

ULOGA MEHANIKE U TRANSDISCIPLINARNOM INŽENJERSKOM OBRAZOVANJU - IZAZOVI I POSLEDICE MARGINALIZACIJE TEMELJNIH INŽENJERSKIH DISCIPLINA

Zvonko Rakarić

Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija

zvonko@uns.ac.rs

Kratak sadržaj: U tehnološki intenzivnom okruženju, zahtevi koji se postavljaju pred inženjere neprestano rastu i problemi postaju kompleksniji. Dodatno, procesi, od ideja do željenih rešenja se ubrzavaju. Institucije koje se bave inženjerskim obrazovanjem, kao i šira zajednica, prepoznaju ovakve trendove. U tom cilju se vrše različite reforme inženjerskog obrazovanja u cilju prilagođavanja ovakvim zahtevima. Sve više, transdisciplinarnan pristup, kako u inženjerskoj praksi, tako i u inženjerskom obrazovanju, dobija na značaju. U kontekstu reformi inženjerskog obrazovanja se uočavaju i trendovi narušenog balansa između temeljnih inženjerskih disciplina i stručnih disciplina, u smislu tendencije ka marginalizaciji temeljnih disciplina. Cilj ovog rada je da ukaže da temeljne inženjerske discipline nisu prepreka prilagođavanju inženjerskog obrazovanja savremenim tehnološkim zahtevima, već, preduslov za efikasnu primenu takvih reformi.

Ključne reči: reforme inženjerskog obrazovanja, transdisciplinarnost, temeljne inženjerske discipline, mehanika

THE ROLE OF MECHANICS IN TRANSDISCIPLINARY ENGINEERING EDUCATION: CHALLENGES AND IMPLICATIONS OF THE MARGINALIZATION OF FUNDAMENTAL ENGINEERING DISCIPLINES

Abstract: In a technologically intensive environment, the demands placed on engineers continue to increase, while the problems they address become more complex and the path from idea to solution accelerates. These trends are widely recognized by engineering education institutions and the broader society, leading to ongoing reforms aimed at adapting engineering education to contemporary technological requirements. Within this context, transdisciplinary approaches are gaining increasing importance in both engineering practice and education. At the same time, however, certain reform trends indicate a disturbed balance between fundamental and specialized engineering disciplines, particularly through the marginalization of foundational subjects. This paper argues that fundamental engineering disciplines are not an obstacle to such reforms, but rather a prerequisite for their effective implementation.

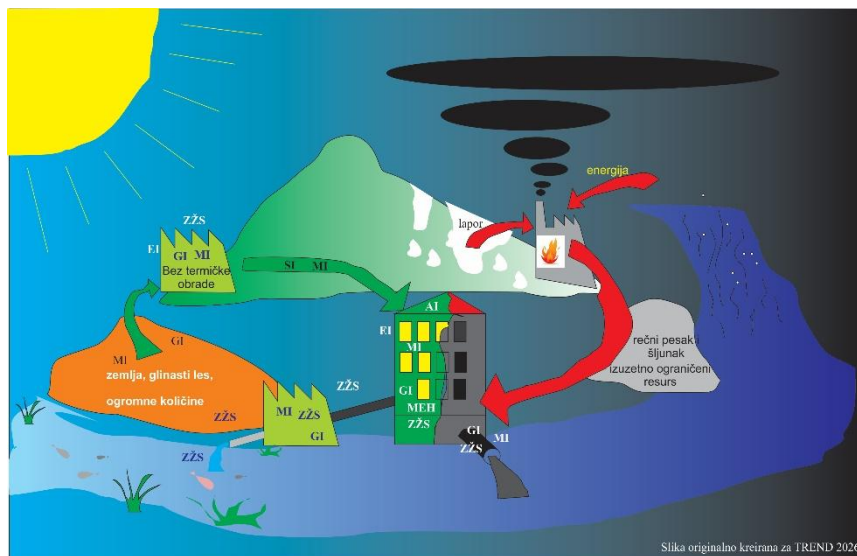
Key Words: engineering education reform, transdisciplinarity, fundamental engineering disciplines, mechanics

