

Kod QR zamiast osnowy

O postępie i aktualnych problemach w geodezji inżynierskiej oraz poświęconej temu niedawno konferencji mówi dr hab. inż. MAREK WOŹNIAK, prof. PW z Zakładu Geodezji Inżynierskiej i Systemów Pomiarowych WGiK PW

Kody QR naklejone na jeden z wiaduktów Południowej Obwodnicy Warszawy, badania w latach 2019-2020

DAMIAN CZEKAJ: Hasło tegorocznej konferencji to „Kierunki rozwoju geodezyjnych pomiarów inżynierskich”. Jak to kierunki?

MAREK WOŹNIAK: Na pierwszym miejscu wskazałbym tendencję łączenia obserwacji geometrycznych, takich jak długości i kąty, z obserwacjami często całkowicie odmiennymi pod względem fizyki ich powstawania. Mogą to być np. obrazy rejestrowane kamerami cyfrowymi, obserwacje z kamer termalnych czy też inne elementy fizyczne wiązki pomiarowej, jak choćby intensywność odbicia stosowana w skaningu laserowym lub struktura barwowa. Do łączenia treści pozyskiwanych przez różne narzędzia wykorzystywany jest cały wachlarz technik. Takie działania nie należą do prostych, wystarczy spojrzeć chociażby na tzw. kombajny pomiarowe składające się z kamer, skanerów, urządzeń inercyjnych, odbiorników GNSS, inklinometrów. Przecież te instrumenty nie znajdują się w jednym punkcie. Do integracji danych w jedną strukturę konieczne są zatem zaawansowane techniki transformacyjne. Tematem tym zajmuje się obecnie wielu badaczy. Mimo pewnych trudności łączenie różnorodnych obserwacji jest bardzo korzystne, ponieważ zdecydowanie podnosi niezawodność

wodność uzyskiwanych wyników końcowych. Pewne błędy systematyczne, które tkwią w każdej technologii, ujawniają się dopiero przy opracowaniu danych z wynikami z innych technik.

Druga tendencja to coraz częstsze używanie narzędzi, które do tej pory uznawano za nienadające się do precyzyjnych opracowań geodezyjnych. Mam tu na myśli np. niemetryczne kamery cyfrowe. W czasach, kiedy byłem studentem, uczono nas, jak unikać pewnych błędów układów optycznych, jak doko-

nywać szczegółowych analiz błędności obiektywu. Kładziono niesamowity nacisk na metryczność układu pomiarowego. Dbano o to, żeby jednostka pomiarowa była perfekcyjna, wszelkie błędy usuwano poprzez rektyfikację. Teraz mamy zupełnie inne podejście. Przeciętny użytkownik nie wykonuje już tradycyjnej rektyfikacji, nie kręci śrubkami, żeby poprawić krzyż kresek albo libellę. Po prostu realizuje obserwacje według określonego programu i zatwierdza występujące efekty. Rozwiązaniem są czynności zastępcze w postaci cyfrowego przetwarzania i usuwania niedoskonałości w sposób numeryczny. Oczywiście te zabiegi nie są doskonałe, bo zakładają pewną liniowość deformacji, a to nie zawsze jest prawda. Mimo to ułatwiają życie i zapewniają dokładności, które w praktyce są wystarczające.

A drony? Czy są przyszłością geodezji inżynierskiej?

Zdecydowanie tak, ale traktuję je jedynie jako nośnik fotogrametrii niemetrycznej lub skanerów. Drony pozwalają zaglądać w miejsca wcześniej trudno dostępne. To narzędzia stosunkowo tanie i nawet wyposażone w średniej jakości kamerę niemetryczną, której błędy można wyznaczyć i uwzględnić, mogą być wykorzystywane w geodezji inżynierskiej.

● Konferencje z cyklu „Aktualne problemy w geodezji inżynierskiej” to spotkania środowiska geodetów specjalizujących się w zagadnieniach z obszaru geodezji inżynierskiej. Poświęcone są prezentacji i dyskusji nt. nowych rozwiązań naukowo-technicznych z zakresu pomiarów inżynierskich, pomiarów przemieszczeń oraz analizy deformacji. Tegoroczna, XV już edycja (27-28 maja) odbyła się w formie zdalnej pod hasłem „Kierunki rozwoju geodezyjnych pomiarów inżynierskich”. Stanowiła ona część obchodów 100-lecia Wydziału Geodezji i Kartografii Politechniki Warszawskiej, który był organizatorem wydarzenia. Przewodniczącym Komitetu Naukowego konferencji był dr hab. inż. Marek Woźniak, prof. PW.

ryjnej. Oczywiście pewne wymagania jakościowe muszą być spełnione. Optyka kamery musi być stabilna w czasie, odpowiedniej jakości. Dyskwalifikujące dla obiektywu są te wady optyczne, których nie da się później skorygować analitycznie.

