

IZAZOVI NASTAVE INŽENJERSKE DINAMIKE NA STUDIJAMA GRAĐEVINARSTVA

Zvonko Rakarić¹, Lidija Rehlicki Lukešević²

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

¹zvonko@uns.ac.rs, ²lidijarl@uns.ac.rs

Kratak sadržaj: Tradicionalno, na studijama građevinarstva, deo Mehanike koji se bavi kretanjem obično nosi naziv Mehanika 2 ili Tehnička mehanika 2. U takvom predmetu se predaje kinematika i dinamika. Kao takav, predstavlja prirodni nastavak predmeta Mehanike 1 ili Statike koji se bavi mirovanjem. Imajući u vidu da problemi mirovanja objekata čine osnovu građevinskog inženjerstva, problemi u kojima se javlja kretanje, u većoj ili u manjoj meri, kao da izlaze van prirodnog područja od interesa za građevinskog inženjera. Čak i kada se građevinski inženjeri dotiču problema koji u sebi uključuju kretanje, tj. dinamička opterećenja kao što su vetar ili zemljotres, tendencija je i ovde da se oni proučavaju i rešavaju na tzv. kvazistatičkom principu. Može se konstatovati da je ovo jedan konvencionalni pristup, a kao posledica višedecenijskog shvatanja predmetne problematike. Na osnovu toga, i studenti građevinarstva su znatno više motivisani ka prvom delu mehanike, statici. Veća kompleksnost problema koji u sebi uključuju kretanje, zajedno sa smanjenom motivisanošću, čini da materija kojom se bavi inženjerska dinamika, predstavlja određeni problem za studente građevinarstva, u poređenju sa statikom. Sa druge strane, problemi kretanja u građevinskom inženjerstvu su svakako prisutni. U ovom radu će se najpre navesti neki karakteristični primeri. Zatim, imajući u vidu savremene pristupe u inženjerstvu, a koji između ostalog uključuju visoke, vitke i lake konstrukcije, kao i korišćenje nekih novih materijala i tehnologija koje se neprestano razvijaju, te tendenciju optimizacije materijala, sve više ukazuju da kvazistatički pristup nije dovoljan. U skladu sa ovim, već u nastavi Mehanike 2 se javlja mogućnost uvođenja pogodno izabranih i kreiranih primera mehaničkih modela u cilju demonstracije osnovnih koncepata i teorijskih principa predviđenih nastavnim planom predmeta, a što će takođe biti navedeno u ovom radu. Konačno, ovde ćemo se dotaći i jedne relativno nove oblasti u inženjerstvu koja se neprestano razvija i sve više dobija na značaju, a to je monitoring stanja ili zdravlja konstrukcija, eng. »Structural Health monitoring«. Naime, na razvoj ove grane utiče sve veća potreba i trend ka bezbednosti i pouzdanosti, kako novih, tako i objekata koji su više decenija u eksploataciji. Značajan broj metoda u ovoj disciplini se zasniva na mehaničkim kretanjima, pre svega na vibracijama. U skladu sa ovim trendom, deo nastave Mehanike 2 može, pogodno formiran, biti dobra baza za kasnije lakše razumevanje i savladavanje znanja iz ove oblasti. Višegodišnje iskustvo autora u nastavi mehanike na studijskom programu građevinskog inženjerstva, kao i iskustvo u praktičnim problemima građevinskog inženjerstva, je u određenoj meri rezultovalo prilagođavanjem nastave pomenutim trendovima, a čiji će jedan deo biti predstavljen i u ovom radu.

