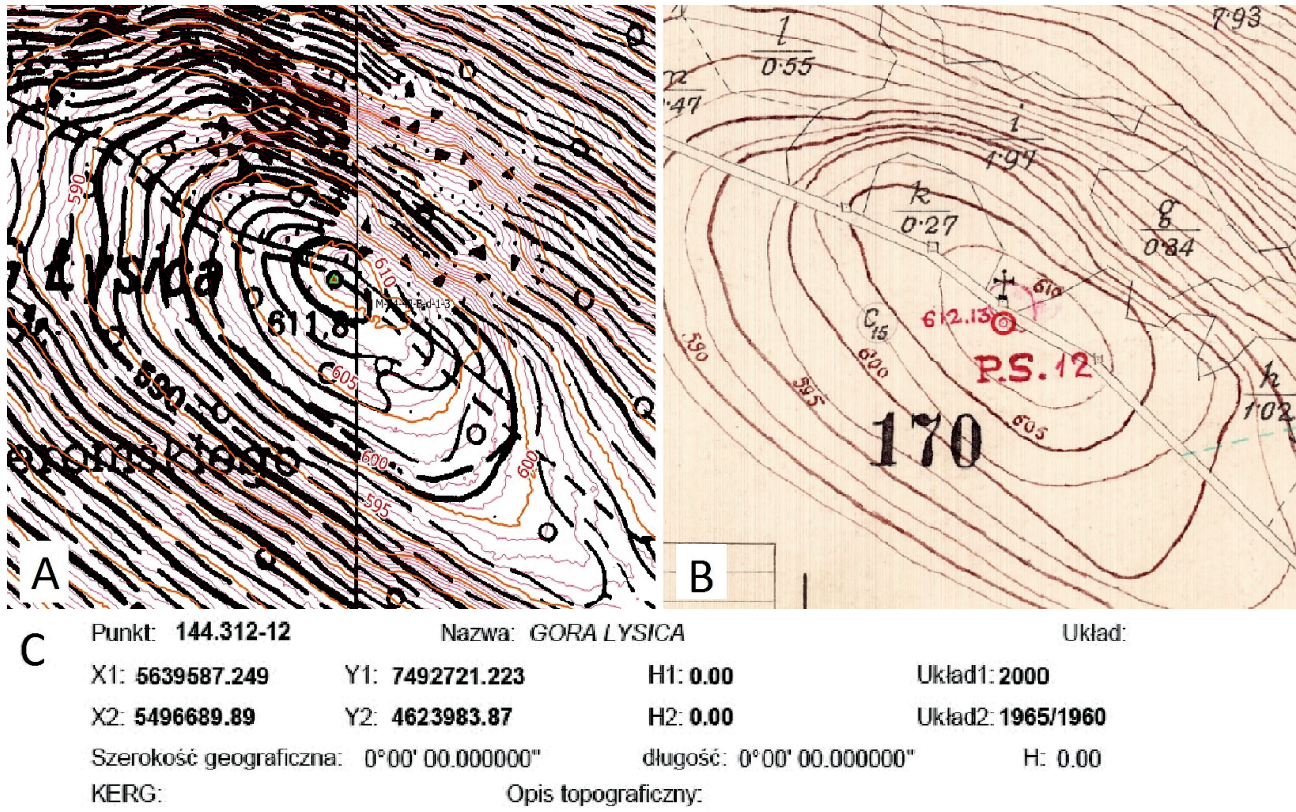


Fig. 1. The comparison of the contours and spot heights on the topographic map 1 : 10000 (black contours, part A), to the contours generated from DEM (orange and red contours, part A) and forest economical map 1 : 5000 of 1935 (part B); for comparison, printout of the PODGiK data on the geodetic control point on the top of Mount Łysica is given (part C)  
 Rys. 1. Porównanie warstw i punktów wysokościowych na mapie topograficznej 1:10000 (czarne warstwice, część A), warstw z NMT (pomarańczowe i czerwone warstwice, część A), na leśnej mapie gospodarczej 1:5000 z 1935 roku (część B) oraz wydruk z PODGiK danych dotyczących punktu osnowy geodezyjnej na szczycie góry Łysicy (część C)

top is considered to be the most suitable point for founding the geodetic control point [1]. Height is defined in the PL-KRON86-NH altitude reference system. The contours generated from the DEM are shown in Figure 1, part A.

A documentation of the geodetic control point on Mount Łysica could be found in the Office of Geodesy and Cartography Documentation (PODGiK) in Kielce. The point appears in the office database as the 3rd class one (Fig. 1, part C). The printout of the document contains information about coordinates  $x$ ,  $y$ ,  $H$  and coordinate systems for point "144.312-12 góra Łysica". The  $x$  and  $y$  coordinates were given in the "1965" and "2000" layouts – it is the previously ("wz 1965") and currently used (PL-2000) coordinate system in Poland [9, 10]. In the PODGiK documentation, another description of the geodetic control point named "12 Góra Łysica AB4940" appears, with the coordinates  $x$ ,  $y$  given in the "1965" layout. The same coordinates was also found, assigned to the point "144.312-12 Góra

szczytu. Warto nadmienić, że wysokość wierzchołka wschodniego, czyli Skały Agaty, wynosi na tym NMT 613,4 m n.p.m., natomiast pomiar RTN GNSS wykazał wysokość 613,7 m n.p.m. Jednakże ze względów praktycznych jako najbardziej odpowiedni punkt do założenia osnowy uważa się wierzchołek zachodni [1]. Wysokość zdefiniowana jest w układzie wysokościowym PL-KRON86-NH. Warstwice wygenerowane z modelu przedstawiono na rysunku 1, część A.

