

# 14. Umjesto zaključka – pregled odabranih statističkih procedura i njihovih obilježja

TEME

- |    |   |
|----|---|
| 1. | Usporedba testovnih<br>i eksplikacijskih statističkih procedura |
| 2. | Kako odabrati odgovarajuću statističku proceduru?               |

Iako se dotičemo deskriptivne statistike, statističkih procjena i neparametrijskih testova, u ovom priručniku najviše smo se fokusirali na provedbu (većinom) bivarijantnih parametrijskih statističkih testova koji su najčešće korišteni u analizama socioloških fenomena. Poznavanje načina provedbe i interpretacije ovih statističkih testova smatramo temeljem bez kojeg teško da se netko može smatrati sociologom/injom s interesom za empirijsku analizu društva i s društvom povezanih aspekata. No, s obzirom na kompleksnost svijeta koji nas okružuje, ove analize obično nisu dovoljne za ozbiljnije analize društvenih pojava, već je iz perspektive kvantitativne metodologije obično nužna primjena različitih multivarijantnih tehnika obrade i analize podataka (u ovom priručniku obrađene su samo dvije multivarijantne analize: parcijalna korelacija i višestruka linearna regresijska analiza). Također, primjena kvalitativne metodologije nezaobilazna je i nezamjenjiva u brojnim sociološkim studijama, bilo kao samostalna istraživačka strategija u proučavanju nekog društvenog fenomena, bilo kao metodologija komplementarna kvantitativnoj. Stoga smatramo razvidim da ovim priručnikom nismo pružili sadržaj dostatan za samostalno proučavanje i analizu društvenih fenomena. Razumijevanje i pravilna primjena statističkih procedura prikazanih u ovom priručniku svakako je dobar temelj za daljnje usavršavanje. U svrhu dodatnog razumijevanja i sistematizacije prikazanih procedura za kraj čitatelju pružamo dva konceptualna alata.

Prvi se odnosi na analizu i usporedbu skupa (većinom parametrijskih) statističkih testova prema nekoliko njihovih obilježja: broju i vrsti varijabli na koje se pojedini test primjenjuje, formulaciji i značenju nulte hipoteze koja se testira te testovnom statistiku i odgovarajućoj *sampling* distribuciji pomoću koje se hipoteza testira.

Drugi konceptualni alat odnosi se na jedan od mogućih pristupa procesu odabira odgovarajućeg statističkog testa potrebnog za rješavanje nekog istraživačkog problema, a koji se temelji na identificiranju vrsti varijabli, broja uzoraka i svrhe analize koju želimo provesti.

## 14.1. Usporedba testovnih i eksplicacijskih statističkih procedura

U ovom dijelu pružamo ikonografsku analizu testovnih i eksplicacijskih statističkih procedura: triju vrsti t-testova, F-testa homogenosti varijanci (koji nam treba i kod t-testa za nezavisne uzorke i kod analize varijance), analize varijance, dviju primjena hi-kvadrat testa, četiri koeficijenta korelacije te jednostavne linearne regresijske analize. Primijetimo da za čitav ovaj niz statističkih procedura koristimo ukupno tri porodice *sampling* distribucija (t, F i  $\chi^2$ ), međutim formule za određivanje pojedinih testovnih statistika razlikuju se od procedure do procedure. Npr. testovni statistik t određuje se na različite načine u t-testu za jedan uzorak, t-testu za zavisne uzorke, te na dva različita načina u t-testu za nezavisne uzroke (ovisno o homogenosti varijanci skupina). Podsjetimo također i da je osim nultih hipoteza, moguće testirati i alternativne hipoteze. Testovi koji se temelje na t *sampling* distribuciji mogu imati i usmjerene i neusmjerene alternativne hipoteze, dok testovi koji se temelje na F i  $\chi^2$  *sampling* distribucijama ne mogu razlikovati smjer alternativne hipoteze.

Navedimo još i da su većina ovdje prikazanih statističkih testova parametrijski testovi, s iznimkom hi-kvadrat testa (i njegovih primjena) te Spearmanova koeficijenta korelacije koji pripadaju u neparametrijske statističke procedure.

Radi lakšeg "čitanja" ikonografike koja slijedi, opisat ćemo nekoliko testova kao primjere.

