

DOI: 10.5604/20830157.1193833

MODELOWANIE – UMIEJĘTNOŚĆ CZY SZTUKA?

Krzysztof Kluszczyński

Politechnika Śląska, Katedra Mechatroniki

Streszczenie. Praca jest próbą zdefiniowania istoty procesu modelowania, który odgrywa tak ważną i kluczową rolę w rozwoju nauki i techniki. Autor wskazuje na fundamentalne cechy dobrego modelu oraz uwarunkowania oceny jego poprawności, wynikające z przydatności modelu do rozwiązywania konkretnych planowanych zadań inżynierskich. Aby uczynić rozważania i wnioski bardziej przekonującymi, autor wielokrotnie odwołuje się do różnych gatunków sztuki: malarstwa, grafiki, architektury, muzyki i sztuk użytkowych, aby dobitnie wyeksponować myśl przewodnią mówiącą o tym, że modelowanie w inżynierii jest procesem twórczym, charakteryzującym się tymi samymi cechami, co proces twórczy związany z kreacją dzieła sztuki. Przykłady, ilustrujące zasady modelowania oraz podobieństwa i analogie pomiędzy dziełami inżynierskimi o zróżnicowanym charakterze oraz dziełami sztuki zostały zaczerpnięte z różnych źródeł internetowych, Wikipedii, materiałów pochodzących ze zbiorów własnych Autora oraz z biblioteki Akademii Muzycznej w Katowicach, z własnych prac naukowych Autora z różnych okresów Jego działalności, z wyników prac badawczych udostępnionych przez innych naukowców m.in. prof. Andrzeja Demenka, jak też z monografii: J. Turowski „Obliczenia elektromagnetyczne elementów maszyn i urządzeń elektrycznych”. Niektóre z nich zostały specjalnie opracowane na potrzeby artykułu przez dr inż. Marcina Szczygła, mgr inż. Marka Kluszczyńskiego oraz mgr inż. arch. Wojciecha Pytla.

Słowa kluczowe: historia nauki, filozofia inżynierii, zasady modelowania, cechy charakterystyczne modeli technicznych, symbolika w pracach inżynierskich

MODELLING – SKILLS OR ART?

Abstract. The work is an attempt to define the essence of modelling process, which plays such an important and key role in the development of science and technology. The author points to the fundamental characteristics of a good model and conditions for assessing its correctness resulting from the model usefulness to solve specific engineering tasks. To make considerations and conclusions more convincing, the author repeatedly refers to various genres of art: painting, graphics, architecture, music and applied arts, to clearly expose the keynote telling that modelling in engineering is a creative process, characterized by the same features as the creative process associated with the creation of works of art. Examples illustrating the principles of modelling as well as the similarities and parallels between the works of engineering of various nature and works of art were taken from various web sources: Wikipedia, materials from the collections of the author and library of the Academy of Music in Katowice, from his own scientific work from different periods of his activity, from the results of research available by other scientists, among others, prof. Andrzej Demenko, as well as from the monograph of J. Turowski “Electromagnetic calculations of machine parts and electrical appliances”. Some of them have been prepared specially for this the article by Marcin Szczygiel, Marek Kluszczyński and Wojciech Pytel.

Keywords: history of science, philosophy of engineering, principles of modelling, features of technical models, symbolism in engineering works

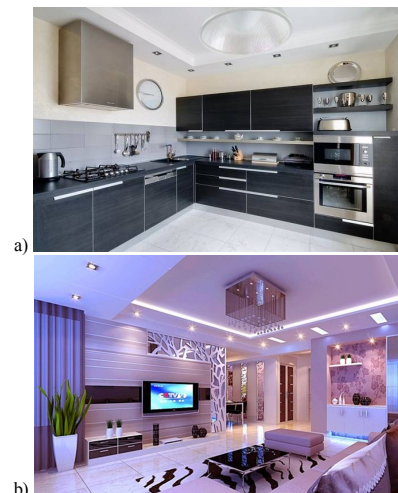
Słowa: model i modelowanie zyskują w ostatnich czasach coraz większą popularność. Trudno znaleźć monografię, czy też artykuł naukowy, w których terminy te nie pojawiałyby się wielokrotnie. Główne przyczyny niezwyklej kariery terminu model to nieprzerwanie wzrastająca moc obliczeniowa komputerów, lawinowo narastające możliwości rozwiązywania najbardziej złożonych i skomplikowanych modeli (składających się z tysięcy, a nawet milionów równań) oraz pęczniejąca z roku na rok biblioteki z łatwo dostępnym profesjonalnym oprogramowaniem (rys. 1).

Dla głębszego zrozumienia istoty procesu modelowania i dla pełniejszego uświadomienia sobie jego najbardziej charakterystycznych cech, cenne i wzbogacające będzie odwołanie się do relacji, łączących technikę i sztukę, albowiem obie te formy ludzkiej aktywności mają ze sobą wiele wspólnego, stawiając sobie za cel odpowiednio ułatwianie ludzkiej egzystencji (jest to wiodące i kluczowe zadanie techniki), jak też umilenie życia i czynienia go piękniejszym (jest to oczekiwanie, którego spełnienia domagamy się od sztuki) – rys. 2.



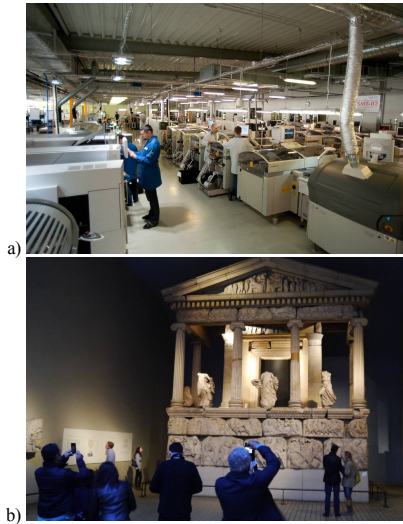
Rys. 1. Z roku na rok pęcznieją biblioteki z łatwo dostępnym profesjonalnym oprogramowaniem (zestawienie znaków – M. Szczygiel)

Wysoko zaawansowane programy komputerowe sprzyjające szybkiemu i często już automatycznemu tworzeniu i rozwiązywaniu modeli matematycznych niosą w sobie – nie do końca uświadamiani – załazek spłylenia i zubożenia właściwego pojmowania procesu modelowania jako najbardziej wyrafinowanego przejawu inżynierskiej działalności, wymagającej zarówno olbrzymiej wiedzy i doświadczenia, jak też bystrości umysłu, umiejętności oryginalnego myślenia oraz ogromnej – często genialnej – intuicji.



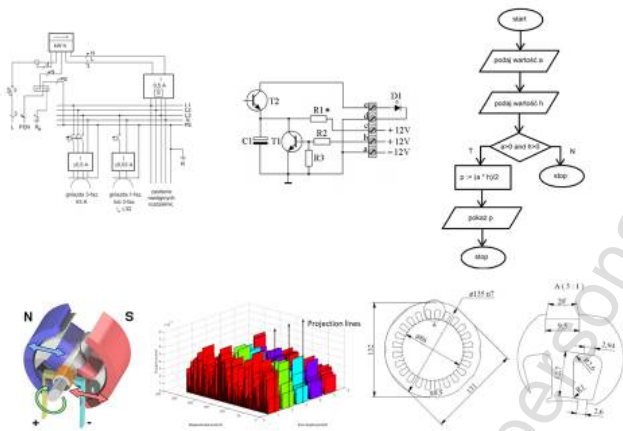
Rys. 2. Technika stawia sobie za cel ułatwienie ludzkiej egzystencji (a), zaś sztuka – umilenie życia i czynienia go piękniejszym (b)

Technika skupia się na potrzebach materialnych człowieka, wprowadzając do środowiska naturalnego wciąż nowe i bardziej skomplikowane obiekty techniczne: narzędzia, maszyny i urządzenia ułatwiające pracę i usprawniające życie codzienne. Sztuka podąża tropem zupełnie odmiennych potrzeb o charakterze duchowym i niematerialnym – i zaspokaja te potrzeby, wprowadzając do otoczenia człowieka dzieła sztuki, dostarczające emocji artystycznych, wzruszeń i wrażeń estetycznych (rys. 3).



Rys. 3. Technika wprowadza do środowiska człowieka skomplikowane obiekty techniczne (a), zaś sztuka wzbogaca otoczenie człowieka dziełami sztuki (b)

Wydawać by się mogło, że droga wiodąca do zaspokojenia tak odmiennych w swej naturze potrzeb: materialnych i niematerialnych powinna się wiązać z zupełnie odmienną formą ekspresji myśli, koniecznych dla zaprojektowania i wytworzenia obiektu technicznego lub też do wykreowania dzieła sztuki. Tak jednak nie jest, albowiem zarówno inżynierię, jak i sztukę, wyróżnia dążność i upodobanie do prezentacji wyników intelektualnych wysiłków lub też rezultatów artystycznej wizji w formie graficznej. W inżynierii na ów powszechnie i szeroko stosowany język graficzny składają się: wykresy, charakterystyki, diagramy, rysunki techniczne, schematy zastępcze i schematy blokowe (rys. 4).

