

7. NAUČNI METOD

Da ne bude zabune

Ovaj kurs zove se *Metodologija naučno-stručnog istraživanja*. Stigli smo do njegove polovine, a još uvek nismo jasno definisali čime se tačno bavimo. Šta uopšte podrazumevamo pod *metodologijom*? A šta je onda *metod* iz naslova ovog poglavlja? U poslednje vreme, ovo novo, površno, internetsko, ova dva pojma se često brkaju, kako u naučnom tako i u tehničkom kontekstu. Metodologija bolje zvuči, na stranu pretencioznost, pa se ne treba čuditi ako, na primer, od vulkanizera čujete da primenjuje novu *metodologiju* prilikom skidanja točkova¹.

***Metodologija* je sistematično proučavanje različitih metoda koje se u nekoj oblasti primenjuju ili mogu biti primenjene, što podrazumeva i obrazloženja i filozofske pretpostavke koje su u osnovi određene studije.**

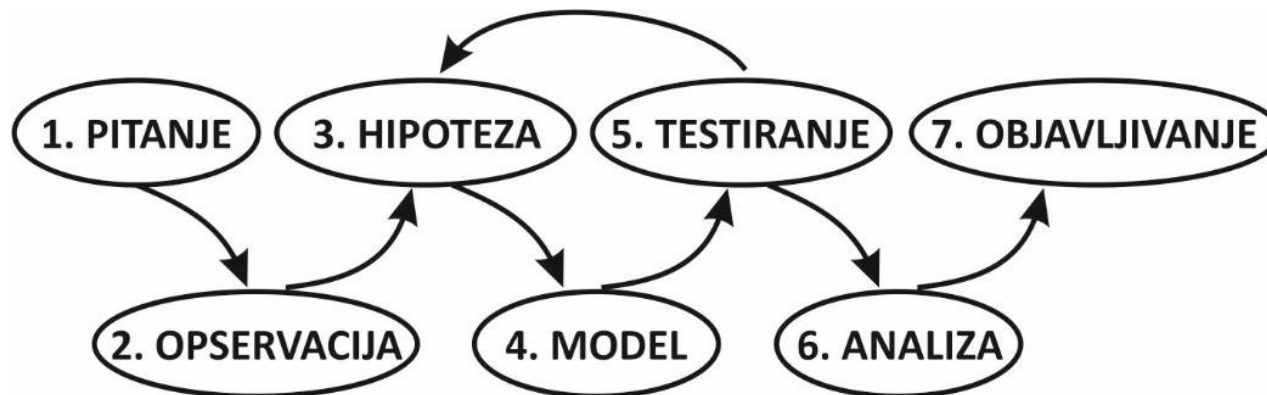
***Metod* je uređena serija koraka preduzetih za kompletiranje postavljenog cilja.**

¹ Prvo skine prednji levi, pa zadnji desni, pa... Ili već tako nešto 😊

Ne postoji jedan univerzalni *naučni metod*. Postoji više varijanti, koje svaki istraživač mora da prilagodi prirodi problema kojim se bavi, kao i sopstvenim metodama rada. Kakogod, naučni metod pokušava da minimizira naklonost istraživača prema određenom rešenju. Istraživač može preferirati neki ishod, ali je veoma važno da ta preferencija nema uticaj na konačne rezultate i njihovu interpretaciju. Takođe, ponekad nas „zdrav razum“ ili „logika“ mogu dovesti do uverenja da testiranje uopšte nije potrebno. Još jedna česta greška je ignorisanje ili isključivanje iz analize podataka koji ne podržavaju hipotezu.

