

## Inżynieria jako twórcza metoda wdrażania postępu nauki w leśnictwie<sup>1</sup>

Creative engineering – introducing the progress of science to forestry

**Tomasz J. Wodzicki**

Instytut Badawczy Leśnictwa, Niestacjonarne Studia Doktoranckie (NSD), Sękocin Stary, ul. Braci Leśnej 3, 05-090 Raszyn

Tel. +48 22 7150561, e-mail: t.wodzicki@wp.pl

Motto:

*Zadania nauki to poszukiwanie prawdy i tworzenie wynalazków.*

(Francis Bacon)

*Wielkim celem życia człowieka nie jest wiedza, lecz działanie.*

(T.H. Huxley)

*Czego nauka i etyka nie zabrania wyobraźni, tego natura nie zabrania człowiekowi.*

(T.J. Wodzicki)

**Abstract.** Implementing creative engineering, or in other words the progress of science, in forestry practices, requires integration of knowledge from its various branches concerning the impact of human activity on the Earth's ecosystem. In fact, various aspects of development in the forest services are already associated with ecological engineering which practically includes biology, economy, sociology, as well as technical and mechanical construction. Special attention was given to modeling as the most productive method of promoting progress in forest management. In the case of biological engineering in forest ecology for example, various possibilities of applying genetic engineering as a potential future method for increasing productivity as well as the preservation of genetic diversity and protection of the environment are discussed in more detail. Literature recommendations concerning engineering in forestry accessible to the students of Extramural Doctorate Studies at the Forest Research Institute in Sękocin are also enclosed.

**Keywords:** creative engineering, modeling, ecological engineering, biotechnology

**Słowa kluczowe:** twórczość inżynierska, modelowanie, inżynieria ekologiczna, biotechnologia

<sup>1</sup> Tezy wykładu dla doktorantów (styczeń 2020 r.)

### 1. Twórczość inżynierska

Inżynieria to twórcze wykorzystanie wiedzy, czyli produktów doświadczenia i wyobraźni sformułowanych w naukowych teoriach przemiany energii i właściwościach materii, do projektowania metod i konstrukcji technicznych środków zaspakajania potrzeb człowieka. Naukę i inżynierię łączy więc wynik twórczej aktywności mózgu człowieka.

W gospodarce twórczość inżynierska jest sposobem wykorzystania wyników badań naukowych do zwiększenia

wartości użytkowej środowiska. Czyli nie tylko poszukiwanie i testowanie odpowiedzi na pytanie „Jak to się dzieje” i formułowanie teorii albo poszukiwanie i testowanie metod poznania (pomiaru) rzeczywistości, ale także projektowanie i formułowanie odpowiedzi na pytania: „Jaką wartość praktyczną ma konkretne odkrycie i jak je wykorzystać lub udoskonalić, mając na względzie potrzeby rozwojowe człowieka”, albo szukanie odpowiedzi na pytania bardziej szczegółowe: „Jak uzyskać ten cel inną niż stosowane dotąd metodą”, „Jaki pożytek, a jakie zagrożenie naturalnych pro-

cesów homeostazy może mieć konkretny produkt twórczości inżynierskiej”, „Jaki jest bilans kosztów i zysków zaprojektowanego przedsięwzięcia lub prawdopodobieństwo jego sukcesu”.

Twórczość inżynierska, obok ciekawości, może być jednym z głównych bodźców rozwoju nauki. W tym sensie, inżynieria pełni rolę sposobu eksperymentalnej metody testowania hipotez roboczych w badaniach finalizowanych formułowaniem teorii naukowych. Istnieje jednak dość istotna różnica między procesami mentalnymi obu tych form twórczości. Tworzenie teorii naukowej dotyczy zaangażowania pamięci i wyobraźni w analizę związków przyczynowych faktów zebranych wcześniej – w przeszłości. Natomiast twórczość inżynierska uwzględnia ponadto projektowanie i konstrukcję systemu związków przyczynowych kreujących fakty w przeszłości. W obu formach twórczości obowiązuje poszukiwanie prawdy (w sensie jaki nadano temu pojęciu w nauce), a więc testowanie wiarygodności wyników tworzenia. W procesie twórczości inżynierskiej realizuje się szczególnie szansa wykorzystania zasobów potencjału poznanych wcześniej praw natury, w celu zaspokojenia założonego poziomu potrzeb człowieka. W każdym przypadku, a więc i w leśnictwie, dotyczy to pytania o zmiany właściwości produktu ewolucji przyrody (powstałego drogą doboru naturalnego w sukcesji pokoleń) i możliwości postępowych zmian potencjału oporu naturalnego środowiska. Jest to możliwe dzięki właściwościom umysłu ludzkiego, jakimi są wielostronność kojarzenia sensu i współzależności zebranych informacji oraz swoboda wyboru kryteriów celu i sposobów jego realizacji w praktyce użytkowania lasu. Może to być na przykład wybór tradycyjnych metod hodowli lasu albo celowej modyfikacji *in vitro* struktury DNA komórek tkanki twórczej, określających kierunek procesów odpornościowych lub korelacji wzrostowych drzew. W ten sposób twórczość inżynierska jest niejako procesem kreującym alternatywne drogi ewolucji naturalnej, które mogą być kształtowane zarówno w kierunku wzbogacenia wartości użytkowej, jak i zwiększenia poziomu ochrony naturalnej struktury biocenozy ekosystemów.

Podsumowując, twórczość człowieka jest wielopoziomym procesem, na który składają się mechanizmy aktywności mentalnej w procesach: (1) przejmowania informacji środowiskowej przez system zmysłów; (2) pamięci w systemie kodowania informacji zmysłowej; (3) kojarzenia sensu logicznego informacji zmysłowej – tzw. inteligencji; (4) wyobraźni – procesu, którego (archaiczną, ale najbliższą spośród wielu) definicją jest: mentalne obrazowanie czegoś, w formie niematerialnej idei. W twórczości naukowej determinującym celem jest wykorzystanie informacji zmysłowej w bliskie rzeczywistości (sprawdzalne eksperymentalnie) sformułowanie teorii o właściwościach badanego układu. W twórczości inżynierskiej jest to głównie zaangażowanie pamięci i wyobraźni w konstrukcję dzieła użyteczności społecznej. Trzecią formą twórczości człowieka jest „science fiction” i twórczość artystyczna, w której decydujące znaczenie ma wyobraźnia integrująca cechy indywidualności człowieka, znajdujące odzwierciedlenie w konstrukcji treści i formy dzieła sztuki.