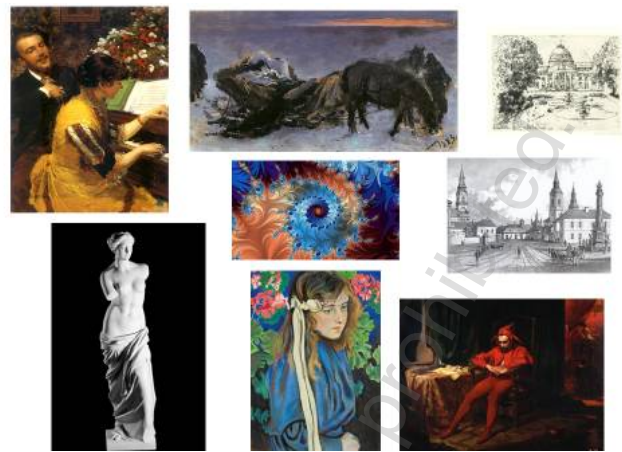


Rys. 4. Język graficzny techniki i inżynierii (opracowanie: M. Szczygieł)

W sztuce zaś mamy do czynienia z 2-wymiarowym rysunkiem artystycznym, grafiką, obrazem olejnym, akwarelą, pastelem, gwaszem, czy też 3-wymiarową rzeźbą (rys. 5).

Również i muzyka, która w przeciwieństwie do wymienionych form sztuki, odwołuje się do zmysłu słuchu, wykorzystuje graficzny sposób zapisu treści muzycznych w postaci notacji muzycznej: nut, bądź partytury (rys. 6).

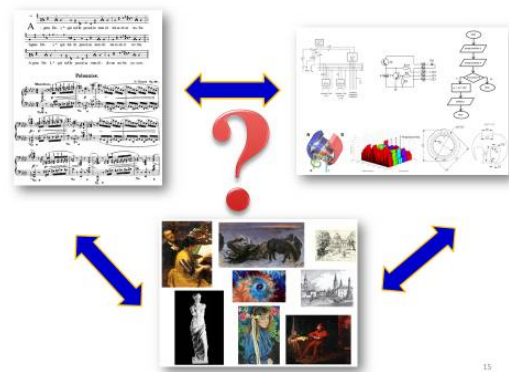
Jeszcze większe zdumienie budzi wzajemne przenikanie się owych języków, nasuwające przypuszczenie, że być może istnieje jeden wspólny, uniwersalny język graficzny, łączący wszystkie dziedziny nauki, techniki i sztuki (rys. 7). Bo jakże inaczej traktować cechy, odnajdywane w starożytnej sztuce, które po wielu stuleciach wkraczają niespodziewanie i triumfalnie do nauki, stając się zaczątkiem wielkiego przełomu myślowego i zaczątkiem nowych trendów badawczych. Technika dekoracyjna mozaiki znana już była w Grecji, rozpowszechniła się szeroko w czasach rzymskich, ale pełnię rozkwitu i szczyt doskonałości osiągnęła w miastach Italii i Bizancjum, stając się na długi okres czasu wiodącą techniką zdobniczą w sztuce chrześcijańskiej (rys. 8).



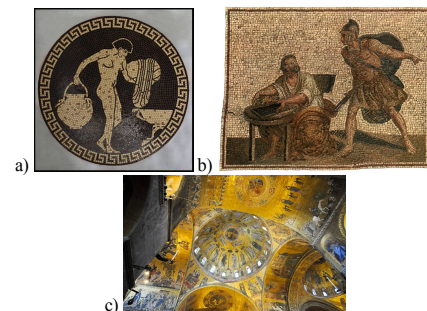
Rys. 5. Język graficzny sztuk pięknych



Rys. 6. Język graficzny muzyki



Rys. 7. Czy istnieje jeden wspólny uniwersalny język graficzny, łączący wszystkie dziedziny nauki, techniki i sztuki?



Rys. 8. Technika dekoracyjna mozaiki znana już była w starożytnej Grecji (a), rozpowszechniła się szeroko w czasach rzymskich (b), a pełny rozkwit i szczyt doskonałości osiągnęła w sztuce chrześcijańskiej w miastach Italii i Bizancjum (c) [27]



Rys. 9. Sedno mozaiki to odwzorowywanie rzeczywistości za pomocą niewielkich kawałków kamieni, ceramiki lub szkła [3]

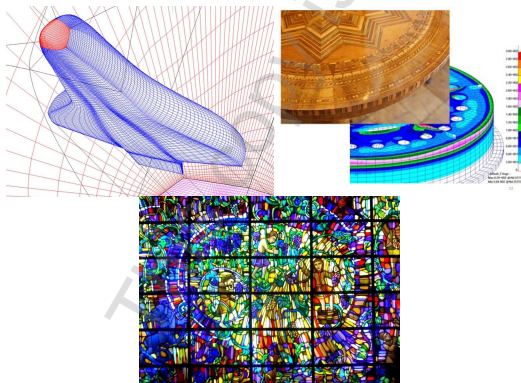
Jej sedno to obrazowanie rzeczywistości za pomocą niewielkich kawałków kamieni, ceramiki lub też szkła mieszanego z tlenkami metali (rys. 9).

Chciałoby się krótko i zwięźle powiedzieć – za pomocą różnorodnych elementów, a – mając na uwadze to, że w wyrafinowanej technologicznie mozaice na 1 cm^2 może przypadać nawet 50 elementów – jeszcze dodać i doprecyzować: bardzo małych, ale skończonych elementów (rys. 10).



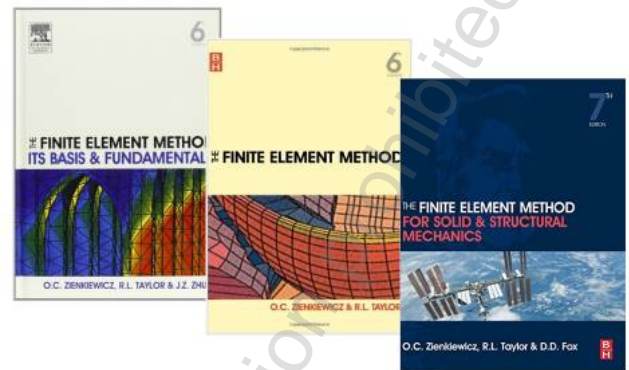
Rys. 10. W wyrafinowanej technologicznie mozaice na 1 cm^2 może przypadać nawet 50 elementów [11]

Metoda elementów skończonych, określana skrótem MES, która nieodparcie kojarzy się z innymi jeszcze technikami bazującymi na dyskretyzacji np. z intarsją, inkrustacją, czy też witrażownictwem, powstała zaledwie kilkadziesiąt lat temu (rys. 11).



Rys. 11. Metoda elementów skończonych MES kojarzy się nieodparcie ze sztuką intarsji, inkrustacji i witrażownictwa [10, 21]

Jej dynamiczny rozwój i szerokie rozpowszechnienie w świecie inżynierii wiąże się z nazwiskiem brytyjskiego matematyka o polskich korzeniach: Olgierda Cecyla Zienkiewicza – autora rozlicznych monografii i podręczników popularyzujących metodę MES (rys. 12).



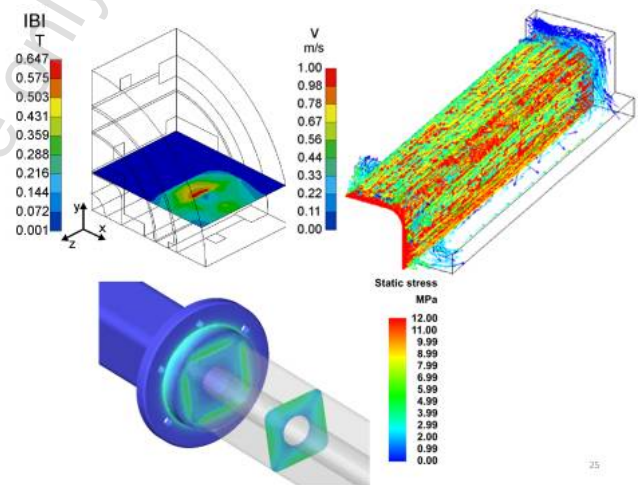
Prof. Olgierd Zienkiewicz

(1921 - 2009)

Dr h.c. Politechniki Krakowskiej

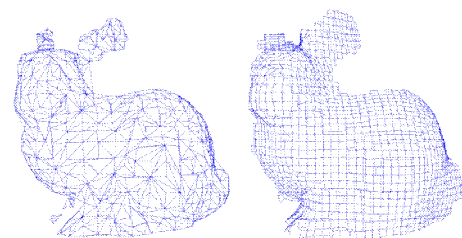
Rys. 12. Wielkim propagatorem metody MES w technice był prof. Olgierd Cecyl Zienkiewicz [19]

Dotyczy obrazowania rozkładów przestrzennych pól magnetycznych, elektrycznych, temperatury, czy też naprężeń mechanicznych w obiektach technicznych, podzielonych w zmyślny sposób – tak, jak się to czyni w mozaice i witrażu – na dyskretne elementy skończone (rys. 13).

