

O GEOMETRII BUDYNKÓW

Kiedy kilkanaście lat temu autor przechadzał się po futurystycznej dzielnicy La Defense w Paryżu i oglądał zapierające dech w piersiach budynki, zastanawiał się, jak geodeci radzili sobie z tymi karkołomnymi pomysłami architektów i konstruktorów określonymi już wówczas architekturą XXI wieku.

JERZY GAJDEK

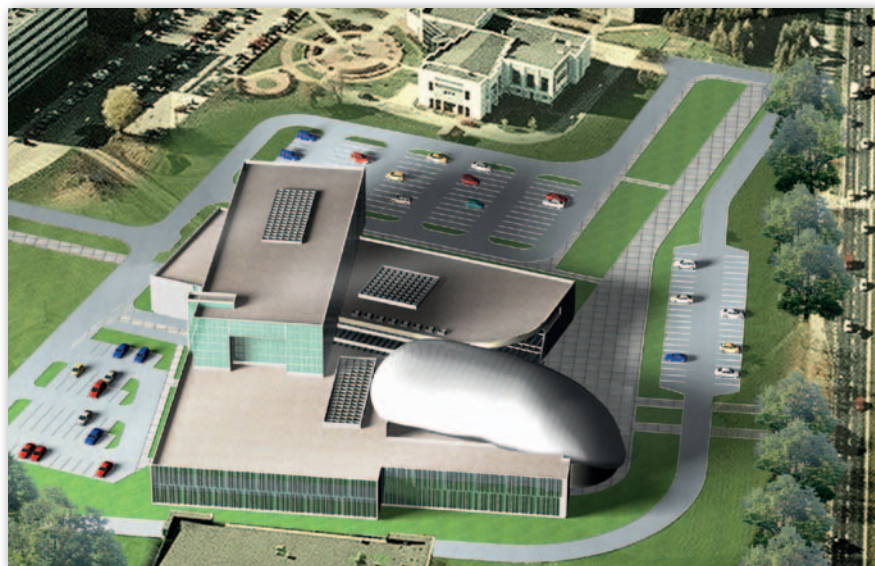
Wśród obiektów budowlanych wymienionych w art. 3 *Prawa budowlanego* znajduje się prawdziwy arystokrata – budynek. Jemu bowiem „służą” pozostałe objekty i jemu poświęcone jest niniejsze opracowanie. Realizacja jego ostatecznego kształtu bywa często prawdziwym wyzwaniem, wymagającym ściślej współpracy wykonawców z geodetami posiadającymi stosowne kwalifikacje udokumentowane w postaci uprawnień zawodowych w zakresie „geodezyjnej obsługi inwestycji”. Przy realizacji skomplikowanych budynków kierownictwa firm budowlanych powinny zadbać o to, aby uprawnienia geodetów były „podparte” referencjami z innych trudnych budów. I na pewno kryterium najniższej ceny za obsługę geodezyjną nie powinno być decydujące przy wyborze podwykonawcy geodezyjnego.

Kształt budynku realizują poszczególne brygady budowlane, posiłkując się tzw. liniami II rzędu materializowanymi przez geodetów z odpowiednią dokładnością w postaci wskaźników konstrukcyjnych przesuniętych o określoną, stałą wartość w stosunku do rzeczywistych linii siatki osi konstrukcyjnych uważanych za linie I rzędu [7, 8]. Osie konstrukcyjne, czyli linie I rzędu, są na poszczególnych stropach liniami teoretycznymi, wirtualnymi, nigdy bowiem nie są wyznaczane z uwagi na to, że i tak znalazłyby się

pod prefabrykowanymi bądź wylewanymi elementami nośnymi konstrukcji, a poprawność ich realizacji i możliwość kontroli zapewniają tylko przesunięte wskaźniki konstrukcyjne. Wskaźniki na stropach prefabrykowanych rysuje się specjalnymi ołówkami do kamienia bądź niezmywalnymi markerami, a na stropach wylewanych wskaźniki utrwalają się punktowo utwardzonymi kołkami stalowymi.

