



Rozmowy pod patronatem dziekan prof. Aliny Maciejewskiej z okazji zbliżających się rocznic 100-lecia odnowienia tradycji Politechniki Warszawskiej oraz 95-lecia Wydziału Geodezji i Kartografii

Witold Prószyński: Geodeta z intuicją matematyczną

GEODETA: Czy niezawodność i odporność sieci to pojęcia tożsame?

WITOLD PRÓSZYŃSKI: Pojęcie „niezawodność sieci” pojawiło się w drugiej połowie XX wieku wraz z inspirującymi, pionierskimi opracowaniami profesora Willema Baardy z Uniwersytetu Delft w Holandii. Dzięki ogólności podejścia jego teoria miała i ma obecnie odniesienie także do szerszego niż sieć pojęcia „układ obserwacyjny”. W styku z innymi dyscyplinami technicznymi operującymi terminem „niezawodność” (np. budowa maszyn, budowa pojazdów) okazało się, że wprowadzona w geodezji nazwa „niezawodność” nie odpowiada znaczeniu przyjętemu w tychże dyscyplinach. Pojawił się więc pogląd, że zamiast o niezawodności sieci powinno się w geodezji

mówić o odporności sieci, i to odporności na błędy grube w obserwacjach. Pomijając kwestię poprawności terminologii, na podstawie literatury międzynarodowej i krajowej można zauważyć, że teoria odporności sieci na błędy grube podlega ustawicznemu rozwojowi, co przynosi korzyści nie tylko w sferze nauki, ale także w zastosowaniach praktycznych. Nie trzeba nikogo przekonywać, że ma ona bardzo duże znaczenie w geodezji inżynierskiej. Na przykład w monitorowaniu przemieszczeń obiektów wysokiego ryzyka niewykryte błędy w materiale obserwacyjnym będą zaburzały (tj. zniekształcały) wyniki estymacji, czyli składowe wektorów przemieszczeń.

Początkowo zajmowałem się zagadnieniami dokładności, właściwie to i roz-

prawa doktorska, i habilitacyjna były im poświęcone. Od połowy lat 90. przerzuciłem się na problematykę odporności sieci na błędy grube. Na wykładach zwracam studentom szczególną uwagę na rozdział „Teoria niezawodności jako wsparcie metodyki projektowania pomiarów inżynierskich” podręcznika, który napisaliśmy wspólnie z prof. Mieczysławem Kwaśniam. Chodzi o to, że teoria ma pewne swoje prawa, reguły i własności wywiezione na gruncie czysto matematycznym, ale ma też konkretne zastosowania w praktyce. Powinna pomagać w projektowaniu układów obserwacyjnych, tak by błędy grube w obserwacjach można było łatwo wykrywać, stosując rutynowe metody diagnostyczne. Trochę się dziwię, że nie znajduje to jeszcze odbicia w instrukcjach technicznych z zakresu geodezyjnych pomiarów inżynierskich.

Czy to jest jakaś bardzo złożona wiedza?

Skądże, to są naprawdę proste kryteria. Studenci nieraz mnie pytają, dlaczego nie są one rozpowszechniane. Jeśli błąd średni pomiaru (albo mówiąc inaczej – odchylenie standardowe) wyniesie 2,8 mm zamiast 2,5 mm, to skutki nie będą zbyt wyraziste. Jeżeli natomiast sieć czy układ obserwacyjny będą tak ukształtowane w projekcie, że nie uda się nam wykryć błędów grubych, to oddamy wadliwie wykonaną pracę. Przy czym najgorsze jest to, że mając poprawne wyniki testów statystycznych, będziemy