Koraci u naučnom metodu

U literaturi se može pronaći veliki broj predstava osnovnih koraka naučnog metoda, međutim, bilo da su korišćene blok-šeme, karikature, šturi tekstualni prikazi, razlike su samo vizuelne i lingvističke prirode. Stoga će ovde biti učinjen pokušaj da se ova predstava pojednostavi što je moguće više, a da se težište baci na objašnjenja pojedinih koraka:



1. Pitanje ili problem je prvi, najvažniji deo istraživanja. Obično potiče iz razmišljanja istraživača o tome kako su trenutna saznanja u oblasti kojom se bavi nedovoljno dobra i/ili ispravna i želi da ih poboljša. Izbor pitanja/problema zavisi od brojnih faktora – od njegovog znanja i umešnosti, interesovanja, kreativnosti i motivacije...

Kroz pitanje/problem formuliše se oblast interesovanja, ali to nipošto nije deklarativna izjava, poput hipoteze. Već i samo ovo pitanje mora biti moguće prihvatiti ili pobiti. Ono što u okviru zadavanja pitanja/problema mora biti nedvosmisleno pokazano jeste da je predloženo istraživanje *praktično izvodljivo*. Što, naravno, zavisi i od toga ko pitanje „postavlja“ – ukoliko, na primer, NASA predloži istraživanje koje se tiče života na udaljenim planetama, sva je prilika da će biti shvaćena ozbiljno. Sa druge strane, ako vi predložite sličnu temu za svoj master rad, neka bude i „Ponašanje mršavog betona u atmosferi planete Mars“, ne očekujte da vas iko ozbiljno shvati.



Primer 1: Prilikom projektovanja građevina u moru, kao što su naftne platforme, pretovarne tačke ili mostovi u arktičkim predelima, najveći problem za inženjere predstavljaju sile leda koje na objekat deluju. Iako su poslednjih decenija vršena brojna terenska merenja, postoje velike praznine u poznavanju uticaja leda na konstrukcije. Da bi popunio *neke* od ovih praznina, Institut za hidraulička istraživanja u Ajovi pristupio je izradi studije uticaja sila leda na vertikalne stubove (Hiryama, 1974).

Problem/pitanje u ovom istraživanju formulisano je već u samom njegovom naslovu – *Istraživanje dejstva sila leda na vertikalne stubove*. Istraživanje je bilo modelsko, dakle izvedeno u laboratorijskim uslovima. Varirane su različite debljine leda i prečnici stuba i za njih određivana naprezanja konstrukcije.



Primer 2: „Glavni cilj ovog rada je da doprinese razvoju elemenata formalne teorije proizvodnih sistema, kako bi se omogućilo uspostavljanje formalne metodologije za dizajn i analizu proizvodnih sistema.“ Ako je vama jasno šta je problem kojim će se ovaj naučnik baviti – jasno je i njemu.

2. Opservacija je drugi korak koji sledi nakon što je formulisan problem/pitanje. Radi se, naime o sagledavanju postojećeg znanja i iskustava koji se tiču problema kojim će se istraživač baviti. Kako je isti problem tretiran u prošlosti? U čemu je razlika između prethodnih istraživanja i onoga što je nama na umu? Šta kaže literatura, projekti, kolege? Da li je moguće izvršiti neke preliminarne eksperimente? Na šta/koga će naše istraživanje imati uticaja?

