

Hercule Poirot i slijeganje oslonaca

Vlaho Akmadžić

Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije Sveučilišta u Mostaru, prof. dr. sc.,
vlaho.akmadzic@fgag.sum.ba

Matej Lozančić

Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije Sveučilišta u Mostaru, mag. građ.,
matej.lozancic@fgag.sum.ba

Matea Primorac

Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije Sveučilišta u Mostaru, studentica,
matea.primorac@fgag.sum.ba

Sažetak: Inspiracija za pisanje ovog rada leži u liku Hercule Poirota, fiktivnog belgijskog detektiva koji se pojavljuje u seriji romana Agathe Christie. Detektiva je u televizijskoj seriji utjelovio glumac David Suchet. Rad, koji se nadovezuje na niz radova vezanih za fenomen slijeganja oslonaca, pojavu pukotina i određivanja koeficijenta reakcije tla, pokazuje povezanost oblika brkova spomenutog glumca u seriji i slijeganja srednjeg oslonca kontinuiranog nosača preko dva polja. Traženi odgovor je pronađen kroz promatranje područja između graničnih slučajeva oblika dijagrama momenata slijedeći fraktalnu logiku.

Ključne riječi: Hercule Poirot, koeficijent reakcije tla, slijeganje oslonaca, fraktal

Hercule Poirot and supports settlement

Abstract: The inspiration for writing this paper lies in the character of Hercule Poirot, a fictional Belgian detective who appears in the Agatha Christie novel series. In the television series, the detective role was played by actor David Suchet. The paper, which builds on a series of works related to the phenomenon of support settlement, the occurrence of cracks and the determination of the soil reaction coefficient, shows the connection between the shape of the mustache of the actor mentioned in the series and the settlement of the middle support of a continuous girder over two spans. The sought answer was found by observing the area between the limit cases of the bending moment diagram following fractal logic.

Key words: Hercule Poirot, soil reaction coefficient, settlement of supports, fractal

1. UVOD

Prema Encyclopaediji Britannici [1] Hercule Poirot je fiktivni belgijski detektiv koji se pojavljuje u seriji romana Agathe Christie. U pristupu rješavanju problema dominantno se oslanja na svoje "male sive stanice", na discipliniranost u svojim osobnim navikama i na metodološki pristup poslu. Pojavljuje se u Agathinom prvom romanu, Tajanstvena afera u Stylesu (1920.) kao i u slijedu kasnijih knjiga. Među brojnim djelima moguće je istaknuti dva najpoznatija i publici možda najomiljenija, a to su djela Ubojstvo u Orient Expressu (1933.) i Smrt na Nilu (1937.). Ciklus knjiga završava s posljednjim pojavljivanjem i smrću Hercule Poirota koji se događa u romanu Zavjesa (1975.). Autorica Agathe Christie je navodno utemeljila Poirotove manire kroz osobno istraživanje ponašanja belgijskih izbjeglica u Velikoj Britaniji tijekom Prvog svjetskog rata [1].

Također, detektiv Hercule Poirot se pojavio u brojnim filmskim adaptacijama, a nezaboravno su ih utjelovili glumci kao što su Tony Randall u ekranizaciji Ubojstva po abecedi iz 1965. godine, Albert Finney u ekranizaciji djela Ubojstvo u Orient Expressu iz 1974. godine i Peter Ustinov u ekranizaciji knjiga Smrt na Nilu iz 1978. godine, Zlo pod suncem iz 1982. godine, kao i Sastanak sa smrću iz 1988. godine te i u nekoliko televizijskih filmova. Ulozi je izvrstan obol dao glumac David Suchet prikazan na slici 1. u televizijskoj seriji Agatha Christie: Poirot (1989.–2013.). Zanimljivo je kako je David Suchet također predstavljen kao Poirot u videoigramama[1]. Njegovi brkovi iz lika u televizijskoj seriji bili su inspiracija za pisanje ovog rada, u kojem ćemo povezati fraktal, brkove i slijeganje. U konačnici i John Malkovich glumio je Poirota u televizijskoj miniseriji iz 2018. godine, a Kenneth Branagh glumio je Poirota u nekoliko filmova koje je i režirao, uključujući Ubojstvo u Orient Expressu iz 2017. godine i Smrt na Nilu iz 2022. godine [1].



Slika 1. David Suchet u ulozi Hercule Poirota [2]

2. FENOMEN SLIJEGANJA OSLONACA

Kad se govori o bilo kojoj konstrukciji govori se o nužnosti njenog proračuna, što se u današnje vrijeme neophodno svodi i na izradu odgovarajućih računalnih modela. U prvom koraku su to modeli bazirani na CAD tehnologiji (slika 2.) koji se potom za potrebe proračuna izrađuju u nekom od za to prilagođenih programa koji trebaju što bolje aproksimirati stvarno ponašanje konstrukcije.

