Kartezijanski in Baconski pristop v znanosti in tehniki

Cartesian and Baconian Approach in Science and Engineering

Rudolf Pušenjak

Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo / Smetanova 17, SI-2000 Maribor, Slovenia

E-Mail: rudi.pusenjak@uni-mb.si

Povzetek: Članek obravnava Kartezijanski in Baconski pristop v znanosti in tehniki, ki sta v štirih stoletjih razvoja moderne znanosti imela po vsej verjetnosti največji vpliv. Kartezijanski pristop je deduktiven, znanstveni pogled na naravne pojave pa univerzalen. Baconski pogled temelji na eksperimentu in uveljavlja induktivni način sklepanja. V članku je prikazano, da sta oba pristopa vsak zase nezadostna, pač pa sta združena izredno uspešna. Uporaba obeh načel je prikazana pri lastnih raziskavah na področju nelinearnih stacionarnih in nestacionarnih nihanj nosilcev in elektromehanskih sistemov. Obravnavani so nepričakovani pojavi v teh sistemih, ki jih ne moremo predvidevati v okviru kartezijanskih, lahko pa jih odkrijemo z uporabo Baconskih načel raziskovanja.

Summary: The paper treats two different research approaches, founded by Descartes and Bacon, which have the most influental impact in the science and engineering over the past four centuries. The approach of Descartes is deductive and his scientific view is universal. The approach of Bacon rests on the experiment and puts into force the induction as the method of making the conclusions. In the paper is shown, that the fusion of both approaches, which are insufficient individually, is very successful. Both principles are shown in our own researches on stationary and nonstationary oscillations of beams and electromechanical systems. Unexpected phenomena in such systems, which cannot be predicted in the frame of the Cartesian, but by Baconian principles, are treated.

Key words: Cartesian and Baconian principles; nonstationary resonances; hinged-clamped beam; electromechanical systems

1. Uvod

Rojstvo moderne znanosti umeščamo na začetek sedemnajstega stoletja, ko sta dva velika misleca, Anglež Francis Bacon in Francoz Rene Descartes postavila dva v osnovi različna pogleda o razvoju znanosti. Bacon je bil zasidran v eksperimentu, kar je izrazil z besedami ˝ vse je odvisno od tega, ali imamo oči neprestano uprte v naravna dejstva˝, Descartes pa je prisegal na vsemogočnost razuma, rekoč ˝mislim, torej sem˝. Po Baconu je naloga znanstvenikov, da zbirajo dejstva zdaj tu, zdaj tam, dokler ne naberejo dovolj, da morejo razložiti, kako narava deluje. Zakone narave naj formulirajo na osnovi induktivnega načina sklepanja. Imenujemo jih lahko ˝čebele˝, ker pri svojem ustvarjanju ves čas neutrudno delajo in so podobni čebelam, ki letajo od ˝cveta do cveta˝ in nabirajo ˝med˝. Po Descartesu pa se mora znanstvenik zapreti v delovno sobo in do zakonov narave priti z deduktivno metodo, torej z močjo svojega uma. V razmišljanju se mora razgledovati naokrog, da bi mu pogled segel vse tja do horizonta. Ker mu um deluje v višjih sferah in ker stremi za tem, da bi imel popoln pregled, ga imenujmo ˝ptič˝. V štirih stoletjih, odkar sta Bacon in Descartes postavila ti dve načeli, je znanost napredovala s hitrimi koraki in se ob tem držala obeh poti hkrati. Niti Baconski empirizem, niti Descartesov dogmatizem sama po sebi nista zadoščala, da bi skrivnosti narave pojasnili, oba skupaj pa sta bila izjemno uspešna. Kljub temu, da sta vsak po svoje zaznamovala angleško in francosko znanost skozi minula stoletja in so si angleški znanstveniki večinoma prizadevali, da bi bili Baconisti, francoski pa kartezijanci, sta se obe kulturi medsebojno oplajali. V dvajsetem stoletju sta na razvoj znanosti odločilno vplivala dva dogodka, od katerih eden je pripadal Baconski, drugi pa kartezijanski tradiciji. Prvi dogodek je bil Mednarodni matematični kongres v Parizu leta 1900, na katerem je Hilbert začrtal razvoj matematike za celo stoletje in objavil znameniti seznam triindvajsetih nerešenih problemov. Hilbert sam je bil ˝ptič˝, katerega duh je kraljeval nad vso dotedanjo matematiko, s svojim programom pa se je obrnil na ˝čebele˝, ki naj bi rešile problem za problemom. Drug dogodek pa je pomenil nastanek Bourbakijeve skupine ˝ptičev˝, to je francoskih matematikov v 30-tih letih, ki si je za cilj zadala izdajanje serije matematičnih učbenikov, s katerimi naj bi postavili okvir za vso matematiko. Oba projekta sta imela izjemen vpliv na vse poznejše dogajanje v znanosti in tehniki. Bourbakijev program je bil ekstremna uveljavitev Kartezijevega načela. Po tem programu je vsa matematika zajeta v Bourbakijevih učbenikih in kar ni v njih, ni matematika. ˝Čebele˝ imajo s svojimi miniaturnimi stvaritvami, pa čeprav so še tako navdušujoče, v Bourbakijevem svetu zelo malo možnosti.