Studia doktoranckie w zakresie nauk leśnych dają uczestnikom szansę realizowania obu celów poznawczych jednocześnie lub alternatywnie. Proces twórczy w badaniach stanowiących treść rozprawy doktorskiej może bowiem dotyczyć głównie wartości poznawczych (doskonalenia teorii) lub nowatorskich metod gospodarowania (hodowli, ochrony, użytkowania i urządzania lasu lub też zasad ekonomiki i organizacji zarządzania). Problemy twórczości inżynierskiej w programie studiów doktoranckich stanowią element wiedzy o ewolucji świadomości człowieka w poszukiwaniach prawdy na temat struktury środowiska bytu człowieka we wszechświecie jako sposobu wykorzystania wiedzy do rozwoju ludzkości bez ograniczania potencjału twórczego biosfery Ziemi.

U wielu zwierząt obserwuje się najbardziej pierwotne przejawy „twórczości inżynierskiej” – zwykle jako sposobu zabezpieczenia bytu rodziny, np. przy budowie legowiska przez ssaki, gniazd przez ptaki, lub sieci pajęczych itp. Rozwój systemu tkanki nerwowej w toku filogenezy, a szczególnie mózgu i potencjału twórczego świadomości, zdecydowały o ewolucji cywilizacji i kultury człowieka. Kluczową rolę w tym procesie miało doskonalenie sposobów gromadzenia wiedzy i komunikacji międzypokoleniowej, a przede wszystkim ewolucji języka jako produktu rekombinacji symbolicznych znaków dźwiękowych i graficznych – czynników pamięci i edukacji. Najbardziej pierwotne formy twórczości inżynierskiej przejawiał człowiek już w procesie łupania kamienia, kształtowania grotów włóczni, splatania włókien, wiązania sieci, lepienia naczyń jako narzędzi zdobywania i konserwacji pożywienia, konstrukcji środków transportu i obrony, a wreszcie krzesania ognia oraz budowania i urządzania zabudowań. Wybór i uprawę roślin lub hodowlę zwierząt, z tych samych względów, należy uważać za przejawy twórczej aktywności inżynierskiej człowieka. Tak właśnie, dzięki kumulacji wiedzy, ewoluował potencjał twórczy człowieka w dziedzinie doskonalenia sposobów jej wykorzystania dla postępowego rozwoju warunków bytu populacji w sukcesji pokoleń. Proces ten w psychologii określa się jako ewolucję wysokiego poziomu intencjonalności (Trojan 2016). Ludzie są jedynym gatunkiem, który prowadzi podróże mentalne tak daleko, że są oni ciekawi i intencjonalnie gotowi do poszukiwania odpowiedzi na pytania formułowane przez nich samych, a następnie poszukując logicznych związków przyczynowych, formułują hipotezy, teorie i stosują je w gospodarce. Tylko ludzie potrafią wykorzystać zapamiętane obserwacje, wiedzę i wyobraźnię do wyboru kierunku kojarzenia zdarzeń i faktów – konstruowania hipotez, teorii, planowania, modelowania, wartościowania, fantazjowania, a więc posiadają także zdolność twórczej ingerencji w procesy ewolucji przyrody. W nauce i gospodarce leśnej zastosowanie mają różne formy inżynierii twórczej, nie tylko związanej z urządzeniem geodezyjnym, budownictwem i mechaniką, które mają najdłuższą historię rozwoju jako sposoby wyznaczania granic obszarów leśnych. Na przykład działania określające własność przestrzeni zalesionej lub terenów łowieckich i zapasów drewna, ale także sposoby regu-

lacji stosunków wodnych, mechanizacji prac przy hodowli, ochronie i użytkowaniu lub transporcie drewna podporządkowane są generalnie inżynierii biologicznej i socjologii (Rykowski 2006; Szważyk 2015).

## 2. Inżynieria ekologiczna w leśnictwie

Inżynieria ekologiczna jako szczególny dział twórczości biologicznej stanowi – jak to sformułował światowej sławy ekolog, profesor H.T. Odum: „...wykorzystanie naturalnych przemian zachodzących w środowisku, w celu osiągnięcia korzyści przez człowieka, jak i przez samo środowisko”. Wynika stąd, że wszelkie działania inżynieryjne w leśnictwie są elementami realizacji różnych zadań w inżynierii ekologicznej. Metody inżynierii ekologicznej w leśnictwie różnią się istotnie (nie tylko w Polsce) w zależności od wyboru funkcji lasu, czyli strukturalnych właściwości ekosystemu i głównych czynników homeostazy w różnych fazach jego rozwoju. Praktycznie zróżnicowanie inżynierii twórczej w leśnictwie rozpoczyna się od problemów wyłącznie ochrony zalesionego terenu (jak w przypadku ścisłych rezerwatów przyrody), poprzez zachowanie różnych wariantów użytkowania i ochrony, aż do systemu pełnej antropopresji w hodowli plantacyjnej (jak w agrokulturze). Oznacza to potrzebę określenia proporcji lub wiedzy z zakresu wielu podstawowych dziedzin nauki do wyboru właściwej strategii inżynierii ekologicznej. A więc np.: biologii, geologii, klimatologii, hydrologii, petrografii (w inżynierii hodowli i ochrony lasu, łowiectwie itd.), fizyki, chemii, technologii budowy maszyn, budowy dróg, melioracji, architektury (w inżynierii użytkowania lasu, konstrukcji maszyn, budownictwie i transporcie na terenach zalesionych itd.), teorii finansów, metodologii analizy i planowania rynku (w inżynierii zarządzania, a więc w administracji, gospodarce finansowej), na koniec psychologii, socjologii, pedagogiki i historii, a szczególnie, matematyki, geometrii i statystyki – służących rozwiązywaniu wszelkich problemów wynikających z postępu metod gospodarowania w leśnictwie. W tworzeniu każdego programu twórczości inżynieryjnej w leśnictwie istnieje konieczność, nie tylko określenia celu utylitarnego, ale także sposobów zabezpieczenia procesu homeostazy ekosystemu, a jeśli to możliwe, nawet powiększenia jej efektywności (Rykowski 2006; Podgórska, Sierota 2010).

Pojęcie inżynierii ma swoją historię znaczeniową. Najbardziej powszechnie pod pojęciem inżynierii w gospodarce leśnej rozumie się sam proces realizacji zadań planowanych przez administrację Lasów Państwowych w zakresie i metodami określonymi aktualnym stanem wiedzy. W tym artykule mówi się o twórczości inżynieryjnej jako o konstruowaniu programów koncepcyjnych przyszłościowych form leśnictwa, uwzględniających rozwój cywilizacyjny populacji ludzkiej i wykorzystujących postęp wiedzy wynikający z celowo tworzonych programów badawczych. W tym sensie inżynieria twórcza dotyczy propozycji działań gospodarczych w przyszłości, a więc wymaga określenia prawdopodobieństwa sukcesu, czyli badań kompleksu czynników deter-

minujących projektowany sposób wykorzystania wiedzy. Instytut Badawczy Leśnictwa w Sękocinie Starym organizuje spotkania przedstawicieli administracji Lasów Państwowych i środowisk naukowych (tzw. Zimowa Szkoła Leśna) w celu aktualizacji podstawowych programów: planowania, zarządzania, ochrony lasu i ich realizacji w praktyce, a więc aktualnych zasad inżynierii leśnej w pierwszym znaczeniu tego pojęcia. W publikacjach z tych sesji można znaleźć informacje m.in. o rozwoju inżynierii w leśnictwie, o postępie twórczości naukowej, a także zapoznać się z listą projektów działań pilotażowych Instytutu Badań Leśnych w Wiedniu (np. Zimowa Szkoła Leśna 2013).