1. UVOD – ZAŠTO TRANSDISCIPLINARNOST

Nesporno je da se savremeno inženjersko obrazovanje odvija u uslovima ubrzanog tehnološkog razvoja, praćenog neprestanim rastom broja inovacija koje sve intenzivnije oblikuju svakodnevni život. Inženjerski sistemi postaju sve složeniji, dok se pred inženjere, odnosno pred rezultate njihovog rada, postavljaju sve noviji zahtevi [1,2]. Na primer, pored tehničke funkcionalnosti i efikasnosti, od inženjerskih rešenja se očekuje da budu bezbedna, estetski prihvatljiva, ekološki održiva i da ne ugrožavaju zdravlje ljudi i kvalitet životne sredine. Iako su pojedini od ovih zahteva postojali i ranije, standardi i brzine širenje informacija se povećavaju, kao i gotovo trenutna reakcija na posledice inženjerskih rešenja. Uočava se da brojni zahtevi proizilaze iz šire društvene zajednice, i kao takvi, nameću potrebu za proširenjem inženjerskih gledišta u odnosu neka ranija, uspostavljena tokom tradicionalnog, višedecenijskog razvoja inženjerskog obrazovanja. Prevazilaženje okvira pojedinačnih inženjerskih struka, sve više postaje uobičajeno u savremenom inženjerstvu, a što pred obrazovni sistem, a naročito pred inženjersko obrazovanje, postavlja nove izazove. Kao odgovor na ove izazove, svedoci smo značajnih reformi u koncipiranju studijskih programa, gde se sve se češće ukazuje na, i primenjuju interdisciplinarni [2] i transdisciplinarni pristupi [2,3]. Slika 1 daje primer mogućeg transdisciplinarnog inženjerskog okruženja, u kojem se ukazuje na potencijal prožimanja različitih inženjerskih oblasti u cilju smanjenja cementa, rečnog peska i šljunka, zamenom termički netretiranih sirovina na bazi lesnih sedimentnih naslaga (kojima R. Srbija obiluje). Svako smanjenje energetski zahtevnih, kao i izuzetno ograničenih resursa, predstavlja značajan doprinos smanjenju utroška energije i smanjenja emisije klimatskih gasova. U osnovi prožimanja različitih inženjerskih oblasti, a što čini neophodan preduslov za iznalaženje različitih i brojnih rešenja u navedenom problemu, je suštinsko razumevanje fundamentalnih principa.

U cilju što bolje prilagođenosti budućih inženjera pomenutim izazovima, u procesu reformi inženjerskog obrazovanja, naglasak se često stavlja na uvođenje novih stručnih i tehnološki orijentisanih sadržaja, kao i na razvoj praktičnih, alatno usmerenih kompetencija [4]. Međutim, paralelno sa ovim trendovima, uočava se tendencija postepenog potiskivanja temeljnih inženjerskih disciplina iz nastavnih planova i programa [5]. Ova pojava se ispoljava