W dokumentacji osnowy PODGiK w Kielcach istnieje także dokumentacja punktu osnowy na górze Łysicy. Figuruje on jako punkt 3 klasy w Banku Osnow, co jest uwidocznione na wydruku ze stosownego dokumentu (rys. 1, cz. C). Mieści się tam informacja o współrzędnych  $x$ ,  $y$ ,  $H$  oraz układach współrzędnych dla punktu 144.312-12 góra Łysica. Współrzędne  $x$  i  $y$  podano w układach „1965” oraz „2000” – aktualnie stosowanym układzie współrzędnych płaskich prostokątnych PL-2000 w Polsce [9, 10]. W dokumentacji PODGiK natrafiono również na inny opis punktu osnowy o nazwie 12 góra Łysica AB4940 i współrzędnych  $x$ ,  $y$

Łysica”, which means that the points are identical. In this document, also the height  $H = 611.78$  m a.s.l. of point “12 Góra Łysica” is given, but there is no information about the height reference system. Probably this system is the “Kronstadt 60”, which was created as a result of height measurements in the years 1947–1955. This point was found using the GNSS RTN method according to the coordinates given. A significant damage to the geodetic sign (Fig. 2b) was found, that explains why it is no longer in the CODGiK database, and has only the status of an archival point. It is located at a distance of 12 m in the south direction from the highest point on the main top of the mount (Fig. 2a).

To sum up: there is a former point of the horizontal geodetic control network of 3 cl. “12 góra Łysica” AB4940 (also named “144.312-12 góra Łysica”) on the western top of Mount Łysica. Normal height of this point is  $H = 611,78$  m a.s.l. The height reference system of this point is probably the “Kronsztadt 60”. Currently the sign on the point is damaged.

podanych w układzie „1965”, identycznych ze współrzędnymi punktu 144.312-12 góra Łysica, co oznacza, że są one tożsame. W tym dokumencie również podano wysokość punktu 12 góra Łysica, która stanowi  $H = 611,78$  m. Nie ma w nim żadnej informacji o układzie wysokościowym. Prawdopodobnie układem tym jest układ Kronsztadt 60, który powstał w wyniku wykonania pomiarów wysokościowych w latach 1947–1955. Punkt ten został odszukany metodą GNSS RTN według podanych współrzędnych, przy czym stwierdzono znaczne uszkodzenie znaku geodezyjnego (rys. 2b), co wyjaśnia, czemu nie figuruje on już w bazie danych osnów CODGiK i ma jedynie status punktu archiwalnego. Znajduje się on w odległości 12 m w kierunku południowym od najwyższego punktu na głównym wierzchołku góry (rys. 2a).

Podsumowując powyższe informacje, możemy założyć, że na zachodnim wierzchołku góry Łysicy znajdują się dawny punkt poziomej osnowy geodezyjnej 3 kl. 12 góra Łysica AB4940 (144.312-12 góra Łysica). Wysokość normalna tego punktu  $H = 611,78$  m n.p.m. Układem wysokościowym tego punktu prawdopodobnie jest układ wysokościowy Kronsztadt 60. Aktualnie punkt jest uszkodzony.

