

MACIEJ HAJDUKIEWICZ¹

IHOR ROMANYSHYN²

Kielce University of Technology

¹ e-mail: mhajdukiewicz@tu.kielce.pl

² e-mail: iromanyshyn@tu.kielce.pl

AN ACCURACY ASSESSMENT OF SPOT HEIGHTS ON DIGITAL ELEVATION MODEL (DEM) DERIVED FROM ALS SURVEY: CASE STUDY OF ŁYSICA MASSIF

OSZACOWANIE DOKŁADNOŚCI PUNKTÓW WYSOKOŚCIOWYCH NA NMT MASYWU ŁYSICY Z POMIARÓW ALS

Abstract

The paper presents an analysis of ALS – derived DEM (created as part of ISOK project) of Łysica massif in Łysogóry range, Poland. The contour map, slope map, and cross sections of the massif were derived of DEM, and compared to reference data – an earlier cartographical elaborations, including topographical map 1:10000 and forest economical map 1:5000, and to field survey, conducted in 2016 sep. using GNSS and differential leveling methods. A high accuracy of DEM was confirmed, corresponding to requirements of ISOK project. The surveys revealed, that real elevations of the tops of Łysica massif vary from the values shown on topographical map 1:10000. According to precise GNSS and leveling surveys, the main top is higher by 1.2 m (GNSS measurement 613.4 m a.s.l., DEM measurement 613.14 m a.s.l.), and the eastern top, named Skala Agaty, being higher by 5 m (GNSS measurement 613.7 m a.s.l., DEM measurement 613.4 m a.s.l.), and this top is actual highest point of Łysica massif and thus Świętokrzyskie mountains.

Keywords: Airborne Laser Scanning, Digital Elevation Model, GNSS positioning

Streszczenie

W artykule opisano analizę NMT otrzymanego z pomiarów ALS (opracowanego w ramach projektu ISOK) dla masywu Łysicy w Górach Świętokrzyskich. Mapa warstwowa, mapa spadków oraz profil poprzeczny otrzymane z NMT zostały porównane z wcześniejszymi opracowaniami, takimi jak mapa topograficzna w skali 1:10000, leśna mapa gospodarcza w skali 1:5000 oraz z wynikami pomiarów terenowych przeprowadzonych w 2016 roku metodą GNSS RTK i niwelacji geometrycznej. Potwierdzono wysoką dokładność NMT, odpowiadającą wymogom projektu ISOK. Pomiarzy wykazały również, że rzeczywiste wysokości wierzchołków masywu Łysicy różnią się od wartości podawanych na mapach topograficznych w skali 1:10000. Według dokładnych pomiarów GNSS oraz niwelacji geometrycznej, wierzchołek główny jest wyższy o ponad 1,2 m (pomiar GNSS: 613,4 m n.p.m., pomiar na NMT: 613,14 m n.p.m.), a wschodni wierzchołek (Skala Agaty) jest wyższy o ponad 5 m (pomiar GNSS: 613,7 m n.p.m., pomiar na NMT: 613,4 m n.p.m.), co oznacza, że jest on faktycznie najwyższym wierzchołkiem masywu Łysicy, a tym samym również Gór Świętokrzyskich.

Słowa kluczowe: lotniczy skaning laserowy, numeryczny model terenu, pomiary GNSS

1. Introduction

Łysica is the highest peak of the Świętokrzyskie Mountains, situated in the western part of the Łysogóry ridge. Łysica massif is extended from Krajeńska Pass in the west to Kakonińska Pass in the east, and two tops could be marked on it: the main

1. Wstęp

Łysica jest to najwyższy szczyt Gór Świętokrzyskich, leżący w zachodniej części pasma Łysogór. W masywie Łysicy, leżącym pomiędzy Przełęczą Krajeńską na zachodzie a Przełęczą Kakonińską na wschodzie, oprócz wierzchołka głównego wyróżnia się rów-

(western) top, and eastern top, named Skala Agaty, or Zameczysko. Due to contemporary topographic maps, the elevations of these tops differ from the values, that one could notice from an earlier cartographic studies. The aim of the research was to explain these inconsistency and to specify the elevation of each top using the latest airborne laser scanning (ALS) survey of this area, with assessment of the ALS-derived digital elevation model (DEM), using GNSS survey and differential leveling methods.