## 3. Modelowanie

Jedną z podstawowych metod badań naukowych na wszystkich etapach poznania przyrody i twórczości inżynieryjnej w procesie planowania rozwoju gospodarki jest modelowanie – metoda testowania poziomu prawdopodobieństwa hipotez, a więc mentalna próba poznania związku wiedzy z praktyką (zwykle w formie modelu matematycznego). Najogólniej, jest to metoda szukania odpowiedzi na pytanie: „co się stanie jeśli”, np. w leśnictwie: „jak się zmieni użytkowanie lasu przy zmianie struktury gatunkowej drzewostanu”. Model to uproszczony obraz badanego fragmentu rzeczywistości, lub inaczej mówiąc, model symuluje zjawisko rzeczywiste. Uproszczenie to polega na wyeliminowaniu cech, elementów lub innych relacji, które (przynajmniej teoretycznie) są mało istotne. Proces homeostazy ekosystemów leśnych realizuje się przede wszystkim w systemie związków troficznych populacji autotrofów i organizmów heterotroficznych (także w formie symbiontów i pasożytów), odpowiednio do rodzaju i aktualnego stanu liczebności populacji określonych przez szeroko pojętą zmienność warunków środowiska bytu całej biocenozy – szczególnie żyzności i wilgotności gleby, sezonowości zmian opadów, temperatury i oświetlenia. Oznacza to, że chociaż zwykle polega się na wyborze dokonanym przez ogromny potencjał procesu kojarzenia wiedzy zakodowanej w pamięci ludzkiego mózgu, czasem wybór elementów istotnych i tych, które zamierza się wyłączyć, w badaniach modelowych nie będzie możliwy bez przeprowadzenia badań wstępnych. Dotyczy to zresztą także wyboru wielkości i rodzaju próby pomiaru przy projektowaniu eksperymentalnych testów hipotez, a nawet teorii. Konstruowanie modeli angażuje wyobraźnię, jest bowiem próbą tworzenia alternatywnych teorii, które różnią się od siebie założeniami i pojęciami fizycznymi lub odległościami i skalami energii, w których mają zastosowanie. Modele umożliwiają przewidywanie zjawisk. Dzięki temu uczeni przeprowadzając doświadczenie, mogą teoretycznie potwierdzić prawdziwość twierdzeń wynikających z modeli, albo im zaprzeczyć.

Modelowanie, jako metoda badań naukowych, może też być podstawowym sposobem poznawania potencjału lasu jako czynnika zaspakajającego potrzeby rozwojowe bytu człowieka, a więc także projektowania i testowania prawdopodobieństwa skuteczności planowanych zasad go-

spodarowania. Wynika to nie tylko ze zmiennej dynamiki skomplikowanej struktury ekosystemów leśnych, ale także z powodu długowieczności drzew i długookresowości przemian ewolucyjnych, jako właściwości emergentnych struktury lasu. Realizują się one bowiem drogą sukcesji naturalnej, odpowiednio do zmienności warunków środowiska bytu ekosystemów leśnych w biocenozie. To znaczy, że wszelkie próby poznania metodą testowania eksperymentalnie modyfikowanej struktury ekosystemu leśnego, czyli skutków ingerencji w naturalny proces sukcesji, są skazane na sfinalizowanie dopiero po wielu latach obserwacji i pomiarów. Dotyczy to również potrzeb człowieka uwarunkowanych zmianami sprzężeń przyczynowo-skutkowych wielu procesów społecznych. A trzeba pamiętać, że wiarygodność przewidywań maleje wraz z oddalaniem się horyzontu planowania. Wobec długości życia drzew, przekraczającego, nawet kilkakrotnie, okres pracy twórczej badacza, jednorazowy pomiar daje zaledwie wstępną wiedzę o strukturze tych samych obiektów badań w kolejnych fazach rozwoju osobniczego układu. Znaczący to, że przewidywanie przyszłości na podstawie wyników tylko jednorazowego pomiaru korelacji między wybranymi elementami struktury układu jest ograniczone, a czasem iluzoryczne. Przy bardzo wysokim poziomie współzależności procesów biologicznych i ekonomicznych w planowaniu gospodarki leśnej skuteczniejsze byłyby wyniki analizy danych uzyskanych przez wielokrotne powtórzenie pomiarów w różnych fazach rozwoju fizjologicznego lasu, wahań parametrów rynkowych, a nawet ustrojowych państwa.

Dlatego właśnie, przewidywanie skutków planowanych działań w gospodarce leśnej, możliwe jest głównie dzięki metodzie modelowania. Dotyczy to nie tylko założeń teoretycznych dla testów eksperymentalnych, ale też analizy hipotetycznych współczynników zmienności struktury ekosystemów leśnych. W tym drugim przypadku metoda modelowania oznacza analizowanie prawdopodobnych skutków włączenia informacji, będącej produktem mentalnej aktywności człowieka, do ewolucyjnie ukształtowanego porządku zapewniającego trwałość struktury funkcjonalnej lasu. W tym sensie, modelowanie jest pierwszym etapem przygotowania projektu badań zarówno jako metoda formułowania racjonalnych pytań, jak i konstruowania zadań badawczych w celu znalezienia możliwie racjonalnych odpowiedzi na te pytania. Nie wolno jednak zapomnieć, że w procesie modelowania mniej istotny jest sposób zbierania czy opracowania danych, natomiast ważny jest sam wybór elementów badań interakcji.

W przypadku współzależności ‘las – człowiek’ analiza modelowa daje szansę na odkrycie nieznanych dotąd zależności i rezerw potencjału układu zacieśniającego związek obu partnerów. W każdym przypadku podstawową metodą modelowania, w dobie programów komputerowych, jest matematyczna analiza danych. Samo zastosowanie analizy matematycznej nie jest równoznaczne z modelowaniem, które zawsze rozpoczyna proces mentalny, stanowiący koncepcyjną podstawę eksperymentu sprawdzającego wnioski uzyskane metodą modelowania (Socha 2015). W twórczości naukowej zawsze należy

pamiętać o złożoności i ograniczeniach poznawczych metody modelowania (Heller 2014, 2016).

