

Krzysztof Kluszczyński
Politechnika Śląska w Gliwicach

Modelowanie – umiejętność, sztuka czy dar?

Modeling – Skill, Art or Gift?

STRESZCZENIE

Praca definiuje istotę 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 naukowych i inżynierskich. Aby uczynić rozważania i wnioski bardziej przekonującymi, autor wielokrotnie odwołuje się do różnych gatunków sztuki: malarstwa, grafiki, architektury, muzyki i sztuk użytkowych, dobitnie eksponując myśl przewodnią mówiącą o tym, że modelowanie w nauce 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 i 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 oraz z wyników prac badawczych udostępnionych przez innych naukowców, m.in. prof. Andrzeja Demenko z Politechniki Poznańskiej. Niektóre z nich zostały specjalnie opracowane na potrzeby artykułu przez dr. inż. Marcina Szczygła, dr. inż. Pawła Kowola, mgr. inż. Marka Kluszczyńskiego oraz mgr. inż. arch. Wojciecha Pytela.

SUMMARY

The work is an attempt to define the essence of the 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 scientific and 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

science is a creative process, characterized by the same features as the creative process associated with the creation of works of art. The examples, which illustrate the principles of modelling as well as the similarities and parallels between the engineering works of various nature and works of art, were taken from various web sources, Wikipedia, materials from the author's collections and from the library of the Academy of Music in Katowice, the author's own scientific works from different periods of his activity, and from the research results that were made available for him by other scientists, such as Prof. Andrzej Demenko from the Poznań University of Technology. Some of them have been prepared specially for this article by Eng. Marcin Szczygieł, Sc.D., Eng. Paweł Kowol Sc.D., M.Sc. Eng. Marek Kluszczyński and M.Sc. Eng. Wojciech Pyttel.

SŁOWA KLUCZOWE

model, modelowanie, cechy dobrego modelu

KEYWORDS

model, modelling, features of a good model

A. ROZWAŻANIA TEORETYCZNE

Wstęp

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. Również podręczniki akademickie i programy studiów nasycone są problemami z zakresu modelowania. O ile do niedawna modelowanie było domeną nauk technicznych, o tyle w chwili obecnej dotyczy wielu innych dziedzin, w tym również medycyny, ekonomii, geografii, biologii czy też pedagogiki. Studenci nauk technicznych uczą się modelowania układów i systemów, studenci medycyny – modelowania rozwoju komórek nowotworowych oraz replikacji DNA, zaś studenci Wydziału Nauk o Ziemi – modelowania procesów geologicznych, umożliwiającą prognozowanie trzęsień ziemi. Na pedagogice mówi się o różnorodnych modelach uczenia się, zaś dziennikarze próbują lepiej zrozumieć przemiany zachodzące we współczesnym świecie, podejmując próby modelowania społeczno-ekonomicznych procesów transformacji i ewolucji.

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 pęczniejące z roku na rok biblioteki z łatwo dostępnym profesjonalnym oprogramowaniem (rys. 1). Wysoko zaawansowane programy komputerowe sprzyjające szybkiemu i często już automatycznemu tworzeniu i rozwiązywaniu modeli matematycznych

niosą w sobie – nie do końca uświadamiany – załączek spłylenia i zubożenia właściwego pojmowania procesu modelowania jako najbardziej wyrafinowanego przejawu ludzkiej działalności, wymagającej zarówno olbrzymiej wiedzy i doświadczenia, jak też bystrości umysłu, umiejętności oryginalnego myślenia oraz ogromnej – często genialnej – intuicji.

Terminologia

Po wprowadzeniu należy naszym Czytelnikom przybliżyć (zdefiniować) pojęcia występujące na kartach opracowania. Tadeusz Pszczołowski przez model rozumie „sposób, miarę, normę i wzór. Model przedmiotowy to przedmiot złożony (także abstrakcyjny) odwzorowujący dla celów poznawczych lub praktycznych bardziej od niego złożony istniejący albo projektowany fragment rzeczywistości”¹. Z modelem związany jest termin modelowanie – jak stwierdza autor artykułu – odnoszący się do różnych nauk.

W pedagogice modelowanie to jedna z metod badawczych należących do metod projektujących. Modelowanie jako metoda badawcza posługuje się modelem. Wyróżnia się kilka rodzajów modeli: teoretyczne, materialno-matematyczne i opisowe². Modele opisowe oprócz zasadniczych założeń (twierdzeń) zawierają pełną dokumentację pedagogiczną dla poszczególnych przedmiotów nauczania. Po utworzeniu modelu następuje weryfikacja teoretyczna przeprowadzona w różny sposób: np. ocena ekspertów, dyskusja specjalistów. Po weryfikacji teoretycznej dokonuje się weryfikacja praktyczna, zwana wdrożeniem³.

W literaturze spotykamy się z pojęciem model komputerowy. Jest to „model formalny, w którym poszczególnym jego stanom przypisujemy odpowiednie charakterystyki liczbowe. Zachowanie się modelu i jego elementów składowych można opisać za pomocą procedur numerycznych przy wykorzystaniu techniki komputerowej. Model komputerowy opisywany jest w języku programowania zorientowanym na przedmiot analizy i na wykorzystaną technikę komputerową”⁴.

Po zdefiniowaniu terminów model i modelowanie autor prezentuje istotę procesu modelowania poprzez technikę, muzykę i sztukę.

¹ T. Pszczołowski, *Mała encyklopedia prakseologii i teorii organizacji*, Wrocław – Warszawa – Kraków – Gdańsk 1978, s. 119.

² E. Goźlińska, F. Szlosek, *Podręczny słownik nauczyciela kształcenia zawodowego*, Radom 1997, s. 75.

³ Tamże, s. 75–76.

⁴ K. Wanielista, I. Miłkowska, *Słownik menedżera*, Wrocław 1998, s. 149.

Istota procesu modelowania poprzez technikę, muzykę i sztukę

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 umiłanie życia i czynienie go piękniejszym (jest to oczekiwanie, którego spełnienia domagamy się od sztuki; rys. 2).

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).

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 do zaprojektowania i wytworzenia obiektu technicznego lub też do wykreowania dzieła sztuki.

Tak jednak nie jest, ponieważ 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).

W sztuce zaś mamy do czynienia z dwuwymiarowym rysunkiem artystycznym, grafiką, obrazem olejnym, akwarelą, pastelem, gwaszem czy też trójwymiarową 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).

Za taką myślą przemawiają biografie wybitnych uczonych, artystów i myślicieli, którzy wykształceni do działania i przemawiania w określonym języku – ni stąd, ni zowąd – pod wpływem wewnętrznego imperatywu i kierując się

nieodpartą potrzebą serca, sięgają niespodziewanie po nowy, „obcy im język”, który nie był przedmiotem ich nauki, studiów i kariery zawodowej.

Można wskazać wiele takich postaci w najbliższym nawet otoczeniu, również na Górnym Śląsku. Zacznijmy od profesora Mieczysława Chorążego, światowej sławy onkologa z Gliwic, spod którego ręki wyszły prezentowane na rysunku 8 urokliwe akwarele i pastele, odsłaniające i utrwalające piękno ojczyściej ziemi. Profesor Julian Gembalski, wieloletni rektor Akademii Muzycznej w Katowicach, wybitny wirtuoz organista, posiadał tajniki wiedzy inżynierskiej z zakresu mechaniki, akustyki, pneumatyki i materiałoznawstwa, stawiające go w jednym rzędzie z projektantami i konstruktorami złożonych systemów mechanicznych i mechatronicznych (rys. 9). Profesor Tadeusz Trzaskalik, kierownik Katedry Badań Operacyjnych na Uniwersytecie Ekonomicznym w Katowicach, już jako prorektor i 60-letni profesor ukończył „pianistykę” w klasie fortepianu profesora Józefa Stompla i w wolnych chwilach koncertuje w Polsce i za granicą (rys. 10). Nie sposób nie wspomnieć profesora Józefa Bremerera, rektora Akademii Ignatianum w Krakowie, wybitnego uczonego z zakresu filozofii umysłu, który jest absolwentem Wydziału Mechanicznego i Energetycznego Politechniki Śląskiej w Gliwicach (rys. 11).