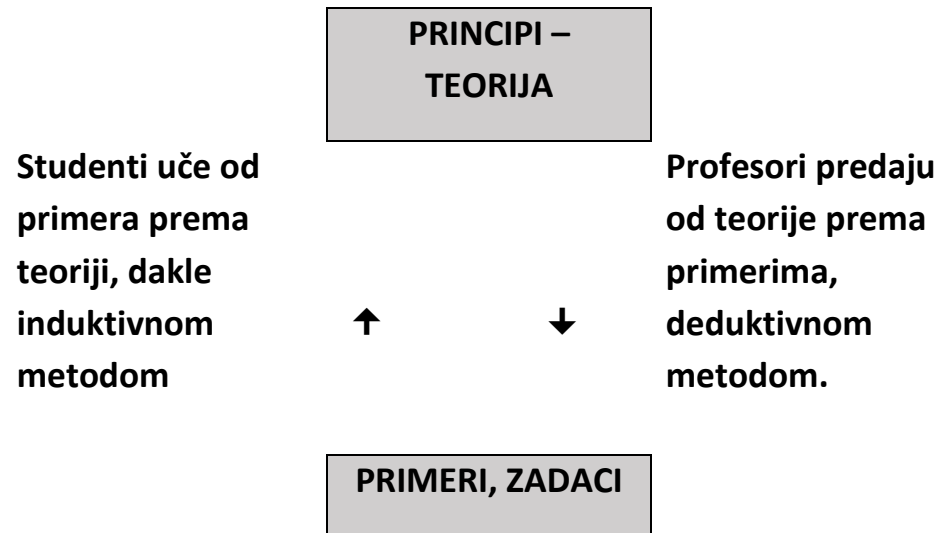
U svakodnevnoj naučnoj praksi, istraživač sa iskustvom u određenoj oblasti neće svaki put iznova proučavati sva postojeća znanja, već će jednostavno rutinski pratiti nova dostignuća od interesa za njegov rad. Za postdiplomca ili mladog naučnika koji još uvek nije stekao usku specijalnost zadatak je malo teži, stoga ćemo ovde dati par moguće korisnih saveta:

Ukoliko baš ništa ne znate o oblasti u kojoj želite da delujete, što je prilično neverovatno, prvo se informišite u nekoj enciklopediji². Podaci iz enciklopedija su veoma pouzdani, ali nažalost uglavnom šturi i zastareli, barem tri do deset godina. Zatim slede monografije i udžbenici iz predmetne oblasti. I dalje ste u zoni pouzdanih informacija, ali manje-više opštepoznatih barem poslednjih tri do pet godina. Morate ići dalje, uostalom na putu ste da napišete master rad ili doktorsku disertaciju, ne spremate običan ispit. Na redu su originalni naučni radovi iz časopisa, sa simpozijuma, konferencija... koji se tiču upravo onog problema kojim nameravate da se bavite. Njihova „zastarelost“

² Wikipedija nije enciklopedija!

meri se vremenom od par godina do nekoliko meseci. Konačno, tu su izveštaji vaših starijih kolega o istraživanjima koja su još u toku. Ulazite sve dublje u problematiku, što je dobro, saznajete šta su najnovija otkrića. Nevolja je, međutim, u tome što na tom putu opada pouzdanost onoga što čitate. Kritičan odnos prema literaturi na ovom nivou može da vam obezbedi samo savršeno vladanje osnovama, onim iz udžbenika.

Najkraće, pripremajući se za bavljenje naukom, morate se osloboditi svojih studentskih navika koje se tiču učenja:



Podsećamo da induktivni princip, od posebnog ka opštem, vrlo retko obezbeđuje tačno zaključivanje³, za razliku od deduktivnog koji „čuva istinu“, zaključujući od opšteg ka posebnom. Možda je i moglo da posluži da se položi neki ispit, ali kod izrade originalnog naučnog rada neće biti od koristi.

U sagledavanju postojećeg znanja u oblasti kojom planirate da se bavite morate biti izuzetno temeljni i istrajni, posebno u uskom domenu samog problema koji obrađujete, da vas na kraju istraživanja ne pogodi „udarac od klasika“. Tačnije, da se ne ispostavi da je vaša originalna ideja realizovana još pre više decenija. Ili pre par meseci, svejedno, sav posao bio bi vam uzaludan. A dešava se...

3. Hipoteza je, podsećamo, deklarativno izjašnjavanje o tome šta *očekujete* da dokažete svojim naučnim radom. Njena je svrha da razjasni, specificira i fokusira se na problem kojim ćete se baviti. Često zapis hipoteze ima formalni oblik ako... – onda... (zato što). Istini za volju, moguće je uraditi validno naučno istraživanje i bez striktno konstruisane hipoteze⁴. Sa druge strane, moguće je konstruisati i više hipoteza u okviru istog rada⁵.

