

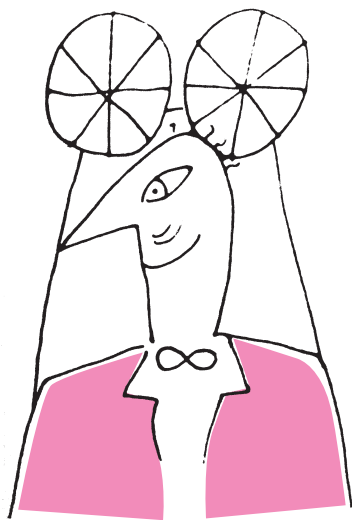
# Matematyka pomogła zaprojektować kopalnię

\* Politechnika Wroclawska,  
Oddzial Wroclawski PTM

Krzysztof SZAJOWSKI\*

W pierwszej połowie XX wieku znaczący postęp prac nad matematycznymi modelami zjawisk losowych doprowadził do powstania wyodrębnionego działu matematyki wykorzystującego zaawansowane metody algebry i analizy matematycznej. Tematów badawczych dostarczały pytania stawiane przez specjalistów różnych dziedzin. Abstrahowanie od szczegółowych cech badanych zjawisk w procesie modelowania matematycznego niejednokrotnie prowadziło do zbliżonych opisów różnych zagadnień. Dzisiaj mówimy o zastosowaniach rachunku prawdopodobieństwa, które opierają się teorią procesów stochastycznych i statystyką. Jednolity model matematyczny stawał się także narzędziem do wykorzystania przy badaniu zagadnień, do analizy których nie wykorzystywano wcześniej metod matematycznych. Po II wojnie światowej na terenie Polski jedną z mocno rozwijanych gałęzi gospodarki był przemysł pozyskiwania surowców mineralnych. Modernizowano istniejące kopalnie, powstawały też nowe. Wydobywano węgiel kamienny, węgiel brunatny, miedź, siarkę. Przemysłowe wydobywanie surowców wymagało racjonalnego projektowania – zarówno przy modernizacji, jak i tworzeniu nowych zakładów wydobywczych. Konstrukcja takich obiektów przemysłowych w oparciu o znane, funkcjonujące rozwiązania nie jest najczęściej możliwa ze względu na unikalny charakter miejsca, zadań i celów. Nakłady zaś są znaczne, a to zmusza do ograniczenia ryzyka wynikającego z niewłaściwego doboru struktury systemu eksploatacyjnego i jego elementów.

J. Battek, S. Gładysz, J. Sajkiewicz,  
*Zarys teorii pracy systemów maszynowych z transportem ciągłym i nieciągłym*, Górnictwo. Niezawodność systemów maszynowych. Referaty na II Konferencję Naukową., Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej, 10, 1973, 3–30.



H. Steinhaus, *Wspomnienia i zapiski*, w opracowaniu A. Zgorzelskiej. Wydawca: Centrum Hugona Steinhausa, Politechnika Wroclawska, Oficyna Wydawnicza ATUT, Wrocław 2010.

Wybrane fragmenty wspomnień i artykuły wraz z omówieniem są zawarte w: A. Antkowiak, M. Kaczmarza, K. Szajowski, *Design of engineering systems in Polish mines in the second half of the 20th century*, Annales Societatis Mathematicae Polonae, Series VI, Antiquitates Mathematicae, 11, 2017, 251–300.

Na potrzebę opracowania teorii pracy systemów maszynowych z transportem ciągłym zwrócono uwagę w początkach lat sześćdziesiątych XX wieku po pierwszych doświadczeniach w pracy dużych kopalń odkrywkowych węgla brunatnego w Polsce („Turów”, „Adamów”). Zastosowano tam taśmowy transport urobku. Dopływ informacji ze świata na temat analogicznych badań był mocno opóźniony. Znane były kierunki prac prowadzonych przez matematyków nad modelowaniem zjawisk losowych, a polscy matematycy chętnie podejmowali tę tematykę. Skupieni we Wrocławiu matematycy mieli w swoim gronie zarówno takich, którzy prowadzili badania podstawowe, jak i otwartych na podejmowanie zadań modelowania matematycznego, wymagającego wiedzy z wielu dziedzin matematyki. Dla oceny i planowania efektywności systemów inżynierskich ważne są rezultaty dotyczące modelowania zjawisk losowych zmiennych w czasie. Na tych podstawach teoretycznych rozwijała się teoria niezawodności i obsługi masowej, której metody w tym czasie były analizowane i rozwijane we Wrocławiu.