Techniki wizyjne coraz chętniej wykorzystuje tradycyjna geodezja np. do monitorowania przemieszczeń. Ich zaletą jest nieinwazyjność. Kiedyś, aby pomierzyć zapórę, najpierw w teren trzeba było wysłać człowieka, na ogół alpinistę, żeby na ścianie zastabilizował odpowiednie znaki pomiarowe. Dzięki technikom wizyjnym możemy tego uniknąć.

Od lat jest pan związany z geodezją inżyniersko-przemysłową, ale sporo już w naszej rozmowie fotogrametrii.

Nie planowałem pracować w GIP-ie, ale tak wyszło. Na studiach na WGiK PW wybrałem jako specjalność fotogrametrię. Już na IV roku realizowałem indywidualny program studiów, a moim opiekunem był doktor Leonard Pęczek, typowy analityk i fotogrametra. W tym czasie m.in. razem z nim i doktor Irmą Laudyn, specjalistką w zakresie przemieszczeń, zajmowaliśmy się zastosowaniem fotogrametrii właśnie w pomiarach przemieszczeń. Pracę magisterską wykonywałem razem z Jankiem Malinowskim pod kierunkiem prof. Andrzeja Majdego i dotyczyła ona zastosowania metod fotogrametrycznych w zadaniach geodezji inżynierskiej. Stąd moje dalsze zainteresowania w tym obszarze geodezji.

Ścisłe związany z fotogrametrią jest też system MarQR, o którym mówił pan na konferencji.

Problem pomiaru zmian w obrębie niewielkich przestrzeni od dawna był przedmiotem zainteresowania fotogrametrii. Wcześniej ograniczano się jednak głównie do fotogrametrii jednoobrazowej, często przy naświetleniu wielokrotnym tego samego materiału. Dopiero komputeryzacja przyniosła nowe narzędzia rejestracji i przetwarzania obrazów. Rozważania współczesnej fotogrametrii bazują na tzw. metodzie niezależnych wiązek. Aby prowadzić takie analizy w sposób w pełni poprawny, konieczne jest posiadanie pełnej kontroli nad sposobem przetwarzania danych pomiarowych. W tym celu od lat tworzyłem programy komputerowe, zdając sobie sprawę z korzyści, jakie niosą. Przy większych zadaniach współpracowałem z informatykami, doceniając ich przewagę w tym zakresie.

Aktualnie mogę korzystać z pomocy syna Krzysztofa, który jest informatykiem. Podczas realizacji grantu na PW związanego z zastosowaniem zdjęć cyf-



MAREK WOŹNIAK urodził się 22 stycznia 1951 r. w Poznaniu, gdzie w 1970 r. ukończył Technikum Geodezyjno-Drogowe. Naukę kontynuował na Wydziale Geodezji i Kartografii PW (1970-1975). W 1976 r. rozpoczął pracę dydaktyczną i naukowo-badawczą w Zespole Geodezji Inżynierskiej i Miejskiej WGiK PW. Tutaj przygotował rozprawę doktorską pt. „Metody testowania dalmierzy elektrooptycznych” (1985). Karierę zawodową związał z rozwojem technik pomiarowych z zakresu geodezji inżynierskiej, monitorowaniem przemieszczeń i automatyzacją procesów obliczeniowych. Brał udział w licznych kampaniach pomiarowych, opracował szereg projektów koncepcyjnych i wdrożył wiele programów wspomagających prace geodetów. W 2013 r. uzyskał stopień doktora habilitowanego na podstawie pracy pt. „Doskonalenie metodyki pomiarów i konstruowania systemów z zakresu geodezyjnego monitorowania przemieszczeń”. Obecnie zatrudniony jest na stanowisku profesora uczelni w Zakładzie Geodezji Inżynierskiej i Systemów Pomiarowych WGiK PW.

rowych do wyznaczania przemieszczeń konstrukcji świetlika w Dużej Auli Gmachu Głównego zastosowaliśmy algorytmy *cross-correlation* oraz *mutual information* do analizy zgodności obrazów.