Zaskakujące jest to pragnienie oraz niezwykła gotowość wybitnych jednostek do sięgania po „język pozazawodowy”, właściwy zupełnie innej dziedzinie. I co najdziwniejsze, przychodzi im to z niezwykłą łatwością.

Sztuka na przestrzeni wieków – nurty, artyści, dzieła i jej zastosowanie

Innym przekonującym dowodem na istnienie języka uniwersalnego mogą być cechy odnajdywane w starożytnej sztuce, które po wielu stuleciach wkraczają niespodziewanie i triumfalnie do nauki, stając się zaczynem wielkiego przełomu myślowego i początkiem 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 długo wiodącą techniką zdobniczą w sztuce chrześcijańskiej (rys. 12).

Jej sedno to obrazowanie rzeczywistości za pomocą niewielkich kawałków kamieni, ceramiki lub też szkła mieszanego z tlenkami metali (rys. 13). Chciałoby się krótko i zwięźle powiedzieć – za pomocą różnorodnych elementów, a – mając na uwadze to, że w wyrafinowanej technologicznie mozaice na 1 cm² może przypadać nawet 50 elementów – jeszcze dodać i doprecyzować: bardzo małych, ale skończonych elementów (rys. 14).

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. 15). 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. 16).

Szukające 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 (rys. 17); należy też brać pod uwagę charakter i naturę obiektu, rozpoznawaną dzięki wiedzy o budowie urządzeń technicznych i zachodzących w nim zjawiskach (rys. 18).

Doskonałym przykładem ilustrującym owe prawa jest elektryczna maszyna indukcyjna, charakteryzująca się skomplikowanym wykresem geometrycznym blach stojana i wirnika (rys. 19). Spoglądając na wyniki analizy pola magnetycznego i siatkę dyskretyzacyjną (rys. 20), trudno powstrzymać się od ich zestawienia z pięknymi, wielobarwnymi witrażami, wypełniającymi rozety na frontonach wspaniałych francuskich katedr w Amiens i Chartres (rys. 21).

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. 22). Śmiem twierdzić, że udoskonalona w XV i XVI w. 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. Po przełożeniu zapisu nutowego na język matematyczny otrzymamy funkcję odcinkami stałą, tzw. *piecewise-constant function* (rys. 23).

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, unaocznić i przekuć w zbiór wskazówek cennych zarówno dla inżynierów, jak

i dla artystów. Rozpoczynając nasze rozważania, pokusimy się wprawdzie o prostą i zwięzłą, ale możliwie wyczerpującą definicję modelowania.

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

Modelowanie jest zaawansowanym procesem intelektualnym, który pojawił się na początku dziejów ludzkości wraz z narodzinami inteligencji. Cofnijmy się o ok. 15-16 tysięcy lat, do odległych czasów prehistorycznych, w których człowiek zmagał się z niebezpieczeństwami środowiska i walczył o przetrwanie z mamutami, tygrysami szablozębnymi i nosorożcami wełnistymi, posługując się prymitywną bronią myśliwską: kamieniami, maczugami, dzidami, oszczepami i łukami (rys. 24). „Myślenie artystyczne” tego okresu świetnie charakteryzują ryty i malowidła naskalne, zachowane w doskonałym stanie w jaskiniach i pieczarach Altamiry w Hiszpanii czy też Lascaux we Francji, a odkryte całkiem niedawno pod koniec XIX w. (rys. 25). 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 pod uwagę scenę polowania (rys. 26). Rysunek został drastycznie uproszczony, lecz oglądający widz nie ma wątpliwości, że jest to „model polowania”. Wiemy znacznie więcej: polowanie jest niebezpieczne, pełne grozy i nacechowane dramatyzmem, zwierzęta są groźne i dysponują ogromną siłą, ich pokonanie jest możliwe tylko dzięki zwinności i gibkości myśliwych oraz temu, że są oni wyposażeni w skuteczną broń – łuki. Wiemy tak wiele, mimo 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 odświetlona i wydobyta na światło dzienne „istota zjawiska”, a na rozpatrywanej scenie nie pozostaną wyłącznie obiekty niezbędne do jego zaistnienia. Prehistoryczny twórca uporał się z zadaniem budowy „modelu polowania” w sposób perfekcyjny. Na obrazie pozostały wyłącznie obiekty konieczne do odwzorowania zdarzenia: grupa łowców, rozjuszona zwierzęta i broń

w rękach myśliwych (rys. 26). Gdy spogląda się na owe syntetyczne, linearne, wręcz nowoczesne kompozycje anonimowych twórców sprzed kilkunastu tysięcy lat, na myśl przychodzi słowa wybitnego polskiego grafika Władysława Skoczylasa, profesora rysunku na Wydziale Architektury Politechniki Warszawskiej, autora popularnych w okresie międzywojennym drzeworytów: *Pochód zbójników*, *Łucznik* oraz *Taniec* (rys. 27), który swoją wizję tworzenia i artystyczne credo zawarł w czterech słowach: „Rysować to znaczy opuszczać”. 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. *Distorsi, De motu locali* czy też *Philisophiae naturalis principia mathematica* obejmowały szeroki zakres czasowy), to legenda owa jest kwintesencją ich rozumowania, urzekającym zwięzłością podsumowaniem żmudnych i wieloletnich dociekań, a także przemawiającym do wyobraźni przykładem, potwierdzającym słuszność i znaczenie zasady umiejętnego i konsekwentnego opuszczania oraz daleko idącego upraszczania.

Po owym, można powiedzieć, bardzo celnym przykładzie z historii fizyki 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). 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). Obraz musi więc sięgać poza ramę. Jeśli nie jest to możliwe w rzeczywistości, to musi tak się stać w wyobraźni widza. 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 (rys. 31). Dopełnieniem zamyśłu artysty są dwie wydatne plamy kompozycyjne: przysadzistego stogu siana i strzelistej kępy wyrosniętych bodiaków, których najistotniejszym zadaniem jest przesunięcie punktu ciężkości kompozycji w prawo, ku punktowi przecięcia się głównych osi kompozycyjnych. To przesunięcie punktu ciężkości obrazu 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”.

Zagadka *Stogu na polu* została więc rozwikłana i wyjaśniona. Tym, co najmocniej uderza, jest „matematyczność” wizji twórcy i matematyczny charakter kompozycji.

Inne piękne przykłady wykorzystania tej „ukrytej w geometrii” tajemnicy odnajdujemy w pracach malarskich wspomnianego na początku profesora Mieczysława Chorążego. Akwarela na rysunku 32 przedstawia potężny górski masyw. O górach mówimy często, że są „niebotyczne” i „niebosiężne”, czyli – że „nieba dotykają” i że „nieba sięgają”. Nie mamy co do tego najmniejszych wątpliwości, gdy patrzymy na akwarelę ze strzelistym skalnym grzbietem (rys. 32 b). Punkt zbieżności wyznaczony przez strome górskie zbocza traci jednak na znaczeniu wobec „przemoznego odczucia równoległości”, odczucia wymuszonego patrzeniem na wzajemnie równoległe osie symetrii trzech wierzchołków (rys. 33). Gdy spoglądamy na obraz, przypominają się i tłuką po głowie słowa nauczyciela matematyki, który powtarzał: punkt przecięcia prostych równoległych leży w nieskończoności. W języku dzieci oznacza to, że „w niebie”, a to już bezpośrednio przekłada się na stwierdzenie, że „góry są niebo-siężne”.