T-test za jedan uzorak primjenjujemo kad imamo jednu kvantitativnu varijablu. Njime testiramo nultu hipotezu da je prosjek populacije te varijable jednak nekoj zadanoj vrijednosti (koju sami unosimo u proceduru). Za testiranje ove hipoteze potrebno je na temelju podataka s uzorka odrediti testovni statistik t prema odgovarajućoj formuli čija se vjerojatnost u slučaju da je nulta hipoteza istinita određuje putem t distribucije uz odgovarajuću razinu rizika i broj stupnjeva slobode.

T-test za nezavisne uzorke primjenjujemo kad imamo jednu dihotomnu nominalnu i jednu kvantitativnu varijablu. Njime testiramo hipotezu da se prosjeci dviju populacija na toj kvantitativnoj varijabli međusobno jednaki. Za testiranje ove hipoteze potrebno je na temelju podataka s uzorka odrediti testovni statistik t prema odgovarajućoj formuli (podsjetimo da će se ta formula razlikovati ovisno o tome imaju li te dvije grupe homogene ili heterogene varijance na kvantitativnoj varijabli od interesa) čija se vjerojatnost u slučaju da je nulta hipoteza istinita određuje putem t-distribucije uz odgovarajuću razinu rizika i broj stupnjeva slobode.

	t-test			Testiranje homogenosti varijanci	ANOVA	Hi-kvadrat test		
	za jedan uzorak	za zavisne uzorke	za nezavisne uzorke			Nezavisnost nominalnih varijabli	McNemar	Goodness of fit
Broj varijabli koje mjerimo na uzorku	1 kvant.	2 kvant.	1 dihot. + 1 kvant.	1 nom. 1 kvant.	1 nom. 1 kvant.	2 nom.	2 nom dih.	1 (kvant. ili kval.)
Nulta hipoteza	$H_0 : \mu_1 = \mu$	$H_0 : \mu_1 = \mu_2$	$H_0 : \mu_1 = \mu_2$	$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots \sigma_k^2$	$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k$	$H_0 : \chi^2 = 0$	$H_0 : \chi^2 = 0$	$H_0 : \chi^2 = 0$
Značenje $H_0$	Prosjek populacije jednak je zadanoj vrijednosti.	Prosjeci dviju varijabli (ili dva mjerenja) su u populaciji jednaki.	Prosjeci dviju populacija su na nekoj varijabli jednaki.	Varijance svih (k) populacija su na nekoj varijabli jednaki.	Prosjeci svih (k) populacija su na nekoj varijabli jednaki.	Varijable su u populaciji nezavisne.	Nema promjene u dva mjerenja neke varijable u populaciji.	Oblik varijable u populaciji ne razlikuje se od oblika na koji ju testiramo.
testovni statistik	t	t	t	F	F	$\chi^2$	$\chi^2$	$\chi^2$
sampling distribucija	t-distr.	t-distr.	t-distr.	F distr.	F distr.	$\chi^2$ distr.	$\chi^2$ distr.	$\chi^2$ distr.

Slika 4. Testovne procedure prema ključnim statističkim obilježjima

Spearmanov rho koeficijent korelacije primjenjuje se kad imamo dvije varijable, od kojih je barem jedna ordinalna ili kvantitativna koja nije normalno distribuirana (postoje i drugi uvjeti za provedbu Pearsonova koeficijenta korelacije pa ako bilo koji od njih nije zadovoljen, preporučuje se umjesto njega koristiti Spearmanov koeficijent). Njime testiramo nultu hipotezu da varijable X i Y u populaciji nisu korelirane.

Za testiranje ove hipoteze potrebno je na temelju podataka s uzorka odrediti testovni statistik  $t$  prema odgovarajućoj formuli, čija se vjerojatnost u slučaju da je nulta hipoteza istinita određuje putem  $t$ -distribucije uz odgovarajuću razinu rizika i broj stupnjeva slobode.