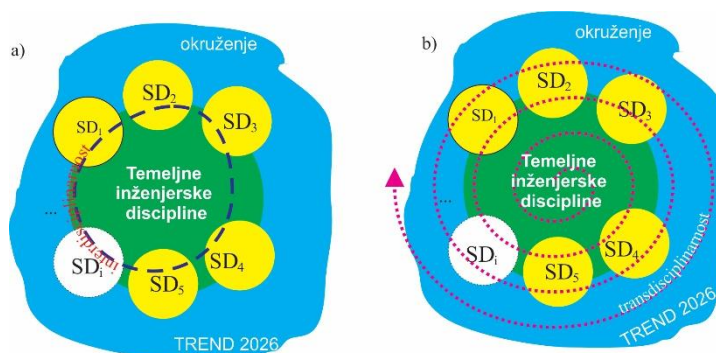
kroz smanjenje fonda časova, snižavanje kriterijuma znanja, fragmentaciju nastavnih sadržaja osnovnih disciplina u druge stručne discipline, kao i potpuno izostavljanje pojedinih disciplina koje tradicionalno čine osnovu inženjerskog obrazovanja. Konačno, svedoci smo i angažovanja nastavnika bez nastavno-naučne kompetencije, u temeljnim disciplinama, zasnovano na pogrešnoj pretpostavci, tj. uverenju da je svaki inženjer kvalifikovan da predaje bazične inženjerske discipline [5]. Mehanika, kao jedna od ključnih temeljnih inženjerskih disciplina, u tom smislu zauzima važno mesto. Ona obezbeđuje teorijski okvir za razumevanje ponašanja realnih sistema, razvija sposobnosti modelovanja i omogućava povezivanje matematičkih i fizičkih principa sa inženjerskom praksom [1,6]. Štaviše, mehanika se kroz prethodne periode industrijskih revolucija prirodno nametnula kao nosilac misaonih koncepata kroz jezik i terminologiju zajedničku za različite inženjerske struke. U tom smislu, i u ovoj trenutnoj četvrtoj industrijskoj revoluciji, u transdisciplinarnom okruženju, kada se granice između pojedinačnih inženjerskih oblasti sve više brišu, mehanika nastavlja sa ovom važnom ulogom [7]. Cilj ovog rada je razmatranje uloge mehanike u savremenom transdisciplinarnom inženjerskom obrazovanju, sa posebnim osvrtom na izazove i posledice njene marginalizacije.



Slika 1. Primer transdisciplinarnog okruženja (GI-građevinsko inženjerstvo; MI-mašinsko inženjerstvo; ZZS-inženjerstvo zaštite životne sredine; MEH- inženjeri mehatronike; EI- elektrotehničko inženjerstvo; SO – saobraćajno inženjerstvo; AI-arhitektura)

2. TEHNOLOŠKI INTENZIVNO I TRANSDISCIPLINARNO OKRUŽENJE – ZAŠTO ZAHTEVA JAČE, A NE SLABIJE OSNOVE

Na Slikama 2 a) i b) su, shematski predstavljene osnovne ideje interdisciplinarnog, odnosno transdisciplinarnog pristupa u inženjerskom obrazovanju, respektivno. Temeljne inženjerske discipline (TID), u oba slučaja predstavljaju strukturno jezgro obrazovanja, oko kojeg se nadovezuju stručne discipline (SD). Znanje ostvareno u TID se dalje nadograđuje u SD, zasnovano na uzajamnoj sprezi TID i SD. Kao krajnji, odnosno, željeni cilj obrazovanja, znanje, je u slučaju interdisciplinarnog pristupa (Slika 2a), slikovito predstavljeno zatvorenim linijom. Zatvorena linija, prelazi i preko TID i SD, asocira na njihovu uzajamnu spregu, kao i na znanje koje ima stabilni karakter. Naime, upotrebivši metaforičku analogiju, odnosno, koristeći jezik mehanike, linija može biti shvaćena kao granični krug (limit cycle), tj. stabilni atraktor. U prethodnim decenijama, ovakav pristup, odnosno, stečeno obrazovanje je predstavljalo dobru osnovu za uspešan profesionalan rad svršenih studenata u svojim inženjerskim oblastima.



Slika 2. Shematski prikaz: a) Interdisciplinarni pristup; b) Transdisciplinarni pristup u inženjerskom obrazovanju; SDi – Stručna i-ta disciplina