Prilikom formulisanja hipoteze treba voditi računa:

- Da bude jednostavna i konceptualno jasna, budući da dvosmislenost može učiniti njenu verifikaciju skoro nemogućom.
- Da ju je moguće podvrgnuti verifikaciji, odnosno da postoje metode i tehnike za prikupljanje potrebnih podataka kao i za njihovu analizu.
- Da bude u relaciji sa postojećim znanjem iz date oblasti, odnosno da je u mogućnosti da nadogradi postojeće znanje.

³ Setite se primera sa brojanjem belih pataka. Slično je kao i kad pripremajući ispit radite zadatke, učeći „šablone“, a na ispitu ostanete iznenađeni „crnom patkom“ ☺

⁴ U okviru master rada to nemojte pokušavati!

⁵ Tek to nemojte pokušavati.

- Da ju je moguće operacionalizovati, odnosno da je izražena u terminima koji su merljivi.

Hipoteza treba da sadrži dva tipa varijabli⁶:

- *Nezavisne varijable*, odnosno one koje istraživač kontroliše. Istraživač menja vrednosti nezavisne varijable da bi izazvao određeni efekat.
- *Zavisne varijable*, one koje istraživač meri ili opservira. One su *efekat* menjanja nezavisnih varijabli.

Recimo, u Primeru 1, nezavisne varijable su prečnik stuba (naftne platforme ili slične konstrukcije) i debljina leda, ostvareni na modelu. Zavisna varijabla su izmereni naponi u stubu.

4. **Modelovanje.** U literaturi se ovaj korak najčešće naziva *projektovanje eksperimenta*. Budući da čitalac pred terminom eksperiment u prvi mah zamišlja mikroskope, štoperice i sličnu opremu, čini se da *model*, tačnije *modelovanje procesa dokazivanja hipoteze*, mnogo sveobuhvatnije objašnjava šta naučnik u ovoj fazi radi.

Model u najširem smislu predstavlja objekte, fenomene i fizičke procese na logičan i objektivan način. Modeli su, dakako, pojednostavljena refleksija stvarnosti, mora se, međutim, imati na umu da su kompletna i istinita predstavljanja realnog sveta najčešće nemoguća. Čak je i Galilejev čuveni eksperiment sa kuglama, koji smo ovde pominjali, zapravo *model realnosti* – nije jednovremeno merena, recimo, i sila vetra koja je, ako ju se bilo u tom trenutku, neznatno menjala putanje kugli pa samim tim i vreme potrebno da kugla padne na zemlju. Danas znamo da brzina pri slobodnom padu, $v = \sqrt{2gH}$, važi samo za slobodan pad u vakuumu.

Klasifikacija naučnih modela, kao i obično, nije jedinstvena. Ukoliko bismo samo nabrojali tipove modela, nevezano za njihove sličnosti, razlike, primene... bilo bi ih više desetina – za sada. Njihov broj iz dana u dan samo raste. Zato

⁶ Promenljivih veličina.

ćemo ovde pomenuti samo jednu moguću klasifikaciju, koja u našim, tehničkim naukama nije previše primenljiva, ali je veoma ilustrativna za sagledavanje puta kojim nauka danas ide. Po njoj, modeli se dele na tri kategorije:

- *In vivo*, ili uživo. Ispitivanja koja se vrše na živim organizmima, direktnim merenjima ili osmatranjima.
- *In vitro*, ili „u staklu“. Misli se zapravo na laboratorijske uslove, „kontrolisanu okolinu“.
- *In silico*, ili „u silicijumu“, gde silicijum, kao poluprovodnik, referira na kompjutere.