Wykorzystanie zasad fizyki w modelowaniu

Po owym wyrafinowanym przykładzie artystycznym cofnijmy się do świata techniki. Reprezentatywny 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. 34). 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 (rys. 35). W praktyce inżynierskiej niezbędne staje się uwzględnienie szeregu innych jeszcze, nie mniej ważnych zjawisk, a mianowicie (rys. 36):

- 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 $X_{\sigma 1}$ i $X_{\sigma 2}$);
 - poboru mocy biernej, związanej z magnesowaniem rdzenia (parametr X_m);
- które to zjawiska, towarzyszące przemianie elektromagnetycznej, w znaczący sposób wpływają na właściwości eksploatacyjne transformatora.

Zestawienie modeli transformatora, opisujących te różnorodne zjawiska (rys. 37), 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. Każdy z reprezentowanych modeli transformatora dotyczy „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 stosowalności zasługuje na miano najważniejszej umiejętności w nauce. 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 drugorzędną 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 pokuśmy 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 wytężonego rozumowania, jest sprawą znaną i oczywistą. To jednak, że w tworzenie modelu tak często i niespodzianie wplata się przeblysłk 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 nieświadomione działanie podświadomości, stał się słynny okrzyk wyskakującego z balii Archimedes: „Eureka!” (rys. 38). Trzeba dobitnie stwierdzić, że intuicja zwykła podpowiadać

tym, którzy na to zasługują. Intuicja sprzyja opętany pracą i opętany wiedzą (rys. 39): tym, których wiedza jest ogromna i sięga daleko dalej poza tematykę modelu – w matematykę, fizykę, filozofię, literaturę i sztuki piękne. 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 przysłoby na myśl, aby je połączyć. Cud intuicji i podświadomości polega na tym, że – wbrew logice – zszywa trwałą nicią w jednej krótkiej chwili przeblysku i olśnienia te dwa tak odległe obszary. Łączy je niewytłumaczalną magistralą komunikacyjną (rys. 40), jakąś niezwykłą, błyskawicznie zbudowaną białkową estakadą lub mostem nerwowych włókien, przebiegających ponad siecią stopniowo rozwijających się aksonów, łączących kolejne sąsiadujące ze sobą neurony (rys. 41).

Pozwólcie, że zapytany o przykład sięgnę znów do arsenału twórczości mistrza Leona Wyczółkowskiego. Ciekawy obraz działania intuicji odnajdziemy w monochromatycznej akwareli, zatytułowanej *Walczące żubry* (rys. 42). 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. 43). 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, jest właśnie tym, co rodzi u widza wewnętrzne napięcie (rys. 43).

Modelowanie jest sztuką

Na zakończenie przytoczę moje własne, osobiste doświadczenie olśnienia, przeżyte podczas prac nad nowym modelem matematycznym silnika indukcyjnego, pozwalającym na wyznaczenie tzw. momentów pasożytniczych, zakłócających prawidłową pracę maszyn. 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 i z nutami dla prawej i lewej ręki zobaczyłem nagle dwa diagramy zawierające dwu- i jednofazowe elementarne uzwojenia stojana i wirnika (rys. 44). To podobieństwo pomiędzy nutami prawej i lewej ręki oraz harmonicznymi pola

magnetycznego stojana i wirnika, reprezentowanymi przez uzwojenia elementarne, staje się szczególnie wyraziste, gdy zestawimy obok siebie fragment notacji fortepianowej z melodią na 6/4 ze schematem rozkładu sześciofazowej maszyny indukcyjnej. To naprawdę niezwykle i szokujące skojarzenie, pokazujące, że współbrzmienie dwóch dźwięków, formujących dwudźwięk, może znaleźć odzwierciedlenie we współdziałaniu dwóch harmonicznym przestrzennym pola magnetycznego, generujących synchroniczny moment pasożytniczy (rys. 45).

Czas, aby podsumować wyniki naszych artystycznych i naukowych 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 jest najważniejszym przesłaniem pracy. Moim ukrytym celem jest pokazanie, że modelowanie w technice jest czymś więcej niżli rutynową umiejętnością. Moim głębokim pragnieniem jest przekonanie czytelnika, że modelowanie jest sztuką, najprawdziwszą sztuką, wymagającą w równym stopniu kunsztu i wiedzy, jak i natchnienia.

Jest również darem, darem szczególnym, pozwalającym na rozpoznawanie świata i coraz lepsze rozumienie otaczającej nas rzeczywistości (rys. 46). Czymś danym człowiekowi i wpisany w istotę człowieczeństwa od zarania jego dziejów. Jest też gestem wspaniałomyślności, który uzbraja człowieka w zdolność wyszukiwania i odnajdywania dróg w krainie bezdroży.

Ów dar, ów gest tak cudownie odwzorowany przez Michała Buonarottiego w kaplicy Sykstyńskiej (rys. 47), leży u podstaw ujawnionej w pracy i trudnej do zrozumienia klamry, cudownej i zadziwiającej klamry, spinającej dzieła anonimowych twórców sztuki XX w. oraz awangardowych twórców sztuki XX w. (rys. 48).

Bibliografia

Eco U., *Sztuka i piękno w średniowieczu*, Znak, Kraków 2006.

Goźlińska E., Szlosek F., *Podręczny słownik nauczyciela kształcenia zawodowego*, Wydawnictwo Instytutu Technologii Eksploatacji, Radom 1997.

Jaroszyński P., *Spór o piękno*, Oficyna Wydawnicza Impuls, Kraków 2002.

Pszczółowski T., *Mała encyklopedia prakseologii i teorii organizacji*, zakład Narodowy im. Ossolińskich, Wrocław – Warszawa – Kraków – Gdańsk 1978.

Szuman S., *O sztuce i wychowaniu estetycznym*, Państwowe Zakłady Wydawnictw Szkolnych, Warszawa 1962.

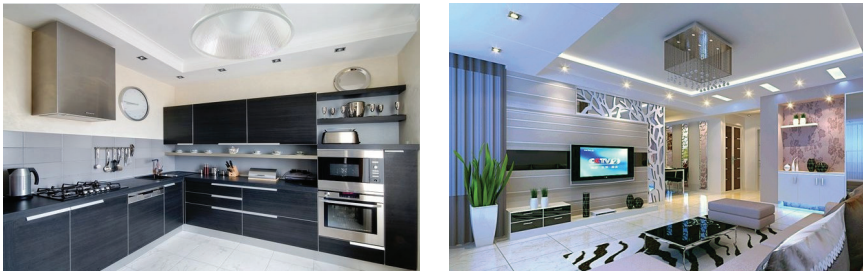
Wanielista K., Miłkowska I., *Słownik menedżera*, Fraktal, Wrocław 1998.

Wojnar I., *Estetyka i wychowanie*, PWN, Warszawa 1964.