Przykładem eksperymentalnego testowania modelu, utworzonego w wyobraźni na podstawie tylko uzasadnionych naukowo przypuszczeń, było zainicjowanie testu upraw drzewostanowych *Thuja plicata* Donn ex D. Don i *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco (gatunków północnoamerykańskich) w arboretum SGGW w Rogowie przez profesora Edwarda Chodzickiego z Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie. Profesor nie czynił tego aby stworzyć w Polsce jeszcze jeden ogród botaniczny, do jakiej to roli predysponuje się współcześnie arboreta leśne, ale by przetestować koncepcję modelową możliwości zwiększenia potencjału funkcjonalnego lasów w Polsce, analogicznie do upraw Schwappacha.

Metodykę modelowania w leśnictwie stosują aktualnie, np. uczeni Wydziału Leśnego SGGW: Bogdan Brzeziecki (2015), Arkadiusz Bruchwald, Tomasz Borecki (2015), a także niektóre zespoły badawcze Instytutu Badawczego Leśnictwa (Rykowski 2006). Ale chociaż modelowanie jest, prawdopodobnie, najbardziej przydatną metodą w procesie tworzenia postępowych zasad gospodarowania w leśnictwie, właśnie w tym przypadku inżynieria ekonomiczna wymaga szczególnej uwagi ze względu na wyjątkowo trudny do określenia czynnik wartościowania przyrody (Żylicz 2014).

#### 4. Biotechnologia w leśnictwie – wybrane zastosowania inżynierii genetycznej

Termin „biotechnologia” po raz pierwszy został użyty przez węgierskiego naukowca i polityka Karoly Ereky w 1919 r. Dziś jest to dynamicznie rozwijająca się dziedzina nauki. Konwencja ONZ przyjęta na Szczycie Ziemi w Rio de Janeiro w 1992 r. określa biotechnologię jako „... wszystkie manipulacje dokonywane na organizmach lub ich elementach, prowadzące do wytworzenia użytecznych produktów”. Pierwsza faza biotechnologii to narodziny rolnictwa ok. 10–12 tys. lat temu – nieświadome genetyczne modyfikowanie roślin za pomocą selekcji i krzyżowania (pierwsze zboże, pszenica, a w Ameryce, dzikie gatunki niepozornej trawy *teosinte* przekształcone w kukurydzę). Druga faza zielonej biotechnologii, na przełomie XIX i XX wieku, to rozwój metod hodowli tkankowych roślin *in vitro*, a w latach 50. indukowana mutagenesa, dzięki której mogło powstać nawet do 3 tys. dziś uprawianych odmian roślin na świecie. Trzecia faza, to metody modyfikacji genetycznych i wprowadzonych w latach 70. technik inżynierii genetycznej, pozwalające wstawiać do genomu (lub wyłączać) geny z innych organizmów, np. przeszczepianie pojedynczych genów, często pochodzących od mikroorganizmów. Pierwsze rośliny transgeniczne (GMO) pojawiły się w połowie lat 90., a obecnie stanowią 13% upraw na świecie (np. soja, kukurydza, bawełna, rzepak). Fazy czwarta i piąta, już – XXI w., to modyfikacje procesów ekspresji genów stymulacji rozwoju lub odporności na wybrane gatunki organizmów patogenicznych. To także, tzw. metoda SGF (Stimulated

Gene Flow) – przenoszenie genotypów różnych ras geograficznych tego samego gatunku, wykorzystujące zmienność ekspresji cech populacji regionalnych, np. *Picea sitchensis* (Bong.) Carrière w Kanadzie: z Alaski do Południowych Stanów.

Wykorzystanie postępu biotechnologii w inżynierii leśnej, poprzez ingerencję w mechanizmy molekularne kontrolujące potencjał użytkowy ekosystemów leśnych, także w Polsce mogłyby skutkować poprawą (Wodzicki 2014):

- I. Odporności drzew leśnych na wybrane infekcje patogeniczne.
- II. Produkcji masy drzewnej:
  - A. efektywności fotosyntezy drzew, drogą:
    - a) stymulacji wzrostu liczby liści lub powierzchni blaszki liściowej,
    - b) wykorzystania szerszego spektrum światła słonecznego.
  - B. selekcji genotypów drzew:
    - a) szybko rosnących, osiągających ponad przeciętną wysokość,
    - b) o wysokiej aktywności strefy kambium,
    - c) o wydłużonym okresie syntezy ściany wtórnej komórek drewna,
    - d) o wyższej od przeciętnej intensywności syntezy celulozy i ligniny.
- III. Odporności na wiatrolomy
  - A. selekcji genotypów drzew o wysokim współczynniku napięć wzrostowych pnia:
    - a) w całym okresie wegetacji,
    - b) w okresach, kiedy najczęściej pojawiają się zagrożenia.
- IV. Aklimatyzacji drzew obcego pochodzenia:
  - a) osiągających naturalnie znaczne rozmiary,
  - b) produkujących drewno szczególnie cenne strukturalnie lub odporne na destrukcję.
- V. Selekcji drzew przejawiających szczególne wartości cech morfologicznych: krajobrazowych lub innych niż związane z produkcją drewna, np. cech dekoracyjnych, miododajności, wartości pokarmowych zwierzyny w gospodarce łowieckiej itd.

### Komentarz do niektórych pojęć, definicji i założeń problemowych

- Nauka – intelektualna aktywność człowieka, której celem jest ustalenie relacji pomiędzy dostępnymi dla zmysłów zjawiskami zachodzącymi w otaczającym świecie.
- Przyroda – posiada własność, dzięki której można ją badać, to znaczy jest typu empirycznego i można oczekiwać racjonalnych odpowiedzi na racjonalnie postawione pytania.
- „Świat społeczny to przedłużenie naturalnego ... oba mogą być badane empirycznie” (rozwińcie tezy wybranej z Księgi Przysłów).
- Wiedza – odpowiednio uzasadnione prawdziwe przekonanie – ale wiedza każdego człowieka jest jego osobistą własnością, ukształtowaną proporcjonalnie do jego edu-

kacji oraz własnych doznań zmysłowych, a także poziomu indywidualnych zdolności postrzegania związków przyczynowych tych informacji. Dlatego każdy może określić co wie a czego nie wie, ale nie to o czym nie wie, że nie wie. Zdobywanie wiedzy polega na śledzeniu postępu wiedzy i szukaniu odpowiedzi na wynikające stąd pytania. Aktualny poziom wiedzy każdego człowieka jest jedną z wielu cech zmienności osobniczej populacji ludzkiej.

- Twórczość naukowa – proces konstruowania teorii objaśniającej sens zbioru faktów (informacji cząstkowych), pozyskanych metodami naukowymi, o strukturze lub mechanizmach działania układów stanowiących obiekt badań.
- Teoria naukowa – próba określenia prawdy (zgodności z rzeczywistością) o strukturze i sposobie funkcjonowania obiektu badań. Tworzenie teorii rozpoczyna się od kontaktu z danymi doświadczalnymi, własnymi lub zebranymi przez innych, ale nie jest podsumowaniem danych. Teoria jest naukowa tylko wtedy, gdy wynikające z niej przewidywania mogą być poddane próbie obalenia (falsyfikacji), a więc: z teorią, która wszystko potwierdza, nie może być dyskusji – teoria taka jest nienaukowa. Zadaniem teorii jest nie tylko tłumaczenie faktów, ale także ich przewidywanie. Teoria (lub model) odniosła sukces, jeżeli: po pierwsze, nie tylko nie została dotychczas sfalsyfikowana, lecz również dotychczas wykonane doświadczenia okazały się zgodne z jej przewidywaniami, a po drugie, jeżeli weszła ona w siatkę spójnych oddziaływań z innymi teoriami lub modelami danej nauki (Heller 2014).

