

Statistička analiza anketnog upitnika korištenjem neparametarskih statističkih metoda

Vrbančić, Antonio

Master's thesis / Diplomski rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Organization and Informatics / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet organizacije i informatike**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:211:588972>

Rights / Prava: [Attribution-ShareAlike 3.0 Unported/Imenovanje-Dijeli pod istim uvjetima 3.0](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-04-02**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Organization and Informatics - Digital Repository](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ORGANIZACIJE I INFORMATIKE
VARAŽDIN

Antonio Vrbanić

STATISTIČKA ANALIZA ANKETNOG
UPITNIKA KORIŠTENJEM
NEPARAMETARSKIH STATISTIČKIH
METODA

DIPLOMSKI RAD

Varaždin, 2024.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ORGANIZACIJE I INFORMATIKE
V A R A Ź D I N

Antonio Vrbančić

Matični broj: 0016123582

Studij: Baze podataka i baze znanja

**STATISTIČKA ANALIZA ANKETNOG UPITNIKA KORIŠTENJEM
NEPARAMETARSKIH STATISTIČKIH METODA**

DIPLOMSKI RAD

Mentorica:

prof. dr. sc. Jasminka Dobša

Varaždin, travanj 2024.

Antonio Vrbančić

Izjava o izvornosti

Izjavljujem da je ovaj Diplomski rad izvorni rezultat mojeg rada te da se u izradi istoga nisam koristio drugim izvorima osim onima koji su u njemu navedeni. Za izradu rada su korištene etički prikladne i prihvatljive metode i tehnike rada.

Autor potvrdio prihvaćanjem odredbi u sustavu FOI Radovi

Sažetak

U radu je dan pregled osnovnih neparametarskih statističkih metoda i njihove primjene. Nadalje, analizirani su slučajevi kada je primjerenije koristiti neparametarske statističke metode od parametarskih. U radu su neparametarske metode podijeljene prema broju skupova nad kojima se provode testovi pa je tako praktični dio rada podijeljen na metode koje testiramo na jednom uzorku, dva uzorka ili više uzoraka. Nadalje, metode na dva i više uzoraka još su podijeljene na zavisne i nezavisne uzorke. Dodatno, provedena je i analiza jačine povezanosti između dvije varijable. Također, u alatima Statistica, BlueSky Statistics i PSPP statistički su obrađeni anketni podaci na anketnom upitniku Stack Overflow-a. iz 2023. godine, a za zavisne testove su korišteni testovi iz 2022. i 2021. godine.

Ključne riječi: anketni upitnik; neparametarska metoda; statistički test; hipoteza; distribucija; uzorak; populacija; anketa