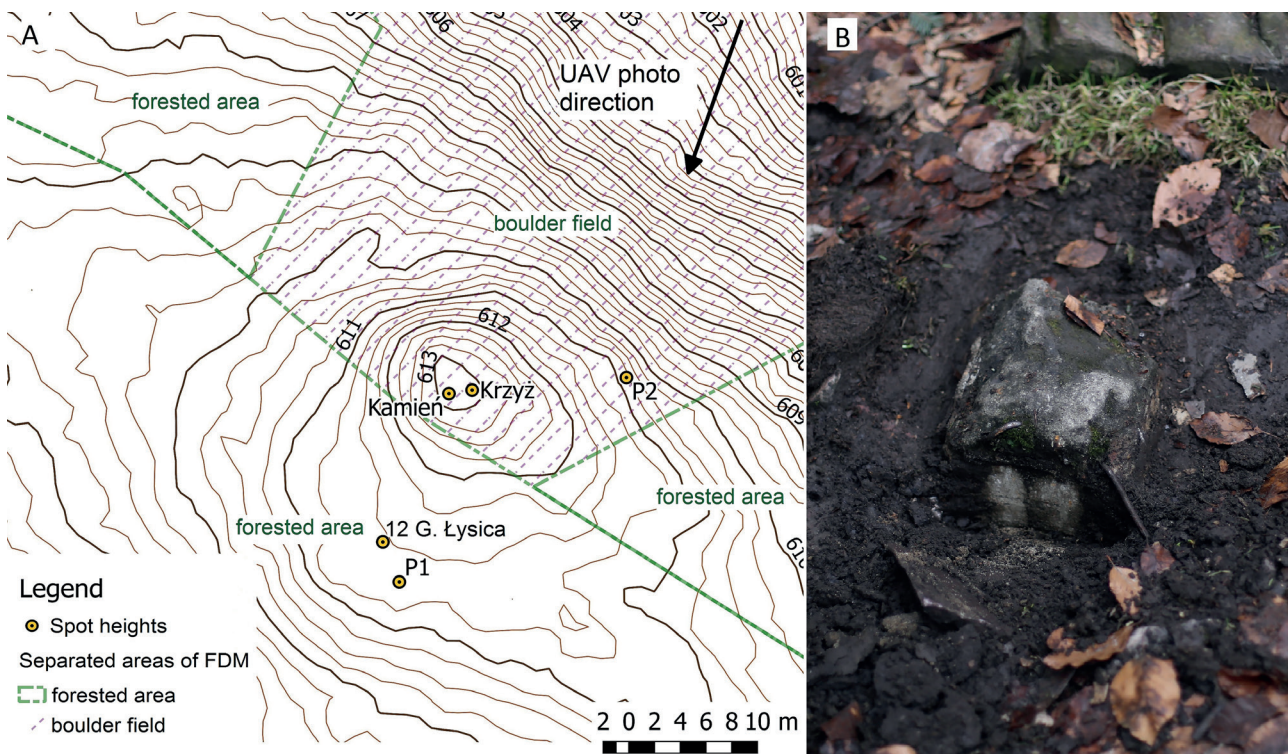


Fig. 2. Situational sketch map of selected spot heights on the background of contours generated from the DEM (a), condition of the geodetic control point “12 Góra Łysica” on March 10th, 2017 (b) (photo by the author)

Rys. 2. Szkic sytuacyjny rozmieszczenia wybranych punktów pomiarowych na tle warstwicy wygenerowanej z NMT (a), stan znaku punktu osnowy geodezyjnej 12 góra Łysica w dniu 10.03.2017 (b) (zdjęcie autora)

### 3. THE SELECTION AND MEASUREMENT OF CONTROL POINTS USING SATELLITE AND GEOMETRIC LEVELING

Due to the significant damage to the former geodetic control network point 12 Góra Łysica AB4940, it was not possible to use it (after converting the coordinates of the heights from the “Kronsztadt 60” to the PL-KRON86-NH height reference system) as a reference point for geometric leveling to measure the actual height of the Łysica peak. In this situation, the methods of satellite and geometric leveling were used as the fastest and not complicated, and allowing an accurate measurement of the normal height  $H$  of the western top of Mount Łysica, in the currently used PL-KRON86-NH height reference system.

A series of static GNSS measurements at selected points of the Łysica peak were carried out in the period from March to July 2017. The location of the points was conditioned by the visibility and reception of signal of GNSS satellites. Some of the measurements were carried out before the leaf appearance on trees. The location of the points is indicated in Figure 2a. The horizontal coordinates of the spot heights were obtained by the GNSS static measurement of the P1-G. Łysica and P2-G. Łysica points, which were the base for survey of spot heights: Kamień-Łysica, Krzyż-Łysica, 12 Góra Łysica. Point of the horizontal geodetic control network of 3 cl. 12 Góra Łysica AB4940 top (marked as “B” in Fig. 3) has an unfavorable GNSS measurement conditions, so its direct measurement was not possible. Therefore, satellite leveling was made only for point P2-G. Łysica – as having the most favorable measurement conditions (good visibility of the satellites). The point is located on a boulder, north-east from the top of the mount. It was stabilized using a geodetic nail driven into a rock crevice. The measurement conditions on mentioned points are illustrated by a photograph made of UAV (Fig. 3). The geometric leveling was carried out between point P2 and the remaining points.

The measurement of the point P2-G. Łysica was made on July 1st, 2017. GNSS measurements were carried out with the reception of satellite signals NAWSTAR, GPS and GLONASS navigation systems. In the measurement a Sokkia GRX1 dual-frequency GNSS receiver was used, with an integrated satellite antenna. The antenna was placed on a tripod, 1.402 m above the spot height. The angle (mask) of the reception of satellites was  $10^\circ$  above the horizon for both systems.

### 3. WYBÓR I POMIAR PUNKTÓW OSNOWY METODĄ NIWELACJI SATELITARNEJ I GEOMETRYCZNEJ

Ze względu na znaczny stopień uszkodzenia dawnego punktu osnowy 12 góra Łysica AB4940 nie było możliwe wykorzystanie go (po przeliczeniu współrzędnych wysokościowych z układu Kronsztadt 60 na układ wysokościowy PL-KRON86-NH) jako punktu nawiązania do niwelacji geometrycznej, w pomiarach rzeczywistej wysokości wierzchołka Łysicy. W tej sytuacji zastosowano metody niwelacji satelitarnej i geometrycznej jako najszybsze i najmniej skomplikowane, a jednocześnie umożliwiające dokładny pomiar wysokości normalnej  $H$  zachodniego wierzchołka góry Łysicy, w aktualnie stosowanym układzie wysokościowym PL-KRON86-NH.

W okresie od marca do lipca 2017 przeprowadzono serię pomiarów statycznych GNSS na wybranych punktach wierzchołka Łysicy. Wybór punktów podyktowany był warunkami odbioru i widoczności satelitów GNSS. Pomiarzy przeprowadzono w porze przed ulistnieniem drzew. Lokalizacja punktów jest wskazana na rysunku 2a. Współrzędne poziome punktów pomiarowych uzyskano przez pomiar statyczny GNSS punktów P1-G.Łysica i P2-G.Łysica, względem których mierzono położenie punktów Kamień-G.Łysica, Krzyż-G.Łysica, 12 góra Łysica. Punkt poziomej osnowy geodezyjnej 3 kl. 12 góra Łysica AB4940 (oznaczony jako „B” na rys. 3) znajduje się w niekorzystnych warunkach pomiarowych, wymaganych dla pomiarów GNSS, wobec czego nie był możliwy jego pomiar bezpośredni. W związku z tym niwelacja satelitarna została wykonana dla punktu P2-G.Łysica – jako punktu z najbardziej korzystnymi warunkami pomiarowymi (lepsza widoczność satelitów). Punkt znajdujący się na gołoborzu, w północno-wschodnim kierunku od szczytu wierzchołka. Dla pomiarów został on zastabilizowany przy pomocy gwoźdźca geodezyjnego wbitego w szczelinę skalną. Warunki pomiarowe na nim oraz na pozostałych punktach ilustruje fotografia wykonana z UAV (rys. 3). Następnie przeprowadzono niwelację geometryczną pomiędzy punktem P2 a punktami pozostałymi.