### Polecana literatura

- Al.-Khalili J, McFadden J. 2016. Życie na krawędzi. Era kwantowej biologii. Wydawnictwo Prószyński i Ska. Warszawa, 368 s. ISBN 978-83-806-9326-5.
- Borecki T., Stępień E. 2015. Ewolucja roli i zadań urzędowania lasu w nauce i praktyce, w: Nauka. Materiały ósmego panelu ekspertów w ramach prac nad Narodowym Programem Leśnym (red. K. Rykowski). Instytut Badawczy Leśnictwa, Sękocin Stary, 130–143. ISBN 978-83-62830-53-4.
- Brzeziecki B. 2015. Modelowanie matematyczne i symulacja komputera w leśnictwie, w: Nauka. Materiały ósmego panelu ekspertów w ramach prac nad Narodowym Programem Leśnym (red. K. Rykowski). Instytut Badawczy Leśnictwa, Sękocin Stary, 144–163. ISBN 978-83-62830-53-4.
- Carroll S. 2017. Nowa perspektywa pochodzenia życia, świadomości i wszechświata. Wydawnictwo Prószyński i Ska, Warszawa, 576 s. ISBN 978-83-8123-425-2.
- Heller M. 2014. Granice Nauki. Wydawnictwo Copernicus Center Press, Kraków, 330 s. ISBN 14658150.
- Heller M. 2016. Filozofia nauki. Wydawnictwo Copernicus Center Press, Kraków, 200 s. ISBN 978-83-788-6251-2.
- Młodinow L. 2016. Nieświadomy Mózg. Jak to, co dzieje się za progiem świadomości, wpływa na nasze życie. Wydawnictwo Prószyński i Media, Warszawa, 336 s. ISBN 978-83-8097-720-4.
- Morris T. 2015. Filozofia dla Bystrzaków. Wydawnictwo Helion, Gliwice, 360 s. ISBN 9788328300484.
- Podgórska T., Sierota Z. 2010. Las – człowiek ... człowiek – las. Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, Warszawa, 126 s. ISBN 978-83-61633-19-8.

- Rykowski K. 2006. O leśnictwie trwałym i zrównoważonym – w poszukiwaniu definicji i miar. Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, Warszawa, 231 s. ISBN 8389744198.
- Socha J. 2015. Modele wzrostu jako narzędzie zarządzania lasami w obliczu zmieniających się warunków siedliskowych. Nauka. Materiały ósmego panelu ekspertów w ramach prac nad Narodowym Programem Leśnym (red. K. Rykowski). Instytut Badawczy Leśnictwa, Sękocin Stary, 289–298. ISBN 978-83-62830-53-4.
- Szwagrzyk J. 2015. Las w badaniach ekologicznych. Najnowsze wyniki badań ekosystemów leśnych; stan, potrzeby i perspektywy badań w Polsce. Nauka. Materiały ósmego panelu ekspertów w ramach prac nad Narodowym Programem Leśnym (red. Rykowski). Instytut Badawczy Leśnictwa, Sękocin Stary, 117–129. ISBN 978-83-62830-53-4.
- Trojan M. 2016. Wiemy, że coś wiemy. *Polityka* 24(30630)VI: 6–14.
- Wodzicki T.J. 2014. Twórczość naukowa warunkiem rozwoju gospodarki leśnej. Polskie Towarzystwo Leśne, Warszawa, 369 s. ISBN 978-83-931417-6-0.
- Zimowa Szkoła Leśna 2013. Planowanie w gospodarstwie leśnym XXI wieku. Sesja V. Instytut Badawczy Leśnictwa, Sękocin Stary, 380 s, ISBN 978-83-62830-23-7.
- Żylicz T. 2014. Cena przyrody. Wydawnictwo Ekonomia i Środowisko, Białystok, 291 s. ISBN 978-83-61643-57-9.

## Creative engineering – introducing the progress of science to forestry<sup>1</sup>

Tomasz J. Wodzicki

Forest Research Institute, Extramural Doctoral Studies in Forest Research Institute, Sękocin Stary, ul. Braci Leśnej 3, 05–090 Raszyn, Poland

Tel. +48 22 7150561, e-mail: [t.wodzicki@wp.pl](mailto:t.wodzicki@wp.pl)

Motto:

The real and legitimate goal of the sciences is the search for truth, and endowment of human life with new inventions and riches.  
(Francis Bacon)

The great aim of life is not knowledge but action.  
(T.H. Huxley)

That which science and ethics do not forbid the imagination, nature does not forbid man.  
(T.J. Wodzicki)

**Abstract.** Implementing creative engineering, or in other words the progress of science, in forestry practice requires the integration of knowledge from its various branches concerning the impact of human activity on the Earth's ecosystem. In fact, various aspects of development in the forest services are already associated with ecological engineering, which in practice includes biology, economy, sociology as well as technical and mechanical construction. Special attention was given to modelling as the most productive method of promoting progress in forest management. In the case of biological engineering in forest ecology, for example, various possibilities of applying genetic engineering as a potential future method for increasing productivity as well as for the preservation of genetic diversity and environmental protection are discussed in more detail. Literature recommendations concerning engineering in forestry accessible to students of the Extramural Doctorate Studies at the Forest Research Institute in Sękocin are also presented.

**Keywords:** creative engineering, modelling, ecological engineering, biotechnology

---

<sup>1</sup> Theses for doctoral students (January 2020)

### 1. Creative engineering

Creative engineering is the use of knowledge, that is the products of experience and imagination formulated in scientific theories of the laws of energy conversion and the properties of matter, to design methods and construct the technical means to meet human needs. Science and engineering are thus linked by the result of the creative activity of the human brain.

In the economy, creative engineering is a way of using the results of scientific research to increase the utility value of the environment. That is, not only searching for and testing answers to the question 'How does it happen' and formulating theories or searching and testing methods of knowing (measuring) the reality but also designing and formulating answers to the questions: 'What is the practical value of a specific discovery and how can it be used or improved, bearing in mind human development needs', or looking for answers to

Received: 5.11.2019 r., accepted after revision: 19.11.2019 r.

more specific questions: ‘How can this goal be achieved with a different method than the one used so far’, ‘What is the utility and the threat to natural homeostatic processes of a specific product of creative engineering’, ‘What is the cost-benefit balance of the designed project or the probability of its success?’