Witold Prószyński urodził się w 1942 r. w Warszawie. W 1963 r. uzyskał na WGiK PW tytuł mgr. inż. geodety o specjalności geodezja inżyniersko-przemysłowa, a w 1969 r. na Wydziale Inżynierii Budowlanej PW tytuł inż. budownictwa. Zatrudniony w 1964 r. w Katedrze Geodezji Inżyniersko-Przemysłowej przeszedł tam wszystkie szczeble kariery. W 1973 r. uzyskał stopień naukowy doktora nauk technicznych, w 1980 r. doktora habilitowanego, a w 1993 r. tytuł profesora. Pełnił funkcję prodziekana ds. nauki (1996-2001) oraz dziekana WGiK (2002-05 i 2008-12). Pracował w Geoprojekcie (1971-80). W ramach współpracy z WPG S.A. uczestniczył jako konsultant m.in. w obsłudze geodezyjnej budowy mostów podwieszanych w Warszawie i Gdańsku. Obecnie koncentruje się na zagadnieniach odporności układów obserwacyjnych na błędy grube.

przekonani, że wszystko jest w porządku. Na domiar złego można wykazać, że w każdym układzie obserwacyjnym istnieje przestrzeń tzw. zaburzeń niedostrzegalnych, tj. wektorów zaburzeń, czyli wektorów błędów grubych, które wprowadzone do układu w ogóle nie zmieniają wartości poprawek wyrównawczych, na bazie których wyliczane są statystyki testów.

Ale zmieniają wynik...

Oczywiście, że zmieniają wynik. Otrzymujemy bowiem zniekształcone wartości parametrów (np. rzędnych reperów bądź przemieszczeń reperów). Szczególnie podatne na występowanie błędów niedostrzegalnych są sieci niwelacyjne. Na czym to polega? Byłem jakiś czas temu w terenie, gdzie geodeta w celu wyznaczenia przemieszczeń zaprojektował obwodnicę składającą się z dwudziestu kilku przeseł, czyli ciągów niwelacyjnych. Było to bardzo ryzykowne z uwagi na możliwość kompensowania się błędów grubych zacierającego ich występowanie w pomiarze.

W celu wyjaśnienia tej kwestii można zrobić taki eksperyment: dodać do wyników poprawnego pomiaru gdziekolwiek w obwodnicy 5 mm i gdziekolwiek odjąć 5 mm. Błędy te zbilansują się, nie zmieniając odchyłki niezamknięcia. Można też pójść dalej: kolejno w każdym ciągu dopisywać jakikolwiek błąd gruby, a przed zapisaniem zamykającego ogniw sumę wstawionych błędów dopisać ze znakiem przeciwnym. W tym przypadku również otrzymamy w wyrównaniu te same poprawki gaussowskie, te same wartości statystyki, ale wszystkie rzędne zostaną zniekształcone o kolejne wprowadzone błędy grube. Mówiąc obrazowo, to jest tak, jak byśmy prowadzili pomiar po całkiem innych reperach.

Czy sama metodyka badania odporności jest niezawodna? Czy przy jej zastosowaniu każdy błąd gruby będzie wyłapano?

Jeśli układ obserwacyjny nie jest zaprojektowany ze względu na tę odporność, to niestety, błędy grubego nie wykryjemy. Odpowiedź takiego układu w postaci poprawek zunifikowanych może być mniejsza w miejscu, w którym błąd wystąpił, niż w innych. Niezależnie od tego, jak wyrafinowane metody diagnostyczne byśmy stosowali, to takiego zaburzenia



Prof. Witold Prószyński jako konsultant WPG S.A. na budowie mostu Świętokrzyskiego w Warszawie, 2000 r.

nie znajdziemy. Dobrze byłoby odróżnić w tym miejscu dwie kwestie. Pierwsza to prawdopodobieństwo wystąpienia błędu grubego – tutaj teoria niezawodności nie ma zastosowania, ponieważ możliwość wystąpienia błędu grubego jest zależna od przygotowania instrumentarium (tj. atesty, kalibracje), stopnia wykształcenia personelu, sposobu realizacji pomiaru...

Kontroli...