2. Ko se narava šali in preseneča

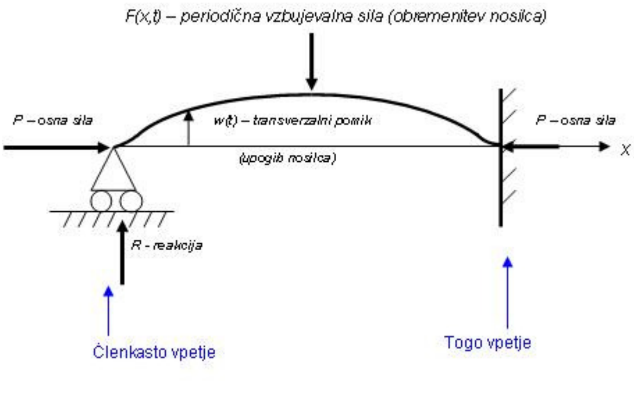
Da se narava iz znanstvenikov rada pošali, prikazuje naslednji primer. Descartes, ˝kralj ptičev˝ je leta 1637 kot prvi uporabil pojem imaginarnega števila, vendar mu je v svoji *La Geometrie* pripisal negativni pomen. Zanj kot za vse druge v njegovem času so bila prava števila le realna števila. Narava se je na Descartesov račun pošteno pošalila, čeprav ne v njegovem času, temveč skoraj tristo let pozneje. Da to pokažemo, naredimo velik časovni skok do Erwina Schrödingerja, ki je leta 1926 odkril valovno mehaniko. Tudi Schrödinger je bil ˝ptič˝, ki je skušal združiti valovno mehaniko z valovno optiko, podobno kot je Hamilton stoletje pred tem poenotil matematični opis svetlobnih žarkov z opisom trajektorij mehanskih delcev. Izhajajoč iz valovne optike, ki so jo že poznali, je hotel gibanje mehanskega delca opisati s pomočjo valovne mehanike, ki je bila njegova iznajdba, vendar na začetku enačba delca ni imela nobenega smisla. Enačba je izgledala tako, kot bi opisovala prevajanje toplote v zveznem sredstvu. Tedaj pa se mu je posvetilo: v enačbo je uvedel imaginarno enoto in enačba je postala valovna enačba delca. Kar je bilo najbolj presenetljivo, je bilo to, da je prezirana imaginarna enota privedla do rešitev, ki so ustrezale kvantiziranim orbitam v Bohrovem modelu atoma. S tem se je izkazalo, da narava deluje na osnovi kompleksnih in ne na osnovi realnih števil. To je bilo popolno presenečenje ne le za Schrödingerja, temveč za celotno fizikalno občestvo.