Nedostaci interdisciplinarnog pristupa mogu imati različite uzroke, kao i posledice. Uspešnost ovakvog pristupa u najvećoj meri se zasniva na dobro struktuiranoj obrazovnoj koncepciji, ali, i pre svega, u shvatanju da TID predstavljaju strukturno jezgro svakog inženjerskog programa. Bez ovakvog shvatanja, tendencija fragmentacije temeljnih znanja je vrlo moguća, u smislu smanjenja vremena za TID, i prebacivanja fragmentisanih delova znanja TID u SD. Dugoročno, takvo znanje postaje samo formalno, bez istinske dubine, ali i širine, bez koje uspešnost odgovora izazovima, nametnutih tehnološki intenzivnim okruženjem, kao i društvenom zajednicom, kod budućih inženjera se značajno umanjuje. Sa takvim trendovima, studenti inženjerskih akademskih studija će biti, u najboljem slučaju, osposobljeni praktičnim veštinama i alatno orijentisanim kompetencijama, ali u jednom uskom strukovnom polju. Ovdje treba i naglasiti da se alatno orijentisane kompetencije, između ostalog, odnose i na primenu različitih softvera, kao što su na primer, softveri koji pružaju mogućnost analize zasnovane na metodi konačnih elemenata (MKE). Za korišćenje takvih softvera je neophodno odlično znanje iz TID, budući da su osnove takvih softvera obično skrivene, kao i njihova ograničenja. Samo suštinsko poznavanje TID obezbeđuje uspešno modelovanje, ocenu i tumačenje dobijenih rezultata, kao i primenu dobijenih rezultata u procesu projektovanja. Uzroci negativnih trendova u interdisciplinarnom pristupu, su različiti i izlaze iz okvira ovoga rada. Pogledajmo sada ideju transdisciplinarnog pristupa u inženjerskom obrazovanju, kako je shematski prikazano na Slici 2b). Osnovna struktura je zapravo ista kao i u slučaju ID pristupa. Imamo strukturno jezgro kojeg čine TID i oko kojeg su SD. Razlika je u toku kojim se znanje gradi. Vidimo spiralu, koja polazi iz same srži jezgra TID i postupno se širi kroz ovo jezgro. Na raspolaganju je dovoljno vremena (časova), da se postupno, metodološki i kontinuirano izgrađuje temeljno znanje. Zatim, ova kriva prelazi preko SD. Sa ovakvim pristupom, ostvarena je ne samo sprema između TID i SD, kao kod ID pristupa, već prožimanje znanja, kao prirodan preduslov za integraciju znanja, a što je jedna od karakteristika TD pristupa. Štaviše, ova kriva nije zatvorena, već izlazi, odnosno pretpostavlja mogućnost da se pruža, izvan granica utvrđenih osnovnim akademskim obrazovanjem. Ovo širenje znanja izvan unapred postavljenih granica je takođe, jedno od fundamentalnih karakteristika TD pristupa. Jezikom mehanike, prikazana spirala je kao nestabilni fokus (unstable focus), simbolično ukazujući na znanje koje ima nestabilan-evolutivni karakter sa čvrsto utemeljenom bazom. Treba pomenuti da, uvedene metafore, granični krug i nestabilni fokus, ovde se ne koriste u strogo matematičkom smislu. Njihova svrha je ilustracija razmatranih pristupa u reformama inženjerskog obrazovanja, sa naglaskom da samo studenti sa čvrstim osnovama u TID, i spremnošću da svoje znanje nadograđuju tokom celog života, će biti sposobni i prilagodljivi tehnološki zahtevnom okruženju 21. veka.