DOŚWIADCZENIE RZESZOWSKIE

Autor dzieli się w niniejszym artykule swoimi doświadczeniami związanymi z obsługą montażu jednego z najciekawszych obiektów realizowanych ostatnio w Rzeszowie. Od inauguracji roku akademickiego 2011/2012 Regionalne Centrum Dydaktyczno-Administracyjne i Biblioteczne będzie sztandarem budynkiem Politechniki (patrz wizualizacja i zdjęcie poniżej). Kompleks RC został zaprojektowany przez Biuro Projektów Budownictwa Ogólnego BUDOPOL z Warszawy, a wykonawcą jest firma SKANSKA. I choć obiekt nie równa się z tymi z dzielnicy La Defen-



U góry: wizualizacja Regionalnego Centrum Dydaktyczno-Administracyjnego i Biblioteczno. Obok: zaawansowanie budowy 25 lipca 2011 r.



Rys. 1. Plan Regionalnego Centrum

se w Paryżu, które autor miał okazję poznać, ani że Świątynią Opatrzności Bożej w Warszawie obsługiwana przez Dariusza Kowalika [GEODETA 4/2010] czy budowanymi ostatnio stadionami, to przedstawione doświadczenia mogą przydać się geodetom przy realizacji podobnych inwestycji.

Powierzchnia RC wynosi 64 ary. 20-milimetrowe dylatacje dzielą budynek na 4 części (rys. 1). Układ osi konstrukcyjnych jest bardzo skomplikowany. Są to właściwie trzy układy osi podłużnych (i odpowiednio poprzecznych) przecinające się pod różnymi kątami, a na dodatek oś auli jest od nich niezależna. Od początku było dla autora oczywiste, że próba realizacji tego budynku na podstawie dokumentacji tradycyjnej, papierowej i stosowanych wcześniej osnów budowlano-montażowych będzie skazana na niepowodzenie. Autor postanowił posiłkować się postacią elektroniczną dokumentacji w systemie C-GEO, rezygnując z odrębnego sporządzania szkiców na rzecz kolorowych wydruków fragmentów tejże dokumentacji odpowiednio opisanych po każdej fazie prac wytyczeniowych.

● PROJEKT ZAGOSPODAROWANIA DZIAŁKI

Projekt zagospodarowania działki został sporządzony i uzgodniony w Grodzkim Zespole Uzgadniania Dokumentacji Projektowej w Rzeszowie na mapie do celów projektowych (MDCP) jeszcze w starym, lokalnym układzie współrzędnych z obowiązującym wówczas układem wysokościowym Kronsztadt 60. Autor doprowadził MDCP do obowiązującego układu 2000 poprzez kalibrację metodą afiniczną w systemie C-GEO zeskanowanej MDCP z projektem, wykorzystując 10 punktów wspólnych. Punktem równomiernie rozłożonym na MDCP przypisano pozyskane współrzędne z numerycznej mapy Rzeszowa w układzie 2000 opracowanej w systemie MicroStation, a następnie użyto ich w procesie kalibracji, uzyskując $m_{\text{kalibracji}}=0,06$ m.

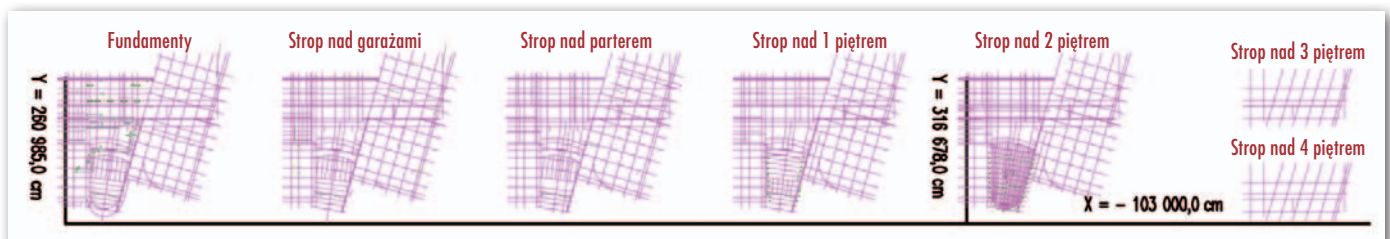
Doprowadzenie każdego z siedmiu poziomów budynku do układu 2000 wymagało zaawansowanej znajomości systemu AutoCAD. Wszystkie poziomy zostały opracowane przez biuro projektów w przypadkowym układzie współrzędnych o podstawowej dla AutoCAD-a