Apart from curiosity, creative engineering may be one of the main drivers of scientific development. In this sense, engineering is a way to test experimentally the working hypotheses in research that are finalised with the formulation of scientific theories. However, there is quite a significant difference between the mental processes of both these forms of creativity. The creation of scientific theory involves memory and imagination in the analysis of the causal relationships of facts collected earlier – in the past. On the other hand, creative engineering also includes the design and construction of a system of causal relationships but creates facts in the future. Both forms of creativity entail a search for truth (in the sense given to this notion in science), that is, testing the reliability of the results of creating. The process of creative engineering provides a particular opportunity to use the potential of the resources of the laws of nature known earlier, in order to satisfy the assumed level of human needs. In each case, and thus also in forestry, it concerns the question of changes in the properties of a product of nature’s evolution (created by natural selection in succession of generations) and the possibility of progressive changes in the natural environment’s resistance potential. It is possible, thanks to the properties of the human mind in its multifaceted association of meaning and the interdependence of collected information, as well as the freedom to choose the criteria of the goal and ways of its implementation in the practice of forestry. This can be, for example, the choice of traditional methods of silviculture or the deliberate *in vitro* modification of the DNA structure of the meristem, determining the direction of immune processes or the growth correlations of trees. In this way, creative engineering is somewhat a process that creates alternative paths of natural evolution, which can be shaped both to enrich the utility value and to increase the level of protection of the natural structure of the biocenose of ecosystems.

To summarise, human creativity is a multi-level process, consisting of mechanisms of mental activity in the processes of (Al-Khalili, McFadden 2016) taking in the environmental information through a system of senses; (Borecki, Stepień 2015) memory in a system of encoding sensory information; (Brzeziecki 2015) associating the logical sense of sensory information, the so-called intelligence; and (Carroll 2017) imagination, a process whose (archaic, but the closest of many) definition is: the mental depiction of something, in the form of an intangible idea. In scientific creativity, the determining goal is to use sensual information in close reality (experimentally verifiable) to formulate a theory about the properties of the examined system. In creative engineering, it is mainly the involvement of memory and imagination in the construction of a work of social utility. The third form of human creativity is ‘science

fiction’ and artistic creation, in which imagination is decisive, integrating the features of human individuality, reflected in the construction of the content and form of a work of art.

Doctoral studies in the field of forest science give participants the opportunity to pursue both learning objectives simultaneously or alternatively. The creative process in the research constituting the content of the doctoral dissertation may concern mainly cognitive values (improvement of theory) or innovative management methods (breeding, protection, forest use and management or economic principles and management organisation). The problems of creative engineering in the doctoral programme are an element of knowledge about the evolution of human consciousness in the search for truth about the structure of the environment of human existence in the universe as a way of using knowledge for the development of humankind without limiting the creative potential of Earth’s biosphere.

The most primitive manifestations of ‘creative engineering’ can be observed in many animals – usually as a way of securing the existence of the family, for example, when dens are built by mammals, nests by birds, or webs by spiders. The development of the nervous system in the course of phylogeny, and especially of the brain and the creative potential of consciousness, was decisive in the evolution of human civilisation and culture. The key role in this process was improvements in gathering knowledge and communication between the generations, and above all, the evolution of language as a product of the recombination of symbolic sound and graphic signs – factors of memory and education. The most primordial forms of creative engineering were manifested by man already in the processes of splitting stones, shaping spearheads, braiding fibres, tying nets, making vessels as tools for obtaining and preserving food, constructing the means of transport and defence and, finally, striking sparks for fire or constructing and furnishing buildings. The selection and cultivation of plants or animal husbandry, for the same reasons, should be considered as manifestations of the creative human engineering activity. This is how, thanks to the accumulation of knowledge, the creative potential of humans has evolved in the field of improving the ways in which it is used for progressively developing the living conditions of the population in successive generations. In psychology, this process is described as the evolution of high-level intentionality (Trojan 2016). Humans are the only species that travel so far mentally and that are curious and intentionally ready to seek answers to the questions they formulate and then, searching for logical causal relationships, formulate hypotheses and theories and apply them to the economy. Only people are able to use remembered observations, the knowledge and imagination to choose the direction of associating events and facts – to construct hypotheses, theories, planning, modelling, valuing and fantasising – and so they also have the ability to creati-

vely interfere in the processes of natural evolution. Various forms of creative engineering, not only those associated with surveying, construction and mechanics, which have the longest history of development, are used in forest science and management as a means of delimiting forest areas. Examples include not only activities determining the ownership of woodland or hunting areas and wood reserves but also the ways of regulating water resources, mechanising breeding work and protecting and using or transporting wood, which are generally conducted in accordance with biological engineering and sociology (Rykowski 2006; Szwagrzyk 2015).

## 2. Ecological engineering in forestry

As the world famous ecologist Professor H.T. Odum wrote, ecological engineering is a special branch of creative biology that ‘...takes advantage of the natural changes occurring in the environment to benefit both man and the environment itself’. It follows that all engineering activities in forestry are elements of the implementation of various tasks in ecological engineering. The methods of ecological engineering in forestry differ significantly (not only in Poland) depending on the choice of forest functions, that is, the structural properties of the ecosystem and the main factors of homeostasis at different stages of its development. Practically, the diversity of creative engineering in forestry starts from the problems of only protecting a forested area (as in the case of strict nature reserves), through the preservation of different variants of use and protection, to the system of complete anthropopressure in plantation breeding (as in agriculture). This means that there is a need to determine the proportions or knowledge of many basic fields of science in order to choose the right ecological engineering strategy – for example, biology, geology, climatology, hydrology, petrography (in silviculture and forest protection engineering, hunting, etc.), physics, chemistry, machine building technology, road construction, amelioration, architecture (in forest use engineering, machine construction, construction and transport in wooded areas, etc.), theories of finance, market analysis and planning methodology (in management engineering, and thus in administration, financial economy), and finally psychology, sociology, pedagogy and history, in particular, the mathematics, geometry and statistics – to solve any problems arising from the progress of management methods in forestry. In developing any programme of creative engineering in forestry, not only the utilitarian purpose but also the ways of securing the process of the ecosystem’s homeostasis, and if possible, even increasing its effectiveness, need to be determined (Rykowski 2006; Podgórska, Sierota 2010).

The concept of engineering has its own semantic history. The most commonly understood concept of engineering in forest management is the process of the implementation of tasks planned by the State Forests administration within the

scope and methods defined by the current state of knowledge. This article talks about creative engineering as the construction of conceptual programmes of future forms of forestry, taking into account the civilisational development of the human population and using the progress of knowledge resulting from intentionally created research programmes. In this sense, creative engineering concerns proposals for economic activities in the future and, therefore, requires the probability of success to be determined, that is, studies of the complex of factors determining the designed use of knowledge. The Forest Research Institute in Sękocin Stary organises meetings of representatives of the State Forests administration and the scientific community (known as the Winter Forestry School) in order to update basic programmes: planning, management, forest protection and their implementation in practice, thus, the current principles of forest engineering in the first sense of the term. In the publications from these sessions, information, amongst others, on the development of forestry engineering, the progress in scientific creativity as well as the list of pilot projects of the Forest Research Institute in Vienna is provided (e.g. Zimowa Szkoła Leśna [Winter Forestry School] 2013).

