

ULOGA FUNDAMENTALNIH NAUČNIH DISCIPLINA U TEHNOLOŠKI INTENZIVNOM OKRUŽENJU

Nenad Grahovac¹, Miodrag Žigic²

^{1,2}Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija

¹ngraho@uns.ac.rs, ²mzigic@uns.ac.rs

Kratak sadržaj: Savremeno tehnološki intenzivno inženjersko okruženje u velikoj meri se oslanja na napredne numeričke alate i platforme za simulacije. Međutim, njihova odgovorna i pouzdana primena podrazumeva duboko razumevanje fundamentalnih naučnih disciplina. U radu se razmatra uloga mehanike kao strukturnog stuba inženjerskog obrazovanja, uz argument da tehnološki napredak ne umanjuje, već dodatno naglašava značaj temeljnih znanja. Na osnovu relevantne literature iz oblasti obrazovanja u mehanici, ističe se veza između teorijskih osnova i razvoja analitičkog, kritičkog i kreativnog inženjerskog mišljenja. Kao ilustracija izložene teze prikazan je primer - mehanička analiza sudara dva vozila, sprovedena kroz jasno definisano modelovanje, razlaganje procesa na faze i sistematsku primenu zakona mehanike. Primer pokazuje da se i u uslovima primene savremenih softverskih alata inženjersko rešavanje problema zasniva na fundamentalnim principima mehanike. Zaključuje se da očuvanje i unapređenje fundamentalnih disciplina predstavlja ključni uslov dugoročne održivosti i kvaliteta inženjerskog obrazovanja.

Ključne reči: inženjersko obrazovanje, fundamentalne naučne discipline, mehanika

THE ROLE OF FUNDAMENTAL SCIENCES IN A TECHNOLOGY-INTENSIVE ENVIRONMENT

Abstract: In contemporary technology-intensive engineering environments, advanced numerical tools and simulation platforms play an increasingly dominant role. However, their effective and responsible use presupposes a deep understanding of fundamental scientific disciplines. This paper examines the role of mechanics as a structural pillar of engineering education and argues that technological progress does not diminish, but rather reinforces, the importance of fundamental knowledge. Drawing upon relevant literature on engineering mechanics education, the discussion highlights the connection between theoretical foundations and the development of analytical, critical, and creative engineering thinking. To illustrate this position, an example is presented involving the mechanical reconstruction of a two-vehicle traffic accident. The analysis was conducted through explicit modeling, phase decomposition, and systematic application dynamic principles. The example demonstrates that even when supported by modern computational tools, engineering problem-solving fundamentally relies on clearly defined mechanical models and theoretical reasoning. The paper concludes that maintaining and strengthening fundamental disciplines within engineering curricula is essential for ensuring long-term educational quality, methodological rigor, and responsible application of advanced technological tools.

Key Words: engineering education, fundamental scientific disciplines, mechanics

1. UVOD

Savremeno inženjersko okruženje karakterišu visoko razvijeni numerički alati, veoma moćni softverski paketi i platforme za simulacije. Zato se nameće pitanje da li tradicionalne fundamentalne naučne discipline, kao što su matematika, fizika, teorijska i primenjena mehanika, zadržavaju svoju centralnu ulogu u obrazovanju inženjera. Ipak, i pored ubrzanog razvoja digitalnih alata, sposobnost pravilnog modelovanja, tumačenja dobijenih rezultata i kritičkog razmišljanja i dalje se zasniva na dubokom razumevanju osnovnih zakona fizike i matematike.

Primena mehanike u savremenom inženjerstvu ne svodi se samo na rešavanje standardnih zadataka, već podrazumeva razvoj analitičkog načina razmišljanja i sposobnost idealizacije realnih sistema. U radu [1] ističe se da primenjena mehanika ima ključnu ulogu u povezivanju matematičkih osnova sa inženjerskom praksom i naglašava se da bez čvrstog temelja studenti teško mogu da razviju potrebne analitičke sposobnosti. Slično tome, u radu [2], ukazuje se da teorijska mehanika ostaje jedna od ključnih disciplina za razumevanje i razvoj savremenih tehnoloških sistema. Pao u svom radu naglašava da primenjena mehanika predstavlja vezu između fizike i konkretnih inženjerskih problema, [3].

U ovom radu razmatra se uloga fundamentalnih naučnih disciplina kroz analizu konkretnog problema, mehaničke rekonstrukcije saobraćajne nezgode, sa ciljem da se pokaže kako sistematska primena osnovnih zakona mehanike i geometrije omogućava pouzdanu i transparentnu analizu, za razliku od primene tzv. „black-box” softverskih paketa ukoliko nema kritičkog i stručnog pristupa analizi dobijenih rezultata.