Bourbakijev program izključuje vsakršna presenečenja, a ta se v znanosti vendarle dogajajo. Znamenit primer presenečenja je odkritje kaosa pri povsem determinističnem sistemu, kakršen je na primer Lorenzov atraktor.

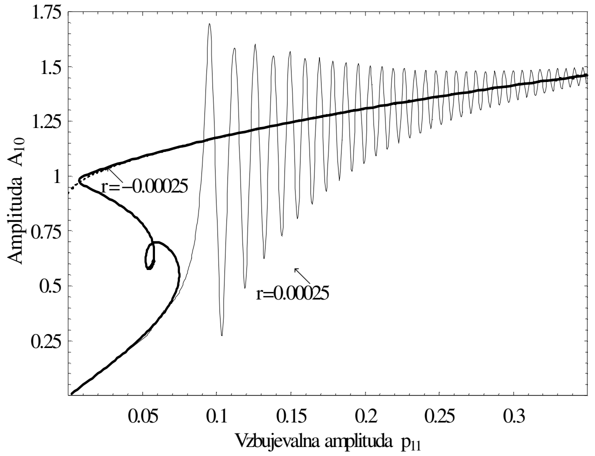
3. Raziskave elektromehanskih sistemov

Pri lastnem raziskovalnem delu smo uporabljali oba pristopa: kartezijanskega in Baconskega ter v raziskavah doživeli marsikatero presenečenje. V skladu s kartezijanskimi načeli, oziroma s ˝ptičjo perspektivo˝ smo skupaj s sodelavci več let razvijali Lindstedt-Poincarejevo metodo, dopolnjeno z več časovnimi skalami [1], da bi lahko z enotno metodo proučevali nelinearna stacionarna in nestacionarna nihanja pri nosilcih [1], [3], elektromehanskih sistemih [2] in upravljanju procesa izgorevanja [4] v izgorevalni komori Rijkejeve cevi. Raziskovalna metoda je bila povsem deduktivna, kar je še posebej vidno v delu [2], kjer smo izhajali iz posplošenega Hamiltonovega principa, s pomočjo katerega smo najprej izpeljali vodilne enačbe za posamezni elektromehanski sistem in nato sistematično uporabili Lindstedt-Poincarejevo metodo. Ko pa je šlo za uporabo metode pri izbranih vrednostih parametrov sistema, smo se kartezijanskim načelom odpovedali in uporabili Baconska načela.

Prvo večje presenečenje, ki ga po kartezijanskih pogledih ne pričakujemo, smo doživeli pri proučevanju nestacionarne resonance nosilca s togo-členkastim vpetjem, prikazanega na sliki 1, ki ga periodično vzbujamo tako, da se vzbujevalna amplituda s časom povečuje ali zmanjšuje [1]. Lindstedt-Poincarejevo metodo smo zasnovali z namenom, da lahko odkrijemo nestacionarna nihanja nosilca, ki se bistveno razlikujejo od stacionarnih nihanj. Drastična odstopanja od stacionarne resonance pri prvi obliki nihanja (amplituda A_{10}), kot smo jih pričakovali, so lepo razvidna iz slike 2, pripadajo pa periodičnemu vzbujanju s spremenljivo vzbujevalno amplitudo, vendar konstantno vzbujevalno frekvenco, ki leži v področju nad linearno frekvenco nosilca ω_{L_1} . V primeru na sliki 2 je vzbujevalna frekvenca enaka $\omega = 1.1\omega_{L_1}$