Eksperiment *in vivo* vrši, recimo, antropolog koji u brazilskim prašumama proučava život nekog plemena, opservirajući njihove navike, ishranu, način komunikacije... Farmaceutska kompanija koja ispituje novi lek na grupi dobrovoljaca takođe radi *in vivo*. Ali, ako se slično istraživanje radi sa pacijentima u bolnici *okolina je kontrolisana* – pacijenti imaju definisanu ishranu, uredno primaju druge potrebne terapije, svetlost se gasi u određeno vreme itd. – dakle ne možemo govoriti o uobičajenim realnim okolnostima u kojima se svaki od pacijenata ponaša po svom nahođenju, tako da bi ovo bilo istraživanje po *in vitro* modelu iako se radi o živim ljudima⁷. Pretpostavljamo, zapravo, da je ova klasifikacija nastala upravo među biologima i medicinarima decenijama unazad, kada su se opredeljivali između istraživanja na živim organizmima ili na mrtvom tkivu, već prema prirodi problema koji je bio pred njima.

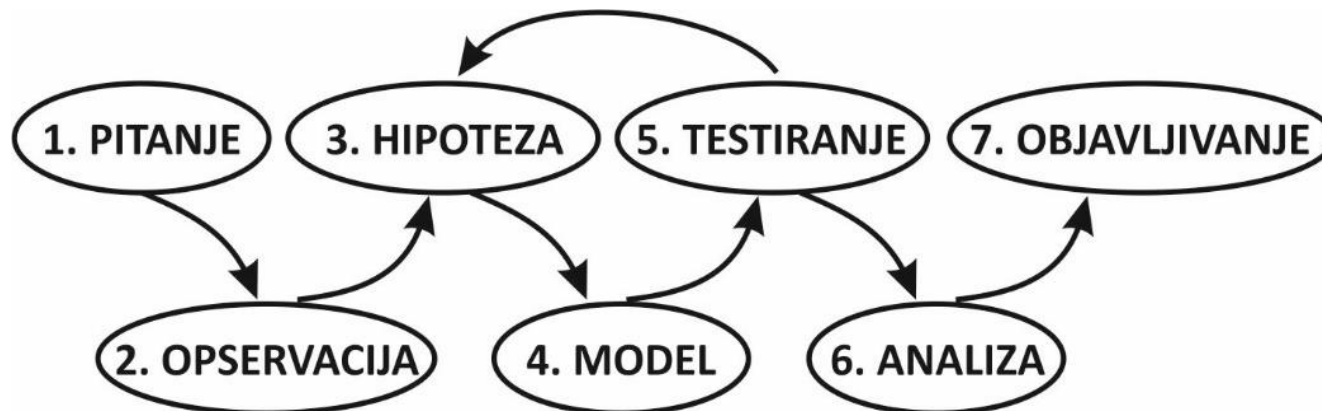
Danas se, međutim, nijedno istraživanje ne može zamisliti bez „silicijuma“, odnosno računara, makar računar naučniku služio samo za zabeleške. Na stranu što je u genetskim istraživanjima poslednjih decenija računarski procesor uveliko odmenio mikroskop. Ukratko, živimo u eri *in silico* nauke 😊.

⁷ Pitanje je da li i antropolog samim svojim prisustvom u brazilskoj prašumi donekle menja prirodne uslove i običaje u kojima urođenici žive.

U tehničkim naukama najčešće se primenjuju tri tipa modelovanja:

- Vizuelni modeli – različite grafičke prezentacije, dijagrami i blok šeme procesa koji se istražuje.
- Fizički modeli – objekti identični onima u prirodi ali smanjenih dimenzija smešteni u laboratoriju kako bi se na njima vršila merenja koja je u prirodi teško ili čak nemoguće obaviti. Ovde spadaju i prototipovi uređaja ili sistema koji služe za ispitivanja koja prethode serijskoj proizvodnji.
- Matematički modeli – u kojima se izučavana pojava opisuje skupom jednačina i/ili nejednakosti, bilo da se radi o dinamičkim sistemima, statističkim modelima, diferencijalnim jednačinama, logičkim modelima, modelima teorije igara...