The geological structure of the Łysica massif is the same as the Łysogóry ridge [9]. The basement is dominated by hard and resistant to weathering quartzite of Upper Cambrian age. It touches less resistant slates of Ordovic age on the northern slopes and limestones, marls of Devonian age on the south. The lower parts of the slopes are covered by postglacial loess-like sediments of Pleistocene age. Topline is compatible with direction of rock layers, northern slopes are consistent with their falls, while southern are perpendicular to them. The relief is typical for low mountains. Denivelation exceeds 300 m slightly, the slope angle is in the range of 10 to 30 degrees. The dominant geomorphological processes are frost airing in quartzite and water surface erosion in debris cover. The intensity of these processes is currently low, that could be evidenced by the lack of the landforms typical for erosion in the upper part of ridge, and observable process of boulder fields overgrowing by the forest. Łysogóry area is nowadays considered as tectonically stable [11]. Therefore, one could assume, that the geomorphological processes should have not affect the results of height survey, carried out on this area in the last 150 years.

2. The comparison of earlier surveys and the ALS survey of ISOK project

The earliest surveys in Łysogóry ridge took place in the first half of the nineteenth century [1]. In the years 1828-1829 on Łysiec (present name: Święty Krzyż) mount the triangulation tower was located. On the later maps of nineteenth and beginning of twentieth century different elevations of Łysica can be noticed: 612 m a.s.l. (Map of the Austro-Hungarian monarchy of 1910 [4] and 611.5 m a.s.l. on the German map of 1914 [3], and the military map of Poland ed. WIG of 1936 [7]). The signature applied indicates that the specified elevation refer to the point of the triangulation net, therefore it may not match exactly the highest point of the terrain. In Austrian map mentioned earlier even

niez wierzchołek wschodni, czyli tzw. Skalę Agaty. Podawane na aktualnych mapach topograficznych wysokości tych wierzchołków różnią się od wartości na starszych opracowaniach kartograficznych. Celem pracy było wyjaśnienie tych kontrowersji i uściślenie wysokości poszczególnych wierzchołków w oparciu o najnowsze pomiary wysokościowe tego terenu, przeprowadzone metodą laserowego skaningu lotniczego (ALS), z jednoczesną ich weryfikacją pomiarami terenowymi, metodą GNSS i niwelacji geometrycznej.

Budowa geologiczna masywu Łysicy nie odbiega od budowy całego grzbietu Łysogór [9]. W podłożu dominują twarde i odporne na wietrzenie kwarcyty wieku górnokambryjskiego. Na stokach północnych graniczą one z mniej odpornymi łupkami ordowickimi, zaś na południu wapieniami, marglami i łupkami dewońskimi. Dolne partie stoków pokryte są ponadto peryglacialnymi osadami pyłowymi i gliniastymi wieku plejstocenijskiego. Linia grzbietu jest zgodna z biegiem warstw skalnych, północne stoki są zgodne z ich upadem, zaś południowe są do niego prostopadłe. Rzeźba terenu jest typowa dla gór niskich. Deniwelacje nieznacznie przekraczają 300 m, spadki zboczy zawierają się w przedziale od 10 do 30 stopni. Dominujące procesy geomorfologiczne to wietrzenie mrozowe w kwarcytach i erozja powierzchniowa pokryw zwietrzelinowych. Intensywność ich jest obecnie niewielka, o czym świadczy brak form erozyjnych w górnych partiach grzbietu i możliwy do zaobserwowania proces zarastania gołoborzy przez las. Obszar Łysogór jest obecnie uznawany za tektonicznie stabilny [11]. Można zatem przyjąć, że procesy geomorfologiczne nie powinny mieć wpływu na wyniki pomiarów wysokościowych prowadzonych na tym terenie w ciągu ostatnich 150 lat.

2. Dane pomiarowe ALS na tle dotychczasowych opracowań

Najwcześniejsze pomiary w Łysogórach miały miejsce w pierwszej połowie XIX wieku [1]. W latach 1828-1829 na Łyścu (obecnie Łysa Góra) zlokalizowana była wieża triangulacyjna. Z późniejszych opracowań kartograficznych wynotować można różne wysokości Łysicy: 612 m n.p.m. na mapie austro-węgierskiej z 1910 roku [4] oraz 611,5 m n.p.m. (mapa niemiecka z 1914 roku [3], mapa polska wyd. WIG z 1936 roku [7]). Zastosowane sygnatury wskazują, że podana wysokość stosuje się do punktu osnowy, zatem nie musi się dokładnie pokrywać z najwyższym punktem terenu. Na wspomnianej mapie austriackiej brak jest nawet informacji o nazwie