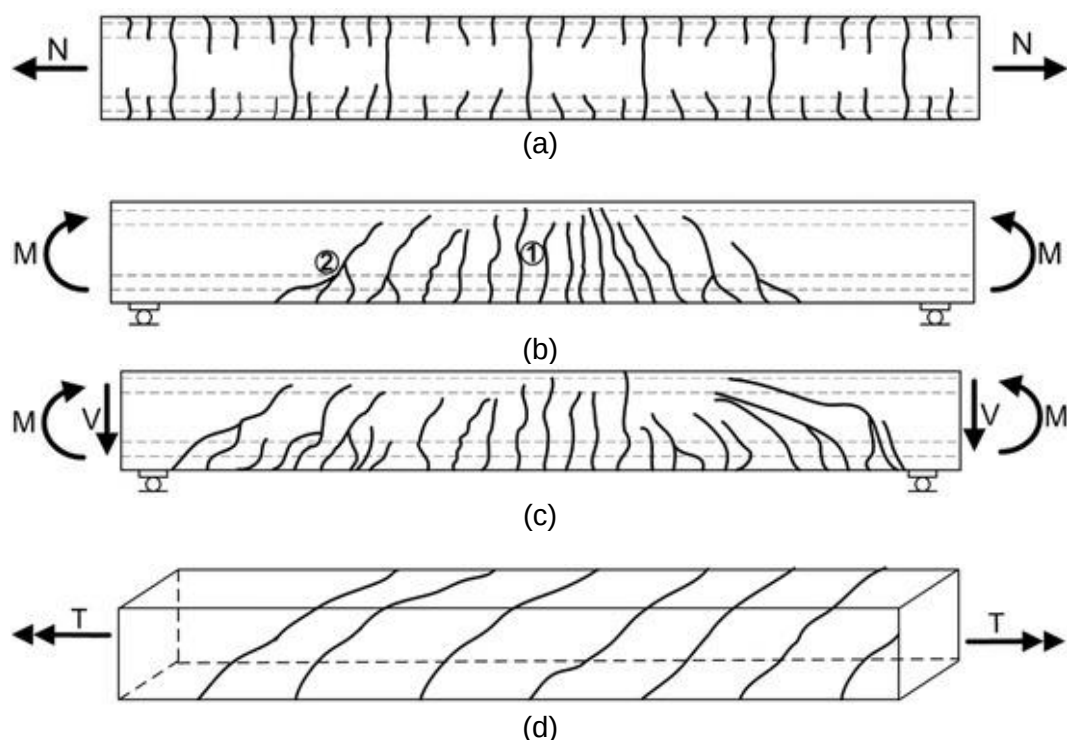


Slika 2. 3D print model biste Hercule Poirota [3]

Kako je svaka konstrukcija oslonjena na neku podlogu, i u konačnici na tlo, neophodno je modelirati način vezanja te konstrukcije s podlogom. Ta veza u dosta slučajeva nije savršena, a uzrokuje specifičan fenomen poznat pod pojmom slijeganje oslonaca.

Najpoznatije metode za predviđanja slijeganja o kojima se obično raspravlja su metode koje su predložili Terzaghi i Peck (1948.), Schmertmann (1970.), Schmertmann i dr. (1978.) i Burland i Burbidge (1985). Metode Meyerhofa (1956.) i Pecka i Bazaraae (1969.) su slične onoj koju su predložili Terzaghi i Peck (1948.). Dvije od najnovijih metoda su prema Berardiju i Lancellotti (1991.) i Mayneu i Poulosu (1999.). Sivakugan i Johnson (2004.) su predložili probabilistički pristup kvantificiranjem nesigurnosti vezanih za metode predviđanja slijeganja [4]. Izračunata i izmjerena slijeganja temelja u punoj veličini usporedili su Jeyapalan i Boehm (1986.), Papadopoulos (1992.) i Sivakugan i dr. (1998.). Jasna i glasna poruka je da su predviđanja najčešće znatno veća od izmjerenih vrijednosti. Na temelju 79 povijesti slučajeva plitkih temelja, Sivakugan i dr. (1998.) su pokazali da se metodom Terzaghija i Pecka (1948.) slijeganje precjenjuje za 218 % a metodom Schmertmanna (1970.) za 339 % [4].

Ako se govori o ravnomjernom slijeganju cijele konstrukcije unutar dozvoljenih granica onda fenomen ne ugrožava ostale elemente predmetne konstrukcije (slika 7. a). S druge strane ako je slijeganje neravnomjerno problemi rastu s krutošću, što se korisnicima objekta manifestira kroz pojavu odgovarajućih pukotina (slika 7. c) na objektu.



Slika 3. Vrste pukotina na grednom nosaču (a) uslijed zatezanja, (b) uslijed čistog savijanja jedna pukotina (1) ili mreža pukotina (2), (c) uslijed momenta M i posmične sile V, (d) uslijed torzijskog momenta T [5]

Pukotine navedene na statičkom sustavu proste grede (slika 3.) predstavljaju klasične pukotine koje se javljaju pri ispitivanju grednih nosača pod vanjskim opterećenjem. One pomažu pri klasificiranju stvarnih pukotina evidentiranim na realnim objektima.