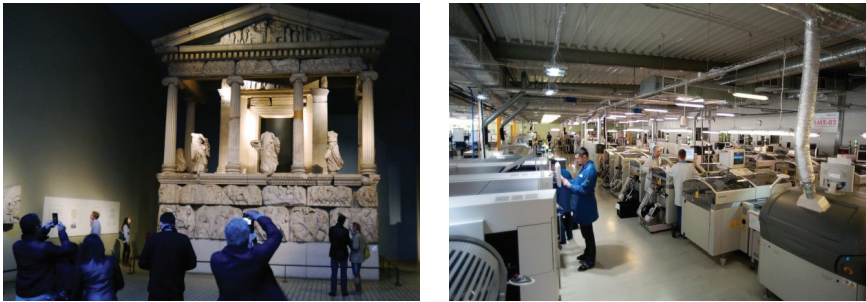
B. CZĘŚĆ PRAKTYCZNA



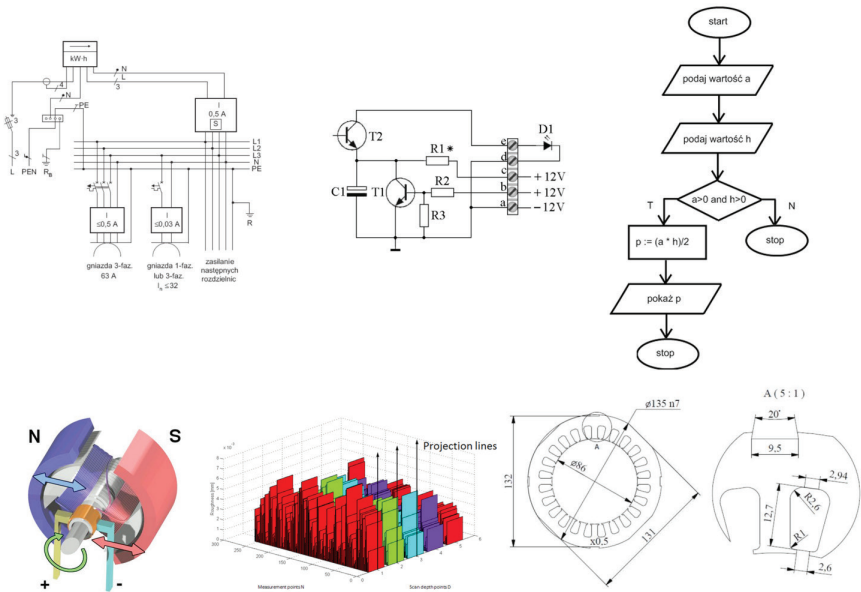
Rys. 1. Przykład profesjonalnego oprogramowania



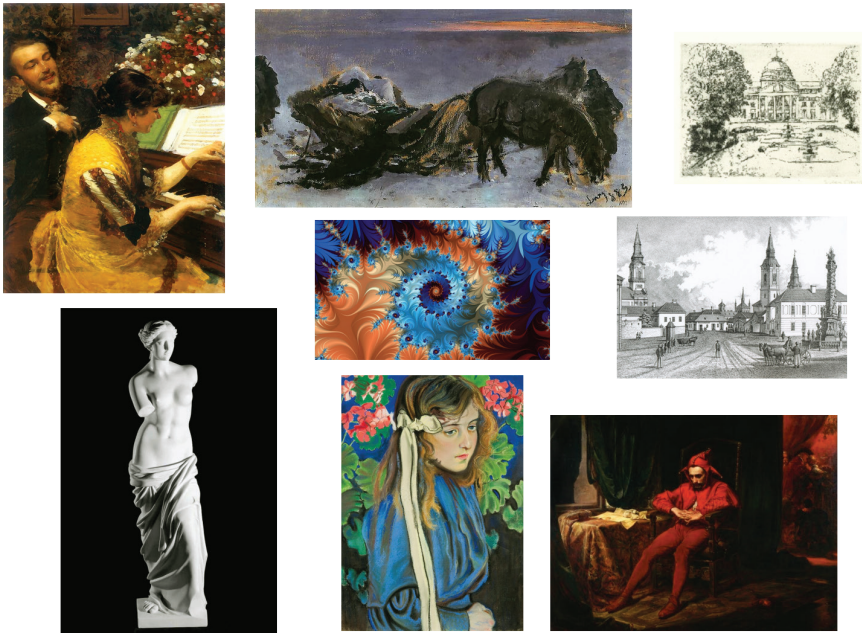
Rys. 2. Technika stawia sobie za cel ułatwienie ludzkiej egzystencji, zaś sztuka – umiłanie życia i czynienie go piękniejszym (źródło: fot. po lewej – <http://expensiverealestate.net/tag/flooring/>; fot. po prawej – <https://pl.pinterest.com/pin/382665299559221482/>)



Rys. 3. Technika wprowadza do środowiska człowieka skomplikowane obiekty techniczne, zaś sztuka wzbogaca otoczenie człowieka dziełami sztuki (źródło: fot. po lewej – aut. Marcin Szczygieł; fot. po prawej – <https://galeria.trojmiasto.pl/Hala-produkcyjna-SILED-394941.html?s= hala&pozycja=633>)



Rys. 4. Język graficzny i techniki inżynierii (źródło: opracowanie własne)



Rys. 5. Język graficzny sztuk pięknych (źródło: opracowanie własne)

vi

A - gnus De- i,* qui tol-lis pec-cá-ta mun-di: mi-se-ré-re no-bis.

Agnus De- i,* qui tol-lis pec-cá-ta mun-di: mi-se-ré-re no-bis.

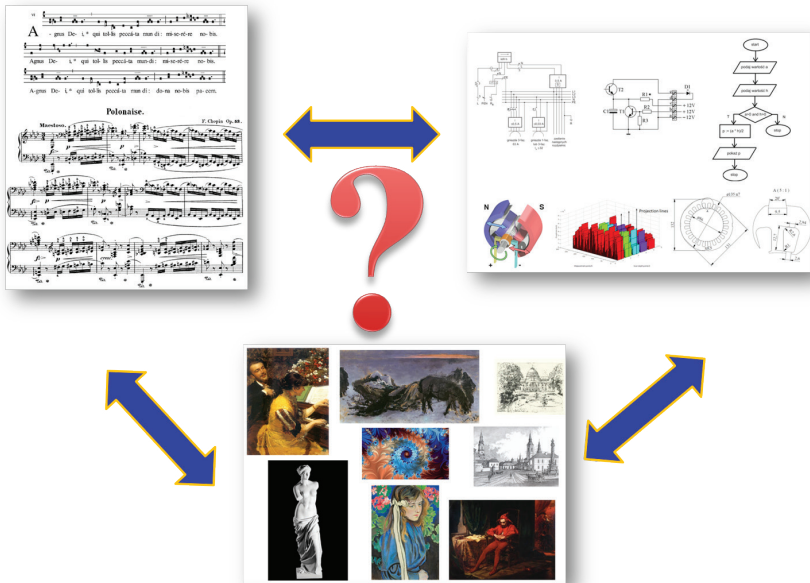
A-gnus De- i,* qui tol-lis pec-cá-ta mun-di: do-na no-bis pa-cem.

Polonaise. F. Chopin Op. 63.

Maestoso.

f *p* *cresc.*

Rys. 6. Język graficzny muzyki (źródło: opracowanie własne)



Rys. 7. Czy istnieje jeden wspólny uniwersalny język graficzny, łączący wszystkie dziedziny nauki, techniki i sztuki? (źródło: opracowanie własne)



Rys. 8. Urokliwe akwarele i pastele pędzla profesora medycyny Mieczysława Choraży (źródło: opracowanie własne)



Rys. 9. Profesor Julian Gembalski – światowej sławy muzyk, posiadał szeroką wiedzę inżynierską (źródło: opracowanie własne)



Rys. 10. Profesor Tadeusz Trzaskalik – matematyk, ekonomista, jest pianistą wirtuozem (źródło: opracowanie własne)



Rys. 11. Prof. Józef Bremer – inżynier i absolwent Politechniki Śląskiej, jest wybitnym specjalistą z zakresu filozofii umysłu (źródło: opracowanie własne)