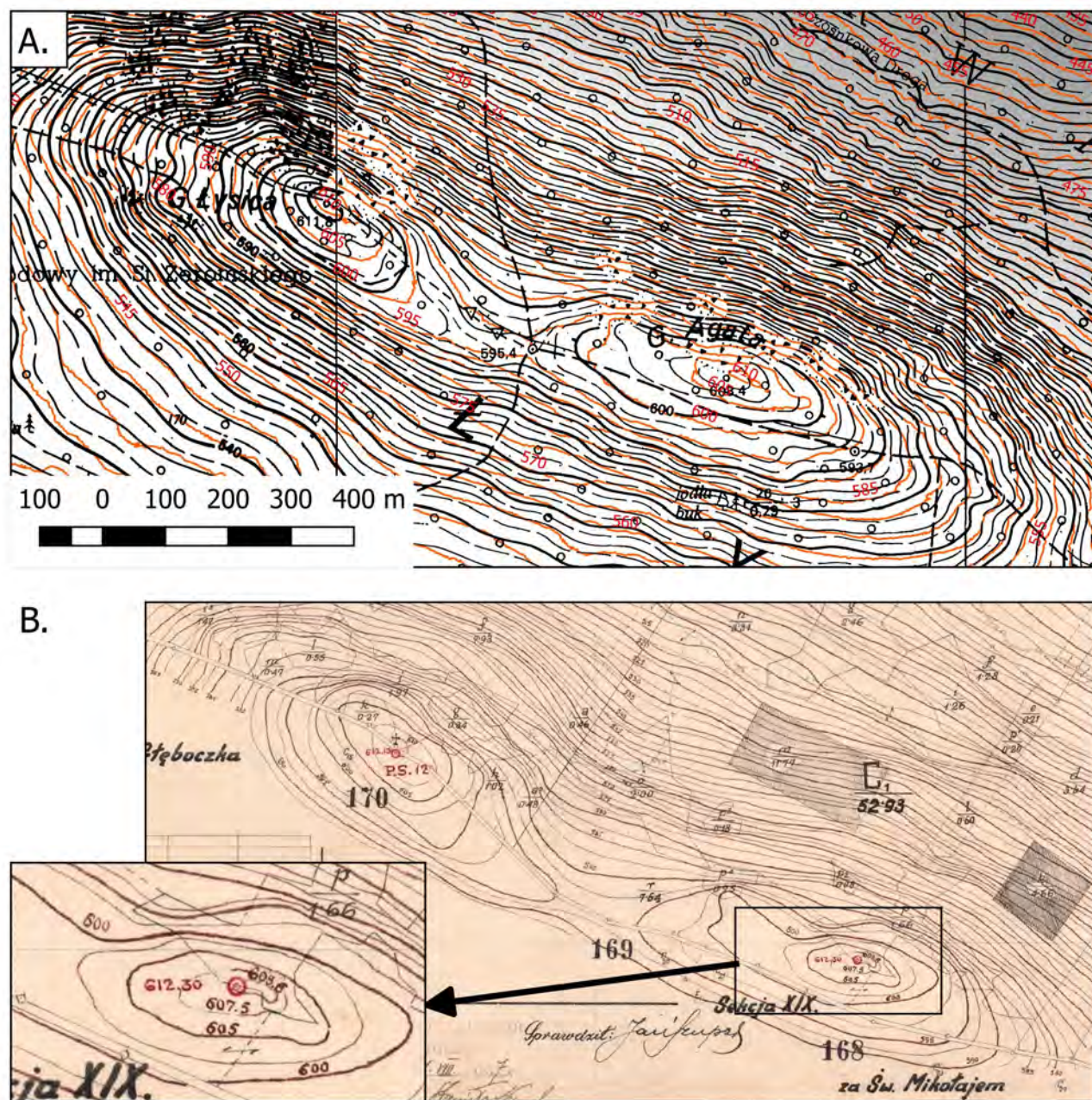


Fig. 1. Comparison of the contours and spot heights on the maps: topographic 1:10000 (black, contour A), contour map of DEM (orange, contour A); and economical forest map 1:5000 (B)