Jednostavna linearna regresijska analiza primjenjuje se kad imamo dvije kvantitativne varijable (postoje i drugi uvjeti koji moraju biti zadovoljeni), koje (konceptualno) razlikujemo kao zavisnu ( $Y$ , kriterij) i nezavisnu ( $X$ , prediktor) varijablu. U proceduri jednostavne linearne regresijske analize testiramo dvije hipoteze. Jedna se odnosi na količinu protumačene varijance kriterija prediktorom, a druga na učinak koji prediktor ima na kriterij. Prva hipoteza u svom nultom obliku tvrdi da varijanca varijable  $Y$  u populaciji nije objašnjena varijancom varijable  $X$ . Za testiranje ove hipoteze potrebno je na temelju podataka s uzorka odrediti testovni statistik  $F$  prema odgovarajućoj formuli čija se vjerojatnost u slučaju da je nulta hipoteza istinita određuje putem  $F$ -distribucije uz odgovarajuću razinu rizika i broj stupnjeva slobode. Druga hipoteza u svom nultom obliku tvrdi da varijabla  $X$  nema učinak na varijablu  $Y$ . Za testiranje ove hipoteze potrebno je na temelju podataka s uzorka odrediti testovni statistik  $t$  prema odgovarajućoj formuli čija se vjerojatnost u slučaju da je nulta hipoteza istinita određuje putem  $t$ -distribucije uz odgovarajuću razinu rizika i broj stupnjeva slobode.

	Koeficijenti korelacije				Linearna regresija	
	Pearsonov $r$	Pearsonov $r_{pb}$	Spearmanov $\rho$	Parcijalna korelacija	jednostavna	
Broj varijabli koje mjerimo na uzorku	2 kvant.	1 kvant. + 1 dihot.	2 ord. ili kvant.	3 kvant.	2 kvant. (kriterij i prediktor)	
Nulta hipoteza	$H_0 : r_{xy} = 0$	$H_0 : r_{pb_{xy}} = 0$	$H_0 : \rho_{xy} = 0$	$H_0 : r_{xyz} = 0$	$H_0 : R^2 = 0$	$H_0 : b = 0$
Značenje $H_0$	Varijable $X$ i $Y$ u populaciji nisu korelirane	Varijable $X$ i $Y$ u populaciji nisu korelirane.	Varijable $X$ i $Y$ u populaciji nisu korelirane.	Varijable $X$ i $Y$ nakon isključenja utjecaja varijable $Z$ na njihovu vezu u populaciji nisu korelirane.	Varijanca varijable $Y$ u populaciji nije objašnjena varijancom varijable $X$ .	Varijable $X$ u populaciji nema efekt na varijablu $Y$ .
testovni statistik	$t$	$t$	$t$	$t$	$F$	$t$
sampling distribucija	$t$ -distr.	$t$ -distr.	$t$ -distr.	$t$ -distr.	$F$ distr.	$t$ -distr.

Slika 5. Eksplikacijske procedure prema ključnim statističkim obilježjima

## 14.2. Kako odabrati odgovarajuću statističku proceduru?

Odabir odgovarajućeg statističkog testa\* treba biti utemeljen u istraživačkom problemu koji želimo riješiti. Iako se možda podrazumijeva, no temeljem dugogodišnjeg iskustva rada sa studentima preddiplomskog i diplomskog studija sociologije ipak imamo potrebu naglasiti kako statistička analiza podataka ne smije biti podređena našem poznavanju ili preferenciji određenih statističkih procedura. Na primjer, samo zato što netko možda bolje razumije hi-kvadrat test za testiranje nezavisnosti dviju nominalnih varijabli u kontingencijskoj tablici, a nije baš upoznat s analizom varijance ili njezinom neparametrijskom zamjenom (Kruskall-Wallisov test), ne smije biti razlog da neki istraživački problem koji uključuje testiranje razlika više skupina na nekoj kvantitativnoj varijabli "pretvori" u analizu povezanosti dviju nominalnih varijabli kategorizacijom kvantitativne varijable. Iako je to tehnički izvedivo, svođenjem kvantitativne varijable na kategorijalnu narušava se prirodni varijabilitet te varijable, što može dovesti do smanjenja statističke snage i narušavanja valjanosti dobivenih rezultata u odnosu na postavljeni istraživački problem. Dakle, istraživački problemi koje želimo riješiti i obilježja podataka koje imamo ključne su niti vodilje u procesu statističke obrade i analize podataka. Da bi se taj proces odvijao korektno, potrebno je prethodno poznavanje dovoljno široke lepeze statističkih procedura. Ista logika primjenjuje se i kod kompleksnijih statističkih analiza koje nisu predmet ovog priručnika. Primjerice, kompleksniji (multivarijatni) istraživački problemi zahtijevaju multivarijatne statističke analize i ne može ih se (ili ih se barem ne bi smjelo) zamijeniti nizom bivarijatnih analiza samo zbog nepoznavanja ili slabijeg snalaženja s kompleksnijim statističkim analizama.