2. FUNDAMENTALNE DISCIPLINE I ANALITIČKI NAČIN RAZMIŠLJANJA INŽENJERA

U savremenom tehnološkom okruženju inženjeri imaju na raspolaganju napredne numeričke pakete koji omogućavaju brzo dobijanje rezultata. Međutim, takvi alati implementiraju matematičke odele zasnovane na fundamentalnim zakonima mehanike. Bez razumevanja pretpostavki koje su uključene u model, uslova i oblasti primenljivosti, kao i ograničenja metoda, korisnik softvera može da se nađe u veoma nezavidnoj situaciji, tj. ne samo da ne može da proceni validnost dobijenih rezultata, već da toga nije ni svestan.

Persaud i Smit, [4], naglašavaju da savremeni pristupi nastavi mehanike treba da razviju duboko razumevanje modela, a ne samo proceduralnu sposobnost rešavanja zadataka. Singamneni dodatno ističe da primenjena mehanika predstavlja most između matematičkog znanja i realnih inženjerskih problema, te da zanemarivanje tog mosta neminovno dovodi do slabljenja sposobnosti inženjera za analitički način razmišljanja.

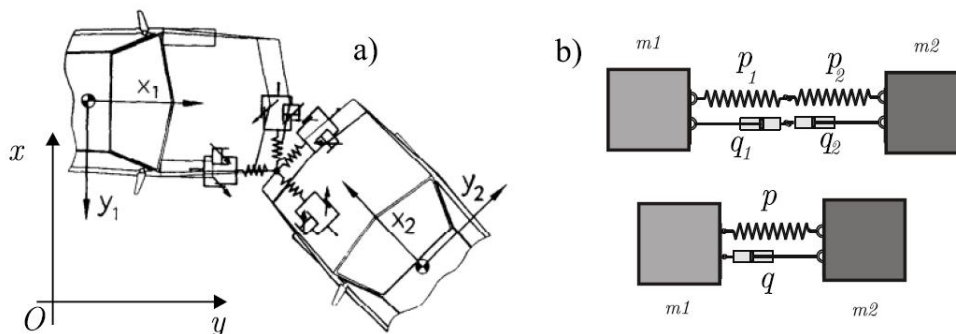
Tehnološka kompleksnost ne umanjuje značaj fundamentalnih disciplina, već naprotiv, prirodno povećava potrebu njihovim dubljim razumevanjem. Napredne numeričke metode kao što su metode konačnih i graničnih elemenata, ili metode koje se koriste za analizu dinamike sistema krutih tela, zasnivaju se na uslovima ravnoteže, zakonima o održanju i zakonima o promenama mehaničkih veličina, na rešavanju diferencijalnih jednačina kretanja. Bez jasnog razumevanja tih osnova, inženjer ostaje ograničen na operativno korišćenje softverskog alata, bez sposobnosti kritičkog mišljenja i interpretacije.

3. MEHANIČKA ANALIZA REALNOG PROBLEMA

Radi ilustracije značaja fundamentalnih disciplina, u nastavku radaje prikazana analiza sudara dva putnička vozila, sprovedena isključivo na osnovu principa klasične mehanike.

Analiza je započeta definisanjem sistema odabirom odgovarajućeg modela. Vozila su predstavljena krutim telima poznatih masa i geometrijskih karakteristika, ali sa viskoelastičnim slojem u zoni kontakta. Pretpostavljeno je ravno kretanje krutih tela, usvojeni su odgovarajući koordinatni sistemi i definisane su tri faze procesa:

1. Prilazna faza - meri se sekundama, obično je neko od učesnika saobraćajne nezgode načinio prekršaj;
2. Faza sudara - meri se milisekundama, traje dok postoji kontakt između vozila učesnika u nezgodi, razlikuju se faza dok se centri masa približavaju i faza u kojoj se centri masa udaljavaju jedan od drugog;
3. Faza koja započinje neposredno nakon završetka faze sudara pa sve do zaustavljanja vozila, meri se sekundama. Na Slici 1 vide se kontaktni model iz rada [5], kao i model viskoelastičnog sloja iz knjige Huanga, [6], koji su korišćeni u analizi.



Slika 1. a) Kontakti model iz rada [5]; b) Model viskoelastičnog sloja iz knjige Huanga, [6].