Ključne reči: inženjerska dinamika, studije građevinarstva, savremeni trendovi u inženjerstvu

CHALLENGES OF TEACHING ENGINEERING DYNAMICS IN CIVIL ENGINEERING STUDIES

Abstract: Traditionally, in civil engineering studies, the part of Mechanics that deals with motion is usually called Mechanics 2 or Technical Mechanics 2. In that course, kinematics and dynamics are being studied. As such, it is a natural extension of the Mechanics 1 or Statics course dealing with equilibrium state. Knowing that the problems of equilibrium state of structures are the basis of civil engineering, problems in which occur motion, more or less, appear to be outside the natural range of interest to the civil engineers. Even when civil engineers are concerned with problems involving movement ie. dynamic loads such as wind or earthquake, the tendency is also for them to be studied and solved in the so-called quasi-static principle. It can be stated that this is a conventional approach, as a consequence of decades of understanding of the problem. On this basis, the students of civil engineering are significantly more motivated towards the first part of mechanics, statics. The greater complexity of the problems involving movement, together with the reduced motivation, make the engineering dynamics a particular problem for students of civil engineering, compared to statics. On the other hand, movement problems in civil engineering are certainly present. This paper will first outline some characteristic examples. Then, modern approaches in engineering, which include high, slender, and lightweight structures, as well as the use of some constantly evolving materials and technologies, and the tendency to optimize materials, will indicate that a quasi-static approach is not sufficient. In line with this, the possibility of introducing suitably selected and created examples of mechanical models in the teaching of Mechanics 2 in order to demonstrate the basic concepts and theoretical principles provided in the course curriculum, which will also be mentioned in this paper. Finally, we will also touch upon one relatively new area of engineering which is constantly evolving and is gaining in importance, this is monitoring of the condition or health of structures,

also known as Structural Health monitoring. Namely, the development in this field is influenced by the increasing need and the trend towards safety and reliability of new constructions, but also the constructions that have been in use for decades. A significant number of methods in this discipline are based on mechanical motion, primarily vibrations. In line with this trend, part of the subject Mechanics 2, adequately formed, can be a good base for later easier understanding and mastering of knowledge in this field. The author's many years of experience in teaching mechanics in the civil engineering study program, as well as experience in practical problems of civil engineering, to a certain extent led to adaptation of teaching to these trends, and a part of which will be presented in this paper.

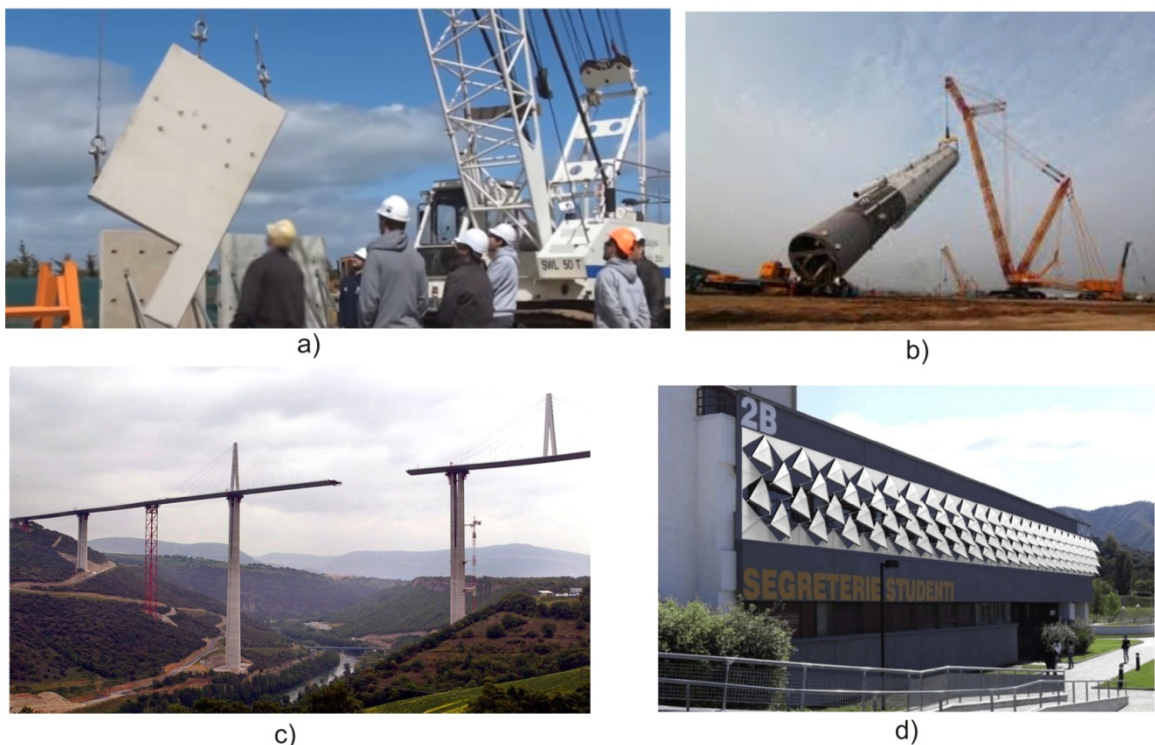
Key Words: *engineering dynamics, civil engineering studies, contemporary trends in engineering*