Za pisanje ovog rada bile su zanimljive pukotine koje nastaju zbog : nekorektnih dimenzija temelja (pucanje), promjene vlage u glinovitim tlima (širenje), loše zbijenog tla (neravnomjernost), premale nosivosti, nehomogenih karakteristika tla po profilima te , pojave uzgona, vibracija i vegetacije.



Slika 4. Pukotine u podnoj ploči [5]

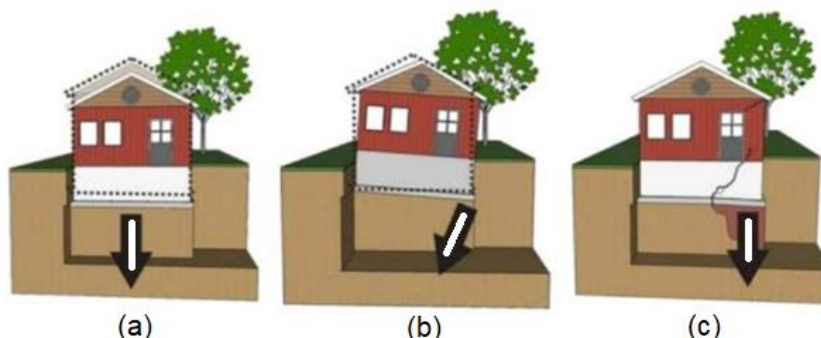


Slika 5. Pukotine u zidovima [6]

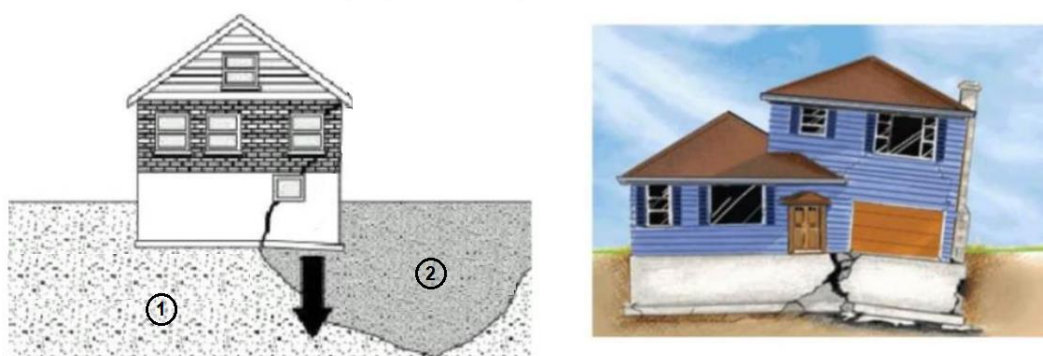


Slika 6. Pukotine zbog vegetacije [6]

Kad se govori o pojmu slijeganje oslonaca propisane su dopuštene granice za pojave koje se mogu grupirati u tri kategorije. Prva kategorija se odnosi na ukupno dopušteno slijeganje, koje na primjer za zidane konstrukcije u ovisnosti od načina temeljenja iznosi 2.5 - 5.0 cm [7]. Druga se odnosi na naginjanje, koje je povezano s pojmom prevrtanja, i na primjer za dimnjake iznosi 0.004 L. Posljednja treća kategorija odnosi se na najopasniju vrstu slijeganja poznatu pod pojmom diferencijalno slijeganje za koju su granične vrijednosti stroge zbog posljedica koje nosi sa sobom. U nastavku se navode najčešći primjeri.



Slika 7. Slijeganje objekta: kao krutog tijela (a), naginjanje (b) i diferencijalno slijeganje (c) [6]

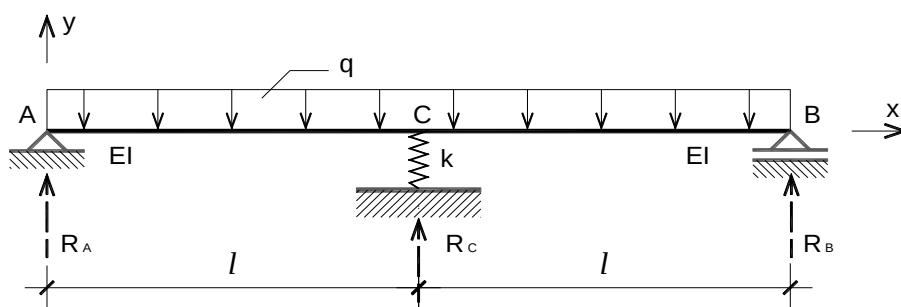


Slika 8. Neravnomjerno slijeganje zbog razlike tla dobre (1) i loše (2) nosivosti [6]

U svakodnevnoj praksi, pri izgradnji velikog broja stambenih i industrijskih objekata većinom se koristi sustav plitkih temelja. Kako bi se temelji i sustav iznad mogli adekvatno proračunati pred inženjera se postavlja izazov kako opisati spoj tlo - konstrukcija. Obično se odgovor traži u modeliranju spoja tla i temelja putem modela Winklerovih opruga [8,9]. Numerički pristup zahtjeva brojčanu vrijednost krutosti Winklerove opruge kroz takozvani koeficijent reakcije tla [10,11] čime se simulira elastičnost podloge ispod tog oslonca. Zapravo radi se o odnosu između naprezanja ispod temelja i njegovog pomaka, koji se može programirati ovisno o pristupu različitih autora [12].