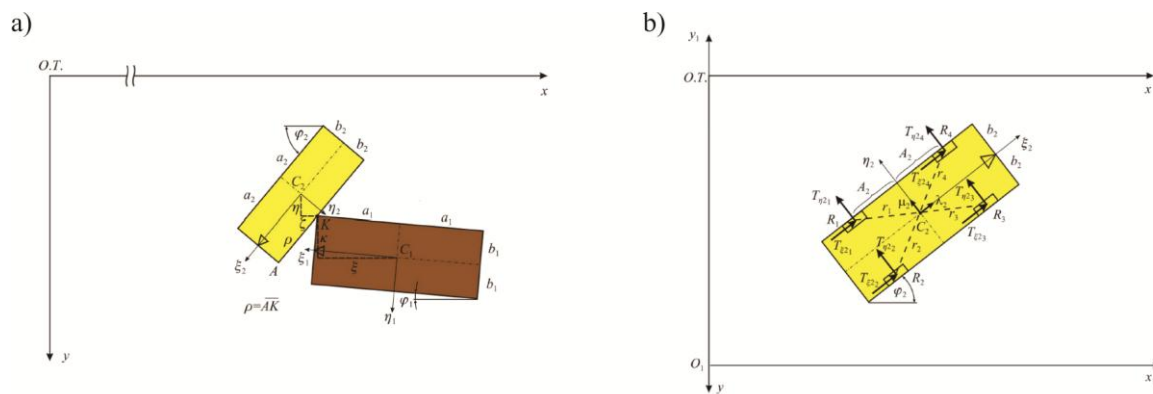
Svaka faza analizirana je primenom odgovarajućih zakona mehanike.

U prilaznoj fazi korišćen je Lineikinov model kretanja automobila, koji se zasniva na primeni Lagranževih jednačina druge vrste za neholonomne sisteme, na osnovu kojeg se simulira kretanje vozila do trenutka njihovog međusobnog kontakta.

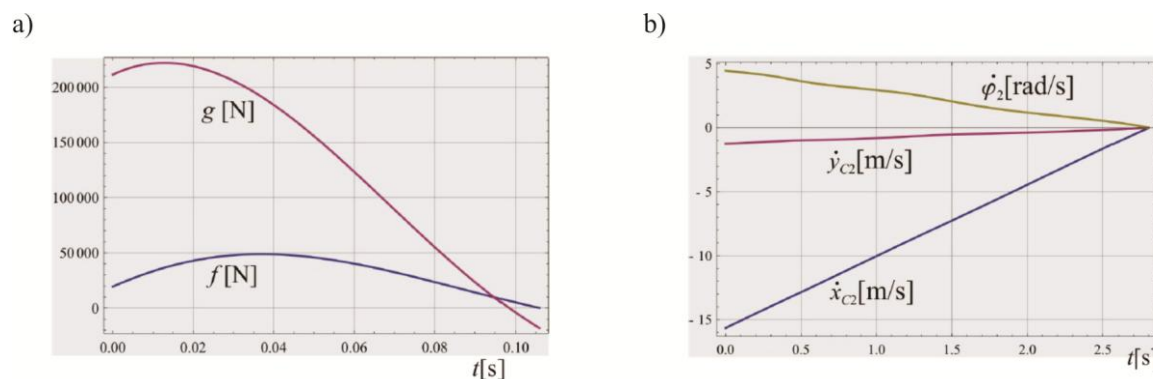
Tokom udarne faze, Slika 2a, proučava se kretanje vozila pri čemu se određeni delovi vozila deformišu. Korišćenjem geometrijskih principa i modela viskoelastičnog tela kao na Slici 1, moguće je odrediti zakon promene udarne sile, koja se odlikuje veoma velikim intenzitetom i veoma kratkim trajanjem, Slika 3a. Njutn-Ojlerove jednačine su postavljene za svako od vozila, a uzimajući u obzir i jednačine geometrijskih veza i konstitutivne jednačine, postavljen je zatvoreni sistem od 14 jednačina sa 14 nepoznatih veličina.

Na Slici 2b prikazane su sile koje dejstvuju između pneumatika i podloge vozila, koje dovode do zaustavljanja, a atributi kretanja tokom te faze prikazani su na slici 3b. Pošto je u toj fazi izgubljena upravljivost vozila, korišćena je dinamika ravnog kretanja krutog tela za oba vozila.