jednostce „cm”, co jest niezbędne do wymiarowania poszczególnych modułów i detali. Każdy z poziomów był w osobnym układzie współrzędnych z rysunkami odwróconymi o 180° w stosunku do rzeczywistego położenia. Poprzez poszczególne ich wyizolowanie na podstawie współrzędnych dwóch skrajnych punktów osiowych 190 i 19Z (rys. 1) w układzie 2000 i wykorzystanie funkcji przesunięcia i obrotu w systemie AutoCAD każdy z poziomów został doprowadzony do układu 2000. To dość trudne zadanie wykonał młody inżynier Paweł Poznański, absolwent Wydziału Budownictwa Politechniki Rzeszowskiej, student autora, któremu autor wyraża niniejszym uznanie i wdzięczność za tę pomoc.

Rysunek 2 przedstawia dokumentację sporządzoną w systemie AutoCAD, która zawiera siedem poziomów osi konstrukcyjnych z szybami windowymi, kłatkami schodowymi i ze wszystkimi niezbędnymi elementami oraz opisami (większość z tych danych „wygaszono” na potrzeby rys. 2, w przeciwnym razie przedstawiałby on siedem nieczytelnych plam).

● MONTAŻOWA A REALIZACYJNA OSNOWA WYSOKOŚCIOWA

Wysokościową (pionową) osnowę realizacyjną (rys. 3) stanowiły 4 repery robocze (RR) powiązane między sobą i dołączone do 3 reperów państwowych (RP) IV lasy w obowiązującym wówczas układzie Kronsztadt 60. Sieć wyrównana została metodą najmniejszych kwadratów (MNK). Błędy średnie RR wyniosły od 2 do 3 mm. Gdyby te błędy były większe, należałoby zastanowić się wspólnie z kierownikiem budowy nad wykonaniem ponownego wyrównania już tylko w obrębie RR na podstawie rzędnej jednego z nich przyjętej za bezbłędną. Nie miałyby to żadnego znaczenia dla posadowienia budynku i wyprowadzenia z niego kanalizacji grawitacyjnej, natomiast wpłynęłoby na podniesienie **pionowej dokładności wewnętrznej** ważnej dla montażu projektowanych gotowych elementów elewacji, niekiedy bardzo drogich. Nierówne fugi nie mogą przecież szpecić budynku.



Rys. 2. Siedem poziomów osi konstrukcyjnych Regionalnego Centrum

Na każdej kondygnacji – w obrębie każdej z czterech przedzielonych dylatacjami części – RR stanowiły:

- wyznaczone i wyrównane MNK stanowiska swobodne do wytyczania wskaźników konstrukcyjnych stabilizowane na stropach stalowymi kołkami, z podawanymi na szkicach rzędnymi bezwzględными (dokł. 0,001 m),

- tzw. wskaźniki wysokościowe [8] – górne podstawy trójkątów (∇) wyznaczane na słupach i ścianach z rzędnymi względnymi (zaokrąglonymi do 0,01 m) w stosunku do „zera budynku”, czyli poziomu posadowienia parteru (PPP), podawanymi przy trójkątach (np.: -7,20; +15,50).