3. ELASTIČNI OSLOMAC

U ovom radu razmatrana je statički neodređena konstrukcija u ravnini preko dva polja kod koje je srednji oslonac elastično popustljiv. Taj oslonac nije apsolutno krut niti se slegao za konačnu vrijednost [13,14,15] kao što je prikazano na slici 9. Cilj je pokazati ponašanje konstrukcije, odnosno bolje rečeno želi se vidjeti kakav je odgovor konstrukcije s obzirom na promjenu koeficijenta elastičnosti k [m/N] određenog oslonca.



Slika 9. Kontinuirani nosač preko dva polja [13]

Statički sustav prikazan na slici 9. jedanput je statički neodređen. Budući da dolazi do slijeganja središnjeg oslonca, isti će se i ukinuti kao prekobrojna veličina. Iz teorije konstrukcija poznata je veza pomaka, krutosti i sile izražena preko relacije:

$$F = K \cdot u \quad (1)$$

Gdje je:

F = sila

K = krutost

u = pomak

Označi li se s λ pomak u pravcu opruge, jednadžba u ovom primjeru postaje:

$$R_c = K \cdot \lambda \rightarrow \lambda = K^{-1} \cdot R_c = k \cdot R_c \quad (2)$$

Gdje je:

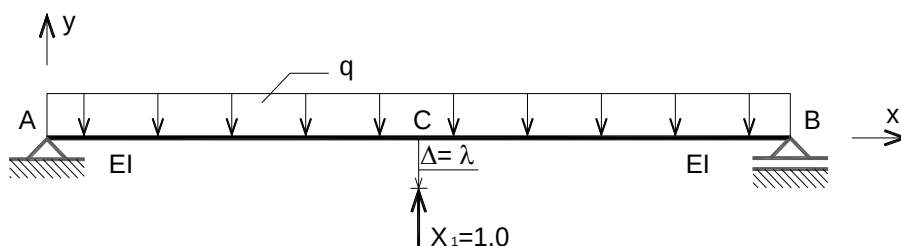
R_c = reakcija u osloncu C

K = krutost

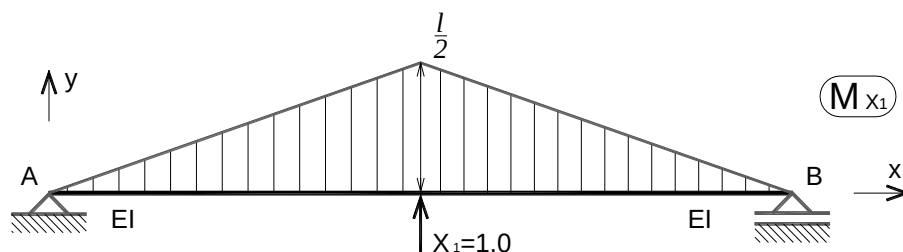
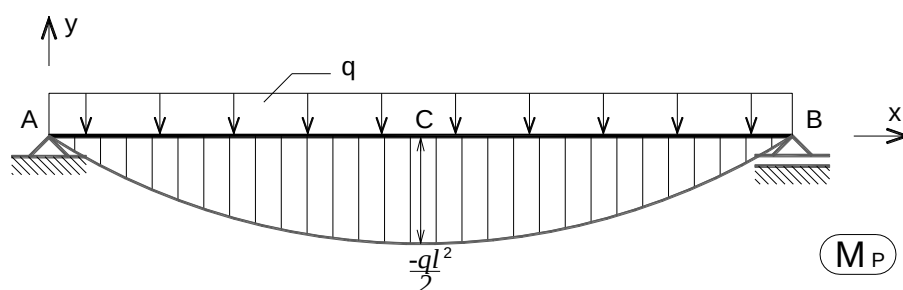
λ = pomak u pravcu opruge

Radi primjene metode sila uvest će se jednakost $X_1 = R_c$. Sada osnovni sustav izgleda kao na Slici 10. Sustav jednadžbi kompatibilnosti glasi:

$$\delta_{11} \cdot X_1 + (\Delta_{1p} - \Delta_{1s}) = 0 \quad (3)$$



Slika 10. Osnovni sustav sukladno metodi sila [13]

Slika 11. Dijagram momenata na osnovnom sustavu od $X_1=1.0$ [13]

Slika 12. Dijagram momenata savijanja na osnovnom sustavu od vanjskog opterećenja [13]