Efekty dokładnościowe były bardzo dobre i pozwalały wyznaczać zmiany dowolnych wybranych obszarów konstrukcji z dokładnościami 0,1 piksela bez żadnej stabilizacji punktów kontrolnych. Całość mechanizmu przetwarzania danych została zaimplementowana w środowisku MatLab. Wielkości wyznaczonych przemieszczeń odnosiły się do płaszczyzny tłowej, co stanowiło pewne ograniczenie. Wiele zdjęć wykonanych z różnych kierunków pozwala natomiast osiągnąć efekt przestrzenny. Aby jednak takie zadanie dawało metryczny efekt przestrzenny, w rozwiązaniach fotogrametrycznych stosuje się odpowiednią ośnowę. Postanowiliśmy wykorzystać do tego celu znaczniki w postaci kodów QR, które mają swoją geometrię jednoznacznie określoną, a w ich treść można wpisać dodatkowe informacje – np. numer, miejsce umieszczenia. Stąd nazwa systemu – MarQR. Sposób odwzorowania geometrii kodu QR na zdjęciu pozwala m.in. określić położenie aparatu fotograficznego. Jeśli zaś na jednym zdjęciu znajdą się dwa kody QR, bez trudu wyznaczymy przestrzenny wektor między nimi, a także trzy kąty orientacji względem siebie. Przeprowadziliśmy więc eksperyment – wykonaliśmy z różnych miejsc ponad 200 zdjęć dla tych samych dwóch znaczników QR i porównaliśmy wyniki dla wszystkich ponad 20 tys. par zdjęć.

Otrzymaliśmy odchylenie standardowe zmian dX , dY , dZ na poziomie $\pm 0,02$ mm.

Taki wynik nie mógł przejść bez echa!

O systemie MarQR mówiłem już na XIV KNT w 2019 r. w Chęcinach i po prezentacji odbyłem szereg rozmów z zainteresowanymi przedstawicielami firm wykonawczych. Ponadto, aby zweryfikować system, wykonałem kilka instalacji w tunelach Metra Warszawskiego, na zaporze Elektrowni Dębe oraz na wiadukcie Południowej Obwodnicy Warszawy. Wyniki były porównywane ze wskazaniami ekstensometrów elektronicznych, potwierdziły się wysokie zgodności odpowiednich wielkości.

Jedną z zalet proponowanego rozwiązania jest to, że znaki QR mogą być umieszczone w dowolny sposób względem siebie. Każdy z nich może być w innej płaszczyźnie, np. jeden na belce, a drugi na filarze. W przypadku ekstensometrów byłoby to niemożliwe.

Firma Geoalpin, z którą przygotowałem tegoroczną prezentację, wykonywała rejestrację kilkudziesięciu punktów na szczelinach dyatacyjnych w metrze. Dostali QR kody na szklanych płytkach, przytwierdzili klejem do ściany i nie musieli nic podkuwać do montażu, który trwał dosłownie parę sekund. Ponadto, co sobie chwalą, QR kody dostarczają dużo więcej informacji niż ekstensometry, bo wartości współrzędnych X , Y , Z oraz 3 kątów orientujących. Przed wykonaniem zdjęć dla poszczególnych cykli musieli tylko wykonać serię fotografii do kalibracji kamery, a dalej – przysyłać zdjęcia na nasz serwer. Al-



Badanie dylatacji w warszawskim metrze z wykorzystaniem kodów QR w miejscu przecinania się I linii z Południową Obwodnicą Warszawy, lata 2019-2020

gorytm systemu MarQR sam przetwarza zdjęcia i w odpowiedzi wysyła plik CSV z wszystkimi przemieszczeniami i wykresami. Proces jest więc mocno zautomatyzowany i prosty dla użytkownika. Cały czas trwają rozmowy z potencjalnymi użytkownikami, ale to na razie wszystko.

Ciężko przekonać biznes do nowinek?