Pomiar punktu P2-G.Łysica wykonano 1 lipca 2017 roku. Pomiarzy GNSS przeprowadzono z odbiorem sygnałów satelitów nawigacyjnych systemów GPS NAWSTAR i GLONASS. W pomiarze wykorzystano dwuczęstotliwościowy odbiornik GNSS Sokkia GRX1 z zintegrowaną anteną satelitarną. Antena GNSS była ustawiona na statywie, 1,402 m nad punktem. Kąt (maska) odbioru satelitów nad horyzontem dla obu systemów był równy  $10^\circ$ .

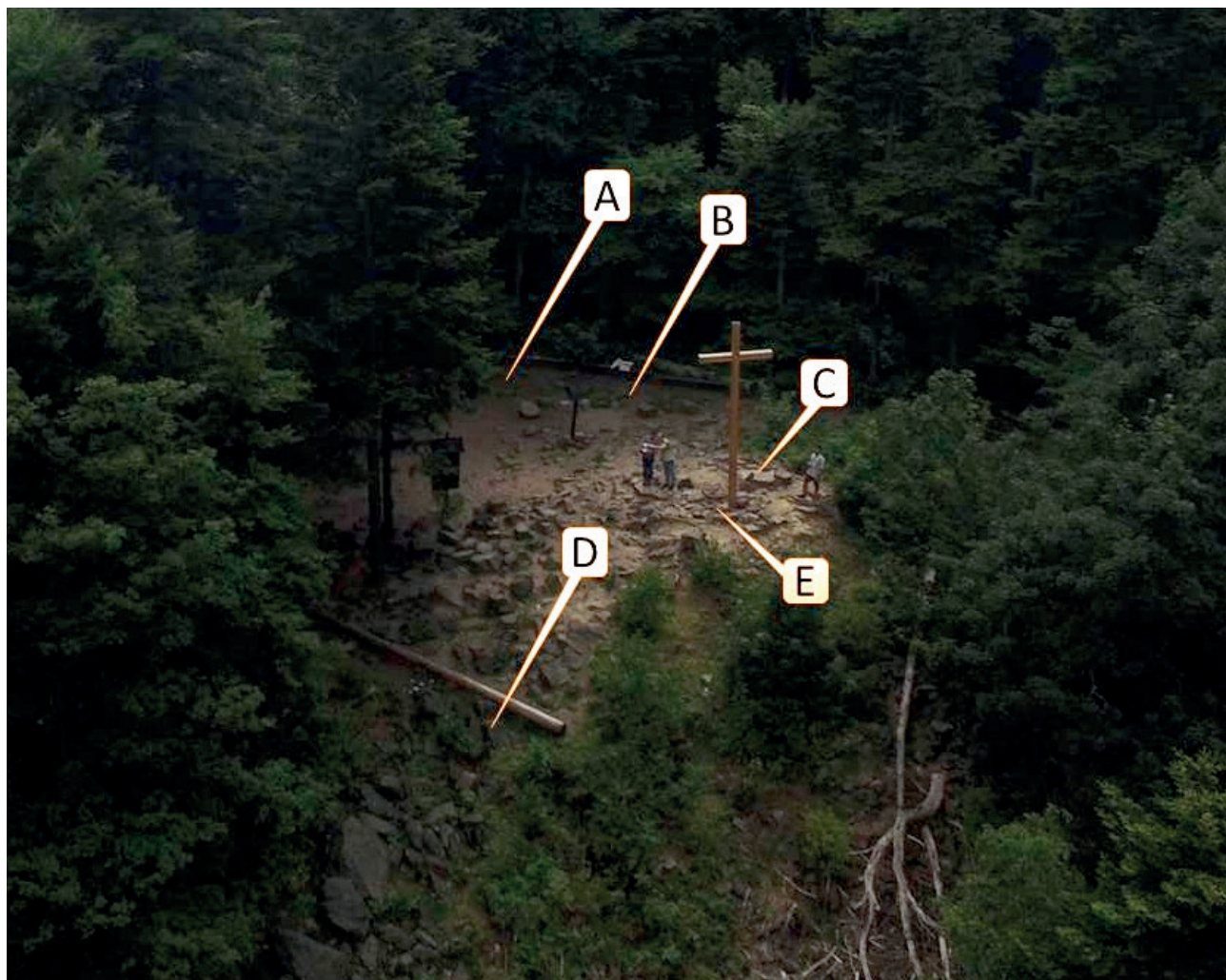


Fig. 3. An aerial photo of the Łysica peak made using UAV (direction of the photo marked in Fig. 2) with marked spot heights: A – P1, B – 12 Góra Łysica, C – Kamień-G.Łysica, D – P2-G. Łysica, E – spot height next to the cross (photo by Karol Krawczyk)

Rys. 3. Zdjęcie szczytu Łysicy z UAV (kierunek zdjęcia zaznaczony na ryc. 2), z zaznaczonymi punktami pomiarowymi: A – P1, B – 12 góra Łysica, C – Kamień-G.Łysica, D – P2-G.Łysica, E – miejsce pomiaru pod krzyżem (zdjęcie: Karol Krawczyk)