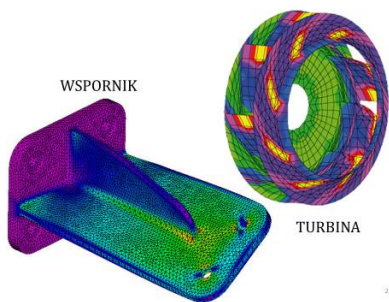


Rys. 13. Przykładowe rozkłady przestrzenne pól magnetycznych, pola prędkości płynu magnetorologicznego oraz naprężeń mechanicznych w liniowo-obrotowym hamulcu magnetorologicznym

Shokujące jest to, że procesem dyskretyzacji obiektu technicznego, a więc generowaniem siatki (równomiernej, bądź nierównomiernej) rządzą te same prawa, co w sztuce: wielkość i układ elementów musi się przystosować do linii konstrukcyjnych, jak też brać pod uwagę charakter i naturę obiektu (rys. 14), rozpoznawaną dzięki wiedzy o budowie urządzeń technicznych i zachodzących w nim zjawiskach (rys. 15).

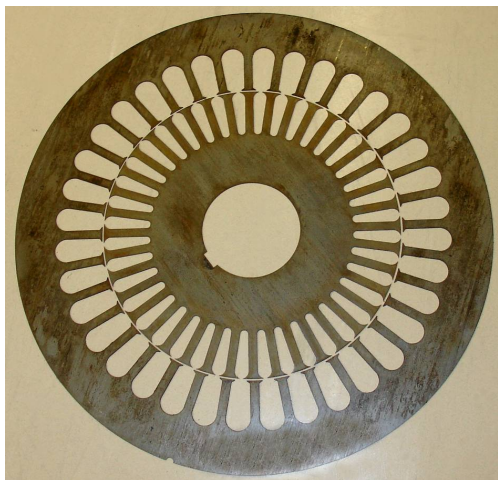


Rys. 14. Wielkość i układ elementów skończonych musi się przystosować do linii kompozycyjnych i konstrukcyjnych obiektu [5]



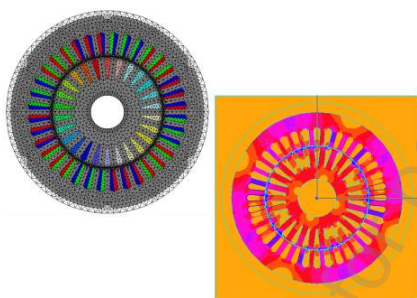
Rys. 15. W procesie dyskretyzacji dużą rolę odgrywa znajomość budowy obiektu oraz natury zachodzących w nim zjawisk

Doskonałym przykładem, ilustrującym owe prawa jest elektryczna maszyna indukcyjna, charakteryzująca się skomplikowanym wykresem geometrycznym blach stojana i wirnika (rys. 16).

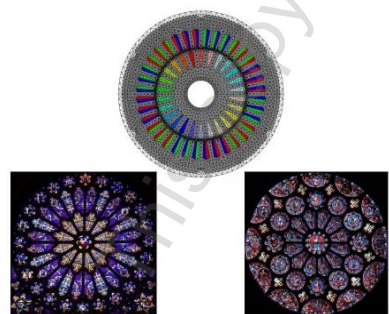


Rys. 16. Blachy stojana i wirnika maszyny indukcyjnej charakteryzują się skomplikowanym wykresem geometrycznym (źródło: mat. własne prof. A. Demenko)

Spoglądając na wyniki analizy pola magnetycznego i siatki dyskretyzacyjnej (rys. 17), trudno powstrzymać się od ich zestawienia z pięknymi wielobarwnymi gotyckimi witrażami – rozetami katedr w Amiens oraz Chartres we Francji (rys. 18).



Rys. 17. Siatka dyskretyzacyjna oraz rozkład przestrzenny pola magnetycznego w silniku indukcyjnym – przekrój poprzeczny (źródło: mat. własne prof. A. Demenko)



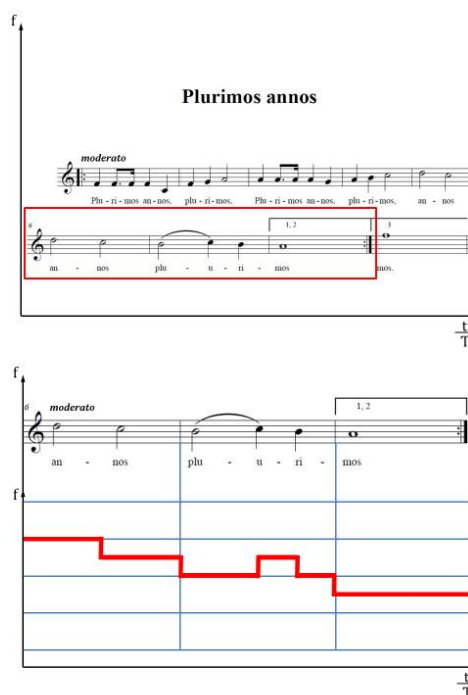
Rys. 18. Zestawienie siatki dyskretyzacyjnej dla maszyny indukcyjnej z witrażowym rozetami katedr w Amiens oraz Chartres w Francji [7, 13]

Innym reprezentatywnym przykładem promieniowania sztuki na naukę jest współczesna notacja muzyczna, będąca rozwinięciem średniowiecznej notacji chorałowej, która ograniczała się wyłącznie do wskazywania wysokości dźwięków oraz odległości interwałowych (rys. 19). Śmiem twierdzić, że udoskonalona w XV i XVI wieku notacja menzuralna, uwzględniająca dodatkowo – prócz wysokości dźwięków – ich wartość rytmiczną, jest pierwszym znanym zapisem funkcji matematycznej. Aby się o tym przekonać, nałożmy na nuty znanej łacińskiej pieśni „Plurimos Annos” układ współrzędnych, w którym czas na osi odciętych jest wyrażony w jednostkach względnych, uzależnionych od tzw. tempa utworu: np. largo, moderato, allegro, czy też presto, zaś oś rzędnych jest związana z częstotliwością dźwięku f (rys. 20).

Po przełożeniu zapisu nutowego na język matematyczny, otrzymamy funkcję odcinkami stałą tzw. piece-wise constant function.



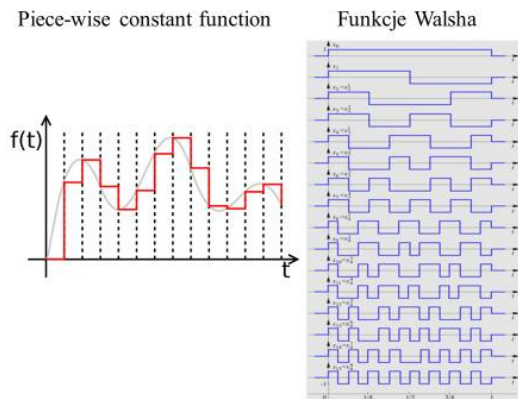
Rys. 19. Notacja muzyczna – forma współczesna (a), średniowieczna notacja chorałowa – neumy diastematyczne (b)[8]



Rys. 20. Notacja muzyczna to wykres czasowy funkcji odcinkami stałej: $f = g(t/T)$, gdzie: f – częstotliwość dźwięku, t/T – czas wyrażony w jednostkach względnych, zależnych od tempa utworu

This copy is for personal use only - distribution prohibited.

Funkcje takie, związane z nazwiskami Walsh, Haara, czy też Rademachera, były przedmiotem żywego zainteresowania automatyków i elektroników w II połowie XX wieku, rodząc wielkie – ale jak się później okazało – płonne nadzieje na rewolucję w teorii sygnałów (rys. 21).



Rys. 21. Funkcje Walsh i ich zastosowanie w analizie sygnałów [15, 18]

Poprzestańmy na tych przypadkach, chociaż snucie przykładów, potwierdzających nieustanne przenikanie się języka graficznego inżynierii, malarstwa i muzyki mogłoby nie mieć końca. Wspólnota ekspresji myśli w sztuce i inżynierii oraz przenikanie się ich języka graficznego dowodzi tego, że „myślenie techniczne” i „myślenie artystyczne” muszą mieć ze sobą wiele wspólnego. Spróbujmy te wzajemne powiązania i podobieństwa odnaleźć, uaoacnić i przekuć w zbiór wskazówek cennych zarówno dla inżynierów, jak i dla artystów. Rozpoczynając nasze rozważania, pokażmy się w pierw o prostą i zwięzłą, ale możliwie wyczerpującą definicję modelowania.