Oczywiście, kontroli terenowych również, bo jeśli szybko zaczniemy sprawdzać związki modelowe między obserwacjami, to jest szansa, że jeszcze w trakcie bytności na obiekcie jakieś nieprawidłowości w wynikach pomiaru wykryjemy. Zagadnieniem częstości występowania błędów grubych i omyłek w sieciach zajmował się profesor Zdzisław Adamczewski i sformułował nawet „prawo błędów grubych Adamczewskiego”. Natomiast teoria niezawodności zajmuje się inną kwestią, którą można by streścić tak: im więcej w układzie jest obserwacji nadliczbowych, i w miarę równomiernie rozłożonych w jego strukturze, tym większa szansa, że błąd gruby, który się tam pojawi, będzie mógł zostać wykryty. Mowa jest więc jedynie o prawdopodobieństwie wykrycia błędu grubego, o ile taki wystąpi.

To jak projektować sieć, żeby była odporna na błędy grube?

Przy projektowaniu układu należy pamiętać o tak zwanej niezawodności wewnętrznej, czyli o stopniu wzajemnej kontrolowalności obserwacji. Każdy związek zachodzący w układzie między obserwacjami jest takim warunkiem, który od razu zwiększa kontrolowalność. Jeżeli w trójkącie pomierzmy tylko dwa kąty, a trzeci wyliczymy, to tutaj kontrolowalności nie ma żadnej. Miarą niezawodności wewnętrznej dla takiego układu jest zero. Gdy pomierzmy kąt trzeci, wówczas zaistnieje związek, że w trójkącie płaskim: $\alpha + \beta + \gamma = 180$ stopni.

Dlaczego geodeci do dziś nie mają niezawodnej metodologii, aby stwierdzić, że wynik (czyli np. przemieszczenie punktu na zaporze) jest dokładnie taki, a nie inny? Ciągłe mówimy o tym, że nie jesteśmy pewni, bo tu błąd gruby, a tu błąd średni itd.

Chciałoby się jednoznacznie określić wynik pomiaru bądź wyznaczenia, ale to niemożliwe, gdyż sugerowałoby, że mamy do czynienia z wartością prawdziwą. Wyznaczone przemieszczenie nie może być podane tak, iż wynosi ono np. +10 mm. Musi być przy tym określony interwał charakteryzujący stopień nieuniknionej niepewności tego wyniku. Podając jakąś wynikową wartość liczbową, nie mamy podstaw, by powiedzieć, że na pewno (tj. z prawdopodobieństwem równym 1) jest dokładnie tyle. Powiemy więc, że jest np. 10 mm ± 1 mm, podając w uzupełnieniu prawdopodobieństwo (np. 0,95), z jakim poszukiwana przez nas wartość prawdziwa zawiera się w interwale od 9 do 11 mm. Operujemy więc tutaj przedziałem ufności i przypisany mu poziomem ufności.

Powróćmy do teorii odporności, jeśli można tak powiedzieć.

Po angielsku to się nazywa *robustness*.

Rozwinął pan tę teorię w układzie dotyczącym nie tylko geodezji, ale w ogóle pewnych zlinearyzowanych układów równań liniowych. Czy w związku z tym są możliwości wykorzystania jej w innych dziedzinach, np. w ekonomii?

Wiele rozważań w zakresie geodezji związanych z modelem Gaussa-Markowa i prowadzących do sformułowania pewnych jego szczególnych własności mających zastosowanie właśnie w geodezji ma też pewien potencjał aplikacyjny w innych dziedzinach nauki. Sądzę, iż

wielu badaczy geodezyjnych na świecie podzieliliby ten pogląd. Mój wkład polega na tym, że udało mi się znaleźć pewne własności macierzy, zwanych operatorami rzutowymi, które odwzorowują wyniki pomiaru na residua gaussowskie. Na tej podstawie zaproponowałem nowy sposób podejścia do miar niezawodności, publikując go w „Journal of Geodesy”. W ramach tej problematyki prowadziłem przez kilka lat zajęcia w Centrum Studiów Zaawansowanych Politechniki Warszawskiej, gdzie miałem specjalny wykład dla doktorantów z różnych wydziałów tej uczelni i innych ośrodków naukowych. Kierownictwo Centrum uznało, że moje prace mają zakres aplikacyjny wykraczający poza dyscyplinę geodezji.