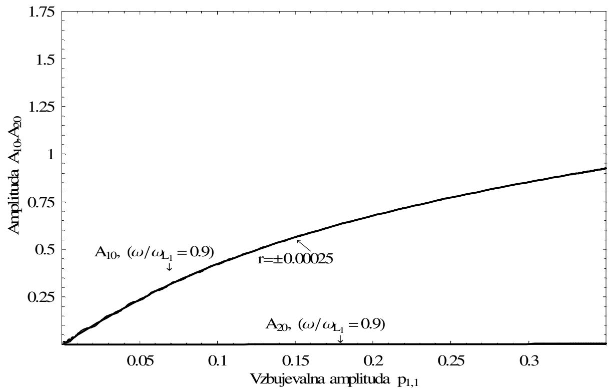


Slika 1. Nosilec s togo-členkastim vpetjem



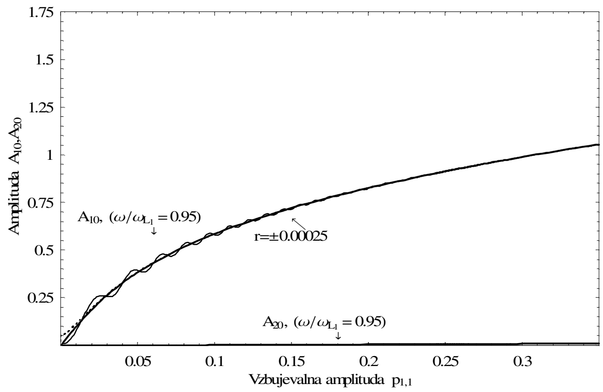
Slika 2. Stacionarni in nestacionarni odziv nosilca s togo-členkastim vpetjem pri vzbujevalni frekvenci ω = 1.1ω$_{L1}$ v odvisnosti od počasno spremenljive vzbujevalne amplitude p_{11}

Presenečenje nastopi pri vzbujanju s frekvenco, ki je manjša od linearne frekvence nosilca ω_{L_1} . Čeprav se vzbujevalna amplituda tudi v tem primeru spreminja s časom in sicer narašča pri pozitivnem *r*, pri negativnem pa upada, nestacionarna resonanca sovpada s stacionarno pri prvi obliki nihanja (amplituda A_{10}), medtem ko je druga oblika nihanja (amplituda A_{20}) povsem zadušena. Resonančni potek za primer, ko je vzbujevalna frekvenca enaka $\omega = 0.9\omega_{L_1}$ prikazuje slika 3. S parametrom *r* na slikah 1 in 2 je predpisana strmina naraščanja oziroma upadanja vzbujevalne amplitude s časom. Vzbujevalno amplitudo na slikah 1 in 2 linearno povečujemo v odvisnosti od časa od 0 do 0.35 s strmino $r = 0.00025$ in linearno zmanjšujemo od vrednosti 0.35 do vrednosti 0 s strmino $r = -0.00025$.



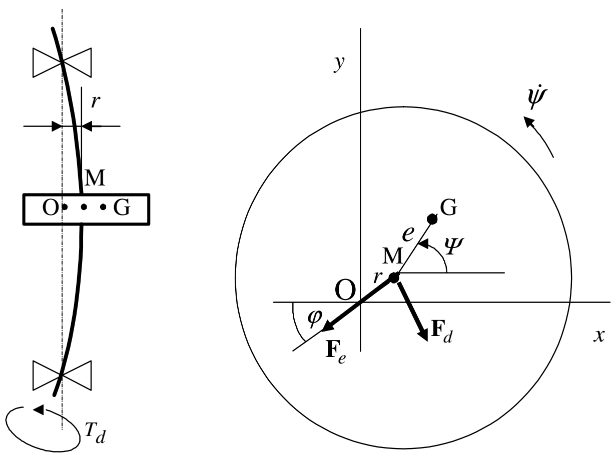
Slika 3. Stacionarni in nestacionarni odziv nosilca s togo-členkastim vpetjem pri vzbujevalni frekvenci ω = 0.9ω$_{L1}$ v odvisnosti od počasno spremenljive vzbujevalne amplitude p_{11}