Modelowanie to umiejętność odwzorowywania wybranych cech budowy lub wybranych zachowań twórców natury (powstałych w wyniku działania sił przyrody), bądź też obiektów technicznych (zaprojektowanych i skonstruowanych przez człowieka) w sposób uproszczony, dobywający i eksponujący istotę rzeczy.

Można wskazać na trzy zasadnicze powody, dla których ten intelektualny wysiłek modelowania jest podejmowany (rys. 22).



Rys. 22. Człowiek podejmuje trud modelowania, aby lepiej zrozumieć świat, budować nowe maszyny oraz odkrywać piękno [24, 26]

Po pierwsze ze względu na chęć poznania i lepszego zrozumienia świata. Tak dzieje się w fizyce i naukach naturalnych (astronomii, geografii, geologii, biologii itd.), ukierunkowanych na coraz to lepsze poznawanie twórców natury, praw przyrody i zasad rządzących światem. Drugi z powodów to dążność do ciągłego polepszania warunków bytu i coraz szerszego zaspokajania potrzeb materialnych. Ma to miejsce we wszystkich naukach technicznych, w których model pozwala na projektowanie, konstrukcję, optymalizację, właściwe zastosowanie i prawidłową

eksploatację maszyn, urządzeń i systemów. Trzecim powodem jest pragnienie wywoływania doznań estetycznych i wrażeń artystycznych, a więc dążenie do zaspokajania potrzeb duchowych człowieka. Tak dzieje się w przypadku sztuk pięknych: artysta odzwierciedla fragmenty rzeczywistości i przetwarza je tak, aby wzbudzić pożądane emocje i wzruszenia.

Modelowanie jest zaawansowanym procesem intelektualnym, które pojawiło się na początku dziejów ludzkości wraz z narodzinami inteligencji. Cofnijmy się w czasie o ok. 15–16 tysięcy lat p.n.e. do odległych czasów prehistorycznych, w których człowiek zmagął się z niebezpieczeństwami środowiska i walczył o przetrwanie z mamutami, tygrysami szablozębnymi i nosorożcami welnistymi, posługując się prymitywną bronią myśliwską: kamieniami, maczugami, dzidami, oszczepami i łukami (rys. 23).



Rys. 23. Prehistoryczny człowiek zmagający się z niebezpieczeństwami środowiska i walczył o przetrwanie z mamutami, niedźwiedziami jaskiniowymi, posługując się prymitywną bronią myśliwską

„Myślenie artystyczne” tego okresu doskonale charakteryzują rytzy i malowidła naskalne, zachowane w doskonałym stanie w jaskiniach i pieczarach Altamiry w Hiszpanii, czy też Lascaux i Niaux we Francji, a odkryte całkiem niedawno pod koniec XIX wieku (rys. 24).



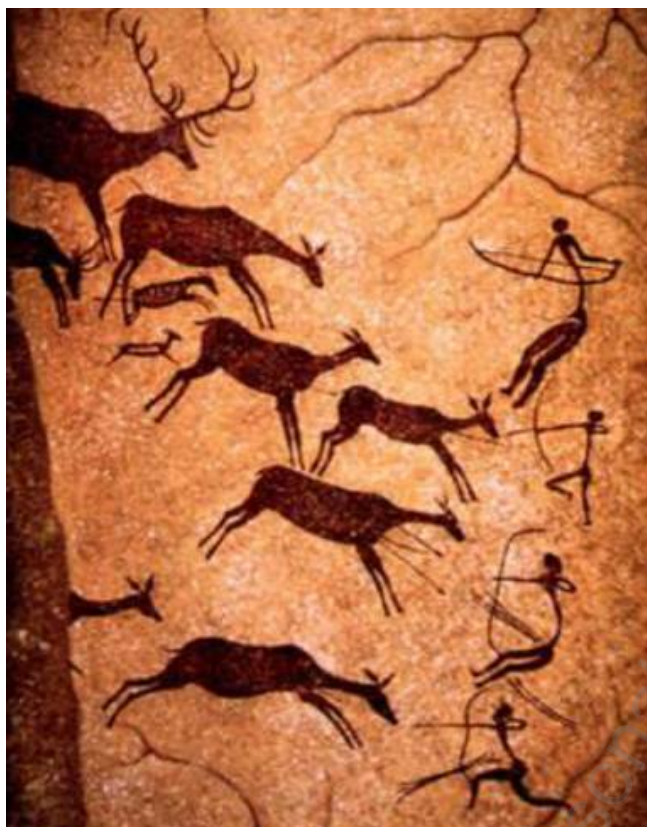
Rys. 24. Rytzy i malowidła naskalne w pieczarach Lascaux (Francja) i Altamiry (Hiszpania) [9, 23, 28]

Patrząc na owe pozornie prymitywne dzieła sztuki nie sposób powstrzymać się od stwierdzenia, że już wówczas, w zaraniach ludzkich dziejów, znane były zasady prawidłowego modelowania. Weźmy chociażby scenę polowania (rys. 25).

Rysunek został drastycznie uproszczony, lecz oglądający widzą nie ma wątpliwości, że jest to „model polowania”. Wiemy znacznie więcej: wiemy, że polowanie jest niebezpieczne, pełne grozy i nacechowane dramatyzmem, że zwierzęta są groźne i dysponują ogromną siłą, że ich pokonanie jest możliwe tylko dzięki zwinności i gibkości myśliwych oraz temu, że są oni wyposażeni w skuteczną broń – łuki. Wiemy tak wiele, mimo tego, że malowidło składa się tylko z niewielu kresek i plam. Wskażmy na te czynności intelektualne i etapy myślenia prehistorycznego człowieka,

które doprowadziły go do zbudowania tak poprawnego i czytelnego „modelu polowania”. Dzięki rozwojowi techniki oraz metod sztucznej inteligencji, jesteśmy w stanie te kolejne czynności nazwać.

Czynność pierwsza (podjęta jeszcze w trakcie polowania) to rejestracja i archiwizacja ciągu obrazów oraz świadomy wybór pojedynczej „klatki”, która najlepiej oddaje dynamikę zdarzenia. Dalsze czynności to: segmentacja obrazu, detekcja ruchomych obiektów, kasacja tła, wyznaczenie obrazu krawędziowego i szkieletyzacja postaci. Jak widać, docieranie do „istoty rzeczy”, dokonuje się poprzez rozumne, konsekwentne i umiejętne opuszczanie, trwające dopóty, dopóki nie zostanie odsłonięta i wydobyta na światło dzienne „istota zjawiska”, a na rozpatrywanej scenie nie pozostaną wyłącznie obiekty, niezbędne do jego zaistnienia. Prehistoryczny twórca uporządkował się z zadaniem budowy „modelu polowania” w sposób perfekcyjny.



Rys. 25. Prehistoryczny „model polowania” [28]



Rys. 26. Słynne drzeworyty Władysława Skoczylasa – profesora rysunku na Wydziale Architektury Politechniki Warszawskiej (zbiory własne K. Kluszczyński)

Na obrazie pozostały wyłącznie obiekty konieczne do odzwierciedlenia zdarzenia: grupa łowców, rozjuszona zwierzęta i broń w rękach myśliwych. Gdy spogląda się na owe syntetyczne, linearne, wręcz nowoczesne kompozycje anonimowych twórców sprzed kilkunastu tysięcy lat na myśl przychodzi słowo wybitnego polskiego grafika Władysława Skoczylasa, profesora rysunku na Wydziale Architektury Politechniki Warszawskiej, autora popularnych w okresie międzywojennym drzeworytów: „Pochód zbójników”, „Lucznik”, oraz „Taniec” (rys. 26), który swoją wizję tworzenia i artystyczne credo zawarł w czterech słowach: „Rysować to znaczy opuszczać”.

Owo credo przyświecało również działalności profesora Wiktora Zina, profesora na Wydziale Architektury Politechniki Krakowskiej, zwanego architektem piękna i światła, który w sposób genialny wycinał „piórkiem i węglem” fragmenty zabytkowej materii, tworząc uogólnione modele dworów, chat i kapliczek o syntetycznej formie, zawierające wszystkie nieodzowne i istotne detale architektoniczne oraz elementy konstrukcyjne (rys. 27).