## 3. Modelling

One of the basic methods of scientific research at all stages of learning about nature and creative engineering in the process of planning the development of the economy is modelling – a method of testing the probability level of hypotheses, thus, a mental attempt to learn about the relationship between knowledge and practice (usually in the form of a mathematical model). Generally speaking, it is a method of searching for answers to the question: ‘what will happen if’, for example, in forestry: ‘how will the utility of the forest change if the species structure of the stand changes’. A model is a simplified image of the examined fragment of reality, or in other words, the model simulates a real phenomenon. This simplification consists of eliminating features, elements or other relations, which (at least theoretically) are of little importance. The process of the homeostasis of forest ecosystems is primarily achieved in the system of the trophic associations of autotrophic populations and heterotrophic organisms (also in the form of symbionts and parasites), respectively, to the type and current state of the population size determined by the broadly understood variability of environmental conditions of the existence of the whole biocoenosis – especially soil fertility and moisture, as well as the seasonality of changes in precipitation, temperature and light. This means that although it is usually based on the choice made by the enormous potential of the process of associating knowledge encoded in the memory of the human brain, sometimes the choice of essential elements and those that are to be excluded will not be possible in model studies without conducting preliminary research. This also applies to the cho-

ice of the size and type of measurement sample in designing experimental tests of hypotheses and even theories. Building models involves imagination, because it is an attempt to create alternative theories that differ from each other by their physical assumptions and concepts or by the distances and scales of energy in which they are applied. Models make it possible to predict phenomena. Thus, by conducting an experiment, scientists can theoretically confirm or negate the truthfulness of the claims made by the models.

As a method of scientific research, modelling may also be a basic way of learning about the potential of the forest as a factor satisfying the developmental needs of human beings and thus also designing and testing the probability of the effectiveness of planned management principles. This is due not only to the variable dynamics of the complex structure of forest ecosystems but also from the longevity of trees and the longevity of evolutionary changes, as emergent properties of the forest's structure. They are realised through natural succession, in accordance with the variability of environmental conditions of the life of forest ecosystems in the biocoenosis. This means that all attempts in using the test method to learn about an experimentally modified structure of the forest ecosystem, that is, the effects of an intervention in the natural process of succession, can only be finalised after many years of observations and measurements. This also applies to human needs conditioned by changes in the cause and effect interactions of many social processes. And it should be remembered that the credibility of predictions decreases with the distance to the planning horizon. In view of the life expectancy of trees, which exceeds even several times the period of a researcher's creative work, a single measurement barely provides preliminary knowledge about the structure of the same research subjects in subsequent developmental phases of the individual system. This means that predicting the future based on the results of a single measurement of the correlation between selected elements of the structure of the system is limited and sometimes illusory. Given the very high level of interdependence of the biological and economic processes in forest management planning, more effective would be the results of data analysis obtained from many repeated measurements in different phases of the physiological development of the forest, fluctuations in market parameters and even in the state system.

For this reason, predicting the effects of planned activities in forest management is possible, thanks mainly to the modelling method. This applies not only to the theoretical assumptions for experimental tests but also to the analysis of hypothetical coefficients of variability of the forest ecosystem's structure. In the latter case, the modelling method means the analysis of the probable effects of including information, being a product of the mental activity of humans, into the order shaped by evolution, which ensures the sustainability of the functional structure of the forest. In this sense, modelling is the first stage of preparing a research project, both as a method of formula-

ting rational questions as well as to construct research tasks in order to find possible rational answers to these questions. However, it should not be forgotten that in the modelling process, the way data are collected or elaborated is less significant, whereas which is important is that the selection of the elements of the studied interactions.

In the case of the 'forest-human' relationship, model analysis gives us a chance to discover hitherto unknown relationships and reserves of potential of the system reinforcing the relationship of both partners. In each case, the basic method of modelling, in the era of computer programs, is mathematical data analysis. The application of mathematical analysis alone is not tantamount to modelling, which always starts a mental process that is the conceptual basis of the experiment checking the conclusions obtained by the modelling method (Socha 2015). In scientific creativity, one should always remember about the complexity and cognitive limitations of the modelling method (Heller 2014, 2016).

An example of experimentally testing a model, created in the imagination based on only scientifically justified conjectures, was the initiation of the stand crop test of *Thuja plicata* Donn ex D. Don and *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco (North American species) in the arboretum of the Warsaw University of Life Sciences (SGGW) in Rogów by Professor Edward Chodzicki from the Jagiellonian University in Kraków. Prof. Chodzicki did not do this in order to create yet another botanical garden in Poland, the role of which is predisposed by forest arboreta today, but to test a model concept of how to increase the functional potential of forests in Poland, analogous to Schwappach's crops.

The methodology of modelling in forestry is currently used by, for example, scientists of the Faculty of Forestry of the Warsaw University of Life Sciences – Bogdan Brzeziecki (2015), Arkadiusz Bruchwald, Tomasz Borecki (2015) – as well as several research teams of the Forest Research Institute (Rykowski 2006). However, although modelling is probably the most useful method in the process of developing progressive management principles in forestry, it is precisely in this case that economic engineering requires special attention because of the extreme difficulty in determining the valuation factor of nature (Żylicz 2014).

#### **4. Biotechnology in forestry – selected applications of genetic engineering**

The term 'biotechnology' was first used by the Hungarian scientist and politician Károly Ereky in 1919. Today, it is a dynamically developing field of science. The UN Convention adopted at the Earth Summit in Rio de Janeiro in 1992 defines biotechnology as '...all manipulations on organisms or their elements that lead to the production of useful

products'. The first phase of biotechnology was the birth of agriculture about 10–12,000 years ago – the unconscious genetic modification of plants through selection and cross-breeding (the first grain, wheat and, in America, wild species of the inconspicuous teosinte grass transformed into maize). The second phase of green biotechnology, at the turn of the nineteenth and twentieth centuries, was the development of breeding methods of plant tissues in vitro and induced mutagenesis in the 1950s, which enabled the development of up to 3,000 plant varieties grown today in the world. The third phase is the methods of genetic modification and genetic engineering techniques introduced in the 1970s, allowing genes from other organisms to be inserted (or excluded) into a genome, for example, the transplantation of single genes, often originating from microorganisms. The first transgenic plants (GMOs) appeared in the mid-1990s and now account for 13% of the world's crops (e.g. soybean, maize, cotton and rape). Phases four and five, already in the twenty-first century, are modifications to the expression processes of genes stimulating the development or resistance to selected species of pathogenic organisms. It is also called the Stimulated Gene Flow (SGF) method – the transfer of genotypes of different geographical races of the same species, using the variability of expression of regional population characteristics, for example, *Picea sitchensis* (Bong.) Carrière in Canada: from Alaska to the southern U.S. states.