Sumując przedstawione wyżej kwestie, należy rozróżnić **wysokościową osnowę realizacyjną** składającą się z reperów roboczych usytuowanych poza realizowanym budynkiem (-ami) i **wysokościową osnowę montażową** położoną w obrębie i na wszystkich realizowanych poziomach budynku. Wysokościowa osnowa montażowa powinna na każdym ograniczonym dylatacjami poziomie zawierać minimum dwa repery (z reguły będą to zastabilizowane stanowiska swobodne) nawiązane pełnym ciągiem poprzez klatki schodowe do reperów położonych piętro niżej. Niwelację powinno się w pierwszej fazie obliczać metodą przybliżoną, a później, wykorzystując zestawienia przewyższeń, metodą ścisłą.

Jak powszechnie wiadomo, branża budowlana niektóre prace niwelacyjne wykonuje we własnym zakresie, wykorzystując wcześniej wyznaczone przez geodetów repery robocze. Autor obserwował te czynności z uznaniem. Gorzej było ze sprawdzaniem niwelatorów, co dla większości użytkowników było zagadnieniem mało istotnym lub wręcz nieznanym. Jest to zatrważające, ponieważ niesprawnym niwelatorem można spowodować spore szkody.

Z inicjatywy autora tuż obok placu budowy Regionalnego Centrum powstała baza do kontroli niwelatorów metodą prof. Kukkamäki. Zarówno bowiem PN-ISO 17123-2-2005 [9], jak i Wytyczne Techniczne G-3.1 2007 [11], zalecają sposób nie najwłaściwszy, chyba bezkrytycznie przekazywany uczniom i studentom. Jest w tym sposobie założenie, że po wykonaniu niwelacji ze środka (30 m/30 m) przenosi się niwelator w pobliże jednej z łąt (wg Normy [9] 10 m/50 m) i przyjmuje ten odczyt za bezbłędny, co jest dużym nadużyciem. W metodzie prof. Kukkamäki nie ma ta-

kich założeń. A na wspomnianej bazie kontrolnej średnio co 3 miesiące sprawdzano 6 do 9 niwelatorów, z których 2-3 od razu kierowano do serwisu.

Zamykając kwestię trzeciego wymiaru, należy dodać, że inwentaryzacja powykonawcza będzie oparta na reperach państwowych w układzie Kronsztadt 86. W Rzeszowie zależność pomiędzy układami wyraża się następująco: Kronsztadt 86 = Kronsztadt 60 – 0,040 m.

● BUDOWLANO-MONTAŻOWA A POZIOMA OSNOWA REALIZACYJNA

Pozioma **osnowa realizacyjna** służy do prawidłowego wytyczenia projektowanych obiektów budowlanych względem siebie, czyli całej infrastruktury względem budynku (-ów). Natomiast prawidłowo zrealizowana geometria budynku zależy od dokładności osnowy **budowlano-montażowej**, która jest:

- szczegółową osnową realizacyjną – wg [5] § 25,

- osnową wytyczoną z podstawowej lub szczegółowej osnowy realizacyjnej – wg [10] § 2,

- tworem bliżej nieokreślonym odniesionym do *Prawa budowlanego*, norm technicznych oraz resortowych przepisów technicznych – wg [11] § 25.

Zgodnie z [6] § 52-55 należy wykonać pomiar kontrolny stanu zerowego budynku i wpasowanie projektowanej siatki konstrukcyjnej (osi) w ten stan zerowy, co na ogół oznacza mniejsze lub większe przesunięcie (często ze skróceniem) całego układu siatki konstrukcyjnej. Tym samym przyszła osnowa budowlano-montażowa uwzględniająca stan po wpasowaniu staje się **lokalną** osnową budowlano-montażową względem całościowej poziomej osnowy realizacyjnej.

Instrukcja GB-1 [6] w § 72 przewiduje dwa rodzaje osnow budowlano-montażowych:

- zewnętrzne (tyczenie wskaźników metodą stałej prostej i metodą rzutowania),

- wewnętrzne o **stałych bazach** do tyczenia wskaźników konstrukcyjnych metodą biegunową (bazy do tyczenia mogą być wyznaczone przy użyciu pionowników optycznych lub „metodą wytyczania” opracowaną przez autora [1]).