The post-processing of measurement results at the point P2-G. Łysica was made with the use of Topcon Tools software. Observational files of the ASG-EUPOS reference stations were used, as well as exact ephemeris of the NAVSTAR and GLONASS GNSS systems [11], and the GNSS antenna calibration file [12], the Goad-Goodman troposphere model, the GPT (Global Pressure and Temperature) meteorological model. The duration  $T$  of measurement was 4 h 39 m 40 s with the observation interval  $t$  of 10 s. For the calculation of normal heights  $H$ , the current quasi-geoid PL-geoid-2011 model was used [13]. The data of reference stations involved in measurements and studies are presented in Table 1. The files used

Opracowanie wyników pomiarów (post-processing) na punkcie P2-G.Łysica wykonano oprogramowaniem Topcon Tools. W opracowaniu wykorzystano pliki obserwacyjne stacji referencyjnych systemu ASG-EUPOS, pliki dokładnych (precise) efemeryd satelitów GNSS systemów NAVSTAR i GLONASS [11], plik kalibracji anten GNSS [12], model troposfery Goad-Goodman, meteomodel GPT (Global Pressure and Temperature). Czas trwania pomiaru  $\Delta T$  wynosił 4 g 39 m 40 s z interwałem zapisywania obserwacji  $\Delta t = 10$  s. Dla obliczenia wysokości normalnych  $H$  zastosowano aktualny model quasi-geoidy PL-geoid-2011 [13]. Dane stacji referencyjnych, uczestniczących w pomiarach i opracowaniu, znajdu-

in the post-processing of the measurements of point P2-G. Łysica are presented in Table 2. The type of solution for all vectors involved in the calculation was a fixed one. The measurements and their post-processing correspond to the conditions for geodetic control network measurements using the GNSS static method.

ją się w tabeli 1. Pliki, wykorzystane w opracowaniu pomiarów punktu P2-G.Łysica, podano w tabeli 2. Typ rozwiązania dla wszystkich wektorów, uczestniczących w opracowaniu – ustalony (fixed). Pomiarzy oraz ich opracowanie odpowiadają warunkom stawnym pomiarom osnów geodezyjnych metodą statyczną GNSS.

Table 1. The data of the GNSS reference network stations

Tabela 1. Dane stacji referencyjnych

RNS ID	Location	$X_{(PL-ETRF2000)}, m$	$Y_{(PL-ETRF2000)}, m$	$Z_{(PL-ETRF2000)}, m$	$H_{(PL-KRON86-NH)}, m$
KLCE	Kielce	3774368.864	1420921.165	4925093.009	296.931
RADM	Radom	3719233.612	1439894.734	4961004.275	184.682
BUZD	Busko-Zdrój	3805091.369	1439261.280	4896192.379	262.262

File type	File name
Observational RINEX	KLCE2130.17o
	RADM2130.17o
	BUZD2130.17o
Observational raw data	log2170801.tps
Calibrational anten	igs14.atx
Coordin. of satellites	igs19602.sp3
Coordin. of satellites	igl19602.sp3
Quasi-geoid	GUGIK2011.gff

Table 2. The files used for GNSS post-processing

Tabela 2. Użyte do opracowania pomiarów GNSS pliki

The results of the initial post-processing of measurements of vector: reference station – point P2-G. Łysica, are presented in Table 3. The maximum value of the satellite geometry coefficients was 2.05 (PDOP) and 1.75 (VDOP), what means the favorable constellation of satellites during measurements. The error of the mean square calculation of vectors is in the range from 0.006 m to 0.038 m.

Wyniki wstępnego opracowania pomiarów wektorów od stacji referencyjnej do punktu P2-G.Łysica znajdują się w tabeli 3. Maksymalna wartość współczynników geometrii satelitów PDOP wynosiła 2,05, a VDOP – 1,75. Świadczy to o korzystnej konstelacji satelitów w czasie pomiarów. Błąd średni kwadratowy obliczenia wektorów znajdują się w granicach od 0,006 m do 0,038 m.

Table 3. The results of the initial calculation of the spot height survey P2-G.Łysica

Tabela 3. Wyniki wstępnego obliczenia pomiarów punktu P2-G.Łysica

Survey of the vector		Length of the vector L, m	VDOP	PDOP	RMS*	
From point	To point				Hz, m	V, m
KLCE	P2-G.Łysica	18888.12	1.60	1.91	0.006	0.015
RADM	P2-G.Łysica	58663.98	1.75	2.05	0.015	0.038
BUZD	P2-G.Łysica	48969.25	1.60	1.91	0.018	0.029

\*RMS – root mean square error of the vectors calculation.



The adjustment of the measurements was performed using the strict method. An assumed reference point with the known normal height  $H$  in the PL-KRON86-NH reference system was the KLCE reference station (Fig. 4), the closest to the measured point P2-G. Łysica, at a distance of 18888 m. After adjustment, the UWE coefficient (Unit Weight Error) was determined. It shows the change of the accuracy of the network after alignment referring to the accuracy of individual vectors to compensate [15]. For horizontal coordinates UWE reached the value of 0.53 (acceptable limits are 0.45–1.55) and for heights 0.74 (acceptable limits is 0.27–1.77), what means the correct adjustment of a network. The results of calculating the equalized normal heights  $H$  are shown in Table 4. Columns No. 4 and 5 of Table 4 contain the normal heights  $H$  of the surveyed network points after the adjustment and the maximum difference between the height calculated from the measurement and given for the reference station on the EUPOS ASG website. As a result of the study, the normal height  $H = 610.980$  m of the point P2-G. Łysica was obtained. The average square error of the height calculation is 0.013 m, so it meets the assumed accuracy requirements.