Jednom kad čitatelj usvoji procedure prezentirane u ovom priručniku i nađe se pred vlastitim istraživačkim problemom koji želi riješiti, predložimo postavljanje triju pitanja. Da bi na njih mogao odgovoriti, neophodno je posjedovanje temeljnih znanja iz kvantitativne sociološke metodologije poput vrsta varijabli, razlikovanja zavisnih i nezavisnih uzoraka, broja mjerenja i tako dalje.

Pitanja su sljedeća:

1. Koju vrstu varijabli (podataka) imamo?
2. Koliko uzorka imamo?
3. Što želimo saznati – koja je svrha analize, tj. kakav je tip odnosa između podataka koje želimo istražiti?

Odgovaranjem na svako od ovih pitanja i praćenjem prezentiranih ikonografika (u kojima boje pojedinih polja označavaju porodice srodnih testova) sužava se popis odgovarajućih statističkih testova, a njihovim preklapanjem dolazi se do adekvatne statističke procedure. Ako čitatelj utvrdi da niti jedna od ovdje ponuđenih statističkih procedura\*\* nije adekvatna za rješavanje postojećeg istraživačkog problema (što je sasvim plauzibilno), to znači da njegov ili njezin problem nadilazi opseg ovih osnovnih i relativno jednostavnih (većinom univarijatnih i bivarijatnih) analiza te mu/joj preostaje čitav spektar drugih statističkih analiza koje može konzultirati. Na sljedeće tri slike razvrstana je većinu inferencijalnih i eksplikacijskih procedura obrađenih u ovom priručniku, s izuzetkom neparametrijskih zamjena obrađenih u poglavlju 9, koje bi se u ovoj klasifikaciji nalazile na istim mjestima kao i njihove parametrijske inačice.

\* Ideja za grafičke prikaze inspirirana je videom Dr Nic's Maths and Stats: Choosing which statistical test to use - statistics help. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=rulIUANOu3w> (15.5.2021.)

\*\* Jedan od testova u ovim grafičkim prikazima u vrijeme izrade ovog priručnika još nije bio dostupan u JASP-u – riječ je o McNemarinu testu, inačici primjene hi-kvadrat testa za testiranje nezavisnosti dviju nominalnih varijabli.

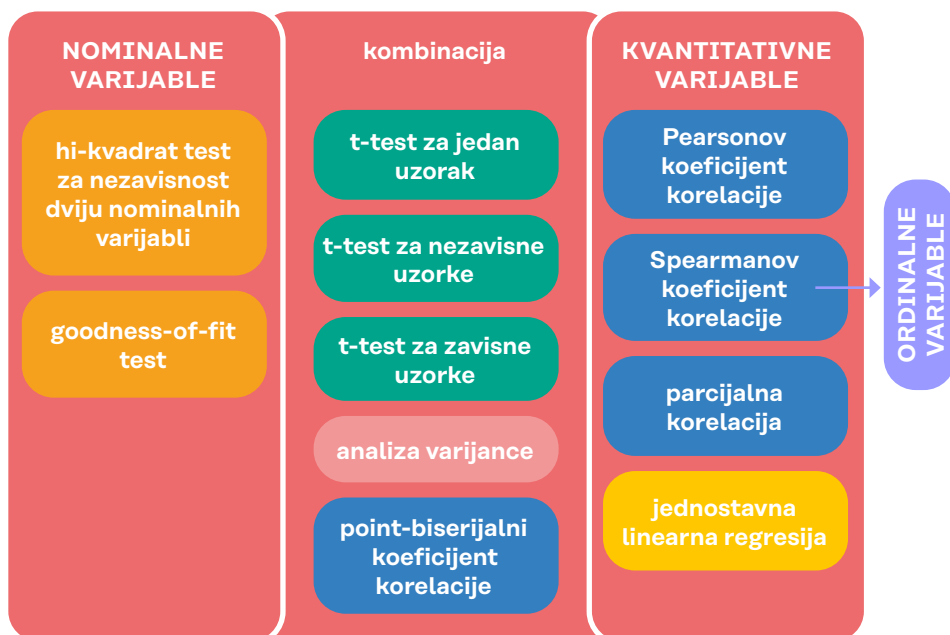
## 1. Koju vrstu varijabli (podataka) imamo?