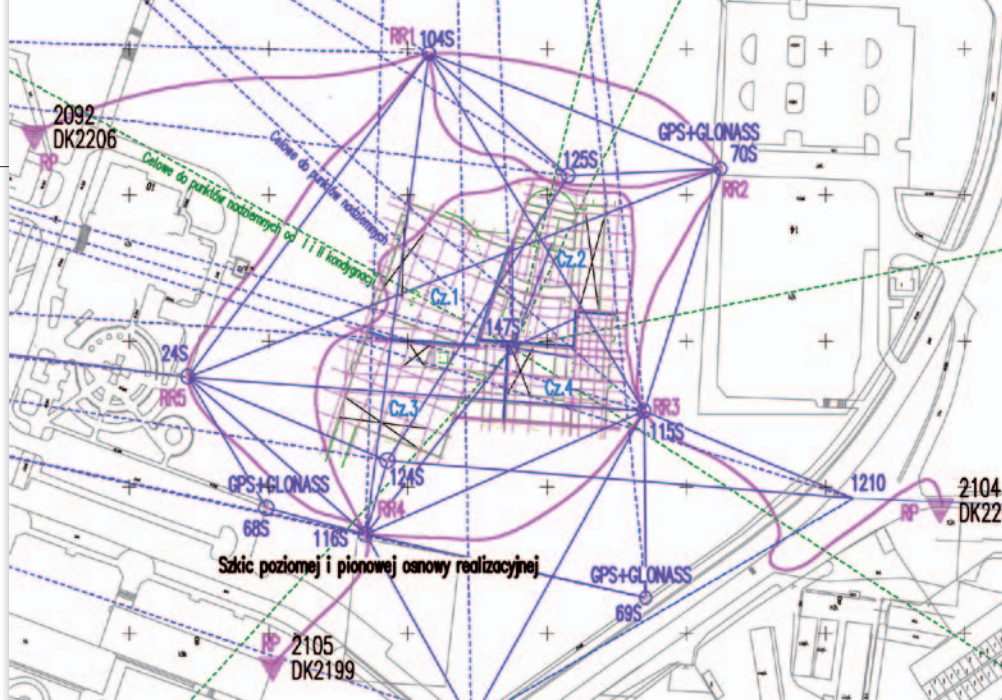
W literaturze [np. w 2, 3, 4] można zapoznać się m.in. z propozycją stosowania **nieregularnej** osnowy wewnętrznej o stanowiskach P i Q wyznaczonych za pomocą wcięć kątowno-liniowych (lub wcięć wstecz) do punktów usytuowanych wokół budynku w tym samym ukła-

dzie, w którym określone jest położenie osi konstrukcyjnych, a więc w układzie lokalnym każdego budynku z osobna. Nieregularną osnową wewnętrzną będzie też osnowa wyznaczona za pomocą techniki GPS [4]. Jak podaje prof. Jan Gocał, dokładność wytyczonych punktów bazowych metodą statyczną może wynieść 2-3 mm, a metodą kinematyczną (RTK – *Real Time Kinematic*) 5 mm. O możliwości stosowania wewnętrznej nieregularnej osnowy do wyznaczania wskaźników konstrukcyjnych mówi też Polska Norma PN-ISO 7976-1 [7].

Po analizie dokumentacji i po zapoznaniu się z harmonogramem prac, który przewidywał równoległe prace budowlane wykonywane przez różne brygady na czterech częściach budynku, stało się oczywiste, że zadaniu będzie można podołać tylko przy zastosowaniu wewnętrznej osnowy budowlano-montażowej materializowanej w postaci stanowisk swobodnych (*free station*) i opartej na osnowie realizacyjnej wyrównanej MNK w układzie państwowym 2000 [5, 7 i 10]. Błędy średnie wyrównanych punktów osnowy realizacyjnej wyniosły od 5 do 7 mm, a błędy średnie punktów osnowy montażowej wewnętrznej na poszczególnych kondygnacjach od 1 do 4 mm. Na rys. 3 uwidocznił się punkt 147S, najważniejszy ze wszystkich ($m_p = 0,001$ mm), z którego wytyczono tzw. marki do zamontowania nośnych elementów dachu (z drewna klejonego) i śrub do zamontowania kratownicy, bardzo ważnego elementu nośnego o obrębie Auli Głównej.