Piórkiem i węglem



Prof. Wiktor Zin
(1925 – 2007)

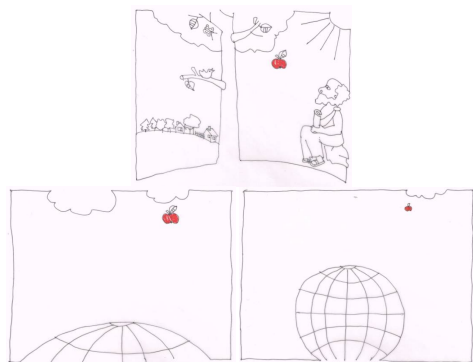
Dr h.c. Politechniki Krakowskiej

Rys. 27. Uogólnione modele dworów, chat i kapliczek tworzone przez profesora Wiktora Zina [17]

Powróćmy do słów Władysława Skoczylasa. Dokonując nieznacznej korekty treści można z powodzeniem odnieść Jego słowa do działalności naukowej, formułując fundamentalną zasadę: „Modelować to znaczy opuszczać”. Najbardziej spektakularny przykład, ilustrujący powyższą zasadę, został zawarty w legendzie, opisującej odkrycie prawa powszechnego ciężenia (rys. 28).

Można powiedzieć że problem grawitacji został rozwiązany z chwilą, gdy na rozpatrywanej scenie – a według legendy był nią sad z dorodną jabłonią pośrodku – pozostało tylko spadające jabłko i Ziemia. Kontemplujący zjawisko upadku dojrzałego owocu, uczony usunął z pola widzenia chatę, płot, drzewa, słońce, wreszcie to, co niewidoczne, a jakże mocno zakłócające zjawisko – powietrze. Geniusz odkrywcy przejawiał się w tym, że na analizowanej scenie pozostawił tylko dwa obiekty, w sposób drastyczny kontrastujące wielkością: nieskończenie małe w porównaniu z Ziemią jabłko i nieskończenie wielką w porównaniu z jabłkiem Ziemię. I jeśli nawet tak nie było, jak głosi to legenda (albowiem dobrze wiemy, że prace Galileusza i Newtona, odnoszące się do swobodnego spadku ciał i prawa powszechnego ciężenia m.in. „Distori”, „De motu locali”, czy też „Philisophie naturalia principia mathematica” obejmowały szeroki okres czasu), to legenda

owa jest kwintesencją ich rozumowania, urzekającym zwięzłością podsumowaniem żmudnych i wieloletnich dociekań oraz przemawiającym do wyobraźni przykładem, potwierdzającym słusność i znaczenie zasady umiejętnego i konsekwentnego opuszczania.



Rys. 28. Prawo powszechnego ciężenia – legenda o spadającym jabłku (rys. M. Kluszczyński)

Po owym, można powiedzieć, bardzo celnym przykładzie „fizycznego modelowania”, mającym charakter legendy, przejdźmy do modelu artystycznego, zaczerpniętego znów ze świata sztuki, który – moim zdaniem – zasługuje na miano modelu najpiękniejszego. Litografia wybitnego grafika i malarza Leona Wyczółkowskiego (zawarta w Tece Litewskiej z 1908 r.), zatytułowana „Stóg na polu”, jest modelem czegoś, czego – wydawałoby się – nie można odwzorować (rys. 29).



Rys. 29. Litografia Leona Wyczółkowskiego „Stóg na polu” (Teka Litewska, 1908) (zbiory własne K. Kluszczyński)

Jest modelem bezkresu litewskiego pejzażu; bezkresu, który emanuje smutkiem, poraża monotonią i rodzi nieodparte uczucie nostalgii. Patrząc na obraz, obserwator bezbłędnie wyczuwa, że skiby i bruzdy zaoranego czarnoziemu nie kończą się na linii horyzontu, ale ciągną się daleko dalej, poza linię widnokregu. Zastanówmy się, co jest źródłem tego przekonania. Spróbujmy rozwikłać tajemnicę tak przekonującego odwzorowania bezkresu na grafice, składającej się zaledwie z kilku linii i kilku plam. „Bez-kres” oznacza „brak kresu”. Kresem obrazu jest jego rama (rys. 30).



Rys. 30. Kresem obrazu jest jego rama

Obraz musi więc sięgać poza ramę. Jeśli nie jest to możliwe w rzeczywistości, to musi tak się stać w wyobraźni widza (rys. 31).



Rys. 31. Litografia „Stóg na polu” jako „model bezkresu”

Punkt przecięcia dwóch głównych linii kompozycyjnych: linii horyzontu oraz linii bruzd pola leży daleko poza ramą. Wzrok obserwatora bezwiednie kieruje się więc ku punktowi przecięcia, którego odległe położenie jest miarą bezkresnej dali. Dopelnieniem zamysłu artysty są dwie wydatne plamy kompozycyjne: przysadzistego stogu siana i strzelistej kępy wyrośniętych bodiaków, których najistotniejszym zadaniem jest przesunięcie punktu ciężkości kompozycji w prawo, ku punktowi przecięcia się głównych osi kompozycyjnych. To przesunięcie punktu ciężkości obrazu, jak też dodatkowe podkreślenie istnienia odległego punktu zbieżności charakterystycznym układem chmur, jeszcze silniej przymusza widza do patrzenia poza ramę obrazu – w dal. Nie było to zadanie łatwe, co potwierdza sam Mistrz, wyznając szczerze w swoich pamiętnikach „Listy i wspomnienia”: *Na małych przestrzeniach człowiek musi się silić, aby wydobyć bezmiar*. Minimalistyczna koncepcja dzieła oraz niska, mocno zredukowana liczba linii, nakazuje przywołać słowa jeszcze innego wybitnego polskiego teoretyka sztuki Juliusza Żurawskiego, autora śmiałej modernistycznej przebudowy słynnego gmachu Wedla w Warszawie (rys. 32), który w przepięknie wydanej przez Politechnikę Krakowską monografii „Siatka prostych” (rys. 33) eksponuje jeszcze inny aspekt prostoty: *„Poznanie przebiega drogą minimalnych połączeń”*.



Juliusz Żurawski
(1898 - 1967)

Professor Politechniki Krakowskiej

Rys. 32. Przebudowany w stylu modernistycznym słynny gmach Wedla w Warszawie – dzieło architekta Juliusza Żurawskiego [20]

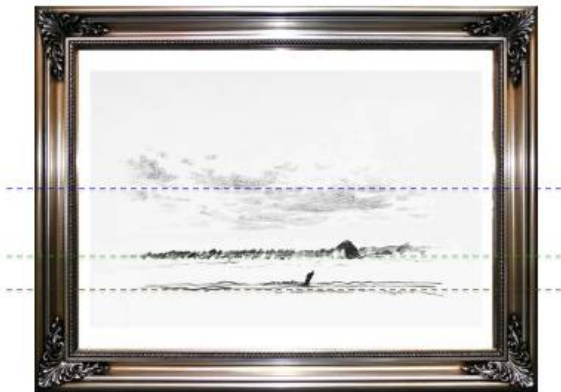


Poznanie przebiega drogą minimalnych połączeń

Juliusz Żorawski
(1898 – 1967)

Rys. 33. Zapomniana monografia wybitnego polskiego teoretyka sztuki Juliusza Żorawskiego przypomniana niedawno przez oficynę wydawniczą Politechniki Krakowskiej [4]

Zagadka „Stogu siana” została więc rozwikłana i wyjaśniona. To, co najmocniej uderza to „matematyczność” wizji twórcy i matematyczny charakter kompozycji. Popatrzmy tylko, co stało się z kompozycją bez owej geometrycznej wiedzy, z której artysta skorzystał najpewniej w bezwiedny i nieświadomy sposób (rys. 34).

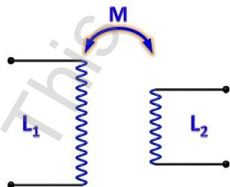


Rys. 34. Litografia „stóg na polu”, zrealizowana bez wiedzy geometrycznej

Po owym wyrafinowanym przykładzie artystycznym cofnijmy się do świata techniki. Reprezentatywnym dla naszych rozważań wydaje się być transformator, najpowszechniej stosowane urządzenie elektryczne, znajdujące szerokie zastosowania, począwszy od elektroenergetyki, aż po elektronikę, o mocach znamionowych sięgających od setek MVA, aż po moce równe zaledwie ułamkom wata (rys. 35).

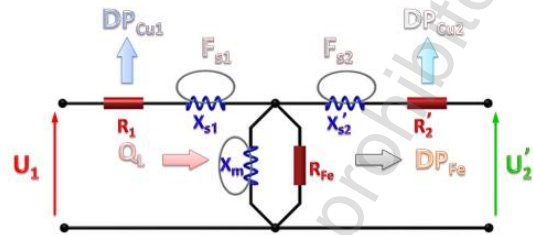


Rys. 35. Transformatory o bardzo różnych mocach: elektroenergetyczny i elektroniczny



Rys. 36. Transformator jako układ dwóch cewek sprzężonych magnetycznie

Z punktu widzenia teorii obwodów elektrycznych transformator to układ dwóch magnetycznie sprzężonych cewek, których współdziałanie, ukierunkowane na zmianę poziomu napięć tłumaczą zjawiska: indukcji wzajemnej i samoindukcji. Miarą intensywności tych zjawisk są odpowiednio współczynniki indukcyjności wzajemnej M oraz indukcyjności własnych L_1 i L_2 (rys. 36).