Modele teoretyczne w celu praktycznego sprawdzenia i zastosowania wymagają dopasowania (kalibracji) do modelowanej rzeczywistości. Zwykle oznacza to wykorzystanie zapisów z historii eksploatacji analizowanego systemu lub systemów analogicznych. Umiejętności inżynierów pozwalały na przeprowadzenie badań, w wyniku których oceniano ważne parametry przedsięwzięcia. Jednakże ten zakres badań rzadko pozwala na prognozę zachowań w przyszłości i nie daje możliwości śledzenia wpływu modyfikacji systemu na przyszłe jego zachowanie. W przypadku energetyki jej problemy były przedmiotem zainteresowania wszystkich.

Jaki wpływ na komfort życia przeciętnego człowieka może mieć błędne zrealizowanie systemu inżynierskiego, można prześledzić w kilku fragmentach wspomnień Hugona Steinhausa, gdzie opisuje on dyskusję we wrocławskim środowisku naukowym, również wśród profesorów matematyki, powiązaną z reportażami publikowanymi w „Życiu Warszawy” w 3 kwartale XX wieku.

**Górnictwo i produkcja energii elektrycznej** jest bardzo ważnym elementem gospodarki. Deficyt dostarczanych mocy znacznie obniża komfort życia. Toteż zainteresowanie efektywnością inwestycji w tym sektorze było wyjątkowe. Widoczne w postaci braku energii kłopoty skutkowały poszukiwaniem ich przyczyny. Ekspert Banku Inwestycyjnego, dr Włodzimierz W. Bojarski dość łatwo zdefiniował przyczynę – brak rytmicznych dostaw paliwa do elektrowni. Wyciągnął stąd wniosek, iż w zwiększeniu niezawodności systemu dostaw węgla z kopalni do elektrowni są potencjalne rezerwy, i skorzystanie z nich to sposób na podniesienie efektywności sektora energetycznego. Nad metodą

Właściwe podejście do poszukiwania słabych ogniw w złożonych systemach jeszcze nie zostało sformułowane. Dopiero uczeń Steinhausa zaproponował, jak oceniać wpływ poszczególnych elementów systemu na jego gotowość i niezawodność: Z.W. Birnbaum, *On the importance of different components in a multicomponent system*, Multivariate Analysis, II (Proc. Second Internat. Sympos., Dayton, Ohio, 1968), 581–592, Academic Press, New York 1969.

S. Gładysz, J. Battek, J. Sajkiewicz, Proces awarii i wydajność systemu taśmociągów, IV Krajowy Zjazd Górniczy, Tychy 1965, 1966, 30–72.

Głęboką analizę tematyki badawczej tego seminarium przeprowadził Władysław Szczotka: W. Szczotka, *Fenomen steinhausowskiego Seminarium Matematyki Stosowanej. Zarys koncepcji*, Annales Societatis Mathematicae Polonae, Series VI, Antiquitates Mathematicae, 12, 1, 2019, 197-228.

A. Antkowiak, *Analysis of the efficiency of complex systems*, Mathematica Applicanda, 45, 2, 2018, 127–152.

I. Ushakov, *Reliability: Past, present, future.*, Recent Advances in Reliability Theory. Statistics for Industry and Technology, N. Limnios and M. Nikulin, 3–21, 2000.

I. Frenkel, L. Khvatskin, A. Lisnianski, A., *Reliability: Past, present, future.*, Safety, Reliability and Risk Analysis: Theory, Methods and Applications, 1, 2009, 483–488.

Norma PN-EN 61165:2006, w której podano wytyczne stosowania procesów Markowa do analizy niezawodnościowej. Przedstawione w niej metody są odpowiednie do modelowania strategii obsługi systemów o różnych strukturach i obliczania wskaźników niezawodności tych systemów.

matematycznego modelowania systemu transportu w kopalniach odkrywkowych Dolnego Śląska pracowało przedsiębiorstwo Poltegor, które wzmacniało swój potencjał, angażując do trudnych zagadnień pracowników naukowych uczelni dolnośląskich. Do tego zespołu zaproszeni zostali między innymi Stanisław Gładysz, Jerzy Battek oraz Jan Sajkiewicz. Szczegóły tej współpracy zawarte są w licznych raportach i pracach opublikowanych w czasopiśmie branżowych. Ekspertyzy te nie zawierały jednak szczegółowych analiz, które pokazywały elementy stanowiące „słabe ogniwa” systemu. Brakowało dostatecznie szczegółowego modelu matematycznego systemu inżynierskiego związanego z transportem w kopalni, który wskazywałby kierunki działań poprawiających niezawodność systemu.