Rys. 1. Porównanie warstw i punktów wysokościowych na mapach topograficznych 1:10000 (czarne warstwice, część A), warstw z NMT (pomarańczowe warstwice, część A) oraz na leśnej mapie gospodarczej 1:5000 (część B)

summit name information is omitted. The date of issue of WIG military maps coincides with the preparation of detailed topographic survey of the Łysica massif for the needs of forest economic map, which shows that the elevation of the tops are as follows: western one 612.13 m a.s.l. and eastern one (Skała Agaty) 612.3 m a.s.l. [2]. Eastern top would therefore be 0.17 m higher from the west one, which is nowadays considered as the major one. Part of this map scanned

góry. Data wydania mapy WIG zbiega się w czasie ze sporządzeniem zdjęcia topograficznego masywu Łysicy na potrzeby leśnej mapy gospodarczej, z którego wynika, że wysokości wierzchołków wynoszą odpowiednio: zachodni 612,13 m n.p.m. i wschodni 612,3 m n.p.m. [2]. Wschodni wierzchołek (Skała Agaty) miałby zatem być nieco wyższy (o 17 cm) od zachodniego, uznawanego za główny. Współczesne mapy topograficzne w skali 1:10000 [5] podają jako

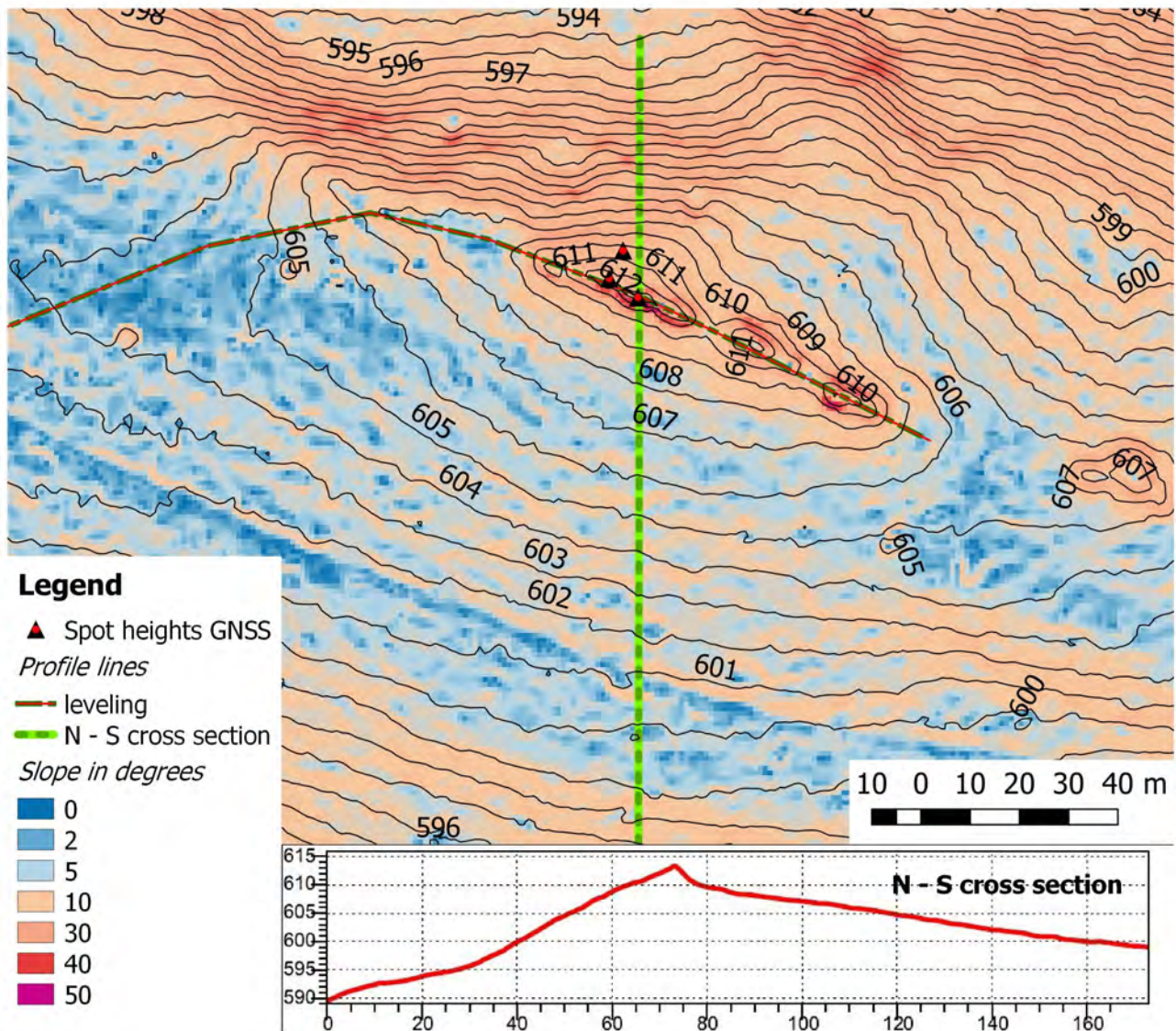


Fig. 2. The contour map, the slope map, and the cross section of the Skala Agaty top, derived from DEM of ALS survey of Łysica massif