Wyrównanie pomiarów wykonano metodą ścisłą. Punktem nawiązania o znanej wysokości normalnej  $H$  w układzie PL-KRON86-NH przyjęto stację referencyjną KLCE (rys. 4). Stacja znajduje się najbliżej do mierzonego punktu P2-G.Łysica, na odległości 18888 m od niego. Po wyrównaniu pomiarów określono współczynnik UWE (Unit Weight Error), który pokazuje zmianę dokładności sieci po wyrównaniu odnośnie dokładności pojedynczych wektorów do wyrównania [15]. Dla współrzędnych poziomych osiągnął on wartość 0,53 (dopuszczalne granice to 0,45–1,55), a dla wysokościowych 0,74 (dopuszczalne granice to 0,27–1,77), co świadczy o poprawnym przebiegu wyrównania w danej sieci. Wyniki obliczenia wyrównanych wysokości normalnych  $H$  znajdują się w tabeli 4. W kolumnach 4 i 5 tabeli 4 pokazane są wysokości normalne  $H$  punktów sieci po wyrównaniu oraz maksymalna różnica pomiędzy wysokością obliczoną z pomiaru, a podaną dla danej stacji referencyjnej na stronie ASG EUPOS. W wyniku opracowania otrzymano wysokość normalną  $H$  punktu P2-G.Łysica, która jest równa 610,980 m n.p.m. Błąd średni kwadratowy obliczenia wysokości wynosi 0,013 m, więc mieści się w założonych wymaganiach odnośnie dokładności.

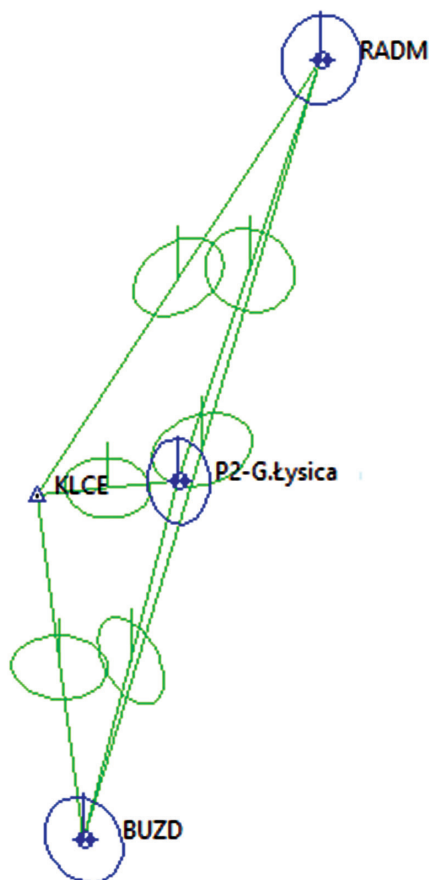


Fig. 4. Network configuration for surveys on the point P2-G. Łysica

Rys. 4. Konfiguracja sieci przy pomiarach na punkcie P2-G.Łysica

Table 4. The results of adjustment of normal height [H] surveys for spot height P2-G.Łysica

Tabela 4. Wyniki wyrównania pomiarów wysokości normalnej H punktu P2-G.Łysica

ID of ref. station/point	$H_{(PL-KRON86-NHY)}$ , m	$mH^*$ , m	$H_{(PL-KRON86-NHY)}$ , m	$\Delta H$ , m
			ASG-EUPOS	(2)-(4)
1	2	3	4	5
KLCE	296.931	0	296.931	0
RADM	184.665	0.022	184.682	-0.017
BUZD	262.245	0.018	262.262	-0.017
<b>P2-G.Łysica</b>	<b>610.980</b>	0.013		

\* $mH$  – root mean square error of the normal height calculation.

The second stage of measurements was the geometric leveling of selected points of the top surroundings, performed on July 20th, 2017, and referenced to the P2-G.Łysica spot height, obtained from the satellite leveling described above. An equipment for geometric leveling was the Sokkia SDL-50 code leveler and a 4-meter aluminum leveling rode. The results of geometric leveling, satellite leveling and measurements on the DEM are compiled in Table 5.

Drugim etapem pomiarów na zachodnim wierzchołku góry Łysicy było wykonanie niwelacji geometrycznej wybranych punktów wierzchołka. Niwelacja została wykonana 20.07.2017 w nawiązaniu do wysokości punktu P2-G.Łysica, otrzymanej z pomiaru niwelacji satelitarnej. Do niwelacji geometrycznej wykorzystano niwelator kodowy Sokkia SDL-50 oraz 4-metrową aluminiową łąkę rozkładaną. Wyniki niwelacji geometrycznej, satelitarnej oraz wysokości tych punktów odczytane z NMT, pochodzącego ze skaningu ALS, znajdują się w tabeli 5.

Table 5. The results of calculation of the normal heights H of selected spot heights

Tabela 5. Wyniki obliczenia wysokości normalnych H wybranych punktów zachodniego wierzchołka góry Łysicy

n	Spot height	Altitude derived from DEM of ALS $H_{ALS}$ , m	$H_{(PL-KRON86-NHY)}$ , m		$\Delta H_{ALS}$ , m
			Geometric leveling	GNSS leveling	
1	2	3	4	5	6
1	<b>P2-G.Łysica</b>	610.97	-	<b>610.980*</b>	0.01
2	<b>P1-G.Łysica</b>	611.31	<b>611.448</b>	611.474*	-0.164
3	<b>Kamień-G.Łysica</b>	613.13	<b>613.614</b>	613.609**	-0.479
4	<b>Krzyż-G.Łysica</b>	613.06	<b>613.223</b>	613.202**	-0.142
5	<b>12 Góra Łysica AB4940</b>	611.47	<b>611.614</b>	611.642*	-0.172

\* measurement method GNSS static,

\*\* measurement method RTN GNSS.