Vizuelni model sam po sebi ne može poslužiti za dokazivanje hipoteze, već je samo ispomoć za razumevanje „blokova“ i tokova u razmatranom problemu. Ponovićemo sliku sa početka ovog poglavlja:



Ona je najjednostavniji vizuelni model naučnog metoda kojim se trenutno bavimo⁸.

⁸ A sada smo na koraku 4, tek da se podsetimo ☺.



Fizički model može biti deo sveobuhvatnog modela dokazivanja hipoteze – pod uslovom da nam je uopšte potreban. U regulaciji reka, na primer, izuzetno je teško, a ponekad i nemoguće, izvršiti sva potrebna merenja na razmatranoj deonici rečnog korita⁹. Stoga se razmatrana deonica nakon iscrpnih geodetskih merenja

„prenosi“ u laboratoriju, u odgovarajućoj razmeri. Sada možemo meriti šta god i koliko god nam je potrebno, međutim, to su tek ulazni podaci za *matematički model* nestacionarnog tečenja u koritu promenljivog poprečnog preseka koji sledi. Može se neko zapitati otkud onda fizički modeli usred *naučnog* metoda, kad služe *samo* za prikupljanje podataka? Ali treba imati na umu da je u naučnim istraživanjima ponekad upravo prikupljanje podataka za dokazivanje hipoteze teži i dugotrajniji posao od izrade matematičkog modela koji simulira pojavu.

⁹ Ko će, recimo, da čeka pojavu hiljadugodišnje vode da bi izvršio najprostije merenje vodostaja?

5. Testiranje hipoteze ili „Just do it!“ Imamo ulazne podatke, imamo model – primenimo ga. Ovaj je korak najzbudljiviji za istraživača, pošto se u njemu konačno suočava sa rezultatima svog misaonog procesa.

6. Analiza rezultata, korak koji od istraživača zahteva hladnu glavu. Šta je simulacija na njegovom modelu pokazala? Šta kaže kvalitativna (opisna) a šta kvantitativna (merljiva) analiza dobijenih rezultata? Postoji li nešto što može da uzdrma njegovo poverenje u dobijene rezultate? Kako rezultati korespondiraju sa postojećom literaturom, kako sa postavljenim ciljevima samog istraživanja? Postoji li više perspektiva iz kojih se rezultat može posmatrati? Ako postoji – proveriti ih.



Da li je na slici lice žene ili nosati saksofonista? Zavisi od perspektive posmatranja 😊

Konačno, i najvažnije, da li je hipoteza dokazana? Ukoliko nije, potrebno je vratiti se na korak 3 i korigovati hipotezu. Ili možda čak na korak 1, na definiciju zadatka koji je postavljen¹⁰. Pa ispočetka.

7. Objavljivanje rezultata. Istraživač je konačno zadovoljan. Njegova hipoteza je verifikovana na modelu. Ali trud će biti uzaludan ako naučna zajednica nije upoznata sa njegovim otkrićem.

Ukoliko je u pitanju master rad ili doktorska disertacija, osim kandidata i njegov mentor i komisija moraju da budu zadovoljni postignutim. Kandidatu preostaje da sedne i napiše rad i preda ga na uvid javnosti.

Ukoliko je ta stepenica prevaziđena, za objavljivanje rada na raspolaganju su naučni časopisi, konferencije... koji takođe imaju uredništva čiji je posao da ocene ponuđene radove.

Umesto zaključka

Pre nego što započnete da pišete predlog teme za master rad, pročitajte ovo poglavlje ponovo. Pročitajte ga i pre nego što započnete da pišete sam rad.

To je ukupno tri puta, nije mnogo.

U pauzama čitajte roman Stanislava Lema *Solaris* i pokušajte da pronađete nekakvu vezu.

¹⁰ Nadajmo se da u međuvremenu nije bilo previše novih istraživanja u datoj oblasti, pa bar korak 2 može da se skratii ☺.