1. UVOD

Mirovanje mehaničkih objekata, a što se razmatra u statici, može biti shvaćeno kao specijalan slučaj kretanja. U tom smislu, poznavanje osnova kinematike i dinamike može biti dobra osnova za što bolje razumevanja problema mirovanja. Problemi od interesa u građevinskom inženjerstvu (GI), sa stanovišta Inženjerske mehanike mogu biti grupisani u određene kategorije, na osnovu sličnih karakteristika datog problema, sličnosti u pristupu razmatranja i analize, sličnosti matematičkog aparata itd. U Sekciji 2 će se razmotriti neki karakteristični slučajevi kretanja u GI. Da bi se savladavanje gradiva predviđenih nastavnim planom bilo što uspešnije, korišćenjem određenih analogija može biti od velike koristi [1,2,3].

2. O NEKIM KARAKTERISTIČNIM PRIMERIMA KRETANJA U GI

Problemi manipulacije objektima na gradilištima, mogu služiti kao dobra osnova za kreiranje mehaničkih modela na kojima će se razmatrati koncepti translatorsnog kretanja, obrtanja oko nepokretne ose ili opšteg slučaja ravanskog kretanja. Manipulacije sa objektima, naprimer od prefabrikovanog betona, podrazumeva podizanje, spuštanje, okretanje ili njihovo premeštanje. Osnovne dinamičke jednačine kretanja tela, zakon o kretanju centra mase, kao i zakon o obrtanju oko centra mase, ovde mogu dobro da ilustruju kako se spoljašnjim delovanjem može ostvariti željeno dejstvo na kretanju tela (Slika 1).