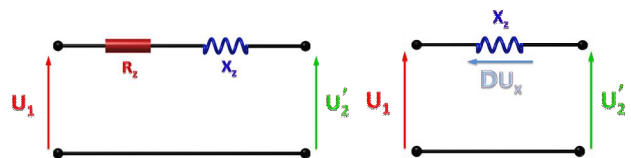


Rys. 37. Typowy schemat zastępczy transformatora, uwzględniający straty w miedzi i żelazie

W praktyce inżynierskiej niezbędne staje się uwzględnienie szeregu innych jeszcze, nie mniej ważnych zjawisk, a mianowicie (rys. 37):

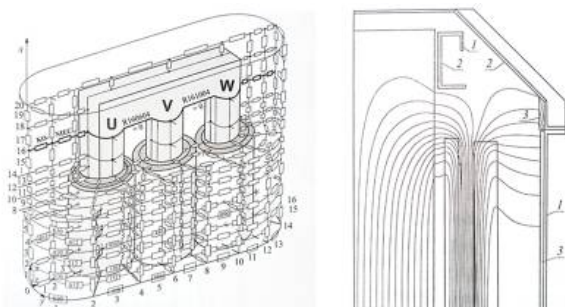
- wydzielania się energii cieplnej na rezystancjach uzwojeń (parametry R_1 i R_2),
- wydzielania się energii cieplnej w rdzeniu ferromagnetycznym (parametr R_{Fe}),
- powstawania strumieni rozproszenia (parametry X_{s1} i X_{s2}),
- poboru mocy biernej, związanej z magnesowaniem rdzenia (parametr X_m),

które to zjawiska, towarzyszące przemianie elektromagnetycznej w znaczący sposób wpływają na właściwości eksploatacyjne transformatora. Projektant i konstruktor transformatora nie może pominąć żadnego z tych zjawisk, albowiem wszystkie one rzutują na dane znamionowe oraz dane katalogowe transformatora m.in. na sprawność znamionową oraz straty energii elektrycznej. W przypadku użytkownika transformatora, któremu zależy na sztywnym źródle energii o zadanej wartości napięcia dominujące znaczenie będzie miała zmienność napięcia, którą można wyznaczyć na podstawie uproszczonego schematu zastępczego, składającego się wyłącznie z parametrów wzdłużnych (rys. 38).



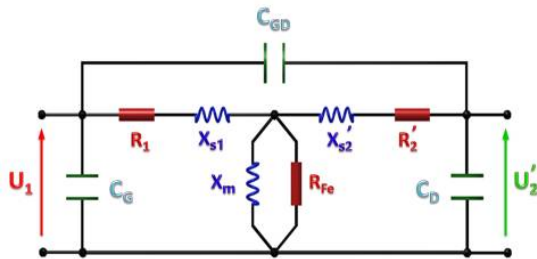
Rys. 38. Uproszczone modele transformatora, stosowane w elektroenergetyce

Specjalista-elektroenergetyk, zajmujący się obliczeniami sieci elektroenergetycznych zadowolony jest jeszcze bardziej okrojonym schematem zastępczym, zawierającym wyłącznie reakcję zwarcia, ale dla dokładnego wyznaczenia wartości tego najbardziej interesującego go parametru nie cofnie się przed wykorzystaniem zaawansowanych komputerowych technik obliczenia rozkładu pól magnetycznych metodą sieci reluktancyjnych, czy też metodą elementów skończonych (rys. 39).



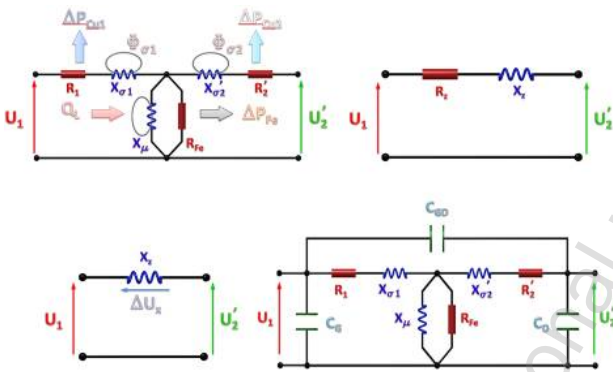
Rys. 39. Wyznaczanie strumieni rozproszenia transformatora metodą sieci reluktancyjnych oraz metodą MES [1]

Dla inżyniera z zakresu techniki wysokich napięć, badającego skutki wyładowań atmosferycznych i uderzeń piorunów, szczególnego znaczenia nabierają pojemności uzwojeń w stosunku do rdzenia transformatora oraz pojemności międzywarstwowe w uzwojeniach, które to parametry w ogóle nie były uwzględniane na wcześniej prezentowanych modelach (rys. 40).



Rys. 40. Model transformatora uwzględniający pojemności uzwojeń w stosunku do rdzenia

Jak widać, gama modeli matematycznych transformatora jest bogata, szeroka i różnorodna – i każdy z zaprezentowanych modeli może być uznany za odpowiedni, celny i trafny, tyle tylko, że w odniesieniu do innej klasy zjawisk lub też w stosunku do innych właściwości eksploatacyjnych. O tym, czy model jest trafny i adekwatny decyduje więc planowany zakres jego praktycznego wykorzystania. Zestawienie modeli transformatora (rys. 41) jest przekonującą ilustracją tego fragmentu przedstawionej na wstępie definicji modelowania, który mówi o tym, że model odwzorowuje wyłącznie wybrane zjawiska lub wybrane cechy rzeczywistego obiektu.



Rys. 41. Zestawienie różnych schematów zastępczych transformatora

Każdy z reprezentowanych modeli transformatora dotyka „istoty rzeczy”, tyle tylko, że „istota rzeczy” jest zupełnie odmienna dla różnych zakresów zastosowań. Ta zdolność właściwego wyboru i odpowiedniego dopasowania modelu do przewidywanego zakresu stosowności zasługuje na miano najbardziej kluczowej inżynierskiej umiejętności. Jest to umiejętność obwarowana podwójnym znakiem nierówności.

Dobry model musi bowiem brać pod uwagę wszystko to, co jest istotne, ale też nie powinien brać pod uwagę niczego, co jest zbędne lub odgrywa drugorzędą rolę. Model nie może więc być zbyt skąpy i ubogi, ale nie może też być nadmiernie i zbyt rozbudowany, krótko mówiąc, nie może być „przewymiarowany”. Model trafny i celny to model adekwatny. To model „na miarę” planowanych zastosowań. Na zakończenie pokażemy się o garść refleksji, związanych z samym procesem formułowania modeli.

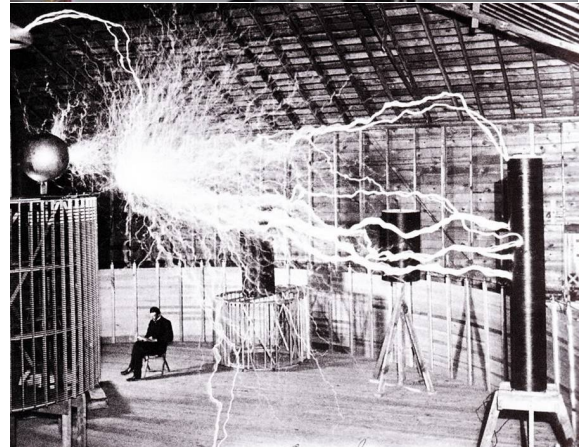
To, że stworzenie trafnego modelu wymaga gruntownej wiedzy i bogatego doświadczenia, logicznego myślenia oraz żmudnego i wyteźonego rozumowania jest sprawą znaną i oczywistą. To jednak, że w tworzenie modelu tak często i niespodzianie wplata się przebłysk intuicji, zwany olśnieniem jest niewytłumaczalnym działaniem podświadomości. Jest zagadką, znaną od dawien dawna, którą dobrze poznali greccy myśliciele, tworzący podwaliny ludzkiej wiedzy. Słowem-kluczem, opisującym to

nieuświadomione działanie podświadomości stał się słynny okrzyk wyskakującego z balii Archimedesesa: *Eureka!* (rys. 42).



Rys. 42. Archimedes jako symbol uświadomionego sobie nagle działania podświadomości (rys. W. Pyttel)

Trzeba dobitnie stwierdzić, że intuicja zwykła podpowiada tym, którzy na to zasługują. Intuicja sprzyja opętany pracą i opętany wiedzą: tym, których wiedza jest ogromna i sięga daleko dalej poza tematykę modelu – w matematykę, fizykę, filozofię, literaturę i sztuki piękne (rys. 43).