W początkowej fazie budowy (do stanu zerowego) dostępne były wszystkie punkty (10) zastabilizowane dookoła budynku na poziomie terenu oraz 5 punktów państwowych nadziemnych. Wraz z budową poszczególnych części i kolejnych kondygnacji zmniejszała się dostępność punktów naziemnych, a zwiększała liczba punktów nadziemnych. W ostatniej fazie, na IV i V kondygnacji, do wyrównania wolnych stanowisk wchodziły po 2 punkty naziemne i po 11 punktów nadziemnych II i III klasy na wieżach kościelnych i wysokich budynkach.

Warto odnotować, że wyrównana na początku osnowa realizacyjna była sprawdzona pod względem faktycznej dokładności punktów nawiązania poprzez ich diagnozowanie polegające na wyłączeniu każdego z nich jako punktu nawiązania i potraktowaniu jako punkt wyrównywany. Z kolei przy włączaniu każdego nowego punktu nadziemnego obserwowano jego wpływ na dokładność



Rys. 3. Szkic pionowej i poziomej osnowy realizacyjnej

obliczonego stanowiska swobodnego. Zdarzyło się, że kąty i kierunki mierzone do jednego z nich użyte do wyrównania zwiększały błąd średni nowego punktu. Taki punkt naziemny był pomijany w późniejszych pomiarach. Reasumując, do wyrównań kolejnych punktów osnowy montażowej były brane tylko te nowe punkty naziemne, do których obserwacje nie zmniejszały dokładności punktu wyrównywanego.

• WPŁYW ZNIEKSZTAŁCENÍ ODWZOROWAWCZYCH I REDUKCJI ODLEGŁOŚCI NA OSNOWY

Generalna zasada mówi, że osnowa realizacyjna powinna być obliczona w takim układzie współrzędnych, w jakim jest sporządzona mapa do celów projektowych. I tę zasadę potwierdza zapis w [5] § 7. Musimy jednak pamiętać o zniekształceniach odwzorowawczych, które w układzie 2000 wynoszą od -77 mm/km w środku trzystopniowego pasa do +70 mm/km na styku stref. Należy więc zadać sobie pytanie, czy wyrównana w tym układzie osnowa realizacyjna może być punktem wyjścia do wyznaczania osnowy budowlano-montażowej w postaci stanowisk swobodnych dla poszczególnych budynków, zwłaszcza wielokondygnacyjnych i o dużej powierzchni zabudowy. Zdaniem autora tak, pod warunkiem że system mapy numerycznej zawiera możliwość uwzględnienia redukcji odwzorowawczych i na poziom morza przy obliczaniu długości ze współrzędnych.

Po wykonaniu obliczeń okazało się, że elementarne zniekształcenie σ na planie budowy Regionalnego Centrum Politechniki Rzeszowskiej wynosi -1,6 cm/km (1,6 mm/100 m), a wpływ redukcji na

poziom morza przy średniej wysokości budowy 210 m wynosi 3,3 mm/100 m. Te stosunkowo niewielkie wartości są jednak istotne, jeżeli uświadomimy sobie, że dylatacje pomiędzy poszczególnymi częściami wynoszą po 20 mm. Można się było od tych zniekształceń uwolnić przy obliczaniu odległości do wytyczeń wskaźników konstrukcyjnych metodą biegunową poprzez włączenie w systemie C-GEO opcji uwzględniającej te redukcje.

Na zakończenie należy podkreślić, że niezależnie od tego, czy osnowa realizacyjna jest w układzie lokalnym, czy w układzie 2000, należy zainwentaryzować ściany piwnic, aby wykonać stosowne obliczenia w celu wirtualnego wpasowania osi w zrealizowany stan zerowy.