Rys. 2. Mapa warstwiczna, mapa spadków oraz profil poprzeczny Skały Agaty otrzymany z NMT masywu Łysicy pochodzącego z pomiarów ALS

is shown in Figure 1 – contour B, in comparison to modern topographic map 1:10000 and digital terrain (elevation) model (DEM). This DEM is the effect of latest (2014) ALS survey of research area, made as part of information system for land protection project (pol. ISOK), and this data was obtained from Centre of Geodesy and Cartography Documentation (pol. CODGiK). Modern topographic maps at a scale of 1:10000 [5] shows the elevations of the tops: 611.8 m a.s.l. (western one) and 608.4 m a.s.l. eastern one (Skała Agaty), so the difference in elevation between them is 3.4 m in favor of western one (Fig. 1 – contour A). The contours at map 1:10000 differ from the ones on the map 1:5000, and the ones derived from DEM.

wysokości wierzchołków: 611,8 m n.p.m. (zachodni – główny) i 608,4 m n.p.m. (Skała Agaty), czyli różnica wysokości pomiędzy nimi wynosi 3,4 m na korzyść wierzchołka głównego. Porównanie rysunku warstwiczowego współczesnej mapy topograficznej oraz warstwicy o cięciu 0,5 m, wygenerowanych z numerycznego modelu terenu, przedstawiono na rysunku 1 – część A, zaś na rysunku 1 – część B widnieje fragment mapy warstwicznej z wyrysów leśnej mapy gospodarczej w skali 1:5000 z 1935 roku. Jak widać, przebieg warstwicy różni się nieznacznie na całym obszarze, a największe widoczne różnice można zaobserwować wokół wierzchołka Skały Agaty.

The biggest differences are visible in the surroundings of Skała Agaty top.

Remarkably, none of the maps described contain the signature indicating the presence of large rocks on top of Skała Agaty, but only boulder fields. It seems to be a shortcoming, because this top (Rock of Agatha) is actually a big and steep rock outcrop with a length of approximately 50 m, broken from the south with a 4 meters high wall, that is a distinctive landmark, worthy of the designation on the map. On the DEM prepared from ALS surveys this landform is indicated as significant one (Fig. 2). Contour map and terrain cross-section taken along the line N-S, shows also steepness of south edge of the outcrop. Analysis of DEM indicates also the top elevation of 613.4 m a.s.l., thus it is slightly higher than the western top measured simultaneously as 613.14 m a.s.l. Both of them are higher than reported on modern topographic map, and closer to the elevations shown on the map of 1935. However, in accordance with the requirements for the ISOK project, the part of which the ALS air raid was done, the admissible error is 0.3 m for woodland area [8]. Thus, the ALS surveys required field survey verification.

3. An accuracy assessment of DEM with GNSS survey and differential leveling

In order to verify the ALS surveys, field measurements in September and November 2016 were conducted. First stage was to survey with RTK GNSS technique both tops of Łysica and set of points identifiable on the DEM; the second one was the differential leveling between tops. The surveys were made according to standards for detailed elevation network [10]. In addition, the GNSS RTK survey of selected points around Łysica Massif was performed, in order to estimate the accuracy of the RTK GNSS measurement technique, related to an existing geodetic elevation network for this region. Both of the tops of Łysica, are wooded significantly, so visibility of GNSS satellites is limited. Therefore, the measurements were completed in September (at the same time as the differential leveling) and in November, when conditions are much better because of lack of leaves.