Sedaj nastane vprašanje, kakšen je prehod med obema pojavoma. Na to vprašanje odgovorimo s pomočjo slike 4, kjer vidimo, da smo vzbujevalno frekvenco rahlo povečali na vrednost $\omega = 0.95\omega_{L_1}$. Slika 4 nas pouči, da se s povečevanjem vzbujevalne frekvence proti vrednosti ω_{L_1} stacionarna in nestacionarna resonanca ne ujemata več, čeprav je odstopanje nestacionarne resonance še majhno. Ta odstopanja se močno povečajo, ko vzbujevalna frekvenca preseže vrednost linearne frekvence nosilca ω_{L_1} kot je to primer na sliki 2. Pripomnimo še, da druga oblika nihanja na sliki 4 ni več tako močno zadušena kot na sliki 3, temveč amplituda A_{20} postopoma narašča.

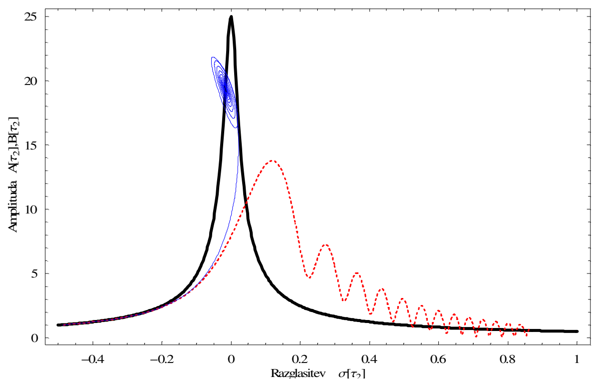


Slika 4. Stacionarni in nestacionarni odziv nosilca s togo-členkastim vpetjem pri vzbujevalni frekvenci ω = 0.95ω$_{L1}$ v odvisnosti od počasno spremenljive vzbujevalne amplitude p_{11}

Na presenečenje, čeprav ne tako nepričakovano, smo naleteli tudi pri elektromehanskem sistemu, ki ga sestavlja rotirajoči disk, montiran na elastični osi in ga poganja enosmerni elektromotor kot neidealni izvor energije [2] (slika 5). Elektromotor predstavlja idealni izvor energije, kadar lahko razvije poljuben pogonski vrtilni moment, kadar pa je mehanska energija elektromotorja omejena in elektromotor ne more razviti poljubno velikega pogonskega vrtilnega momenta, predstavlja neidealni izvor energije. Kadar vrtilna hitrost elektromotorja ne narašča s časom, temveč predstavlja nastavljiv parameter, dobimo stacionarno resonančno krivuljo elektromehanskega sistema. Na sliki 6 je le-ta prikazana z debelo, polno izvlečeno črto z elektromotorjem kot idealnim izvorom energije. Na abscisni osi je namesto vrtilne hitrosti podana razglasitev glede na kritično vrtilno hitrost elektromehanskega sistema. Kritična vrtilna hitrost sistema je hitrost, pri kateri elektromehanski sistem z idealnim izvorom energije doseže resonančni vrh in ustreza ničelni razglasitvi. Tako območje podkritičnih vrtilnih hitrosti ustreza negativnim vrednostim razglasitev, področje nadkritičnih vrtilnih hitrosti pa pozitivnim vrednostim razglasitev. Vendar lahko v motorskem režimu vrtilna hitrost elektromotorja s časom narašča, v zavornem režimu pa pada. Pri takšnem vzbujanju rotirajočega diska nastane nestacionarna resonanca s pogonskim elektromotorjem kot idealnim izvorom energije. Nestacionarna resonančna krivulja, ki je na sliki 6 prikazana s črtkano krivuljo, se drastično razlikuje od stacionarne resonančne krivulje, vendar je zanjo značilno, da lahko vselej prestopi iz območja podkritičnih vrtilnih hitrosti v območje nadkritičnih vrtilnih hitrosti, kjer nastopi pojav resonančnega utripanja. Če pa disk vrti elektromotor, ki predstavlja neidealni izvor energije, neuravnoteženost osi pa je nadkritična, elektromehanski sistem ne zmore prekoračiti kritične vrtilne hitrosti, temveč nekaj časa omahuje v podkritičnem področju vrtilnih hitrosti, dokler ne nastopi popolna stagnacija. V tem primeru se je izkazalo, da poenostavitev modela z elektromotorjem kot idealnim izvorom energije ni dopustna.