Różnie z tym bywa. Firma NeoStrain przez moment była bardzo zainteresowana, podobnie firma Keler oraz inne. Wydaje mi się, że barierą jest technologia prowadzenia odczytów wyników. Nadal łatwiej jest zainstalować prymitywny przyrząd analogowy działający z niewielką dokładnością, który może być obserwowany przez każdego majstra na budowie. Tylko że informuje on jedynie o zmianie jednej wielkości, często nieadekwatnej do kierunku ruchu. Nie zauważa się potrzeby kontroli ruchu w przestrzeni.

Moje rozmowy z przedstawicielami Instytutu Badawczego Dróg i Mostów, Instytutu Techniki Budowlanej, GDDKiA wskazują na brak wiedzy w tych środowiskach na temat możliwości geodezji inżynierskiej w monitorowaniu przemieszczeń. Na jednej z odpraw budowlanych omawiano projekt lokalizacji szczelinomierzy prostopadle do kierunku szczeliny. Na moje pytanie, dlaczego tak, dostałem odpowiedź, że tak się przyjęło. Ale czy taki jest ruch? Na to pytanie wszyscy zamilkli. Konstruktor (autor projektu) w końcu powiedział, że raczej nie. A zatem mie-

rzy się w kierunku, który wcale nie jest maksymalnym kierunkiem zmian. W przypadku kodu QR tego problemu by w ogóle nie było, gdyż mamy wyznaczony ruch w przestrzeni 3D.

A jak pan ocenia sytuację geodezji inżynierskiej w Polsce?

Na pewno jest lepiej niż jeszcze kilka lat temu. Jest sporo pracy. Bardzo silnie ruszyła mieszkaniówka, autostrady i drogi szybkiego ruchu. W wielu przypadkach są to jednak drobne prace. Jest trochę monitorowania, więcej niż kiedyś, ale wciąż brakuje systemowego monitorowania obiektów wysokiego ryzyka: zapór, budynków wysokich, wiaduktów czy mostów itp. Weźmy chociażby most Świętokrzyski w Warszawie. Od czasu wybudowania w 2000 r. nie przeprowadzono na nim żadnego badania przemieszczeń. A według wytycznych, które przekazał mi prof. Piotr Olszkek z Instytutu Badawczego Dróg i Mostów, każdy most powinien być monitorowany przynajmniej raz na 5 lat. W Polsce żaden most nie jest poddawany permanentnej kontroli. Zdarzają się eksperymenty na zasadzie, że ktoś powiesi antenę GNSS na 3 dni i wykonuje pomiary, ale to nie wystarczy.

Jak byłem wiele lat temu z kolegą Markiem Ziemakiem z TPI z wizytą techniczno-handlową w firmie Smartech w Szwajcarii, to jeden dzień poświęciliśmy na objazd m.in. kilkunastu obiektów mostowych. Gdziekolwiek pojechaliśmy, na każdym moście były instalacje monitorujące. Szwajca-

rzy powiedzieli nam też, że około 5% kosztów budowy obiektu przeznaczane jest na instalację monitorującą.

W ostatnich latach w Warszawie w związku z budową II linii metra, POW oraz szeregu budów w głębokich wykopach trochę ruszył monitoring geodezyjny, ale nie zawsze jest robiony tak, jak trzeba. Projekty monitorowania przemieszczeń wykonują osoby nieprzygotowane do tego zadania. Często określa się wytyczne dotyczące liczby i rodzaju urządzeń oraz miejsca ich montażu, zamiast mówiących tylko, jaki parametr geometryczny ma być kontrolowany. Takie podejście utrudnia poprawne zrealizowanie zadania przez geodetę. Zdecydowanie współpraca między konstruktorem budowlanym a geodetą wymaga poprawy.

Jak radzi sobie geodezja inżynierska na WGiK?

Przez wielu lat prowadziliśmy monitoring przemieszczeń zapór w Rybniku, Żar-Porąbce, Żarnowcu, Wiórach, Mietkowie i Włocławku. Ponadto zgłaszają się do nas firmy w sprawie monitoringu jakichś bardziej złożonych obiektów. Na przykład z firmą Indorama Ventures Poland współpracujemy w zakresie badań przemieszczeń oraz drgań reaktora chemicznego już od kilkunastu lat, od momentu katastrofy budowlanej.