Slika 1. Primeri kretanja u GI

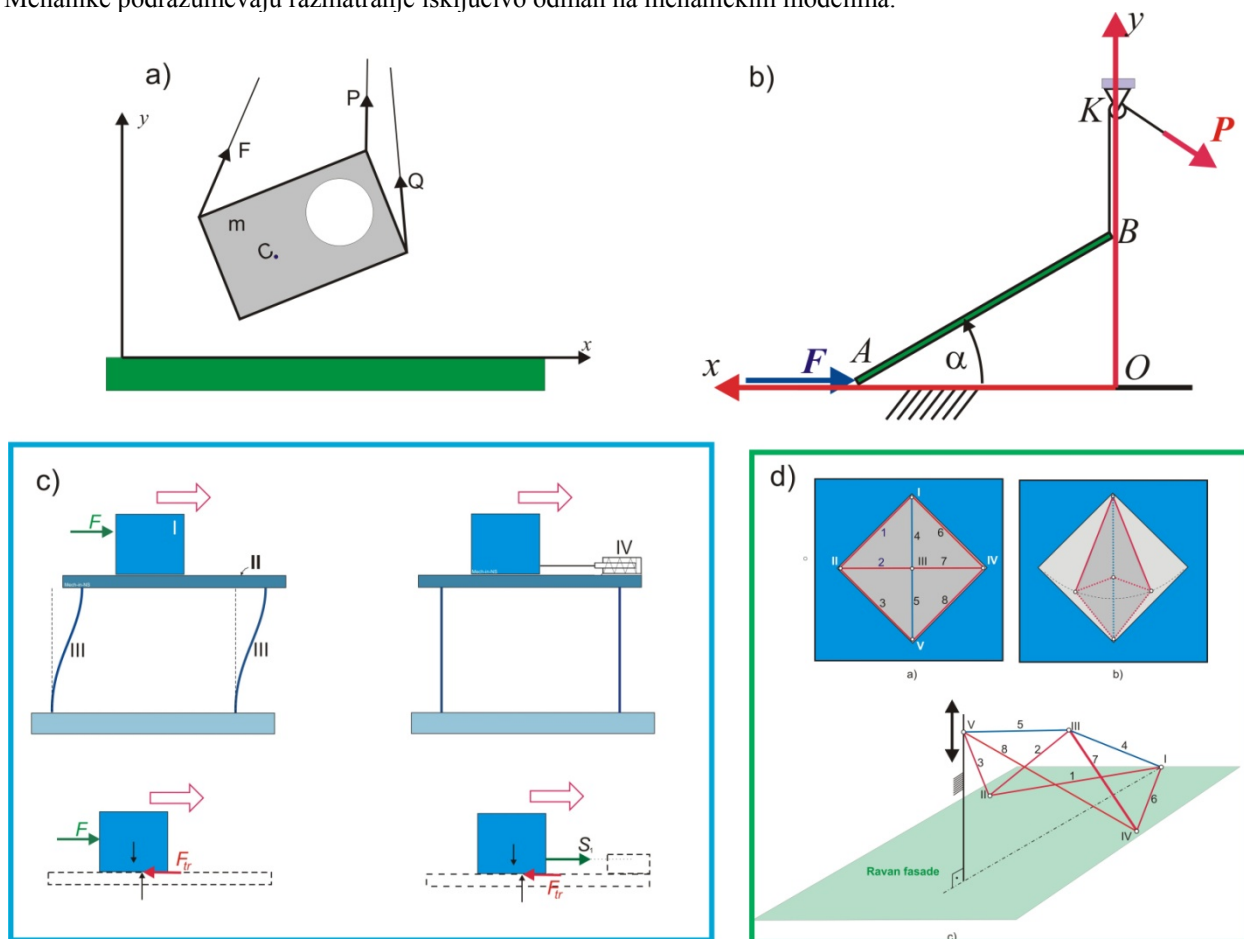
Od značaja su i problemi podizanja objekata iz horizontalnog u vertikalni položaj, kao što je slučaj sa elementom prikazanim na Slici 1b. Ovde se radi o tornju namenjenom za procesnu industriju, koji je visok 108 m i težak 300 tona. Podizanje se vrši uz pomoć kрана i pri tome je potrebno ostvariti da užadi kojima se ovakav objekat podiže, ostanu verikalni. Na takav način se obezbeđuje sprečavanje pojave horizontalnih sila koje bi mogle biti opasne za stabilnost samog kрана. Da bi ovo bilo ostvareno, mora biti ostvareno takva veza između kretanja krajeva tornja, kao da mu gornji kraj kreće po nepokretnoj vertikalnoj ravni, a što vodi ka školskom primeru ravanskog kretanja štapa. U ovom slučaju je pimenom kinematičke veze ostvareno postojanje fiktivne verikalne ravni.