Ovde se radi o o složenom kretanju u redoslednom smislu, gde atributi kretanja na kraju jedne faze predstavljaju početne uslove za sledeću fazu. Na osnovu dostupnih podataka o samoj saobraćajnoj nezgodi, pomoću simulacije sve tri faze sudara na opisan način, procenjene su brzine kretanja vozila neposredno pre sudara, koje vozila dovode najbliže evidentiranim zaustavnim pozicijama, što je i bio zadatak.



Slika 2. a) Pozicija vozila u trenutku započinjanja udarne faze; b) Sile koje djeluju na vozilo tokom treće faze procesa, usled kojih dolazi do zaustavljanja vozila nakon završetka faze sudara.



Slika 3. a) Dobijena rešenja z udarne sile tokom 2. faze, faze sudara, koja se meri milisekundama; b) Dobijena rešenja za brzinu centra mase i ugaonu brzinu vozila u trećoj fazi procesa, nakon sudara do zaustavljanja, dužina faze se meri sekundama.

4. DISKUSIJA: FUNDAMENTALNO ZNANJE I „BLACK-BOX” ALATI

Opisani postupak pokazuje da je analiza od početka do kraja sprovedena na osnovu jasnih mehaničkih modela i fundamentalnih fizičkih i geometrijskih principa. Svaki korak je bio zasnovan na eksplicitno postavljenim jednačinama i proverljivim pretpostavkama.

Nasuprot tome, savremeni softverski paketi za rekonstrukciju saobraćajnih nezgoda omogućavaju unos parametara i automatsko generisanje rezultata. Iako su takvi alati izuzetno korisni, njihova pouzdana primena zahteva duboko razumevanje dinamike krutog tela, kontaktne mehanike, geometrijskih principa.

Bez tog znanja korisnik ne može dobro proceniti da li su ulazni podaci realni, da li su pretpostavke modela zadovoljene, niti da li dobijeni rezultati imaju fizičkog smisla.

U tom kontekstu, tehnološki napredak ne smanjuje značaj fundamentalnih disciplina, već ga dodatno naglašava. Zhao i saradnici, [2], ističu da teorijska mehanika ostaje osnova za razumevanje složenih sistema, dok Pao, [3], ukazuje na neraskidivu vezu između primenjene mehanike i inženjerske prakse.

5. ZAKLJUČAK

U uslovima ubrzanog tehnološkog razvoja, očuvanje i unapređenje fundamentalnih naučnih disciplina predstavlja strateški imperativ inženjerskog obrazovanja. Mehanika ne predstavlja samo skup procedura već daleko više od toga. Ona pruža čvrstu osnovu za razumevanje i modelovanje problema, razvija sposobnost kritičke analize, ali istovremeno otvara prostor za kreativno nalaženje novih rešenja zasnovanih na fundamentalnim principima.

Prikazani primer pokazuje da savremeni inženjerski problemi, čak i kada se rešavaju uz podršku digitalnih alata, ostaju duboko ukorenjeni u fundamentalnim zakonima mehanike. Dugoročni kvalitet inženjerskog obrazovanja zavisi od sposobnosti institucija da prepoznaju i očuvaju tu ulogu.

Autori se zahvaljuju na podršci u okviru projekta Departmana za tehničku mehaniku Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu, pod nazivom Savremeni problemi analitičke i primenjene mehanike: teorija, stabilnost i primene.

6. LITERATURA

- [1] Sarat Singamneni, *The Role of Applied Mechanics in Bridging the Gaps in Prior Learning for Aspirants of Engineering Education*, Education Sciences, 11, 626, 2021., <https://doi.org/10.3390/educsci11100626>
- [2] Guanyixuan Zhao, Yining Zhang, Yifan Xie, Zhenjie Liang, Rongjie Cai, Yihao Zhang, *Important Role of Theoretical Mechanics in Engineering*, Eng. Solut. Mech. Mar. Struct. Infrastruct., 1(2).8, ISSN : 3006-2837, <https://doi.org/10.58531/esmmsi/1/2/8>, 2024.
- [3] Yih-Hsing Pao, *Applied mechanics in science and engineering*, Appl Mech Rev vol 51, no 2, February 1998.
- [4] Stefan Persaud, Mark Smit, *A 21st Century Approach to Engineering Mechanics Education*, International Conference on Engineering and Product Design Education, Oslo and Akershus University College of Applied Sciences, Norway, 7-8 September 2017.
- [5] Vera C., Aparacio F., San Román J.L., *Theoretic model for the computer analysis of vehicle collisions*, Safety Science, 19, 179-189, 1995.
- [6] Huang M., *Vehicle crash mechanics*, CRC Press, Boca Raton, 2002.