Niemalże od samego początku nasz zakład związany jest z budową metra w Warszawie. Współpracę rozpoczęli jeszcze prof. Tadeusz Lazzarini oraz prof. Janusz Martusewicz, a z czasem również ja dołączyłem do tego zespołu. Stworzyłem dla tej inwestycji kompletne oprogramowanie wspomagające pracę geodetów, programy do wyrównania sieci geodezyjnych, wyznaczania przemieszczeń itd. Wykonywałem ekspertyzy, projekty systemów monitorowania przemieszczeń, projekty osnów podstawowych, realizacyjnych. Zakładaliśmy również dla I linii metra sieć do monitorowania przemieszczeń pionowych. Brałmy udział w szeregu prac związanych z pomiarami przemysłowymi i monitorującymi dla wielu obiektów budowlanych.

Drugi obszar działalności WGiK w zakresie geodezji inżynierskiej wiąże się z fotogrametrią i skanowaniem laserowym. Ostatnio mieliśmy okazję skanować komory turbin Kaplana w elektrowni Dębe. Była to niezwykle ciekawa i unikatowa praca w trudnych warun-

kach, wymagająca od wykonawców wyjątkowej sprawności fizycznej. Do bardziej kłopotliwych zadań należało założenie osnowy łączącej różne przestrzenie komór turbiny.

Ponadto jesteśmy jednym z niewielu zakładów, w którym wszystkie wykorzystywane w praktyce programy – do tworzenia i edycji mapy wektorowej, wyrównania sieci geodezyjnych, obliczeń realizacyjnych czy zdalnego sterowania instrumentami geodezyjnymi – stworzyli pracownicy, a także studenci naszego wydziału. Część powstała we współpracy z informatykami z Wydziału Elektroniki i Technik Informatycznych PW.

Na koniec wróćmy jeszcze do konferencji. Który referat najbardziej się panu podobał?

Chyba najbardziej podobało mi się wystąpienie prof. Romana Kadaja pt. „Wykrywanie i lokalizacja defektów konfiguracji oraz tzw. odstających obserwacji w sieciach geodezyjnych”. Profesor nie odkrył może żadnych nowych zjawisk, ale umiejętnie uporządkował pewne sprawy. Uważam, że konferencja powinna nie tylko zawierać jakieś trudne i bardzo ambitne zagadnienia, które są dobrze rozumiane przez kilku słuchaczy. Powinna też mieć charakter dy-

daktyczny, wykładowy, porządkujący. Poza tym nie jest obojętne, w jaki sposób przedstawiany jest temat. Wystąpienie profesora Kadaja było klarowne, podane w sposób przystępny dla słuchacza. Dlatego właśnie wyróżniłbym jego referat.

I edycja konferencji odbyła się 28 lat temu. Dla geodezji inżynierskiej to zapewne cała epoka.