There is measurements on the DEM in 3rd column of table 5, columns No. 4 and 5 contain normal heights H, obtained from geometric leveling or satellite leveling, a differences between heights measured on DEM, and surveyed using GNSS leveling method is in column No. 6.

It can be noticed, that these differences varies, due to the pint location: the biggest (0.48 m) is for “Kamień” point, the smallest for the “P2”

W kolumnie 3 przedstawiono wysokości odczytane z numerycznego modelu terenu uzyskanego metodą ALS, a w kolumnach 4 i 5 wysokości normalne H, otrzymane z niwelacji geometrycznej oraz z niwelacji satelitarnej, w kolumnie 6 różnicę wysokości odczytanej z NMT i pomierzonej metodą niwelacji satelitarnej.

Ta ostatnia różni się znacznie dla poszczególnych punktów, w zależności od ich usytuowania. Największą wartość (48 cm) osiąga na punkcie Kamień,

point. Differences between heights measured using geometric leveling method and GNSS RTN method do not exceed the value of 2.8 cm, so they are not significant from the point of view of NMT verification from ALS measurements. As the result of geometric leveling of points mentioned above it could be determined, that the damaged (cut off) geodetic control point “12 Mount Łysica AB4940” has a normal height  $H = 611.614$  m a.s.l. in the PL-KRON86-NH system, and the highest points of the western peak are the Krzyż-G. Łysica (613.223 m a.s.l.) and Kamień-G. Łysica (613.614 m a.s.l.). Taking into account the differences in the altitude reference systems for the former point 12 Góra Łysica (height 611.78 m n.p.m. in the Kronsztadt 60 system) and present measurements, it can be assessed, that originally the geodetic sign was 35 cm higher than its present remains.

#### 4. CONCLUSIONS

Due to the unfavorable conditions for GNSS measurements, there is no possibility to place and stabilize a geodetic control point at the very top of Łysica, which would provide good conditions for satellite measurement. Among the examined points, the best conditions for GNSS measurements are on the P2-G.Łysica spot height. Its normal height  $H = 610.980$  m a.s.l. in the PL-KRON86-NH reference system. The height of the very top, where the cross was set was determined at 613.223 m a.s.l. and this value seems to be the most suitable for use as the height of the western peak of Mount Łysica. Because of location of this place on a flat stable surface, where only a thin layer of debris is deposited on the rock surface, it is suitable for possible stabilization of a new sign for the geodetic control point. Height measured on the stone (Kamień-G. Łysica spot height) is at least 39 cm larger, but it is a small boulder laying on debris, so it does not meet the stability criterion for the geodetic control point.

If decision would be made to locate and stabilize a new geodetic control point on the peak, not only the correct height indication on this point should be considered, but also practical issues. The point should be useful for possible measurements when updating the database of Świętokrzyski National Park, also should have to provide visibility on anticipated directions of survey, and last but not least, should allow a trouble-free work in the presence of tourists, often staying near the cross. Locating a new geodetic control point in the place of the previous one – “12

najmniejszą zaś na punkcie P2. Różnice pomiędzy wysokościami pomierzonymi metodą niwelacji geometrycznej i GNSS RTN nie przekraczają wartości 2,8 cm, więc nie są znaczące z punktu widzenia weryfikacji NMT z pomiarów ALS. Z pomiarów niwelacją geometryczną wybranych punktów zachodniego wierzchołka góry Łysicy wynika że uszkodzony (ucięty) punkt osnowy geodezyjnej 12 góra Łysica AB4940 ma wysokość normalną  $H = 611,614$  m n.p.m. w układzie PL-KRON86-NH, a najwyższej położonymi punktami szczytu zachodniego wierzchołku są Krzyż-G.Łysica 613,223 m n.p.m. oraz Kamień-G.Łysica 613,614 m n.p.m. Uwzględniając różnice w układach wysokościowych dla dawnego punktu 12 góra Łysica (wys. 611,78 m n.p.m. w układzie Kronsztadt 60) i pomiarów obecnych, można oszacować, że pierwotnie znak geodezyjny wznosił się 35 cm wyżej niż obecna wysokość betonowego słupka.

#### 4. WNIOSKI

Ze względu na niekorzystne warunki do pomiarów GNSS na szczycie Łysicy nie da się zastabilizować punktu, który jednocześnie wyznaczałby najwyższy punkt wierzchołka i zapewniał dobre warunki do pomiaru satelitarnego. Spośród zbadanych punktów najlepsze warunki do pomiarów GNSS ma punkt P2-G.Łysica. Jego wysokość normalną określono na  $H = 610.980$  m n.p.m. w układzie PL-KRON86-NH. Wysokość samego wierzchołka w miejscu ustawienia krzyża określono na 613,223 m n.p.m. i ta wartość wydaje się najodpowiedniejsza do użycia jako wysokość zachodniego wierzchołka góry Łysicy. Ponieważ to miejsce znajduje się na płaskiej stabilnej powierzchni, gdzie na skalnym podłożu zalega jedynie cienka warstwa zwietrzliny, nadaje się ono do ewentualnego zastabilizowania nowego znaku dla punktu osnowy geodezyjnej. Wysokość pomierzona na kamieniu (punkt Kamień-G.Łysica) jest co prawda o 39 cm większa, lecz jest on niewielkim blokiem skalnym spoczywającym na zwietrzelinie, nie spełnia zatem kryterium stabilności punktu wysokościowego.