3. MEHANIKA KAO STUDIJA SLUČAJA

Mehanika predstavlja jednu od ključnih TID koja ima višestruku ulogu u obrazovanju inženjera. Kao takva, mehanika se prirodno nalazi u studijskim programima čijim se završetkom stiče inženjersko zvanje. Štaviše, u eri TD pristupa, uočava se potreba za osnovama mehanike i u neinženjerskim oblastima. U prilog tome se može navesti knjiga [1] koja je, između ostalog, namenjena i »neinženjerskim studentima« koji imaju potrebu da razumeju osnove inženjerske mehanike. Koje su to uloge koju mehanika ima u obrazovanju budućih inženjera? Pored uloge u prenošenju specifičnih znanja, mehanika se uobičajeno tretira kao most između drugih TID i SD. Uloga mosta je proistekla iz zajedničkog, konceptualnog jezika za sve inženjerske oblasti, a koji, upravo u mehanici, budući inženjeri započinju da usvajaju. Naime, ovaj zajednički jezik je formalna matematička interpretacija prostora i vremena, pojava i interakcija u tom prostoru i vremenu, tj., formalni jezik utemeljen na aksiomima. Bilo koja inženjerska oblast podrazumeva razumevanje i korišćenje određenih fizičkih principa karakterističnih za tu oblast, ali, bez obzira na kompleksnost tih principa, bez odgovarajuće »azbuke«, nije moguće pravilno i uspešno razumevanje tih principa. Mehanika je disciplina u kojoj prirodno, započinje usvajanje te »azbuke«. Iako se ovaj termin »azbuka«, podrazumeva, retko se eksplicitno tako i predstavlja. Cilj ovog rada, između ostalog je, da u vremenima koje karakteriše trend marginalizacije mehanike u reformama inženjerskog obrazovanja, podseti na ovu važnu ulogu. Marginalizacija mehanike je u trendu marginalizacije TID, sa određenim specifičnostima, koji su pre svega povezani sa stavovima o »opravdanosti fragmentacije« temeljnih znanja mehanike u predmete SD. Osnova ovakvog stava je u pretpostavci da je svaki inženjer u stanju da prenosi znanje mehanike [5]. Kao posledica ove fragmentacije je smanjenje časova nastave mehanike (uz istovremeno povećanje časova SD), tj. svođenje časova mehanike na minimalni, formalni sadržaj, kao i potpuno izostavljanja mehanike. U TD pristupu obrazovanja, gde se od studenata očekuje integracija znanja iz različitih oblasti, ovakva praksa, osim gubitka zajedničkog inženjerskog jezika, će umanjiti sposobnosti sagledavanja problema na sistemskom nivou [8], i uopšte, na kvalitet inženjerskog obrazovanja. Kvalitet nastave mehanike u velikoj meri zavisi od nastavne i naučne kompetentnosti nastavnika koji je realizuju i razvija se kroz dugogodišnji rad i naučno-istraživačku aktivnost u odgovarajućoj oblasti. Naime, izazov svakog nastavnika mehanike je da materiju približi što je više moguće studentima. U takvom pristupu se nastavnik, kad god je moguće, oslanja na jednostavne primere, primere koje su svakome jasni iz svakodnevnog života. Takođe, treba imati u vidu da se, potpuno legitimno koriste pojmovi »intuitivno iskustvo«, budući da ljudsko biće odrasta u realnom mehaničkom okruženju. Nastavnik mehanike treba da poveže takva intuitivna iskustva sa formalnim matematičkim jezikom čija je srž u aksiomama. Postupno i metodološko razvijanje i razumevanje kod studenata ideje mehaničkog modela, kao apstrakcije, je od ključne važnosti [9]. Bilo kakvo projektovanje, podrazumeva modelovanje, a zatim analizu, bilo analitički ili numerički. Što je nastavnik uspešniji u ovom procesu, to se materija čini lakšom, i čak, kod nekog može stvoriti lažnu pedagošku iluziju da se samo na osnovu uverenja o poznavanju osnova mehanike, ali bez višegodišnjeg

i odgovarajućeg nastavno-naučnog iskustva u TID, bude u stanju da predaje predmete čija materija pripada naučnoj oblasti mehanika, bez obzira u koju naučnu oblast to veštački biva premešteno. U tom smislu, angažovanje nastavnika bez adekvatne stručne i naučne pozadine u oblasti mehanike može dodatno doprineti njenoj formalizaciji i gubitku suštinske obrazovne vrednosti.

Konačno, mehanika se često tretira kao »opšti« predmet, a ne kao deo strukturnog jezgra određenog studijskog programa. Pomatrajući na takav način, »opšti« predmet se čini skraćivim, i čak zamenjivim. Zaboravlja se da mehanika nije opšta. Mehanika je univerzalna. Tehnologije napreduju, ali i zastarevaju. Zakoni mehanike ostaju uvek isti. Upravo u ovoj razlici između opšteg i univerzalnog leži i nerazumevanje njene uloge u savremenim reformama inženjerskog obrazovanja. Treba naglasiti i da pomenuti problemi koji su izneti u kontekstu mehanike se odnose i na druge predmete TID. Mehanika se ovde prirodno nametnula kao studija slučaja, jer, predstavlja paradigmatički primer TID, gde se najjasnije sagledava veza između aksiomatskog formalizma, modeliranja i inženjerske prakse [10].