Czy geodezję jako zawód wybrał pan przypadkowo?

Trudno powiedzieć. Po ukończeniu Liceum Ogólnokształcącego im. Juliusza Słowackiego w Warszawie zdradzałem pewne skłonności do rozważań natury filozoficzno-matematycznej, z tym że nie chodziło tu oczywiście o matematykę przez duże M.

Liczyć pan lubił?

Nie, nie liczyć. Nawet dziś, kontrolując ćwiczenia studenckie, praktycznie nie muszę niczego przeliczać. W pośrednich wynikach obliczeń pojawiają się bowiem pewne efekty mające swoje własności teoretyczne czy też pojęciowe i ja to wykorzystuję przy sprawdzaniu operatów ćwiczeniowych. Na wybór geodezji wpłynęły w znacznym stopniu zamiłowania zawodowe mego ojca, który wiele lat pracował w PPG [Państwowe Przedsiębiorstwo Geodezyjne – red.] przy ulicy Mazowieckiej w Warszawie. W tamtych czasach podstawowe znaczenie w geodezji miały wieże triangulacyjne, a ojciec był zatrudniony w dziale zabudowy. Często widziałem w domu deskę kreślarską i różne rysunki wież triangulacyjnych. Te szkice robiły na mnie wrażenie obfitością szczegółów konstrukcyjnych. Ojciec kilkakrotnie zabierał mnie w teren, żebym zobaczył, jak wygląda praca w dziale zabudowy. Natomiast matka pracowała w księgowości w PPF-ie [Państwowe Przedsiębiorstwo Fotogrametrii – red.] przy ul. Jasnej w Warszawie.

Jaki jest najlepszy według pana model profesora wyższej uczelni?

Jeżeli jest to profesor odpowiedzialny za jakiś przedmiot, to niezwykle ważne jest inicjowanie przezeń i prowadzenie badań z zakresu wykładanej problematyki, a przez to tworzenie pewnej dokonań własnych oraz współpracujących z nim młodszych nauczycieli akademickich. Najkorzystniejszą jest, jeżeli te dokonania stanowią wkład do rozwoju danej

dyscypliny naukowej na poziomie nie tylko ogólnokrajowym, ale też międzynarodowym. Młodzież bardzo pozytywnie reaguje, kiedy widzi, że wykładawca poza znajomością literatury przedmiotu sam jest aktywnym badaczem wykazującym pasję w poszukiwaniu rozwiązań dla trudnych problemów. Taka postawa wzbudza u słuchaczy zainteresowanie przedmiotem, u niektórych z nich wzwala własne inicjatywy badawcze.

Od 50 lat codziennie przychodzi pan do tego samego miejsca pracy. Nie miał pan kiedyś dość?

50 lat przychodzę (*profesor zamysła się*) do tego samego miejsca. Poprawnie ustalił pan ten interwał czasowy. Jest w tym pytaniu pewna prowokacja, którą ująłbym w ten sposób: a gdzie pan jeszcze działał? Odpowiem tak: współpracowałem z dwoma przedsiębiorstwami zajmującymi się geodezyjnymi pomiarami inżynierskimi. Dzięki wieloletniemu kontaktowi z Warszawskim Przedsiębiorstwem Geodezyjnym oraz z przedsiębiorstwem Geoprojekt byłem obecny przy obsłudze geodezyjnych różnych obiektów inżynierskich. Poznałem realia wykonawstwa geodezyjnego, a także wyrobiłem sobie pogląd co do istoty, zakresu i hierarchii potrzeb badawczych w geodezyjnych pomiarach inżynierskich. Ten wieloletni kontakt z produkcją uważam za element konieczny i niezwykle pożyteczny na swojej drodze zawodowej.

Jakie ma pan doświadczenia z kontaktów z ludźmi na budowach? Nie tylko z geodetami pan przecież rozmawiał.