The use of advances in biotechnology in forest engineering by intervening in the molecular mechanisms controlling the utilitarian potential of forest ecosystems could result in the following improvements, also in Poland (Wodzicki 2014):

- I. Resistance of forest trees to selected pathogenic infections.
- II. Production of wood mass
  - A. effectiveness of the photosynthesis of trees, through
    - a) stimulating the growth of the number of leaves or area of the leaf blade,
    - b) using a wider spectrum of sunlight.
  - B. selection of tree genotypes
    - a) fast-growing trees reaching above average height,
    - b) with a high activity of the cambium zone,
    - c) with an extended period of synthesising wood secondary cell walls,
    - d) with a higher than average intensity of cellulose and lignin syntheses.
- III. Windfall resistance
  - A. Selection of tree genotypes with a high stem growth stress factor (the effect of cambial activity and the radial growth of differentiating cells of xylem):
    - a) throughout the entire vegetation period,
    - b) in periods when threats most often arise.
- IV. Acclimatisation of trees of foreign origin

- a) naturally reaching significant sizes,
- b) producing wood of particular structural value or resistant to destruction.

- V. Selection of trees showing particular values of morphological characteristics: landscape or other than those associated with wood production, for example, decorative features, honey yield and nutritional value to game in hunting management.

### Commentary on selected concepts, definitions and assumptions of the problem

Science – the intellectual activity of humans whose aim is to determine the relationship amongst the phenomena occurring in the surrounding world that are accessible to the senses.

Nature – has the property enabling it to be studied, that is, it is of an empirical type and one can expect rational answers to rationally posed questions.

'The social world is an extension of the natural one... both can be empirically studied'.

Knowledge – an appropriately substantiated true belief – but the knowledge of each person is their personal property formed in proportion to their education and their own sensory experiences, as well as the level of individual abilities of perceiving the causal relationships of this information. Therefore, each person can determine what he knows and what he does not know, but not what he does not know that he does not know. Attaining knowledge is based on following the progress of knowledge and searching for answers to the ensuing questions. The current level of knowledge of every human being is one of the many characteristics of the variability of an individual human population.

Scientific creativity – a process of constructing a theory explaining the meaning of a set of facts (partial information) obtained by scientific methods, about the structure or mechanisms of the operation of systems constituting the subject of the research.

Scientific theory – an attempt to determine the truth (conformity with reality) about the structure and functioning of a research subject. Creating a theory starts with contact with experimental data, one's own or collected by others, but it is not a summary of the data. A theory is only scientific if the resulting predictions can be subjected to an attempt to overturn (falsify) them; thus, there can be no discussion with a theory that confirms everything – such a theory is unscientific. The task of a theory is not only to explain facts but also to predict them. A theory (or model) is successful if, first, it not only has not been falsified yet but also the experiments performed thus far were shown to be consistent with its predictions and, second, it has entered a network coherent interactions with other theories or models of a given science (Heller 2014).

## References

- Al-Khalili J, McFadden J. 2016. Życie na krawędzi. Era kwantowej biologii. Wydawnictwo Prószyński i Ska. Warszawa, 368 s. ISBN 978-83-806-9326-5.
- Borecki T., Stępień E. 2015. Ewolucja roli i zadań zarządzania lasu w nauce i praktyce, w: Nauka - Materiały ósmego panelu ekspertów w ramach prac nad Narodowym Programem Leśnym (red. K. Rykowski). Instytut Badawczy Leśnictwa, Sękocin Stary, 130–143. ISBN 978-83-62830-53-4.
- Brzeziecki B. 2015. Modelowanie matematyczne i symulacja komputerowa w leśnictwie, w: Nauka. Materiały ósmego panelu ekspertów w ramach prac nad Narodowym Programem Leśnym (red. K. Rykowski). Instytut Badawczy Leśnictwa, Sękocin Stary, 144–163. ISBN 978-83-62830-53-4.
- Carroll S. 2017. Nowa perspektywa pochodzenia życia, świadomości i wszechświata. Wydawnictwo Prószyński i Ska, Warszawa, 576 s. ISBN 978-83-8123-425-2.
- Heller M. 2014. Granice Nauki. Wydawnictwo Copernicus Center Press, Kraków, 330 s. ISBN 14658150.
- Heller M. 2016. Filozofia nauki. Wydawnictwo Copernicus Center Press, Kraków, 200 s. ISBN 978-83-788-6251-2.
- Młodinow L. 2016. Nieświadomy Mózg. Jak to, co dzieje się za progiem świadomości, wpływa na nasze życie. Wydawnictwo Prószyński i Media, Warszawa, 336 s. ISBN 978-83-8097-720-4.
- Morris T. 2015. Filozofia dla Bystrzaków. Wydawnictwo Helion, Gliwice, 360 s. ISBN 9788328300484.
- Podgórska T., Sierota Z. 2010. Las – człowiek... człowiek – las. Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, Warszawa, 126 s. ISBN 978-83-61633-19-8.
- Rykowski K. 2006. O leśnictwie trwałym i zrównoważonym – w poszukiwaniu definicji i miar. Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, Warszawa, 231 s. ISBN 8389744198.
- Socha J. 2015. Modele wzrostu jako narzędzie zarządzania lasami w obliczu zmieniających się warunków siedliskowych. Nauka. Materiały ósmego panelu ekspertów w ramach prac nad Narodowym Programem Leśnym (red. K. Rykowski). Instytut Badawczy Leśnictwa, Sękocin Stary, 289–298. ISBN 978-83-62830-53-4.
- Szwagrzyk J. 2015. Las w badaniach ekologicznych. Najnowsze wyniki badań ekosystemów leśnych; stan, potrzeby i perspektywy badań w Polsce. Nauka – Materiały ósmego panelu ekspertów w ramach prac nad Narodowym Programem Leśnym (red. K. Rykowski). Instytut Badawczy Leśnictwa, Sękocin Stary, 117–129. ISBN 978-83-62830-53-4.
- Trojan M. 2016. Wiemy, że coś wiemy. *Polityka* 24(30630)VI:6–14.
- Wodzicki T.J. 2014. Twórczość naukowa warunkiem rozwoju gospodarki leśnej. Polskie Towarzystwo Leśne, Warszawa, 369 s. ISBN 978-83-931417-6-0.
- Zimowa Szkoła Leśna 2013. Planowanie w gospodarstwie leśnym XXI wieku. Sesja V. Instytut Badawczy Leśnictwa, Sękocin Stary, 380 s. ISBN 978-83-62830-23-7.
- Żylicz T. 2014. Cena przyrody. Wydawnictwo Ekonomia i Środowisko, Białystok, 291 s. ISBN 978-83-61643-57-9.