Vrijednosti koeficijenata pomaka su:

$$EI \cdot \delta_{11} = 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot l \cdot \frac{l}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{l}{2} = \frac{l^3}{6} \quad (4)$$

$$EI \cdot \Delta_{1p} = -2 \cdot \frac{5}{12} \cdot \frac{l}{2} \cdot \frac{q \cdot l^2}{2} \cdot l = -\frac{5 \cdot q \cdot l^4}{24} \quad (5)$$

$$EI \cdot \Delta_{1s} = -1 \cdot \Delta \cdot EI = -\lambda \cdot EI = -k \cdot X_1 \cdot EI \quad (6)$$

Uvrštavanjem vrijednosti dobivenih u izrazima (4), (5) i (6) u jednadžbu (3) i njenim rješavanjem dobiva se vrijednost sile X_1 navedena u izrazu (7). Kako bi se mogli konstruirati dijagrami momenata potrebno je izračunati vrijednosti momenata u pojedinim točkama kontinuiranog nosača preko dva polja.

$$\begin{aligned} \frac{l^3}{6} \cdot X_1 + \left(-\frac{5 \cdot q \cdot l^4}{24} + k \cdot X_1 \cdot EI \right) &= 0 \rightarrow \left(\frac{l^3}{6} + k \cdot EI \right) \cdot X_1 = \frac{5 \cdot q \cdot l^4}{24} \\ \rightarrow \left(1 + k \cdot \frac{6 \cdot EI}{l^3} \right) \cdot X_1 &= \frac{5 \cdot q \cdot l}{4} \\ X_1 &= \frac{5}{4} \cdot \frac{q \cdot l}{1 + k \cdot \frac{6 \cdot EI}{l^3}} \end{aligned} \quad (7)$$

Vrijednosti momenata u pojedinim točkama su:

$$M_A = M_B = 0 \quad (8)$$

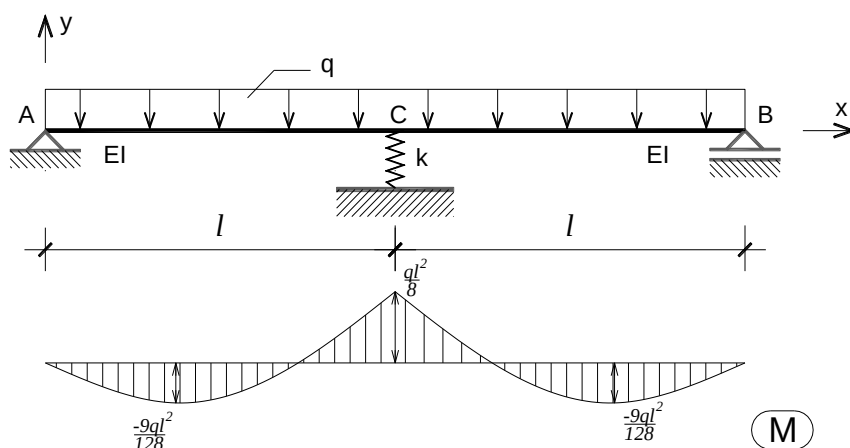
$$M_C = -\frac{q \cdot l^2}{2} + \frac{l}{2} \cdot \frac{5}{4} \cdot \frac{q \cdot l}{1 + k \cdot \frac{6 \cdot EI}{l^3}} \quad (9)$$

Budući su prethodni izrazi navedeni u općim brojevima, neophodno je u prvom koraku promatrati ekstremne slučajeve. Nakon toga pristupa se rješavanju međukoraka koji dovode do mnogih zanimljivih spoznaja. Za početak neka se pretpostavi kako je oslonac C apsolutno krut, odnosno da je $k=0$, te je:

$$M_C^{kruti} = -\frac{q \cdot l^2}{2} + \frac{l}{2} \cdot \frac{5}{4} \cdot \frac{q \cdot l}{1 + 0} = \frac{q \cdot l^2}{8} = M_{max} \quad (10)$$

Također će se kao posljedica pretpostavke navesti vrijednost reakcije i drugog ekstremnog momenta:

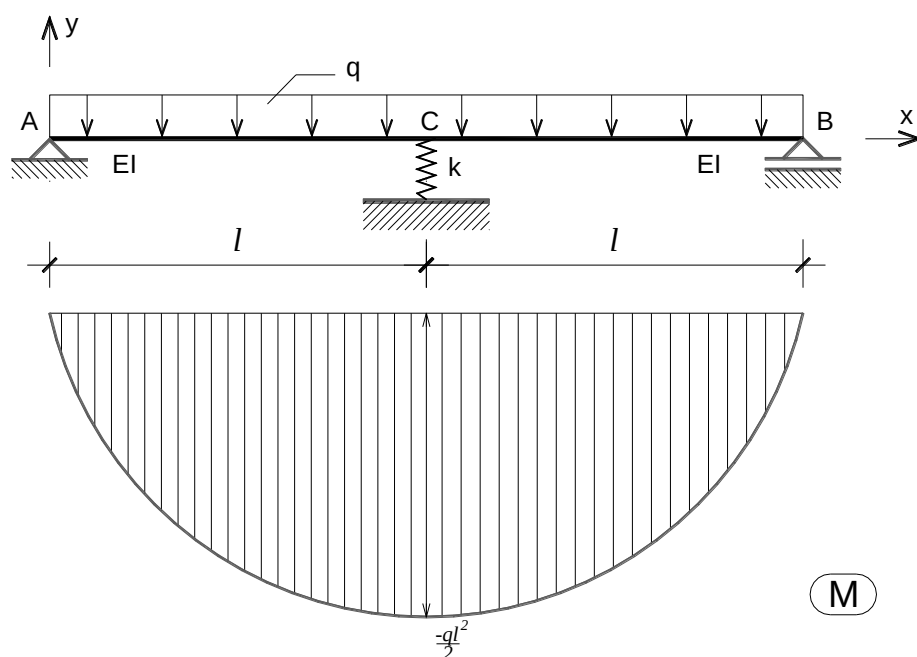
$$R_C^{kruti} = X_1^{kruti} = \frac{5}{4} \cdot q \cdot l \quad M_{min} = -\frac{9}{128} \cdot q \cdot l^2 \quad (11)$$



Slika 13. Dijagram momenata savijanja za $k=0$ [13]

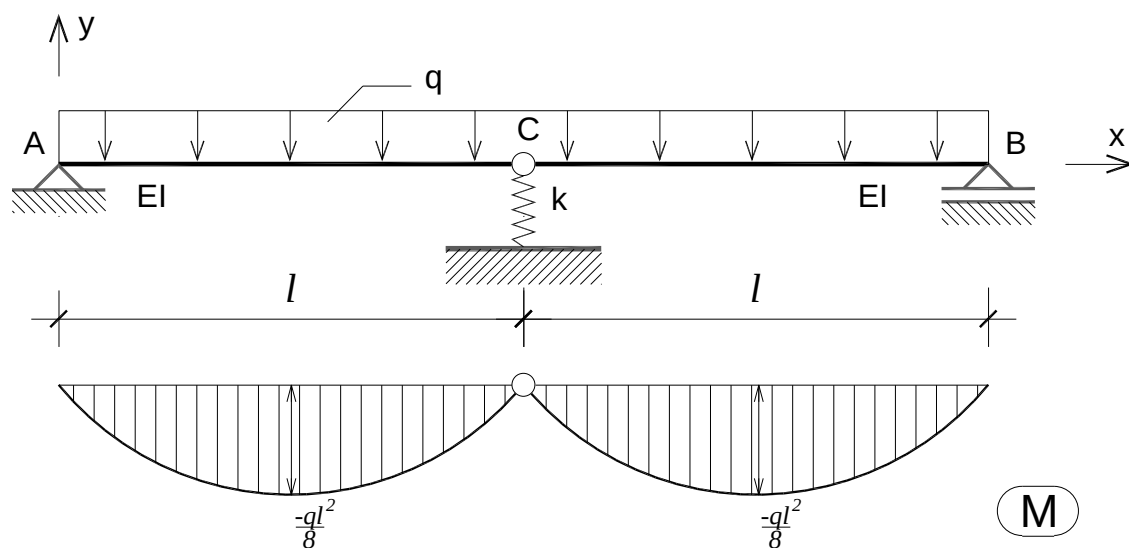
Drugi ekstremni slučaj javlja se pri pretpostavci kako je oslonac C apsolutno mek, odnosno da je $k = \infty$. Dakle, kao da oslonca nema. Do ovog zaključka se dolazi kad se detaljnije analizira vrijednost momenta u C koji iznosi:

$$M_C^{meki} = -\frac{q \cdot l^2}{2} + \frac{l}{2} \cdot \frac{5}{4} \cdot \frac{q \cdot l}{1 + \infty} = -\frac{q \cdot l^2}{2} = M_{min} \quad (12)$$

Slika 14. Dijagram momenata savijanja za $k = \infty$ [13]

Vrijednost reakcije potkrepljuje činjenicu da drugog ekstremnog momenta nema, a iznosi:

$$R_C^{meki} = X_1^{meki} = 0 \quad (13)$$



Slika 15. Dijagram momenata savijanja za slučaj kad je u točki C zglob [13]

Na slikama 13. i 14. u dijagramima momenata savijanja prikazana su oba ova ekstrema (kruti i meki), kao i slučaj da je u osloncu C zglob pri velikoj krutosti oslonca (slika 15.). U tom zadnjem slučaju se statički neodređeni nosač pretvara u statički određeni pa je moment u točki C jednak nuli.