Nie miałem w tym specjalnie problemów, starałem się zawsze wczuwać w sytuację. Trzeba wiedzieć, jak do kogo można się odezwać. Jeżeli wypytuje o system wymagań dokładnościowych, który jest bardzo ważnym elementem dokumentacji projektowej, to zarówno geodeci, jak i inżynierowie budownictwa chętnie podejmują ze mną rozmowę. Z tymi drugimi znajduję wspólny język dzięki ukończonym we wczesnych latach pracy na Wydziale GiK dodatkowym studiom na Wydziale Budownictwa Lądowego Politechniki Warszawskiej.

Był pan konsultantem przy obsłudze budowy mostów podwieszonych w Warszawie i Gdańsku.

Bardzo dużo się na tych budowach uczyłem. Może nazywany byłem konsultantem, ale to było spotkanie z czymś nowym, i to nie tylko dla mnie. Pamiętam zwłaszcza pierwszy most, tj. most Świętokrzyski w Warszawie. Potem był most im. Jana Pawła II w Gdańsku i wreszcie most Siekierkowski w Warszawie. Dużo zawdzięczam doktorowi Andrzejowi Stańczykowi z firmy Warbud (pracował

również na Wydziale Inżynierii Lądowej PW). Pokazywał mi na przykład pewne schematy, według których projektował rozpory pośrednie przy stawianiu nóg pylonów. Na temat technologii wznoszenia nóg pylonu, w której czołową rolę odgrywały prace geodezyjne (wykonywane przez WPG), mieliśmy na sympozjum FIG-u w Orange w USA w 2001 r. wspólną publikację dotyczącą pomiarów deformacji.

Gdzie nauka w zakresie geodezji może się starać o pieniądze?

Są różne formy starania się o dotacje na badania. Takie, na które geodezja ma małe szanse, to granty NCN [Narodowe Centrum Nauki – red.]. Tam są bardzo wysokie wymagania i jest znaczny przesiew projektów...

I największe pieniądze...

Możliwość uzyskania dotacji i jej wielkość oczywiście interesują naukowców. Jednakże w NCN rozpatrywane są jedynie nowe pomysły, typowo teoretyczne, pojęciowe, coś wnoszące w sferze pojęć i praw, niemające koniecznie bezpośredniego charakteru aplikacyjnego. Zdecydowanie większe szanse dla geodetów są w NCBiR [Narodowe Centrum Badań i Rozwoju – red.]. No i geodeci składają tam aplikacje. Są jeszcze europejskie projekty. Według mnie problemem jest za mały „kontakt” tych pomysłów z odbiorcami. W geodezji jest za słaba relacja między naukowcami-twórcami a produkcją geodezyjną. Powstaje pytanie, czy to naukowcy mają niewielkie szanse, żeby w czymś pomóc produkcji, czy też biznes specjalnie nie liczy na jakąkolwiek pomoc.

Ostatnio pani dziekan prof. Alina Maciejewska powołała ciało doradcze, w którym znaleźli się pracownicy nauki, przedsiębiorcy geodezyjni, urzędnicy, a to w celu pewnego zbliżenia, nawiązania kontaktów i zaplanowania wspólnych przedsięwzięć. Są szanse, że ta inicjatywa przyniesie korzystne efekty.

Ma pan jakieś hobby?

Miałem, ale zrzuciłem, bo teraz koncentruję się na swym zdrowiu. Kiedyś grałem w tenisa i w siatkówkę. Bardzo lubiłem chodzić na przedstawienia operowe, słuchać tych wspaniałych kompozycji. Nawet dzisiaj, jak gdzieś usłyszę przelotnie jakąś piękną arię, to zatrzymuję się, by dłużej posłuchać.

Rozmawiali: Zbigniew Leszczewicz i Jerzy Przywara

Pełna wersja wywiadu bogato ilustrowana zdjęciami oraz uzupełniona obszerną notą biograficzną zostanie opublikowana w rocznicowym albumie „Poczet Profesorów”, który ukaże się na rynku na początku 2016 r.