W przypadku decyzji o lokalizacji i zastabilizowania ewentualnego nowego punktu osnowy na zachodnim wierzchołku jest zatem do rozważenia, zarówno w kwestii poprawności wysokości  $H$ , wskazywanej przez ten punkt, jak również ze względów praktycznych – punkt taki miałby służyć ewentualnym pomiarom przy aktualizacji bazy danych ŚPN i musiałyby zapewniać wizury w przewidywanych kierunkach nawiązań, jak również pozwalać na bezproblemowe prowadzenie prac w obecności turystów, często

Top Łysica AB4940” seems to be pointless, because it does not meet any of the conditions mentioned above.

The comparison of the height of selected points, measured on the DEM and satellite leveling method, confirmed the high accuracy of ALS measurement, but it can be noticed that in the case of spot heights located on small boulder, these differences can reach values up to 0.5 m, while on flat forms they do not exceed 0.17 m. Altitudes read from NMT are generally smaller than those measured by satellite leveling. It results from the fact that in the process of classification of point clouds from ALS survey, reflections from higher ground elements are generally rejected, because classification algorithms are not able to distinguish them from the low vegetation. The conclusion can be made, that NMT obtained according to the standard I of ISOK specification [14] correctly presents the heights of these points, which are not on forms of terrain like boulder or small depression. This condition should be taken into account when undertaking the verification of cartographic studies, basing on NMT from ALS measurements.

przebywających w pobliżu krzyża. Lokalizowanie nowego punktu w miejscu dotychczasowego 12 góra Łysica AB4940 wydaje się o tyle niecelowe, że nie spełnia on obecnie żadnego z przedstawionych powyżej warunków.

Porównanie wysokości wybranych punktów, pomierzonej na NMT i metodą niwelacji satelitarnej, potwierdziło dużą dokładność pomiaru ALS, jednakże daje się zauważyć, że w przypadku punktów pomiarowych usytuowanych na niewielkich formach skalnych (tzw. boulder), różnice te mogą osiągać wartości bliskie 0,5 m, podczas gdy na formach płaskich nie przekraczają 0,17 m. Wysokości odczytane z NMT są mniejsze niż pomierzone metodą niwelacji satelitarnej, co wynika z faktu, że w procesie filtracji chmury punktów z ALS na ogół odrzucane są odbicia od wyżej położonych elementów gruntu, ponieważ algorytmy klasyfikacyjne nie są w stanie odróżnić ich od odbić tzw. roślinności niskiej. Prowadzi to do wniosku, że NMT otrzymany według standardu I specyfikacji ISOK [14] poprawnie przedstawia wysokości tych punktów, które nie znajdują się na drobnych, wystających bądź zagłębionych formach rzeźby terenu. Zastrzeżenie to powinno być brane pod uwagę w przypadku podejmowania prac związanych z weryfikacją opracowań kartograficznych w oparciu o NMT z pomiarów ALS.

## REFERENCES

- [1] Hajdukiewicz M., Romanyshyn I., *An accuracy assessment of spot heights on digital elevation model (DEM) derived from ALS survey: case study of Łysica massif*, “Structure and Environment” 2017, No. 31 (2), pp. 125–132.
- [2] Zuchiewicz W., Badura J., Jarosiński M., *Neotectonics of Poland: an overview of active faulting*, “Studia Quaternaria” 2007, 24, pp. 5–20.
- [3] Berezowski E., *Polska sieć triangulacyjna z lat 1828–1829 na terenie Staropolskiego Okręgu Przemysłowego*, „Kwartalnik Historii Nauki i Techniki” 1984, 29/3-4, s. 605–614.
- [4] <<http://lazarus.elte.hu>>.
- [5] <<http://digitoor.is.cuni.cz>>.
- [6] <<http://www.mapywig.org>>.
- [7] Białokur M., *Wyrys leśnej mapy gospodarczej*, Archiwum Świętokrzyskiego Parku Narodowego, nr inw. I/3/15c, 1935.
- [8] <<http://mapy.geoportal.gov.pl>>.
- [9] Dz.U. z 2000 r. Nr 70, poz. 821 <<http://prawo.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WDU20000700821/O/D20000821.pdf>>.
- [10] Rozporządzenie Ministra Administracji i Cyfryzacji z dnia 14 lutego 2012 r. w sprawie osnów geodezyjnych, grawimetrycznych i magnetycznych, Dz.U. z 2012 r. poz. 352.
- [11] <<ftp://igs.org>>
- [12] <<ftp://igscb.jpl.nasa.gov>>
- [13] <<http://www.gugik.gov.pl/bip/prawo/modele-danych>>.
- [14] Kurczyński Z., *Mapy zagrożenia powodziowego i mapy ryzyka powodziowego a dyrektywa powodziowa*, Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, Vol. 23, 2012, s. 209–217.
- [15] Brinker R.C., Minnick R., *The surveying handbook*, second edition, Kluwer Academic Publishers.

### Acknowledgments:

The research was carried out as part of statutory research work No. MNISP.IKGG.14.001, financed by the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Poland.

### Podziękowania:

Badania zrealizowano w ramach pracy badawczej statutowej nr MNISP.IKGG.14.001, finansowanej przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego Rzeczypospolitej Polskiej.