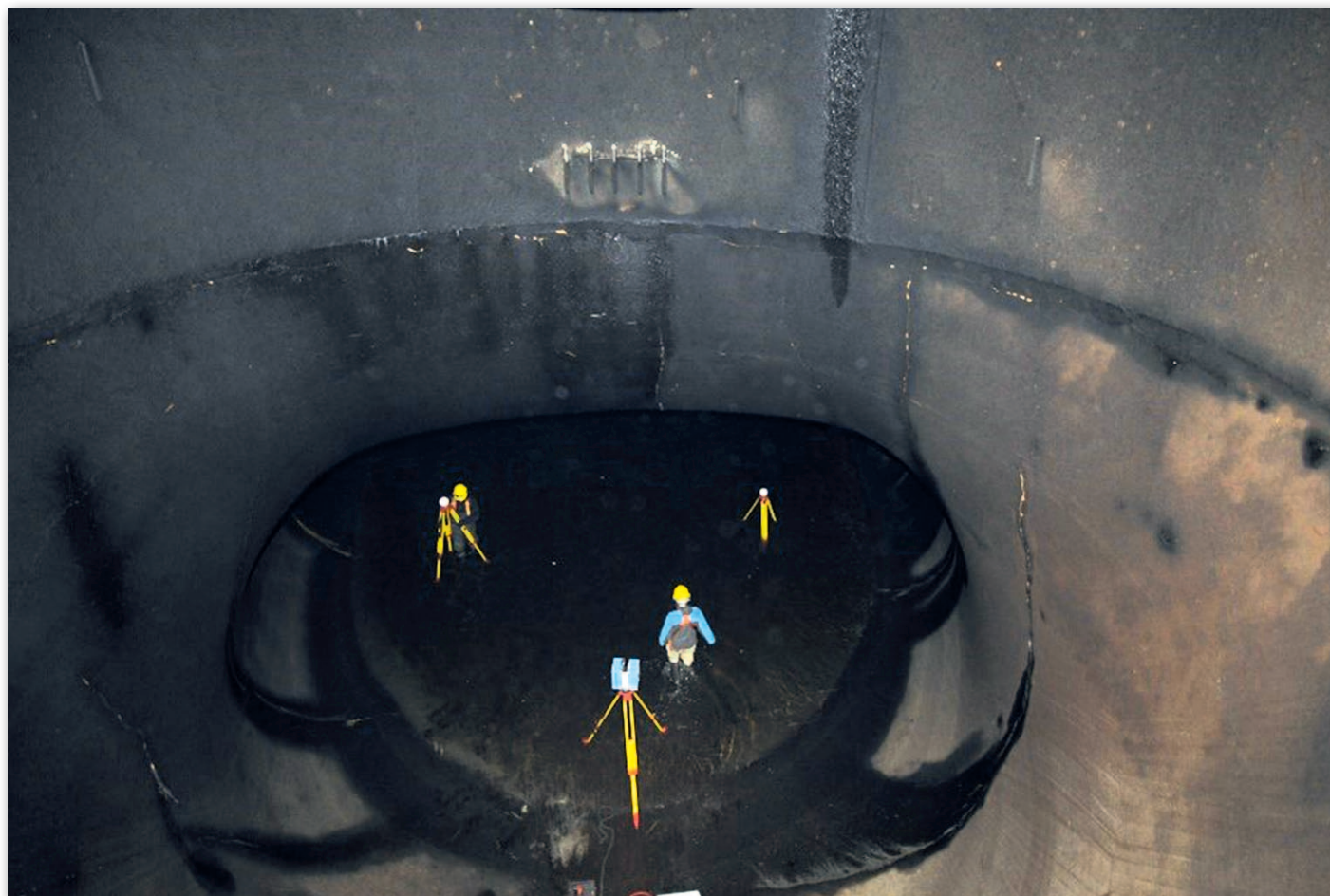
Zacznę od tego, że hasło przewodnie pierwszych konferencji brzmiało „Problemy automatyzacji w geodezji inżynierskiej”. Inicjatorem tych spotkań był prof. Stanisław Pachuta, który mocno angażował się w sprawy pomiarów z wykorzystaniem laserów. Wtedy, przed epoką powszechnej komputeryzacji, powstawało dużo różnych urządzeń czy modyfikacji instrumentów, których celem była automatyzacja procesu pomiarowego. Za tymi wynalazkami stali pojedynczy ludzie. Sam opracowałem kiedyś okular laserowy na całkiem dobrym poziomie. Ale to były inne czasy. Teraz nie ma co mierzyć się z komercyjnymi producentami. Rozmawiałem kiedyś z prof. Krzysztofem Holejko, który lata temu zaangażował się w produkcję pierwszych dalmierzy optoelektronicznych w Polsce. Powiedział mi, że stracił wiele czasu

na tworzenie czegoś, w czym i tak nie mógł dorównać firmie Zeiss czy Wild. Sam ścigał się z tysiącami projektantów i elektroników. Niestety, ale raczej nie jesteśmy w stanie stworzyć konkurencyjnych instrumentów. Co innego oprogramowanie, które nie wymaga tytułu nakładów, i dlatego sam poszedłem w tym kierunku, tworząc – we współpracy z profesjonalnymi informatykami – wiele programów użytkowych.

Geodezja inżynierska bardzo zmieniła się przez te lata, tylko działa się to stopniowo. Czasami zapominam wręcz, jak wielki jest postęp w naszej dziedzinie. Wystarczy powiedzieć, że 30 lat temu po dwa komputery PC XT i AT dla geodetów pracujących na budowie metra pojechała cała delegacja, takie to było wydarzenie.

Podobnie wielkie zmiany dotyczyły również i innych specjalności naszego wydziału. Mimo tych wielu zmian na WGiK PW specjalność geodezja inżyniersko-przemysłowa zawsze radziła sobie bardzo dobrze, nigdy nie brakowało chętnych do studiowania na naszym kierunku. Mam nadzieję, że będziemy się nadal rozwijać i spełniać oczekiwania gospodarki narodowej.

Rozmawiał Damian Czekaj



Skanowanie komory turbin Kaplana w elektrowni Dębe