We Wrocławiu matematycy prezentowali nowe wyniki na seminarium w bibliotece Instytutu Matematycznego Uniwersytetu Wrocławskiego, w tym czasie mieszczącej się w budynku Wydziału Inżynierii Sanitarnej Politechniki Wrocławskiej. Hugo Steinhaus pisał w swoich wspomnieniach pod datą 12 XII 1963 roku o referacie Gładysza na temat analizy niezawodności systemu KTZ (Koparka-Taśmociąg-Zwałowarka).

W związku z problemem braku ciągłości w dostawach paliwa do elektrowni poproszono matematyków o pomoc w wykonaniu analizy funkcjonalnej złożonego systemu. Stworzono adekwatny model matematyczny systemu technicznego uwzględniający awarie, proces włączania i możliwości odnowy. Zdefiniowano charakterystyczne stany systemu, a opis działania sprowadzał się do probabilistycznego ujęcia przebywania w poszczególnych stanach. To pozwalało na przeprowadzenie analizy wydajności. Narzędziem modelowania były procesy markowskie z czasem ciągłym i skończoną liczbą stanów, służące do analizy niezawodności i wydajności zespołu połączonych urządzeń w systemie transportu nadkładu i węgla. Mimo upływu czasu taki sposób wykorzystania matematyki w technice wciąż jest aktualny. Także w dzisiejszych pracach związanych z projektowaniem i utrzymaniem takich obiektów inżynierskich, jak kopalnie, porty, stacje przeladunkowe widać potrzebę modelowania niezawodności i wydajności systemu. Znaczenie tych metod łatwo dostrzec na tle rozwoju metod matematycznych prezentowanych w analizach historycznych.

**Wnioski z przytoczonej historii są następujące.** Prowadzone ponad pół wieku temu badania niezawodności zespołu KTZ w kopalniach doprowadziły, między innymi, do wyodrębnienia różnych rodzajów węzłów przepływowych wynikających z połączenia równoległego przenośników taśmowych. Z opracowanej metodologii korzystają również współcześni inżynierowie. Transport kruszywa w kopalniach jest niezwykle ważny. Według analiz firm zajmujących się produkcją maszyn górniczych aż 50% kosztów jest ponoszonych właśnie na transport. W dobre coraz wyższych standardów ekologicznych kopalnie są zmuszane do zredukowania szkodliwych dla środowiska działań. Pozwala na to wymiana transportu samochodowego na przenośniki taśmowe. Ich zaletami są m.in. ciągłość odstawy urobku, łatwość automatyzacji, możliwość pokonywania dużych odległości w urozmaiconym terenie, wysoka wydajność, bezpieczeństwo pracy, możliwość pracy w różnych warunkach klimatycznych i w różnym terenie. Jednak ich eksploatacja jest bardzo kosztowana. Konieczne są częste naprawy i czynności konserwacyjne związane z taśmą przenośnika, która charakteryzuje się małą odpornością na działanie szkodliwych czynników środowiskowych, chemicznych i mechanicznych. Ważnym zagadnieniem jest zatem optymalny dobór czasu napraw, aby zminimalizować ich częstotliwość i ponoszone koszty, ale mimo wszystko zapewnić bezawaryjną pracę i ograniczyć długość przestojów.

Dobre rozwiązania są standaryzowane. Przenośniki taśmowe są złożonym urządzeniem, stąd można rozpatrywać ich niezawodność w aspekcie całościowym, analizować je jako system połączonych segmentów i monitorować liczbę awarii. Wtedy w łatwy sposób (choć niezbyt optymalny) można zarządzać czasem napraw lub konserwacji – gdy empiryczna intensywność awarii zmieni swój charakter z funkcji stałej na funkcję rosnącą, można przypuszczać, że należy w najbliższym czasie przeprowadzić prace konserwacyjno-naprawcze. Innym sposobem jest dokładniejsza analiza matematyczna czasów awarii i napraw z wykorzystaniem procesów Markowa, proponowana przez normę międzynarodową.