• GEODETA NA TABLICY INFORMACYJNEJ

Przed rozpoczęciem prac na budowie Regionalnego Centrum Politechniki Rzeszowskiej autor miał na koncie sporo zrealizowanych budynków, w tym na kontraktach zagranicznych. Po raz pierwszy jednak poczuł brzemień odpowiedzialności. I po raz pierwszy dobitnie uzmysłowił sobie, że geodeci to naprawdę formacja liniowa, za którą dopiero idą brygady budowlane. Dlatego nasze władze geodezyjne wspomagane stowarzyszeniowymi powinny podjąć próby usankcjonowania przez branżę budowlaną przepisu o tym, aby na tablicy informacyjnej budowy był wpis o geodezyjnym podwykonawcy. **I niech to będzie jedyny i podstawowy wniosek tego artykułu.** Jego zrealizowanie wymagać będzie jednak stosownej świadomości u decydentów w branży budowlano-architektonicznej. A z tym jest różnie, bo często słyży się o marginalizowaniu geodezji na niektórych wydziałach

budownictwa, architektury czy inżynierii środowiska.

Autor postanowił jednak tę świadomość kształtować, proponując publikacje z zakresu geodezji w czasopiśmie technicznych z branży budowlanej (można się z nimi zapoznać na stronie Katedry Geodezji Politechniki Rzeszowskiej www.prz.edu.pl/wbiis/kg – zakładka Publikacje). Teksty te zwróciły uwagę Podkarpackiej Okręgowej Izby Inżynierów Budownictwa i w lutym 2009 roku zostały zrealizowane szkolenia (w Dębicy, Jarosławiu, Tarnobrzegu, Krośnie i Rzeszowie) dla członków Izby nt. „Współczesna geodezja w budowlanym procesie inwestycyjnym”.

Bez wątpienia na podniesienie świadomości, ale tym razem obopólnej, bo budowlawców i geodetów, wpłynęła też BGPS – Budowlano-Geodezyjny Projekt Szkoleniowy zainicjowany przez dr Izabelę Skrzypczak i inż. Wandę Kokoszki z Katedry Geodezji [GEODETA 7/2011].

JERZY GAJDEK

(st. wykładowca w Katedrze Geodezji im. Kaspra Weigla Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska Politechniki Rzeszowskiej)

LITERATURA :

- [1] Gajdek J., Wyznaczanie wskaźników konstrukcyjnych metodą wycieczania, PG 4/1976;
- [2] Geodezja Inżynierska t. I, Praca zbiorowa, PPWK Warszawa - Wrocław 1990;
- [3] Gil J., Pomiary geodezyjne w praktyce geodezyjnej, Uniwersytet Zielonogórski, Zielona Góra 2005;
- [4] Gocał J., Geodezja inżyniersko-przemysłowa cz. II., Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków 2005;
- [5] Instrukcja Techniczna G-3 Geodezyjna obsługa inwestycji, GUGiK, Warszawa 1988;
- [6] Instrukcja wewnętrzna GB-1 Geodezyjna obsługa budowy i montażu obiektów budownictwa ogólnego wznoszonych metodami uprzedmiotowymi, GEOPROJEKT, Warszawa 1976;
- [7] Polska norma PN-ISO 7976-1 Tolerancje w budownictwie, grudzień 1994, PKN;
- [8] Polska norma PN-N-99310 Geodezja - Pomiary realizacyjne - terminologia, sierpień 2000, PKN;
- [9] Polska norma PN-ISO 17123-2:2005, Terenowe procedury testowania niwelatorów, PKN;
- [10] Wytyczne techniczne G-3.1 Osnowy realizacyjne, GUGiK, Warszawa 1987;
- [11] Wytyczne Techniczne G-3.1 2007 Pomiary i opracowania realizacyjne GUGiK, Warszawa 2007;
- [12] Wyczałek E. i l., Geodezyjne pomiary inżynierskie, Wydawnictwo Akademii Rolniczej, Poznań 2005.