Ovdje primarno podrazumijevamo razlikovanje kvalitativnih i kvantitativnih varijabli. Ako je varijabla kvalitativna, onda je ključno razlikovanje nominalne i ordinalne razine mjerenja. Za nominalne varijable postoje jasna pravila o tome koje su statističke procedure dozvoljene i primjerene, a koje nisu, dok je kod ordinalnih varijabli situacija u praksi nešto kompleksnija. Naime, ordinalne varijable mogu se nominalizirati (tretirati kao nominalne), ili se za njih mogu primijeniti posebne procedure razvijene baš za tu vrstu varijabli (npr. ovdje je to Spearmanov koeficijent korelacije). Treća opcija, koju nerijetko možemo vidjeti u istraživačkoj praksi, jest tretirati ih kao kvantitativne varijable (npr. na njima računati prosjek ili standardnu devijaciju). Takvu odluku treba donijeti istraživač, pritom uzimajući u obzir primjerenost konkretne ordinalne skale procjene za interpretaciju kvantitativnih pokazatelja. U pravilu, te bi skale procjene trebale biti simetrične, uravnotežene, bipolarne te s neutralnom pozicijom.

Slika 6. prikazuje naš skup osnovnih statističkih procedura kategoriziran u tri osnovne grupe: 1) procedure namijenjene nominalnim varijablama; 2) procedure u kojima imamo kombinaciju jedne nominalne i jedne kvantitativne varijable te 3) procedure za dvije ili više kvantitativnih varijabli. Istaknimo dva svojevrsna odstupanja od ove stroge podjele.

Prvo se odnosi na tzv. *goodness-of-fit* test, odnosno primjenu hi-kvadrat testa za testiranje oblika distribucije frekvencija. Ovaj se test zapravo može primijeniti na bilo koju vrstu varijabli. Npr. nominalne se varijable mogu testirati na pravokutnost ili neki zadani oblik, no ne smiju na primjerice testirati na oblik normalne distribucije jer ona nije primjenjiva na nominalne varijable. S druge strane, isti test može se primijeniti na kvantitativnu varijablu, time testirajući oblik njezine distribucije frekvencija na normalnost ili na bilo koji drugi oblik distribucije.

Drugo odstupanje jest Spearmanov rho koeficijent korelacije, koji se može primijeniti i na dvije kvantitativne varijable, ali i ako su jedna ili obje varijable između kojih se želi odrediti korelacija ordinalne.