Rys. 43. Intuicja podpowiada opętany pracą i opętany wiedzą

Dzieje się tak dlatego, że rozwiązanie podsuwane przez intuicję, jest najczęściej niczym innym jak nieoczekiwanym skojarzeniem dwóch odległych dziedzin, obcych sobie metod, teorii, czy też faktów, lokujących się w tak odległych rewirach ludzkiej wiedzy, że nikomu logicznie myślącemu nie przyszłoby na myśl, aby je połączyć.



Rys. 44. Niezwykle magistrale komunikacyjne: estakady i mosty przebiegające ponad miejskimi organizmami [16, 25]

Cud intuicji i podświadomości polega na tym, że – wbrew logice – zsyzywa trwałą nicią w jednej krótkiej chwili przeblysku i oślnienia te dwa tak odległe obszary.

Łączy je niewytłumaczalną magistralą komunikacyjną (rys. 44), jakąś niezwykłą, błyskawicznie zbudowaną białkową estakadą lub mostem nerwowych włókien, przebiegających ponad siecią stopniowo rozwijających się aksonów, łączących kolejne sąsiadujące ze sobą neurony (rys. 45).



Rys. 45. Struktura sieci neuronowych w ludzkim organizmie [2]



Rys. 46. Akwarela Leona Wyczółkowskiego „Walczące żubry”

Pozwólcie, że zapytany o przykład sięgnę znów do arsenału twórczości mistrza Leona Wyczółkowskiego. Ciekawy przykład działania intuicji odnajdziemy w monochromatycznej akwareli, zatytułowanej „Walczące żubry” (rys. 46).

Olbrzymią skupioną siłę zmagających się zwierząt wyraziście obrazują wygięte linie grzbietów. Artysta, wiedziony z pewnością głosem podświadomości poszedł dalej. Sylwetki żubrów wpisują się w kształt napiętego łuku, będącego od pradawnych czasów symbolem zakumulowanej potężnej energii (rys. 47).



Rys. 47. „Model ukrytej siły i napięcia” z symbolem napiętego łuku, adresowany do podświadomości widza

Widz wyczuwa, że przedstawiony stan równowagi, jest stanem równowagi chwiejnej, że lada moment nagromadzona w mięśniach zwierząt sprężysta energia uwolni się, a symetria kompozycji zostanie złamana upadkiem pokonanego żubra. To błyskotliwe i zaskakujące odwołanie się twórcy do symbolu napiętego łuku, którego obecność na rysunku jest odczytywana bardziej przez podświadomość, niżli przez świadomość, rodzi u widza uczucie wewnętrznej napięcia, które to uczucie jest nieodłączną i najważniejszą cechą charakteryzującą walkę i zmaganie. I wreszcie na zakończenie przytoczę moje własne, osobiste doświadczenie oślnienia, przeżyte podczas prac nad nowym modelem matematycznym silnika indukcyjnego, pozwalającym na wyznaczanie tzw. momentów pasożytniczych, zakłócających prawidłową pracę maszyn.

Twórcą pięknych modeli poliharmonicznych (bo na takie miano poprzez swoją elegancję matematyczną zasługują) jest profesor Tadeusz Sobczyk (rys. 48). Opracowana przez Niego metoda rozwiązywania tych modeli, zwana metodą bilansu harmonicznego, rozpowszechniła się szeroko w Polsce i na świecie.

Profesor Politechniki Krakowskiej

302 8. Metoda równoważności macierzy blokowych i jej zastosowania

Aby sprawdzić słuszność równań (8.3.12) układ w układ macierzy należy, są do wyboru dwa sposoby. Jeden polega na zapisaniu osiem dni bilansowych parame- i drugiej przewidywanym kierunku w postaci układu równań:

$$\begin{bmatrix} 11 & 0 & 41 & 9 \\ 0 & 11 & 9 & 41 \\ 0 & 41 & 0 & 41 \\ 0 & 41 & 0 & 41 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 41 \\ 41 \\ 41 \\ 41 \end{bmatrix}$$

lub:

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 41 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 41 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 41 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 41 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 41 \\ 41 \\ 41 \\ 41 \end{bmatrix}$$

W tych równaniach wystąpią pierwiastki: $\lambda_1 = 0$, oraz $\lambda_2 = -1$, $\lambda_3 = 1$, $\lambda_4 = -1$. W tym ostatnim wystąpią pierwiastki: $\lambda_1 = 0$, $\lambda_2 = -1$, $\lambda_3 = 1$, $\lambda_4 = -1$. W tym ostatnim wystąpią pierwiastki: $\lambda_1 = 0$, $\lambda_2 = -1$, $\lambda_3 = 1$, $\lambda_4 = -1$.

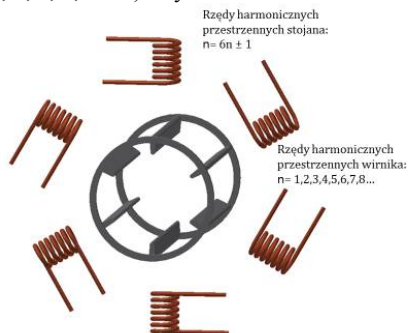
Rys. 48. Twórcą złożonych poliharmonicznych modeli maszyn indukcyjnych jest prof. Tadeusz Sobczyk z Politechniki Krakowskiej

Moim marzeniem było opracowanie prostej metody graficznej, pozwalającej na orzekanie o istotnych właściwościach rozwiązania bez rozwiązywania równań. Efektem tych rozważań był graficzny model maszyny w postaci schematu rozkładu maszyny wielofazowej na maszyny elementarne. Pamiętam moment jego narodzin jako gwałtowny rozbłysk w umyśle i stan eksplodującej jasności. W jednej sekundzie stało się coś zadziwiającego, albowiem w wyobraźni obok pięciolini z nutami dla prawej i lewej ręki zobaczyłem nagle 2 diagramy zawierające elementarne uzwojenia stojana i wirnika (rys. 49).



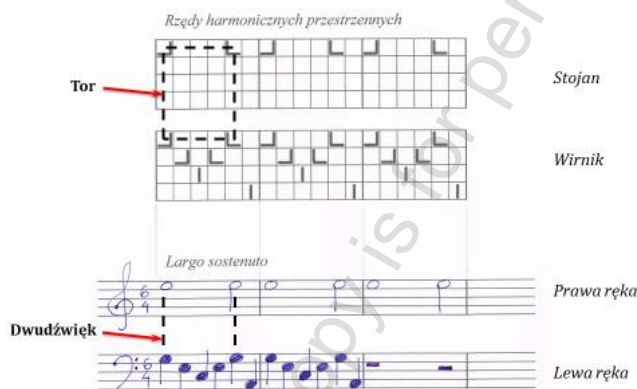
Rys. 49. Fortepianowa notacja muzyczna dla prawej i lewej ręki oraz diagramy rozkładu poliharmonicznej maszyny 6-fazowej na elementarne maszyny dwufazowe i jednofazowe

To podobieństwo pomiędzy nutami prawej i lewej ręki oraz harmonicznymi pola magnetycznego stojana i wirnika, reprezentowanymi przez 2- i 1-fazowe uzwojenia elementarne staje się szczególnie wyraziste, gdy zestawimy obok siebie fragment notacji fortepianowej z melodią na 6/4 (rys. 49), ze schematem rozkładu „wymagowanej” maszyny indukcyjnej o 6-fazowym symetrycznym uzwojeniu (generującym harmoniczne przestrzenne o rzędach $v = 6n \pm 1$) i 6-fazowym wirniku klatkowym (generującym harmoniczne przestrzenne o rzędach $v = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 \dots$) – rys. 50.



Rys. 50. Symetryczna 6-fazowa maszyna indukcyjna z wirnikiem klatkowym o sześciu prętach

To naprawdę niezwykle i szokujące skojarzenie, pokazujące że współbrzmienie dwóch dźwięków, formujących dwudźwięk może znaleźć odzwierciedlenie we współdziałaniu 2 harmonicznym przestrzennych pola magnetycznego, generujących synchroniczny moment pasożytniczy (rys. 51).



Rys. 51. Odpowiadające sobie dźwięki, formujące dwudźwięki oraz tory generowania pasożytniczych momentów synchronicznych

Aby zaspokoić ciekawość słuchaczy, jak brzmi taka melodia, wygenerowana w zupełnie przypadkowy sposób na drodze inżynierskiego rozumowania zwróciłem się z prośbą do wybitnego wirtuoza profesora Juliana Gembalskiego (rys. 52), wieloletniego byłego rektora Akademii Muzycznej im. Karola Szymanowskiego w Katowicach, aby ten skromny motyw rozwinął w miniaturę muzyczną.