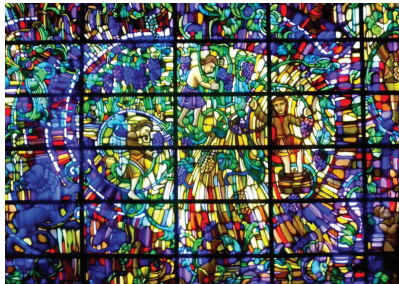
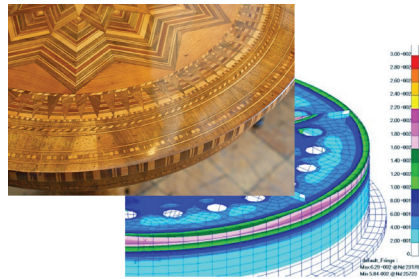
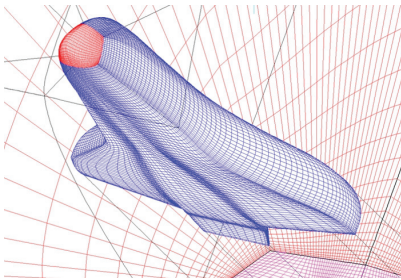
Rys. 12. Technika dekoracyjna mozaiki znana już była w starożytnej Grecji, rozprzeczniła się szeroko w czasach rzymskich, a pełny rozkwit i szczyt doskonałości osiągnęła w sztuce chrześcijańskiej w miastach Italii i Bizancjum (źródło: po lewej – <https://pl.pinterest.com/pin/449726712767351485/>; w środku – <http://www.encyclopedie-universelle.net/abaque-calcul6-rome3.html>; po prawej – aut. Marcin Szczygieł)



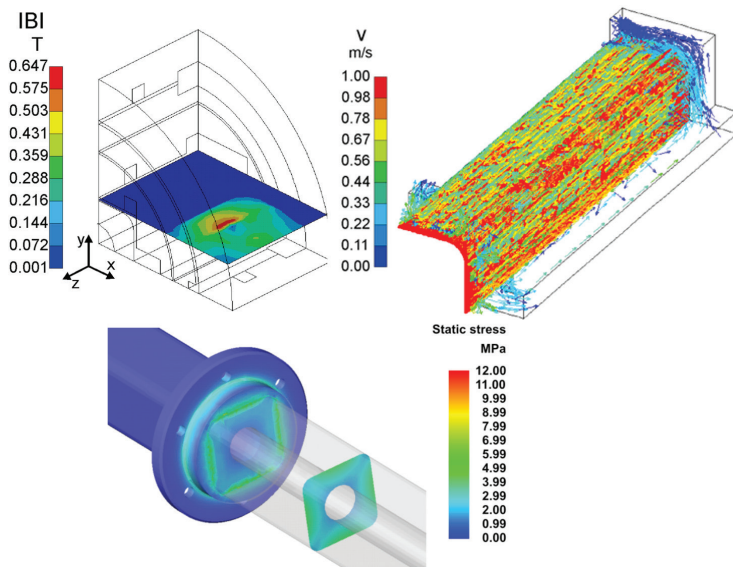
Rys. 13. Sedno mozaiki to odwzorowanie rzeczywistości za pomocą niewielkich kawałków kamieni, ceramiki lub szkła (źródło – <http://archeoliban.blox.pl/html/1310721,262146,21.html?564894>)



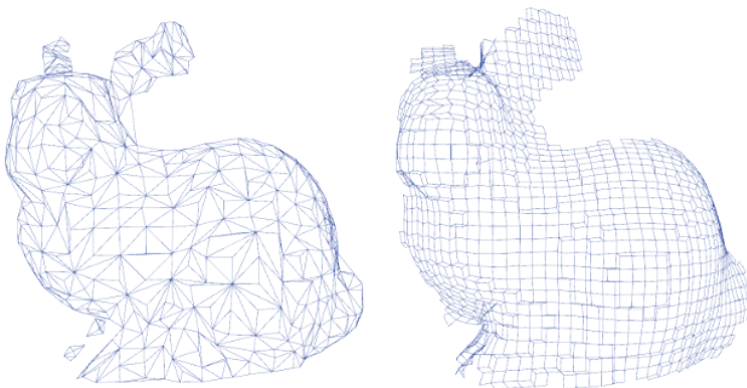
Rys. 14. W wyrafinowanej technologicznie mozaice na 1 cm² może przypa-
dać nawet 50 elementów (źródło – [http://okruchykultury.pl/2013/04/19/
uduchowione-bogactwo-bizancjum](http://okruchykultury.pl/2013/04/19/uduchowione-bogactwo-bizancjum))



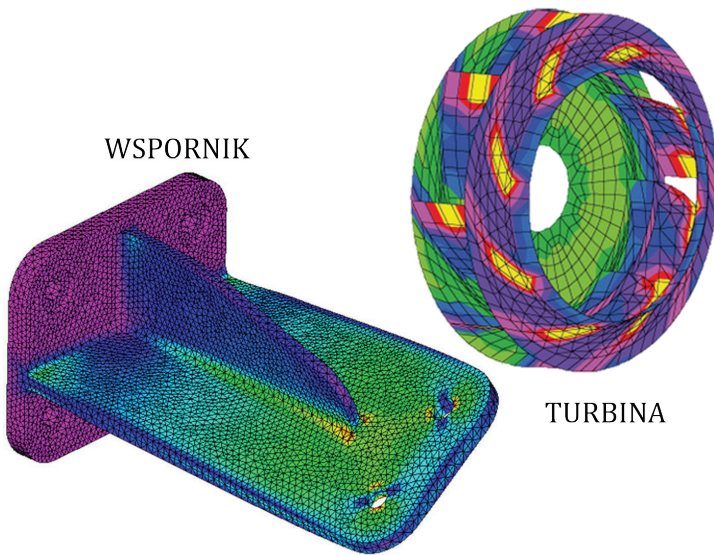
Rys. 15. Metoda elementów skończonych MES kojarzy się ze sztuką intarsji, inkrustacji i witrażownictwa (źródło: u góry, po prawej – [http://www.directindustry.com/
prod/numeca/product-24358-799277.html](http://www.directindustry.com/prod/numeca/product-24358-799277.html); u góry, po lewej – <http://www.komodeksemeble.pl/meble-z-intarsja> oraz <http://www.imio.polsl.pl/mesAiR.aspx>; na dole – <http://mzl.zgora.pl/wystawy/wystawy-stale/galeria-witrazy>)



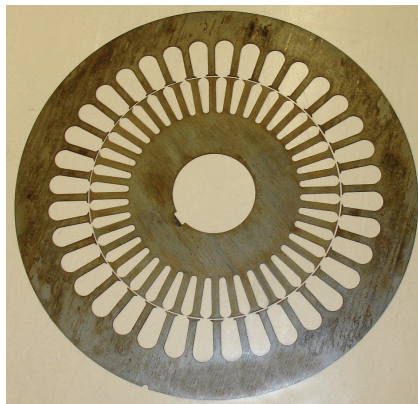
Rys. 16. Przykładowe rozkłady przestrzenne pól magnetycznych, pola prędkości płynu magnetoreologicznego oraz naprężeń mechanicznych w liniowo-obrotowym hamulcu magnetoreologicznym (źródło: opracowanie własne)



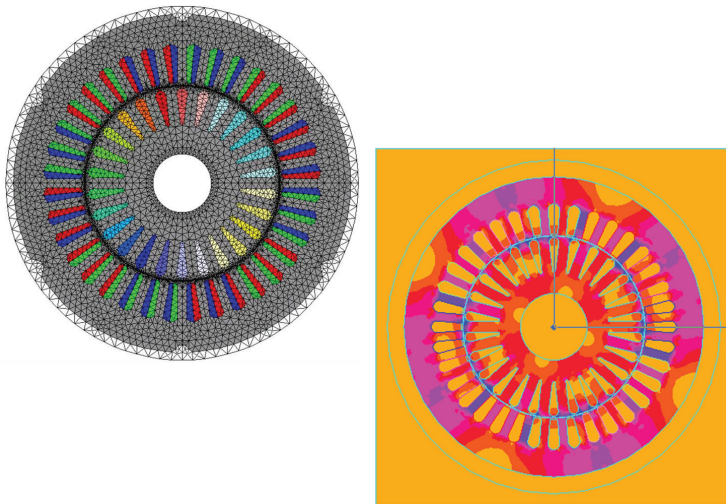
Rys. 17. Wielkość i układ elementów skończonych musi się przystosować do linii kompozycyjnych i konstrukcyjnych obiektu (źródło: http://docs.pointclouds.org/1.8.1/group__surface.html)