Vijadukt Milou (Slika 1c) predstavlja pravi inženjerski poduhvat gde je upotrebljeno i uvedeno više originalnih rešenja. Jedan od najvećih problema je bilo navoženje mostovskih ploča sa obale na stubove mosta. Budući da je osnovna karakteristika ovog mosta to što su stubovi izuzetno visoki, postojala je mogućnost da tokom navoženja, dođe do njihovog oštećenja i urušavanja. Da bi se ovo izbeglo, upotrebljeno je originalno rešenje za čiju realizaciju su bili konstruisani i izrađeni posebni uređaji, nazvani »translatori«. Suština, ovog rešenja je u tome da je pogon ploča mosta rešen ostvarivanjem unutrašnje sile u sistemu ploča – stub, a ne kao spoljašnje dejstvo [4]. Na ovakav način, takvo unutrašnje dejstvo ne izaziva lateralnu silu koja dejstvuje na vrh stuba.

Tensegriti strukture su strukture koje u sebe uključuju krute i fleksibilne elemente, na takav način da je moguće ostvariti različite ravnotežne konfiguracije. Neki smatraju tensegriti strukture kao strukture budućnosti, na primer na osnovu njihove velike nosivosti, u odnosu na količinu materijala od kojih su sačinjene. Suština ovakvih struktura je relativna pokretljivost njenih elemenata i potpunu promenu prostorne konfiguracije. Kao takve, omogućuju razne primene u GI. Na primer [5], može se navesti jedna od primena u sklopu aktivnih fasada (Slika 1d). Ideja je da se omogući promena izgleda i oblika fasade prilagođavajuće spoljašnjim uslovima. Da bi to bilo moguće, relativno kretanje elemenata mora biti ostvareno. Ovakvi problemi su interesantni sa kinematičkog stanovišta budući da se radi o prostornom kretanju tačaka sistema, kao i da samo kretanje izmiče uobičajenom intuitivnom pristupu.

3. KREIRANJE MEHANIČKIH MODELA KRETANJA U NASTAVI INŽENJERSKE DINAMIKE

Za realne primere koji su prikazani na Slici 1, na Slici 2. su prikazani mogući mehanički modeli kretanja. Treba napomenuti da kreiranje mehaničkog modela može biti obično učinjeno na više načina. Sa druge strane, od načina modelovanja može da zavisi da li će se dati problem lakše ili teže razmotriti. Tradicionalno, kursevi Mehanike podrazumevaju razmatranje isključivo odmah na mehaničkim modelima.

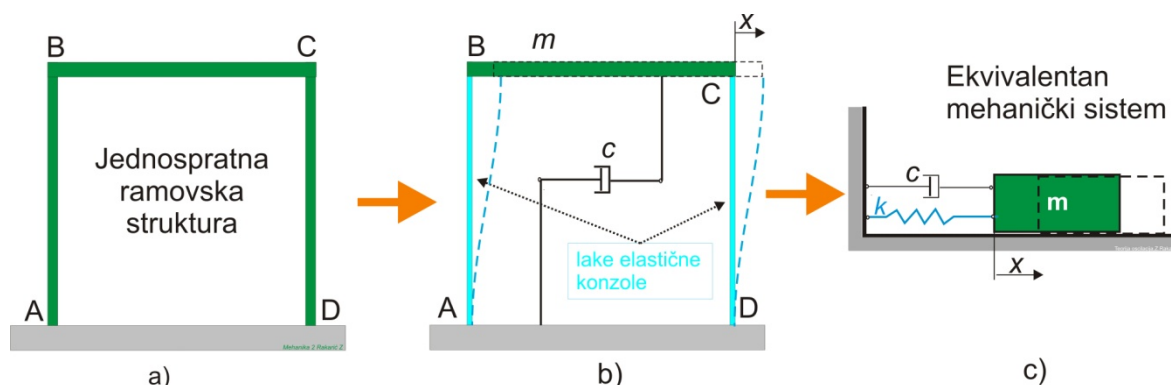


Slika 2. Mogući načini kreiranja mehaničkih modela sistema sa Slike 1.