4. ZAKLJUČAK

Transdisciplinarno i tehnološki intenzivno inženjersko obrazovanje ne smanjuje, već povećava značaj temeljnih disciplina. Mehanika, kao paradigmatički primer, pokazuje da su čvrste teorijske osnove ključne za razumevanje kompleksnih sistema, sposobnost kritičke procene rezultata i integraciju znanja iz različitih oblasti. Smanjenje fonda časova, snižavanje kriterijuma, ukidanje predmeta ili premeštanje nastavnih obaveza na nastavnike bez odgovarajuće stručne i naučne kompetencije ugrožava razvoj tih kompetencija i može dovesti do značajnog snižavanja obrazovnih standarda, do regresije znanja, a koje je decenijama razvijano u nekoj visokoškolskoj ustanovi.

Očuvanje i unapređenje kvaliteta temeljnih disciplina, uključujući mehaniku, ne predstavlja prepreku savremenim obrazovnim trendovima, već, naprotiv, preduslov za njihovu efikasniju primenu. Uspešno korišćenje savremenih alata, kritičko sagledavanje dobijenih rezultata, kao i sudelovanje u razvoju inovativnih rešenja, mogu ostvariti samo studenti sa čvrstim osnovama.

Posebno, obrazovne institucije koje su decenijama obrazovale inženjere različitih oblasti, i razvijale sopstvene baze temeljnih disciplina, imaju izuzetne preduslove ka ubrzanju implementaciji transdisciplinarnog pristupa. Kao značajna posebnost takvih institucija je prirodno uključivanje nastavnog kadra temeljnih inženjerskih disciplina u nastavne procese različitih inženjerskih oblasti, što predstavlja onu kariku koju brojne visokoškolske ustanove, bez takvog decenijski stvaranog iskustva, tek treba da izgrade.

5. LITERATURA

- [1] Atila Ertas, *Engineering Mechanics and Design Applications Transdisciplinary Engineering Fundamentals*, Taylor&Francis Group, 2012
- [2] Van den Beemt A, MacLeod M, Van der Veen J, et al., *Interdisciplinary engineering education: A review of vision, teaching, and support*, J Eng Educ. 2020
- [3] A. Ertas, M. M. Tanik, and T. T. Maxwell, *TRANSDISCIPLINARY ENGINEERING EDUCATION AND RESEARCH MODEL*, Journal of Integrated Design and Process Science, Volume 4, Issue 4, 2025
- [4] Muzulon, N.Z., Resende, L.M., Leal, G.C.L., Ossani, P.C., Pontes, J., *Engineering in the Digital Age: A Career-Level Competency Framework Validated by the Productive Sector*, Sustainability 17, 2025
- [5] Guerra J and Meneses M, *Basic sciences are non-negotiable: debunking three critical fallacies in engineering education*, Front. Educ. 10, 2025
- [6] Sarat Singamneni, *The role of Applied Mechanics in Bridging the Gaps in Prior Learning for Aspirants of Engineering Education*, Education Sciences, 11, 10, 2021
- [7] López, E.J.; Leyva, P.A.L.; López, A.A.; Estrella, F.J.O.; Vázquez, J.J.D.; Velázquez, B.L.; Molina, V.M.M. *Mechanics 4.0 and Mechanical Engineering Education*, Machines 12, 2024
- [8] Koepe, A.; Hesser, D.; Mundt, M.; Bamer, F.; Selzer, M.; Markert, B. *Mechanical 4.0. In Handbook Industry 4.0*; Frenz, W., Ed.; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2022
- [9] Nocito-Gobel, J., Broderick, G., Daniels, S., Collura, M. & Stanley, R., *Civil And Mechanical Engineering Students Learning Mechanics In A Multidisciplinary Engineering Foundation Spiral*. Paper presented at 2007 American Society for Engineering Education Annual Conference & Exposition, Honolulu, Hawaii, 2007
- [10] Whitcomb, Kyle M. et al., *Engineering Students' Performance in Foundational Courses as a Predictor of Future Academic Success*, 2020