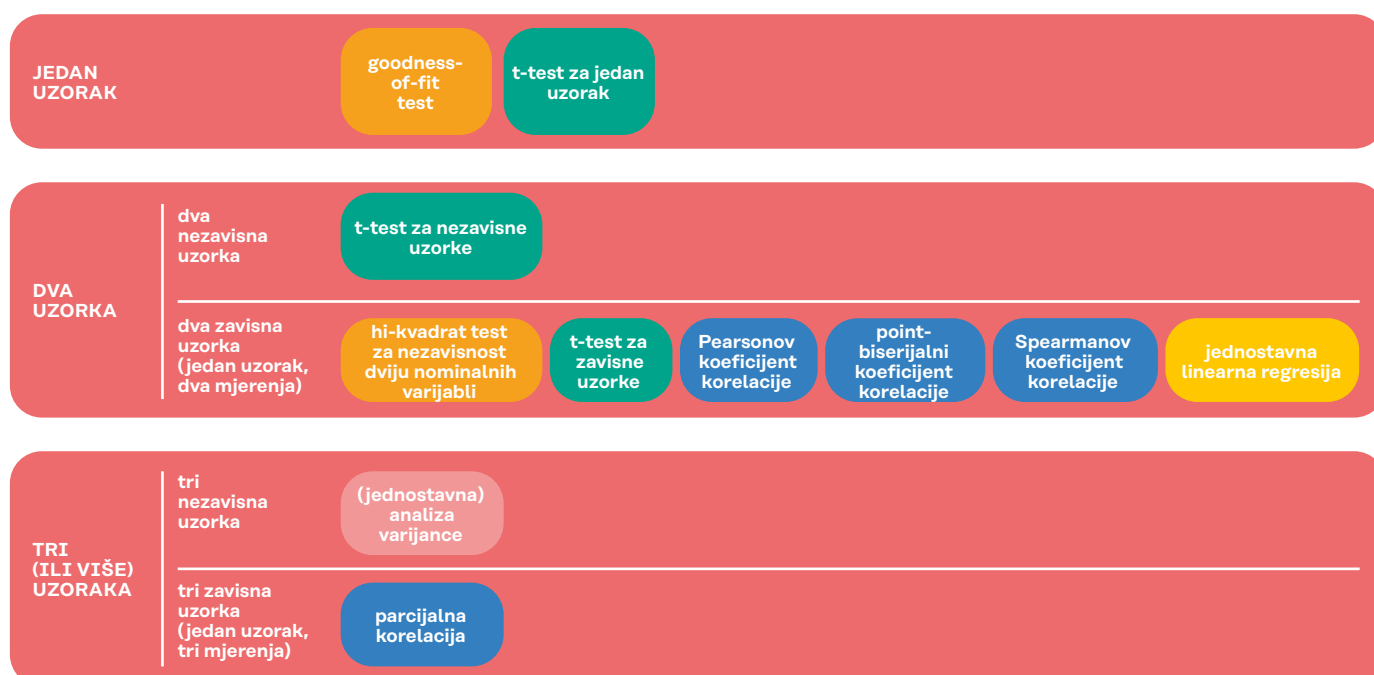
Slika 6. Statističke procedure prema vrsti varijabli

## 2. Koliko uzoraka (skupina) imamo?

Broj skupina ili (statističkom terminologijom) uzoraka obično proizlazi iz broja mjerenja ili broja kategorija nominalne varijable. Prema broju uzoraka statističke analize možemo razvrstati u tri skupine: 1) analize za jedan uzorak; 2) analize za dva uzorka te 3) analize za tri ili više uzoraka. Ako imamo dva ili više uzoraka, prilikom odabira odgovarajuće statističke procedure moramo se zapitati i potpitanje: jesu li uzorci međusobno zavisni ili nezavisni?

Zavisni uzorci, kao rezultat vrste nacrtta istraživanja, obično proizlaze iz jednog od sljedećih obilježja nacrtta istraživanja: ponovljena mjerenja, podudarajući parovi i presječni nacrt. Drugim riječima, zavisne uzorke imamo ako smo jednu varijablu mjerili na istom uzorku u dva ili više navrata (ponovljenih mjerenja) ili ako smo jednu varijablu mjerili na nekom tipu uparenih uzoraka (npr. bračni parovi, majke i kćeri ili sl.) u kojima svaki podatak iz jednog uzorka ima svoj "par" u drugom uzorku (nacrt podudarajućih parova – primjerice, kada je podatak o zadovoljstvu životom majke uparen s podatkom o zadovoljstvu životom njezine kćeri). Treba još naglasiti i da se uparenim, odnosno zavisnim uzorcima u ovom kontekstu smatraju i setovi podataka koji mjere različite varijable, ali na istom uzorku (presječni nacrt istraživanja). Na primjer, podaci na varijabli "zadovoljstvo poslom" i podaci na varijabli "zadovoljstvo životom" tretiraju se kao dva zavisna uzorka jer je podatak svakog ispitanika na varijabli "zadovoljstvo poslom" uparen s podatkom tog istog ispitanika na varijabli "zadovoljstvo životom". Zato su svi koeficijenti korelacije svrstani u skupine testova za zavisne uzorke. Takvi uzorci međusobno su jednake veličine, dok nezavisni uzorci mogu, ali i ne moraju biti jednaki po svojoj veličini.