Rys. 52. Prof. Julian Gembalski z Akademii Muzycznej w Katowicach – twórca „Wariacji na temat harmonicznego pola magnetycznego w maszynie wirującej” [12]

Jego kompozycja o charakterze wariacji na motyw muzyczny zadany i widoczny na rys. 49 potwierdza to, że piękno i prawidłowości w technice przekładają się na walory estetyczne i odczuwanie piękna w sztuce.

Czas, aby podsumować wyniki naszych artystycznych i inżynierskich dociekań i przemyśleń. Być może ukazane podobieństwa, paralele i analogie, zaczerpnięte ze świata sztuki i techniki okażą się przydatne inżynierom i artystom w ich działalności technicznej i plastycznej. Nie to jednak było najważniejszym przesłaniem mego wykładu. Moim ukrytym celem było pokazanie, że modelowanie w technice jest czymś więcej, niżli rutynową umiejętnością. Moim głębokim pragnieniem było przekonanie słuchaczy, że **modelowanie w technice jest sztuką**, najprawdziwszą sztuką, wymagającą w równym stopniu kunsztu i wiedzy, jak i natchnienia. Również i pokazanie, że dobry inżynier to inżynier o szerokich horyzontach, posiadający nie tylko wiedzę techniczną, ale i pozatechniczną z zakresu historii nauki i architektury, nauk humanistycznych oraz sztuk pięknych (rys. 53).



Rys. 53. Dobry inżynier to inżynier o szerokich horyzontach... [14]

Kreatywność i dar odkrywania nowego bierze swój początek w odległych nieraz obszarach ludzkiej wiedzy (rys. 54).



Rys. 54. Kreatywność i dar odkrywania nowego bierze swój początek w odległych nieraz obszarach ludzkiej wiedzy... [6]

Trzeba zawsze pamiętać i być świadomym tego, że nowa zaskakująca własna droga w świecie techniki może wcale nie mieć swojego początku w obszarze wiedzy technicznej, a zaczynać się w sposób nieświadomy gdzieś w odległej krainie sztuki i skojażeń artystycznych (rys. 55).



Rys. 55. Za sprawą podświadomego promieniowania wiedzy z zakresu historii nauki, sztuk pięknych i nauk humanistycznych można nieraz odkryć nową i zaskakującą własną drogę w świecie techniki

Literatura

- [1] Turowski J.: Elektrodynamika techniczna. PWN, Warszawa 2014.
- [2] [altao.pl/artykuly/sekret-y-ludzkiego-mozgu.htm#prettyPhoto\[pp_gal\]/0/archeoliban.blox.pl/html/1310721,262146,724.html?1](http://altao.pl/artykuly/sekret-y-ludzkiego-mozgu.htm#prettyPhoto[pp_gal]/0/archeoliban.blox.pl/html/1310721,262146,724.html?1)
- [3] cargocollective.com/t-r-a-a-c-e/Juliusz-Zorawski-work-Dzielo-Juliusza-Zorawskiego
- [5] docs.pointclouds.org/trunk/group__surface.html
- [6] fabrykapixeli.home.pl
- [7] gunthera.files.wordpress.com/2011/12/dsc04358.jpeg
- [8] medsim.eu/artikul/573/
- [9] milejkata.files.wordpress.com/2012/10/lascaux.gif
- [10] moniułka.flog.pl/wpis/3210405/witraz-w-muzem-ziemi-lubuskiej-w-zielonej-gorze-galeria-witrazy-marii-powaliszbardonskiej#w
- [11] okruchykultury.pl/category/sztuka/
- [12] peter81.flog.pl
- [13] pl.wikipedia.org/wiki/Plik:South_rose_window_of_Chartres_Cathedral.jpg
- [14] vasalsskemezirici.cz/doc/39576
- [15] vnav.vn/forum/viewtopic.php?f=19&t=3493

- [16] wallpaperscraft.com/download/moscow_city_moscow_buildings_skyscrapers_bridges_59196/3840x2160
- [17] wawjol74.blogspot.com/2015/05/wiktor-zin.html
- [18] wazniak.mimuw.edu.pl/index.php?title=Grafika:PS_M2_Slajd19.png
- [19] www.amazon.com/Element-Structural-Mechanics-Seventh-Edition/dp/1856176347
- [20] www.bryla.pl/bryla/56,85301,9898488,kamienica-jana-wedla-ul-pulawska-28-proj-juliusz-zorawski,,2.html
- [21] www.directindustry.fr/prod/numeca-24358.html#product-item_799277
- [22] www.empik.com/the-finite-element-method-its-basis-and-fundamentals-taylor-r-l-zhu-j-z-zienkiewicz-o-c-taylor-robert-l-zienkiewicz-olek-c,p1075258039,ksiazka-p
- [23] www.fragile.net.pl/home/wp-content/uploads/2013/06/Wasilewski-fot.-male.jpg
- [24] www.historia.beskidia.pl
- [25] www.tapeciarnia.pl
- [26] www.torun.webd.pl
- [27] www.wnieznane.pl/wenecja,11,4,zdjecia
- [28] zadane.pl/zadanie/5468138

Prof. Krzysztof Kluszczyński

e-mail: krzysztof.kluszczyński@polsl.pl



Krzysztof Kluszczyński urodził się 11 lipca 1950 roku w Brzeszczach. W 1973 roku ukończył z wyróżnieniem studia na Wydziale Elektrycznym Politechniki Śląskiej na specjalności „Maszyny i Urządzenia Elektryczne”. W 1978 roku uzyskał z wyróżnieniem stopień dr n.t., zaś w 1988 roku – habilitację. Tytuł naukowy profesora nauk technicznych, nadany przez Prezydenta RP, otrzymał w 1996 roku (stając się w wieku 46 lat najmłodszym profesorem w zakresie maszyn elektrycznych w Polsce).

W latach 1973–96 był pracownikiem Instytutu Maszyn i Urządzeń Elektrycznych, zaś w 1997 r. podjął działania ukierunkowane na budowę własnego zespołu badawczego z zakresu mechatroniki, które zostały uwiecznione powołaniem Katedry Mechatroniki, pierwszej tego typu jednostki naukowej na Wydziałach Elektrycznych w Polsce. Od samego początku powstania Katedry pełni funkcję jej kierownika oraz opiekuna nowoutworzonego kierunku Mechatronika. Jako dyrektor kieruje międzywydziałową jednostką Politechniki Śląskiej: Centrum Edukacji w Mechatronice, powstałą w 2002 roku. Jest uznawany w Polsce i za granicą za prekursora nurtu mechatroniki, wywodzącego się z elektromechaniki. Prowadzi bardzo szeroką działalność międzynarodową w ramach wielu programów i sieci międzynarodowych m.in. programu CEEPUS (Austria), programów Unii Europejskiej TEMPUS-MEDA, międzynarodowej sieci „Research and Education in Mechatronics” REM (Niemcy), UNESCO International Centre for Engineering Education (Australia) oraz ICAM Grandes Ecoles Group (Francja). Wniósł olbrzymi wkład w rozwój studiów wyższych z zakresu mechatroniki w Egipcie i Jordanii (2007–2014)

Wypromował 14 doktorów nauk technicznych z zakresu elektromechaniki i mechatroniki, a ponadto był recenzentem 35 prac doktorskich i habilitacyjnych (na prawie wszystkich uczelniach technicznych w Polsce). Jest autorem ponad 300 publikacji z zakresu maszyn elektrycznych oraz mechatroniki, 6 monografii oraz 2 międzynarodowych podręczników akademickich.

Znany jest z niezwykle dynamicznej działalności w zakresie organizacji konferencji naukowych. Jego dziełem są: Międzynarodowe Warsztaty Doktoranckie OWD (największa konferencja młodych naukowców w Europie Centralnej), Ogólnopolskie Sympozjum „Podstawowe Problemy Energoelektroniki, Elektromechaniki i Mechatroniki” PPEEm, Beskidzkie Seminaria Elektryków BSE (słynne „University of Pietraszonka”) oraz Seminaria Naukowe na żagłowcu „Dar Młodzieży” (zwane „plywającym Uniwersytetem”). Jako przewodniczący Zarządu Głównego Polskiego Towarzystwa Elektrotechniki Teoretycznej i Stosowanej PTETiS od 1999 roku, wniósł znaczący wkład w rozwój Towarzystwa i doprowadził do znacznego rozwoju jego struktury (5 nowych Oddziałów). Od 2002 roku jest członkiem Komitetu Elektrotechniki PAN oraz członkiem Polskiego Komitetu Teorii Maszyn i Mechanizmów PAN.

W 2014 uzyskał tytuł doktora h.c. Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach, honorujący jego działalność na rzecz: integracji pracowników o różnych kierunkach i specjalnościach w kraju i za granicą oraz humanizacji studiów technicznych.

otrzymano/received: 02.10.2015

przyjęto do druku/accepted: 29.12.2015