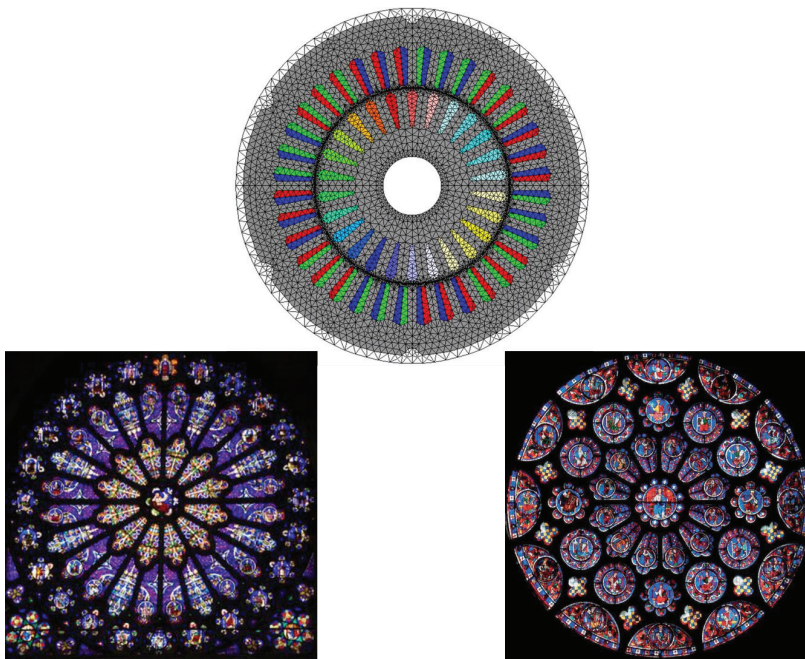
Rys. 18. W procesie dyskretyzacji dużą rolę odgrywa znajomość budowy obiektu oraz natury zachodzących w nim zjawisk (źródło: opracowanie własne)



Rys. 19. Blachy stojana i wirnika maszyny indukcyjnej charakteryzują się skomplikowanym wykresem geometrycznym (źródło: fot. Andrzej Demenko)



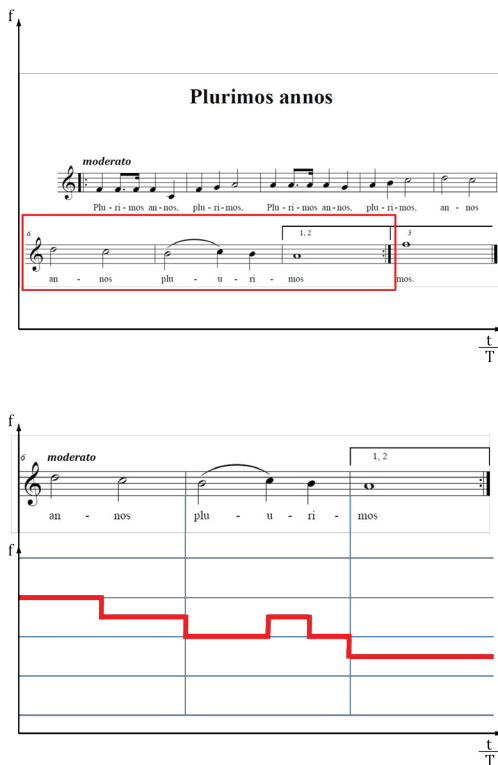
Rys. 20. Siatka dyskretyzacyjna oraz rozkład przestrzenny pola magnetycznego w silniku indukcyjnym (przekrój poprzeczny) (źródło: fot. Andrzej Demenko)



Rys. 21. Zestawienie siatki dyskretyzacyjnej dla maszyny indukcyjnej z witrażowymi rozetami katedr w Amiens oraz Chartes w Francji (źródło: opracowanie własne)

The image shows three examples of musical notation. On the left is a modern piano score for a piece titled 'Allegro con fuoco, ♩ = 160', marked '12.'. The middle part shows a medieval square notation with Latin lyrics: 'Znamy wy chwalili P.N.I.C. a naprosedno Mac cribu. Magnificat. E. por wielicy Sobory oo. Alleluia Alleluia Alle. Na M. agonii luia. Laudate Dea. Antip.' The right part shows an open manuscript with square notation and Latin text.

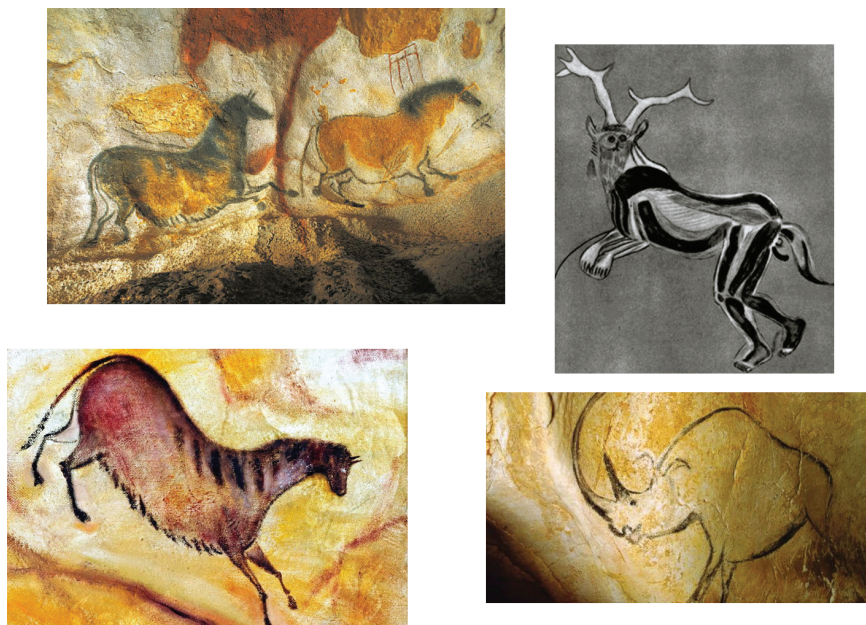
Rys. 22. Notacja muzyczna – forma współczesna i średniowieczna notacja choralowa – neумы diastematyczne (źródło: po lewej – opracowanie własne; w środku – opracowanie własne; po prawej – aut. Mariusz Szczygieł)



Rys. 23. 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 (źródło: opracowanie własne)



Rys. 24. Prehistoryczny człowiek zmagał się z niebezpieczeństwami środowiska i walczył o przetrwanie z mamutami, niedźwiedziami jaskiniowymi, posługując się prymitywną bronią myśliwską (źródło: u góry – http://www.taraka.pl/paleolit_neolit_polowanie_kontra; w środku – <http://odkrywcy.pl/query,nied%BCwied%BC,szukaj.html?smg4sticaid=61a337>; na dole – <http://freeisoft.pl/2011/02/co-jadl-prehistoryczny-czlowiek>)