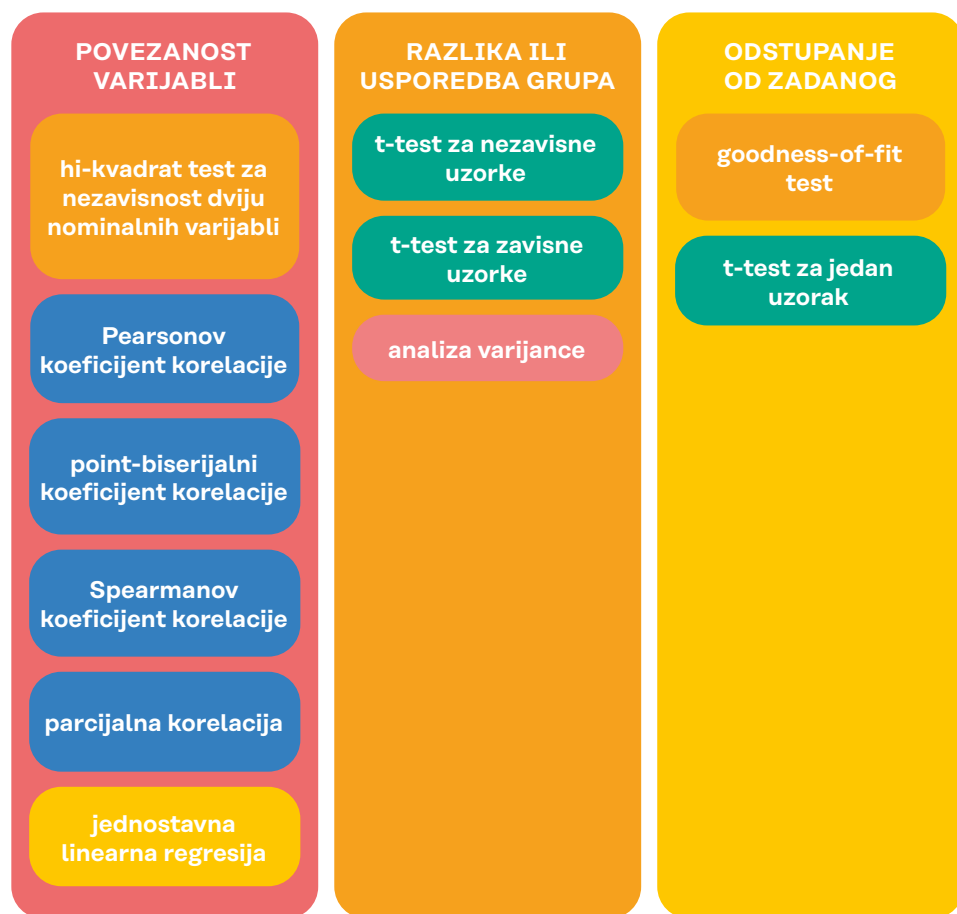
Nezavisni su uzorci oni kod kojih odabir elemenata jednog uzorka nije ni na koji način određen odabirom elemenata drugoga uzorka. U statističkim obradama podataka najčešće su određeni kategorijama neke kvalitativne varijable koja u tim statističkim testovima poprima ulogu nezavisne varijable (npr. spol, mjesto stanovanja, tip fakulteta i sl.).



### 3. Što želimo saznati – koja je svrha analize, tj. kakav je tip odnosa između podatka koji želimo istražiti?

Prema svrsi analize statističke procedure obrađene u ovom priručniku možemo primarno podijeliti u dvije skupine: 1) procedure za određivanje povezanosti kojima određujemo jačinu veze dviju ili više varijabli, a kod nekih i smjer te veze (smjer nije moguće odrediti u povezanosti kvalitativnih, već samo kvantitativnih varijabli); 2) procedure za određivanje razlika kojima uspoređujemo dvije ili više grupa na nekoj varijabli ili pak međusobno uspoređujemo dvije varijable.

Treća skupina procedura koju smo nazvali "odstupanje od zadanog" zapravo je podvrsta procedura za određivanje razlike u kojima radimo usporedbu podataka na nekoj varijabli mjerenoj na uzorku s nekim podatkom/cima koji nisu iz našeg istraživanja.



Slika 8. Statističke procedure prema svrsi analize