Slika 5. Rotorski sistem z rotirajočim diskom, ki je montiran na elastični osi in ga poganja enosmerni elektromotor kot neidealni izvor energije.



Slika 6. Prehod skozi osnovno resonance rotirajočega diska, montiranega na elastični osi, kadar elektromotor deluje v motorskem režimu ob nadkritični neuravnoteženosti osi. ▬ Stacionarna resonančna krivulja idealnega sistema, - - - Nestacionarna resonančna krivulja idealnega sistema, —— Nestacionarna resonančna krivulja neidealnega sistema.

4. Zaključek

V članku sta prikazana dva pristopa k razvoju znanosti in tehnike, Baconski in Kartezijanski pristop. Izkaže se, da sta pristopa vsak zase nezadostna, združena pa lahko vodita do novih spoznanj. To so potrdile tudi izkušnje, ki smo si jih pridobili z lastnim raziskovalnim delom. Prikazali smo, da smo raziskave nelinearnih stacionarnih in nestacionarnih nihanj nosilcev in elektromehanskih sistemov s pomočjo Lindstedt- Poincarejeve metode, dopolnjene z več časovnimi skalami zasnovali po kartezijanskih načelih raziskovanja. V teh raziskavah smo spoznali nove pojave kot so ujemanje nestacionarne resonance s stacionarno navkljub časovno odvisnemu vzbujanju, zadušitev posamezne oblike nelinearnega nihanja nosilca, pojav omahovanja elektromehanskega sistema v podkritičnem območju vrtilnih hitrosti in pojavstagnacije, ki so popolno presenečenje glede na pričakovanja pri uporabi deduktivne metode. Te nenavadne pojave smo odkrili z upoštevanjem Baconskih principov raziskovanja. Nepredvidljivost posameznih naravnih pojavov oziroma obstoj neznanih pojavov, ki jih kartezijanska shema ne predvideva pomeni obogatitev raziskav, ki je privlačna in ki povzroča, da je raziskovalno delo vedno znova zanimivo. Zaključimo lahko z ugotovitvijo, da se tudi v dobi takoimenovanega numeričnega eksperimenta oba predstavljena raziskovalna koncepta dopolnjujeta v celoto, v kateri je zajeto naše znanje.

Reference

1. Pušenjak R. R. "Extended Lindstedt-Poincare method for non-stationary resonances of dynamical systems with cubic non-linearities". *J. of Sound and Vib.,* 314(1-2): 194-216, 2008.
2. PUŠENJAK, Rudi, OBLAK, Maks, TIČAR, Igor. Nonstationary Vibration and Transition through Fundamental Resonance of Electromechanical Systems Forced by a Nonideal Energy Source. *International Journal for Nonlinear Sciences and Numerical Simulation*, May 2009, vol. 10, no. 5, str. 637-660.
3. PUŠENJAK, Rudi, OBLAK, Maks, TIČAR, Igor. Modified Lindstedt-Poincare method with multiple time scales for combination resonance of damped dynamical systems with strong non-linearities. *International Journal for Nonlinear Sciences and Numerical Simulation*, 2009, vol. 10, no. 11, str. 1663-1690.
4. PUŠENJAK, Rudi, OBLAK, Maks. Discussion on: "Analysis of control relevant coupled nonlinear oscillatory systems". *Eur. j. control*, 2008, vol. 14, 4, str. 283-285. http://dx.doi.org/10.3166/ejc.14.283-285