4. POVEZIVANJE SLIJEGANJA, BRKOVA I FRAKTALA

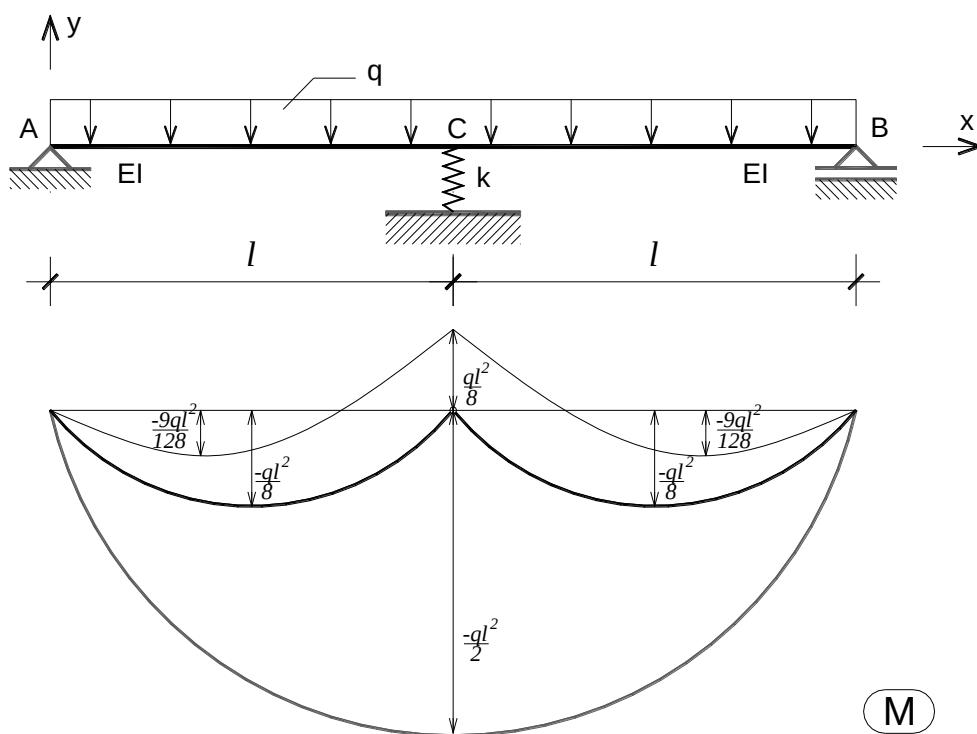
Kako bi se dobio bolji uvid u opis međustanja, nužno je prikazati sva tri granična slučaja na jednom dijagramu. Kao što se može vidjeti na slici 16. variranje krutosti središnjeg oslonca dovest će do različitih oblika dijagrama momenata unutar određenih graničnih slučajeva. Svakako će jedan od tih oblika asocirati na jedinstven oblik brkova slavnog 'virtualnog' belgijskog detektiva Hercule Poirota (slika 17.).

Stvarno podudaranje prelazi u domenu traženja oblika (*eng. form finding*). Naime, ukoliko se želi pronaći stvarni dijagram momenata koji bi s velikom preciznošću opisao gornju i donju krivulju predmetnih brkova oslonci, opterećenje i krutost opruge morali bi varirati. U ovom slučaju tu bi se vjerojatno radilo o postavljanju upetih ili elastično upetih oslonaca na krajevima te zadavanje nekog oblika trapeznog opterećenja.

S druge strane, gledajući s aspekta arhitekture poznato je kako sama forma nije proizvoljna nego je ona rezultat parametarske promjene što bi u konkretnom slučaju, pojednostavljeno rečeno, bio parametar promjene krutosti središnjeg oslonca koji za posljedicu ima transformaciju vizualnog obrasca momentnog dijagrama.

Sama arhitektonska forma često nastaje kao odgovor na različite utjecaje kao što su gravitacija, svjetlo, funkcija, kontekst, materijal i tome slično. Poveznica se može nasloniti na fraktale gdje se kompleksnost gradi primjenom jednostavnog pravila kroz različita mjerila pri arhitektonskom oblikovanju prostora. U praktičnoj primjeni to se provodi kroz digitalne alate i skriptirane procese koje posljedično daju arhitektonska rješenja, a koja posjeduju karakteristike fraktala.

Korištenjem metafore Poirotovih brkova forma nadilazi puko vizualno prepoznavanje i predstavlja primjer kako se u kulturi često pojavljuju obrasci koji stječu značenje kroz interpretaciju. U arhitekturi se isti princip koristi kako bi se formalni obrasci razumjeli kao nositelji identiteta, simbolike i odnosa, a ne samo kao geometrijski koncepti.



Slika 16. Integralni dijagram momenata savijanja [13]



Slika 17. Oblik brkova Hercule Poirota [2]

Na sličan način kao što Poirot kroz niz tragova dolazi do rješenja, tako i inženjer čita prostor, povezuje naizgled nevidljive utjecaje i oblikuje strukturu koja ili već postoji ili će postojati u potencijalu okoline u kojoj inženjer modelira. Naime, fraktali povezuju različite matematičke koncepte (slijeganje) sa stvarima u okolini koje je moguće uočiti (u ovom slučaju to su spomenuti brkovi) te pomažu inženjeru da oblikuje različite strukture i da povezuje naizgled nevidljive stvari koje se nalaze u okolini, a upravo to predstavlja ranije spomenuti potencijal okoline.