The two-band receiver Sokkia GRX-1 was used for this survey. Measurement reliability of this equipment is provided by the ability of picking up beacons on 72 channels GPS and GLONASS systems, built-in modem GPRS for receiving RTK corrections. An

Model terenu opracowany został z pomiarów ALS przeprowadzonych w 2014 roku w ramach projektu ISOK (Informatyczny System Osłony Kraju). Został on udostępniony do badań przez Centralny Ośrodek Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej (CODGiK). Na żadnej z wcześniej omawianych map nie natrafiono na sygnatury informujące o obecności dużych skał na wierzchołku Skały Agaty (jedynie gołoborza), co wydaje się być niedociągnięciem, gdyż tworząca ten wierzchołek niesymetryczna grzęda skalna o długości ok. 50 m urywa się od strony południowej ścianką o wysokości ponad 4 m i stanowi bardzo charakterystyczny punkt orientacyjny zasługujący na oznaczenie na mapie. Na modelu terenu sporządzonym z pomiarów ALS forma ta zaznacza się bardzo wyraźnie, co widać na rysunku warstwicowym i profilu terenu sporządzonym wzdłuż linii N-S (rys. 2). Analiza modelu terenu wskazuje również, że wierzchołek ten ma wysokość 613,4 m n.p.m., i jest nieco wyższy od wierzchołka głównego, którego wysokość wynosi na tym modelu 613,14 m n.p.m. Obie te wysokości są większe niż podawane na współczesnej mapie topograficznej. Trzeba jednak zaznaczyć, że dopuszczalny błąd pomiarowy wg wymagań dla projektu ISOK, w ramach którego sporządzono model, wynosi dla terenów zalesionych 0,3 m [8], zatem pomiary przeprowadzone na tym materiale wymagały weryfikacji terenowej.

3. Analiza dokładności NMT w oparciu o pomiary GNSS i niwelację geometryczną

W celu zweryfikowania wysokości odczytanych z NMT przeprowadzono we wrześniu i listopadzie 2016 roku pomiary terenowe, na które składały się: pomiar techniką GNSS RTK obu wierzchołków Łysicy i punktów charakterystycznych możliwych do zidentyfikowania na NMT oraz niwelacja techniczna pomiędzy wierzchołkami wykonana wg standardu dla sieci szczegółowej osnowy wysokościowej [10].

Oba wierzchołki Łysicy, ze względu na zalesienie, znajdują się na terenie z ograniczoną widocznością satelitów. W związku z tym pomiary GNSS RTK wykonano zarówno we wrześniu (jednocześnie z niwelacją geometryczną) i w listopadzie, kiedy ze względu na brak liści są znacznie lepsze warunki do pomiarów satelitarnych. Dla pomiarów wykorzystano dwuczęstotliwościowy odbiornik Sokkia GRX-1 z możliwością odbioru sygnałów nawigacyjnych systemów GPS i GLONASS, wbudowanym modemem GPRS dla odbioru poprawek RTK i dokładnością pomiaru w trybie RTK ± 10 mm + 1 p.p.m. współrzędnych poziomych i ± 15 mm + 1 p.p.m. wysokości [6]. Pomiar wykonano z wyko-

accuracy of measurement in RTK mode is about ± 10 mm + 1 p.p.m. for horizontal coordinates and ± 15 mm + 1 p.p.m. for vertical ones [6]. The measurement was performed using RTK hotfix received from network of reference stations, with vertical reference level of Kronstadt 86, and horizontal reference system PL 2000 zone 7. The actual vertical measurement accuracy in this case is assessed for 0.03-0.1 m, depending on conditions (vegetation condition, number of satellites visible). The results can be found in Table 1. According to these measurements eastern top is 0.35 m higher than western one. Both of the tops are higher than on the topographical map and the DEM of ALS data.

Table 1. GNSS RTK measurement of main (G. Łysica) and eastern (G. Agata) tops of Łysica massif

Tabela 1. Wyniki pomiarów GNSS RTK wierzchołków masywu Łysicy – wschodniego (Góra Łysica) i zachodniego (Góra Agata)

Point	X_{2000} [m]	Y_{2000} [m]	H_{K86} [m a.s.l.]	Δh_{RTK}
G. Łysica (western top)	5639599.72	7492730.88	613.35	0.35
G. Agata (eastern top)	5639310.50	7493383.60	613.70	

Differential leveling measurements were made using Sokkia SDL-50 leveler and a set of extensible code rods of aluminium. As turning points, the leveling footplates were used. The measurement results of closed leveling traverse can be found in Table 2.

rzystaniem poprawek z sieci stacji referencyjnych, a jego rzeczywistą dokładnością wysokościową można oszacować na 0,03-0,1 m, w zależności od warunków. Wyniki pomiaru znajdują się w tabeli 1. Pomiar wykazały różnicę wysokości 0,35 m pomiędzy obu wierzchołkami, przy czym wierzchołek wschodni jest wyższy.