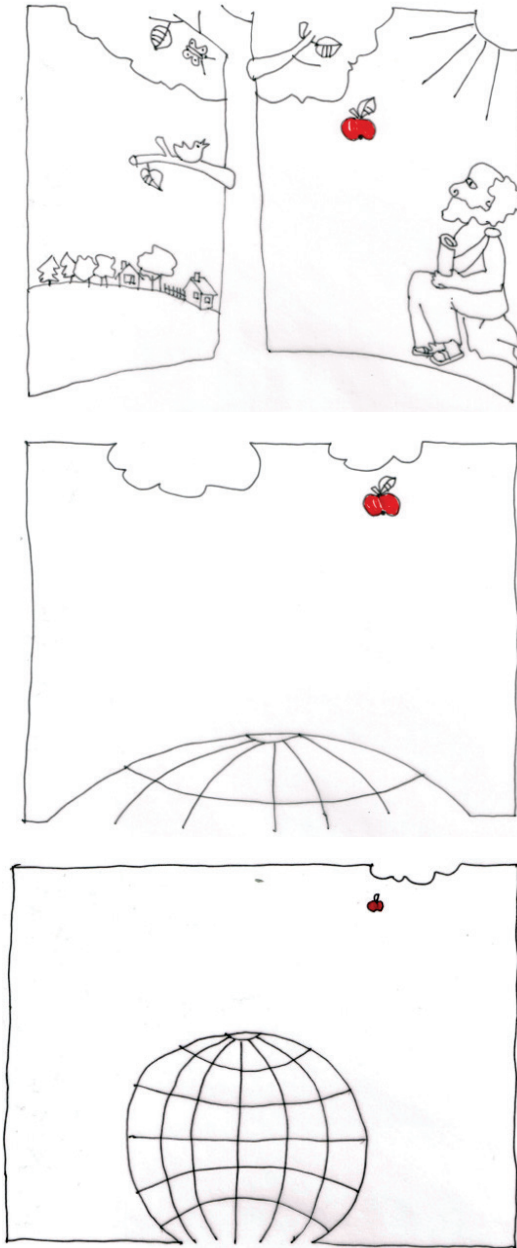
Rys. 25. Ryty i malowidła naskalne w pieczarach Lascaux (Francja) i Altamiry (Hiszpania) (źródło – opracowanie własne)



Rys. 26. Prehistoryczny „model polowania” (źródło – <http://magdalenabentkowska.pl/jestesmy-w-jaskini>)



Rys. 27. Słynne drzeworyty Władysława Skoczylasa – profesora rysunku na Wydziale Architektury Politechniki Warszawskiej (źródło – opracowanie własne)



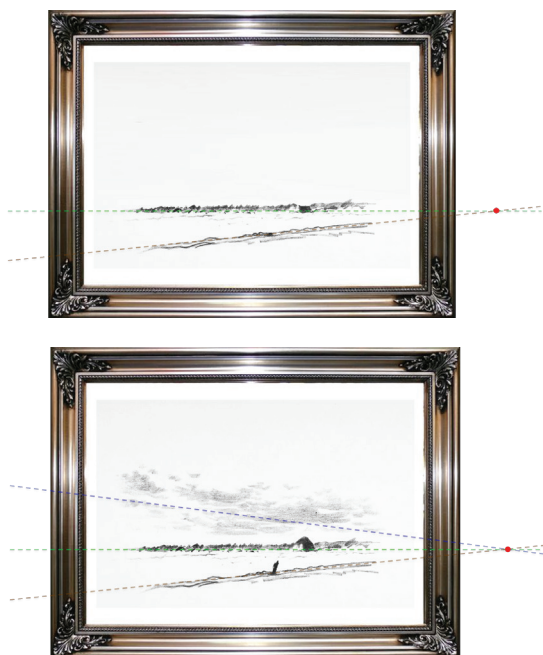
Rys. 28. Prawo powszechnego ciążenia – legenda o spadającym jabłku
(rys. M. Kluszczyński)



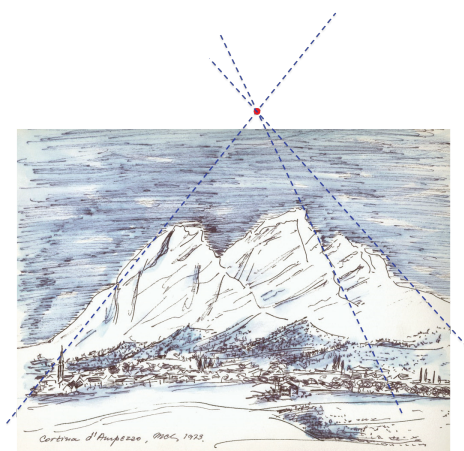
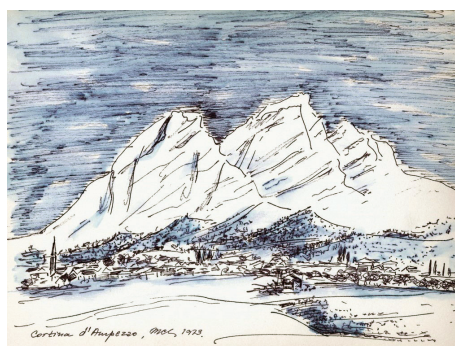
Rys. 29. Litografia Leona Wyczółkowskiego *Stóg na polu* (Tekla Litewska, 1908)
(źródło – aut. Mariusz Szczygieł)



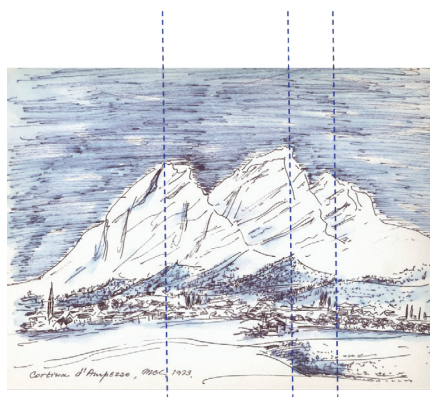
Rys. 30. Kresem obrazu jest jego rama (źródło – opracowanie własne)



Rys. 31. Litografia *Stóg na polu* jako „model bezkręsu” (źródło – opracowanie własne)



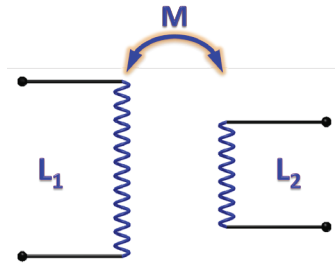
Rys. 32. Akwarela prof. Mieczysława Chorążego (a) widok potężnego górskiego masywu, (b) punkt zbieżności wyznaczony przez strome górskie zbocza (źródło: u góry – fot. Marcin Szczygieł; na dole – opracowanie własne)



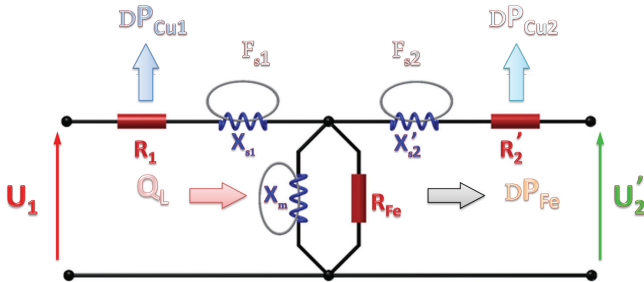
Rys. 33. Odczucie „niebotyczności i niebosiężności” gór wymuszone patrzeniem na wzajemnie równoległe osie symetrii trzech wierzchołów (źródło: opracowanie własne)



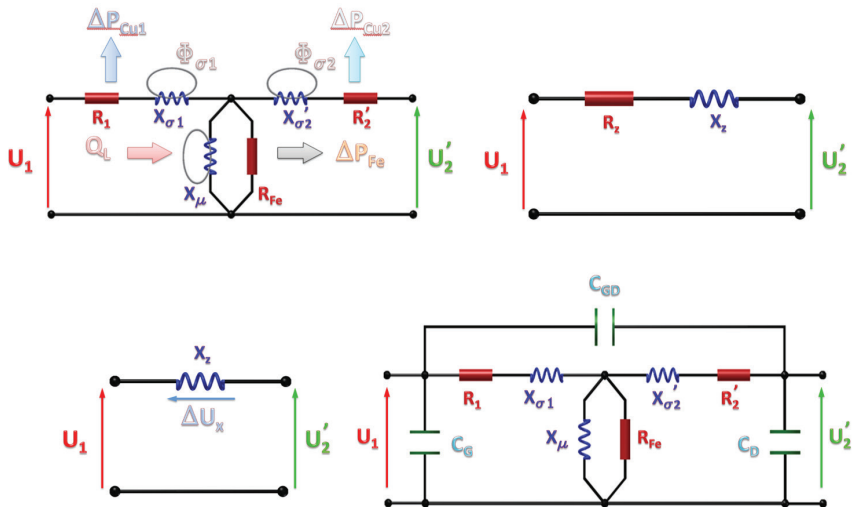
Rys. 34. Transformatory o bardzo różnych mocach: elektroenergetyczny i elektroniczny (źródło: u góry – <https://www.elektroinzynieria.pl/wiadomosci-i-komunikaty/chiny-rosja-indie-napedzaja-swiatowy-rynek-transformatorow-55473-10>; na dole – https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Transformator_el_w_srodku.jpg)