5. ZAKLJUČAK

Fraktali predstavljaju jedan od zanimljivih primjera ogledanja matematičkih koncepata u prirodi oko nas. Najpoznatiji primjer je svakako primjer snježne pahuljice. S druge strane u arhitekturi, fraktali ne predstavljaju samo pomagalo za kreiranje oku zanimljivih struktura, nego i način kako bi se mogao razviti funkcionalan prostor slijedeći prirodne uzorke i ritmove. Kako se pokazalo ovim radom dio toga leži i u ostalim inženjerskim granama.

Slijedom svega navedenog, a prvenstveno kako bi analizu nosivih struktura i prostora približili i učinili zanimljivom širem auditoriju, ovdje je naveden pokušaj povezivanja jedne značajne grane građevinske struke s ekranizacijom književnih dijela. Opisana problematika nije strana niti jednom inženjeru iz oblasti graditeljstva budući da fenomen poznat pod pojmom slijeganje oslonaca uzrokuje značajne poremećaje na konstrukciji, koje ponekad rezultiraju i s njenim urušavanjem. I uvijek nanovo pri rekonstrukciji, obnovi ili dogradnji objekata, kao i pri oblikovanju novog, potreban je moglo bi se reći detektivski pristup Hercule Poirota koji podrazumijeva konstantno proširivanje znanja iz predmetnog područja u ostvarenju cilja, a to je davanje odgovora na postavljenu zadaću.

LITERATURA

1. The Editors of Encyclopaedia Britannica. "Hercule Poirot." Encyclopedia Britannica, 13 December 2024. <https://www.britannica.com/topic/Hercule-Poirot>.
2. URL1: <https://www.mediastorehouse.com.au/memory-lane-prints/mirror/0000to0099-00044/david-suchet-plays-agatha-christies-poirot-21322102.html>
3. URL2: <https://www.cgtrader.com/3d-print-models/art/sculptures/hercule-poirot-david-suchet-3d-printable-bust-portrait>
4. Lukić, I.: Pregled metoda slijevanja plitkih temelja na zrnatim tlima, e-Zbornik: Elektronički zbornik radova Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Mostaru, 2013.
5. Golewski, G. L.: The Phenomenon of Cracking in Cement Concretes and Reinforced Concrete Structures: The Mechanism of Cracks Formation, Causes of Their Initiation, Types and Places of Occurrence, and Methods of Detection—A Review. Buildings. 2023; 13(3):765. <https://doi.org/10.3390/buildings13030765>
6. Tomlinson, M. J.: Foundation design and construction, 5th edition, Longman Scientific & Research, London. 1986.
7. Skempton, A. W., MacDonald, D. H: Allowable settlement of buildings, Proc Inst Civ Engrs, Part III, 1956.
8. Prskalo, M., Akmađić, V., Vrdoljak, A.: Utjecaj modeliranja koeficijenta reakcije tla na jednostavni 3D okvir izložen horizontalnom simetričnom opterećenju, e-Zbornik, elektronički zbornik radova Građevinskog fakulteta, 9(18), str. 35-43., 2019.
9. Mianji, P., Hosseininia, E. S.: A Modified Method for Modelling of Spread Footing Under Uniform Distributed Load Using Winkler's Model, Journal of Theoretical and Applied Mechanics, Vol. 49 (1), pp. 39-50., 2019.
10. Sandrekarimi, J., Akbarzad, M.: Comparative study of methods of determination of coefficient of subgrade reaction, Electronic Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 14, pp. 1-14., 2009.
11. Prskalo, M., Vrdoljak, A.: Analysis of settlement of foundation plates by finite difference method, Proceedings of the 27th DAAAM International Symposium, Katalinic, B. (Ed.), pp. 0854-0859, 2016., <https://doi.org/10.2507/27th.daaam.proceedings.123>
12. Akmađić, V., Vrdoljak, A.: Određivanje vrijednosti koeficijenta reakcije tla – programsko rješenje, e-Zbornik: Elektronički zbornik radova Građevinskog fakulteta, 8 (15), str. 22-29, 2018., <https://hrcak.srce.hr/203800>
13. Akmađić, V., Trogrlić, B., Prusac, K.: Građevna statika II – Metoda sila kroz primjere, Sveučilište u Mostaru, Mostar, 2016.
14. Gidak, P., Šamec, E.: Statički neodređeni sistemi, Sveučilište u Zagrebu Građevinski fakultet, 2022., [urn:nbn:hr:237:724696](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:hr:237:724696)
15. Mihanović, A., Trogrlić, B., Akmađić, V.: Građevna statika II., Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije u Splitu, Split, Hrvatska, 2014., ISBN 978-953-6116-57-7
16. Vrdoljak, A., Miletić, K.: Principles of fractal geometry and applications in architecture and civil engineering. Electronic Collection of Papers of the Faculty of Civil Engineering, 10(17), pp.40-52, 2019.