Pomiary niwelacyjne zostały wykonane w zamkniętym ciągu niwelacji geometrycznej z pomiarem ze środka, przy użyciu niwelatora kodowego Sokkia SDL-50 i kompletu rozsuwanych aluminiowych łąt kodowych. Jako punkty pośrednie ciągu wykorzystano żabki niwelacyjne. Wyniki pomiaru zamkniętego ciągu niwelacyjnego znajdują się w tabeli 2.

Table 2. Differential leveling of main (G. Łysica) and eastern (G. Agata) tops of Łysica massif

Tabela 2. Niwelacja geometryczna pomiędzy wierzchołkami masywu Łysicy – zachodnim (Góra Łysica) i wschodnim (Góra Agata)

Direction	Δh [m]	$\Sigma \Delta h$ [m]	L [km]	$\Sigma \Delta h_{dop}$ [m]
G. Łysica (western top) – G. Agata (eastern top)	0.365	-0.005	1.605	0.008
G. Agata (eastern top) – G. Łysica (western top)	-0.370			
G. Łysica – G. Agata	0.368			

As can be seen from the table, the deviation of the closure of the leveling traverse is 5 mm, which satisfies the conditions of admissible deviation (signed as $\Sigma \Delta h_{dop}$) for detailed geodetic reference network if string leveling length is $L = 1.605$ km, according to standards [10]. The difference of Łysica tops elevation, calculated on the basis of the geometric leveling is about 2 cm higher than specified on the basis of measurements by GNSS RTK (shown in Table 3). Both measuring methods have shown that eastern top (Skała Agaty) is higher than western one.

Jak wynika z tabeli 2 odchyłka zamknięcia poligonu niwelacyjnego wynosi 5 mm, co spełnia warunki dopuszczalnej odchyłki zamknięcia poligonu o długości $L = 1,605$ km dla niwelacji szczegółowej osnowy geodezyjnej [10]. Różnica wysokości wierzchołków obliczona na podstawie niwelacji geometrycznej jest o 2 cm większa niż określona na podstawie pomiarów metodą GNSS RTK, co zostało uwidocznione w tabeli 3.

Table 3. Elevation differences of main (G. Łysica) and eastern (G. Agata) tops of Łysica massif, measured with GNSS RTK and leveling methods

Tabela 3. Różnice wysokości wierzchołków masywu Łysicy, zachodniego (Góra Łysica) i wschodniego (Góra Agata), na podstawie pomiarów GNSS RTK (Δh_{RTK}) oraz niwelacji geometrycznej (Δh_{LEV})

Point	H [m]	Δh_{RTK} [m]	Δh_{LEV} [m]	$\Delta h_{RTK} - \Delta h_{LEV}$ [m]
1. G. Łysica (western top)	613.35	0.35	0.37	-0.02
2. G. Agata (eastern top)	613.70			

A satisfactory convergence of field measurements and DEM measurements has been found. A differences touches the limit values stated in the specification ISOK for ALS based DEM [8]. In case of Skała Agaty top, elevation measured on DEM is 0.3 m lower than measured using GNSS. It can be explained by the fact, that the forested narrow outcrop top hadn't been covered by ALS spot height probes sufficiently densely, because of vegetation cover – a density of point cloud for this region is about 4 points on sq. m, and only part of them are located on the ground.

4. Conclusions

The control surveys have shown a high accuracy of DEM obtained of ALS measurement for hilltop part of the Łysica massif. Moreover, the results of the measurements clearly show that the Skała Agaty top is the highest point of the Łysica massif and therefore also the Świętokrzyskie Mountains. The elevation difference is negligible, but by 1-2 orders of magnitude (depending on measurement method) larger than the accepted measurement errors. Geological structure of the ground allows to conclude that the elevation point is stable, however, the shape of the rock outcrop (Fig. 3) is not favorable for locating benchmark on it, excepting small rivets or nails. In contrast to him, the main top is a large peak platform favorable for measurement including the location of the triangulation tower. This is not a rare case – in the survey practice, spot heights are often located not at the very top (often rocky and inaccessible), but on the nearest convenient point below it. However, in this case, the tops are distant one to another for 700 meters, so they should be considered as separate ones. Noteworthy is that the higher elevation of Skała Agaty was observed in 1935 for the first time.