Jedan od razloga za ovakav pristup je u tehničkoj realizaciji i vremenu koje ranije nije bilo na raspolaganju, imajući u vidu tehničke uslove, kao i ograničeno vreme nastave definisano rasporedom. Međutim, danas moderna digitalna sredstva i internet pružaju jako dobru osnovu da se mehanički modeli na kojima se zasniva nastava Mehanike, povežu sa realnim inženjerskim sistemima. Formalno vreme nastave koje je ograničeno rasporedom, može biti »prošireno« pogodnim korišćenjem društvenih mreža i formiranjem odgovarajućih grupa. Na ovaj način nastavnik može tokom odvijanja nastave, studentima obezbeđivati linkove ili drugi adekvatni sadržaj putem grupe, a vezano za ono što se razmatra na časovima nastave.

4. NASTAVA MEHANIKE I NJENA VEZA SA NEKIM SAVREMENIM PRISTUPIMA U INŽENJERSTVU (STRUCTURAL HEALTH MONITORING SHM) I KORIŠĆENJE AMBIJENTALNE ENERGIJE

Problemi koji su vezani za postojanje vibracija su ranije posmatrani u sklopu neželjenih dejstava, nepovoljnih za strukture. U skladu sa tim je i nastava Inženjerske dinamike bila organizovana, obično da u takvim kursevima da neki osnovni uvid. Međutim, danas se može reći da su problemi koji su vezani za vibracije prešle taj okvir koji je kao takav postojao decenijama. Značajan deo metoda koji je vezan za dijagnostikovanje stanja konstrukcija je vezan za vibraciona kretanja. Takođe, danas je trend da se u strukturama prisutna vibraciona kretanja iskoriste za dobijanje električne energije. Električna energija, iako malog intenziteta, se potom koristi za razne uređaje koji funkcionišu na malom naponu. Ovi uređaji su razni senzori koji se koriste u SHM ili za neke druge primene.



Slika 3. Formiranje modela kretanja realne ramovske strukture

5. ZAKLJUČAK

Iz svega gore navedenog može se zaključiti da je problem kretanja i više nego sastavni deo građevinskog inženjerstva. Takođe kinematika i dinamika predstavljaju i potrebne osnove da bi studenti građevinarstva mogli da razumeju i savladaju predmete koje će imati na višim godinama kao što su Seizmička analiza konstrukcija, Stabilnost i dinamika konstrukcija i sl. U skladu sa ovim, nastava Mehanike 2 treba da se sastoji od niza pogodno izabranih i kreiranih primera mehaničkih modela u cilju demonstracije osnovnih koncepata i teorijskih principa predviđenih nastavnim planom predmeta, a sa ciljem približavanja problematike budućim građevinskim inženjerima i radi lakšeg razumevanja i savladavanja znanja iz ove oblasti.

Napomena: Istraživanja u ovom radu su realizovana u okviru projekta Departmana za Tehničku mehaniku Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu: "Primena IT novih tehnologija u nastavi mehanike" Projekat broj 054/2020

6. LITERATURA

- [1] Rhoads J.F., Nauman E., Holloway B., Krousgrill C.M. I, *The Purdue Mechanics Freeform Classroom: A New Approach to Engineering Mechanics Education*, 121st ASEE Annual Conference & Exposition, Indianapolis, USA, 15-18 June 2014, Paper ID 9006.
- [2] Internet stranica <http://www.mech-in-ns.ftn.uns.ac.rs/2018/01/09/nastava-mehanike/>
- [3] Internet stranica <http://www.mech-in-ns.ftn.uns.ac.rs/2018/03/19/ucenje-inzenjerske-mehanike-uz-pomoc-analogija/>
- [4] Internet stranica <http://www.mech-in-ns.ftn.uns.ac.rs/2018/04/01/most-koji-putuje-kroz-oblake/>
- [5] Internet stranica <http://www.mech-in-ns.ftn.uns.ac.rs/2018/03/25/mehanizam-tensegriti-strukture-na-aktivnoj-fasadi/>