Rys. 35. Transformator jako układ dwóch cewek sprzężonych magnetycznie (źródło: rys. Marcin Szczygieł)



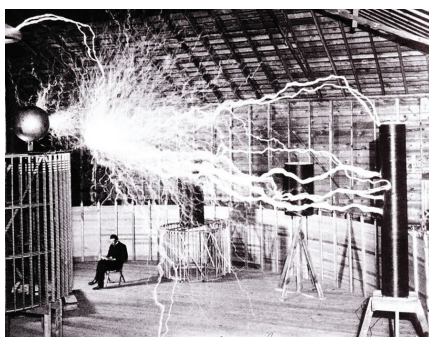
Rys. 36. Typowy schemat zastępczy transformatora, uwzględniający straty w miedzi i żelazie (źródło: rys. Marcin Szczygieł)



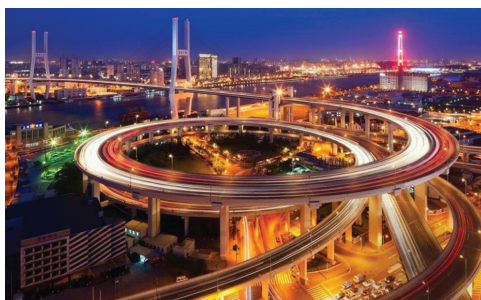
Rys. 37. Zestawienie różnych modeli transformatora (źródło: rys. Marcin Szczygieł)



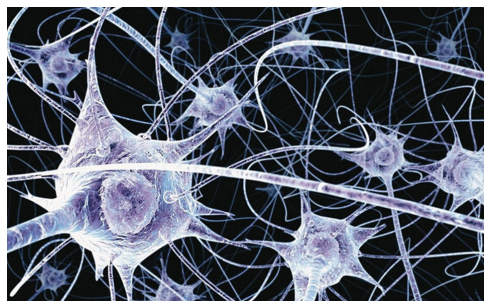
Rys. 38. Archimedes jako symbol uświadomionego sobie nagle działania podświadomości (źródło: rys. Wojciech Pyttel)



Rys. 39. Intuicja podpowiada opętanym pracą i opętanym wiedzą (źródło: u góry – <http://www.madridactual.es/20120903441040/la-comunidad-lidera-las-exportaciones-de-alta-tecnologia-en-espana>; na dole – <https://antoniocdelaserna.wordpress.com/2014/02/11/tesla-contra-edison-la-guerra-de-las-corrientes>)



Rys. 40. Niezwykłe magistrale komunikacyjne: estakady i mosty przebiegające ponad miejskimi organizmami (źródło: u góry – <http://www.china-mike.com/china-tourist-attractions/shanghai>; na dole – https://wallpaperscraft.ru/download/moskva_siti_moskva_zdaniya_neboskreby_most_59196/2560x1080)



Rys. 41. Struktura sieci neuronowych w ludzkim organizmie (źródło: <http://kopalnia-wiedzy.pl/stwardnienie-rozsiane-sclerosis-multiplex-neurony-mieliny-oligodendrocyty-CXCR4-Robyn-Klein-Jigisha-Patel-Washington-University,10564>)



Rys. 42. Akwarela Leona Wyczółkowskiego *Walczące żubry* (źródło: opracowanie własne)



Rys. 43. *Model ukrytej siły i napięcia z symbolem napiętego łuku*, adresowany do podświadomości widza (źródło: opracowanie własne)

Rzędy harmonicznych przestrzennych

Stojan

Wirnik

Largo sostenuto

Prawa ręka

Lewa ręka

The diagram consists of four parts. At the top, two rows of harmonic spatial patterns are shown. The first row, labeled 'Stojan', shows a sequence of seven L-shaped blocks on a grid. The second row, labeled 'Wirnik', shows a more complex sequence of L-shaped blocks and vertical lines. Below these are two musical staves. The upper staff, labeled 'Prawa ręka', is in 6/4 time and shows a sequence of notes: a whole note G4, a half note F4, a whole note E4, a half note D4, a whole note C4, and a half note B3. The lower staff, labeled 'Lewa ręka', is in 6/4 time and shows a sequence of notes: a whole note G3, a half note F3, a whole note E3, a half note D3, a whole note C3, and a half note B2. The tempo is marked 'Largo sostenuto'.

Rys. 44. Fortepianowa notacja muzyczna dla prawej i lewej ręki oraz diagramy rozkładu poliharmonicznej maszyny 6-fazowej na elementarne maszyny dwufazowe i jednofazowe (źródło: opracowanie własne)

Rzędy harmonicznych przestrzennych

Tor

Stojan

Wirnik

Largo sostenuto

Prawa ręka

Lewa ręka

2-dźwięk

The diagram is similar to Rys. 44, but with additional annotations. A red arrow labeled 'Tor' points to a vertical line in the 'Stojan' diagram. Another red arrow labeled '2-dźwięk' points to a vertical line in the 'Prawa ręka' musical staff. The musical notation and diagrams are otherwise identical to Rys. 44.

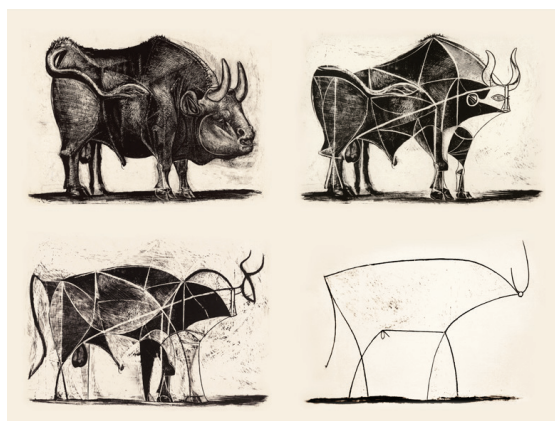
Rys. 45. Odpowiadające sobie dźwięki, formujące dwudźwięki oraz tory generowania pasożytniczych momentów synchronicznych (źródło: opracowanie własne)



Rys. 46. Sztuka modelowania jest darem wpisanym w istotę człowieczeństwa i ludzkiego bytu od zarania dziejów – i uzbraja człowieka w zdolność wyszukiwania oraz odnajdowania dróg w krainie bezdroży (źródło: u góry – <http://philippines.liketimes.me/I44294ca>; na dole – <http://ckip.lososina.pl/?p=3480>)



Rys. 47. Gest wspaniałomyślności na fresku *Stworzenie Adama* Michała Buonarottiego w kaplicy Sykstyńskiej w Watykanie (źródło: opracowanie własne)



Rys. 48. Jaka tajemnica leży u podstaw cudownej i zadziwiającej klamry, spinającej dzieła anonimowych twórców z epoki kamiennej oraz awangardowych twórców sztuki? (źródło: u góry – Jaskinia Trois Freres, naskalne malowidło, ok. 15000 lat p.n.e. [<http://fragile.net.pl/home/swiadomosc-odmieniona-w-paleolitycznych-jaskiniach/>]; na dole – Pablo Picasso „Byki” 1881-1973 [https://www.artfactory.com/art_appreciation/animals_in_art/pablo_picasso.htm])