Both ALS and GNSS measurements shows that the Łysica massif tops are higher, than indicated on topographic maps. These findings prove the necessity of verification of elevation surveys of this area, including the control of geodetic elevation network, that should be continued using precise methods as i.e. static GNSS.

Obie metody pomiarowe wykazały że wierzchołek wschodni (Skała Agaty) jest wyższy. Można zatem stwierdzić zadowalającą zbieżność wyników pomiarów terenowych z pomiarami przeprowadzonymi na NMT, ponieważ rozbieżności nie przekraczają wartości granicznych zakładanych w specyfikacji ISOK [8].

4. Wnioski

Pomiary kontrolne wykazały wysoką dokładność NMT sporządzonego z pomiarów ALS dla wierzchołkowej części masywu Łysicy. Ponadto wyniki pomiarów jednoznacznie wskazują, że Skała Agaty jest najwyższym punktem masywu Łysicy, a zatem również Gór Świętokrzyskich. Różnica wysokości jest nieznaczna, lecz o 1-2 rzędy wielkości (w zależności od przyjętej metody) większa niż przyjmowane błędy pomiarowe. Budowa podłoża pozwala stwierdzić, że ten punkt wysokościowy jest stabilny, jednakże ukształtowanie wychodni skalnej nie sprzyja lokalizowaniu na nim punktów osnowy innych niż niewielkie nity lub gwoździe, co uwidoczniło na rysunku 3.

W przeciwieństwie do niego główny wierzchołek ma postać rozległej platformy szczytowej, która sprzyjała pomiarom, w tym lokalizacji wieży triangulacyjnej. Nie jest to przypadek odosobniony – w praktyce geodezyjnej często punkty pomiarowe lokalizuje się nie na samym wierzchołku (często skalistym i niedostępnym), lecz na najbliższym dogodnym punkcie poniżej niego. Jednakże w tym przypadku, ze względu na znaczne (700 m) oddalenie, szczyty powinny być traktowane jako osobne. Co również jest warte odnotowania, już pomiary z 1935 roku wykazały większą wysokość Skały Agaty, co z niewyjaśnionych dotąd przyczyn nie zostało uwzględnione na późniejszych mapach topograficznych. Istotne jest również, że najnowsze pomiary wykazują większą wysokość obu wierzchołków niż podawana na mapach topograficznych. Wynika stąd potrzeba dalszej weryfikacji pomiarów wysokościowych tego terenu, z uwzględnieniem kontroli wysokościowej osnowy geodezyjnej przy użyciu precyzyjnych metod pomiarowych takich jak statyczne pomiary GNSS.



Fig. 3. Spot height survey on the top of Skala Agaty rock – differential leveling

Rys. 3. Pomiar punktu wysokościowego na szczycie Skaly Agaty – niwelacja geometryczna

References

- [1] Berezowski E.: *Polska sieć triangulacyjna z lat 1828-1829 na terenie Staropolskiego Okręgu Przemysłowego*, Kwartalnik „Historii Nauki i Techniki”, 29/3-4, 1984, s. 605-614.
- [2] Białokur M.: *Wzryś leśnej mapy gospodarczej*. Archiwum Świętokrzyskiego Parku Narodowego, nr inw. I/3/15c, 1935.
- [3] <http://digitool.is.cuni.cz>
- [4] <http://lazarus.elte.hu>
- [5] <http://mapy.geoportal.gov.pl>
- [6] <http://us.sokkia.com>
- [7] <http://www.mapywig.org>
- [8] Kurczyński Z.: *Mapy zagrożenia powodziowego i mapy ryzyka powodziowego a dyrektywa powodziowa*, Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, Vol. 23, 2012, s. 209-217.
- [9] Miernik P.: *Mapa geologiczna zakryta Pasma Łysogórskiego. Pierworys*. Archiwum Świętokrzyskiego Parku Narodowego, 1990.
- [10] Rozporządzenie Ministra Administracji i Cyfryzacji z dnia 14 lutego 2012 r. w sprawie osnów geodezyjnych, grawimetrycznych i magnetycznych, Dz.U. 2012, poz. 352.
- [11] Zuchiewicz W., Badura J., Jarosiński M.: *Neotectonics of Poland: an overview of active faulting*. Studia Quaternaria, 24, 2007, pp. 5-20.

This study was performed within the scope of the statutory research project no. MNSP.IKGG.14.001, financed by Ministry of Science and Higher Education of Republic of Poland.

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