Sadržaj

| | |
|--|----|
| 1. Uvod | 1 |
| 2. Metode i tehnike rada | 2 |
| 3. Osnove statističke analize | 3 |
| 3.1. Osnovni statistički pojmovi | 3 |
| 3.1.1. Varijable i mjerne skale | 3 |
| 3.1.2. Deskriptivna statistika | 4 |
| 3.1.2.1. Mjere centralne tendencije | 5 |
| 3.1.2.2. Mjere varijabilnosti | 6 |
| 3.1.3. Inferencijalna statistika | 8 |
| 3.1.3.1. Testiranje hipoteza | 8 |
| 3.2. Normalnost distribucije | 10 |
| 3.3. Anketni upitnici i istraživanja | 13 |
| 3.3.1. Zavisni i nezavisni uzorci | 14 |
| 3.3.2. Pregled i kratka deskriptivna analiza odabranog anketnog upitnika | 15 |
| 3.4. Pregled statističkih alata i softvera | 17 |
| 3.4.1. Pregled popularnih softvera za statističke analize | 17 |
| 3.4.1.1. R | 17 |
| 3.4.1.2. IBM SPSS | 18 |
| 3.4.1.3. PSPP | 18 |
| 3.4.1.4. BlueSky | 19 |
| 3.4.1.5. Statistica | 19 |
| 3.4.2. Usporedba spomenutih softvera | 20 |
| 4. Općenito o neparametarskim metodama | 21 |
| 4.1. Prednosti neparametarskih metoda | 22 |
| 4.2. Ograničenja i nedostaci neparametarskih testova | 22 |
| 4.3. Usporedba neparametarskih i parametarskih metoda | 23 |
| 4.3.1. Kada koristiti koji test? | 24 |
| 5. Vrste neparametarskih metoda | 29 |
| 5.1. Neparametarski testovi na jednom uzorku | 29 |
| 5.1.1. Kolmogorov-Smirnovljev test na jednom uzorku | 29 |
| 5.1.1.1. Primjer primjene Kolmogorov-Smirnovljeva testa | 30 |
| 5.1.2. Hi-kvadrat test | 32 |
| 5.1.2.1. Primjer primjene hi-kvadrat testa | 34 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 5.1.3. | Wilcoxonov test na jednom uzorku | 35 |
| 5.1.3.1. | Primjer primjene Wilcoxonovog testa u programskom alatu BlueSky Statistica | 36 |
| 5.1.4. | Binomni test | 40 |
| 5.1.4.1. | Primjer primjene binomnog testa | 40 |
| 5.2. | Neparametarski testovi na dva nezavisna uzorka | 41 |
| 5.2.1. | Medijan test | 42 |
| 5.2.1.1. | Primjer primjene medijan testa | 42 |
| 5.2.2. | Kologomorov-Smirnovljev test na dva uzorka | 45 |
| 5.2.2.1. | Primjer primjene K-S testa u programskom alatu Statistica | 46 |
| 5.2.3. | Wilcoxon-Mann-Whitneyev U test | 51 |
| 5.2.3.1. | Primjer primjene Wilcoxon-Mann-Whitneyevog U testa kroz programski alat Statistica | 51 |
| 5.3. | Neparametarski testovi na dva zavisna uzorka | 55 |
| 5.3.1. | Test predznaka za dva zavisna uzorka | 56 |
| 5.3.1.1. | Primjer primjene testa predznaka u alatu Statistica | 56 |
| 5.3.2. | Wilcoxonov test | 58 |
| 5.3.2.1. | Primjer primjene Wilcoxonovog testa na dva zavisna uzorka | 59 |
| 5.3.3. | McNemarov test | 62 |
| 5.3.3.1. | Primjer primjene McNemarovog testa | 62 |
| 5.4. | Neparametarski testovi na više nezavisnih uzoraka | 64 |
| 5.4.1. | Prošireni medijan test | 64 |
| 5.4.1.1. | Primjer primjene proširenog medijan testa | 65 |
| 5.4.2. | Kruskal-Wallisov test | 66 |
| 5.4.2.1. | Primjer primjene Kruskal-Wallisovog testa | 67 |
| 5.5. | Neparametarski testovi na više zavisnih uzoraka | 68 |
| 5.5.1. | Cochranov Q test | 68 |
| 5.5.1.1. | Primjer primjene Cochranovog Q testa | 69 |
| 5.5.2. | Friedmanov test | 71 |
| 5.5.2.1. | Primjer primjene Friedmanovog testa u alatu Statistica | 72 |
| 5.6. | Testovi korelacija | 75 |
| 5.6.1. | Spearmanov koeficijent korelacije rangova | 75 |
| 5.6.1.1. | Primjer primjene Spearmanovog koeficijenta korelacije rangova | 76 |
| 5.6.2. | Kendal-Tau test | 79 |
| 5.6.2.1. | Primjer primjene Knedall-Tau testa | 79 |
| 6. | Zaključak | 81 |
| | Popis literature | 85 |
| | Popis slika | 88 |
| | Popis tablica | 89 |

1. Uvod

Živimo u vremenu kada su podaci postali više vrijedni od nekih drugih resursa. Na Fakultetu organizacije i informatike, jedna od prvih, a može se reći i najvažnijih stvari koja se nauči jest koja je razlika između podatka i informacije. Iako informatiku nazivaju znanosti o informacijama, zapravo se prava, sirova transformacija podataka u informacije najprije događa u statistici. Pogotovo se to odnosi na statističke analize anketnih upitnika, u kojima zapravo sam podatak ne znači previše. Na primjer, u kontekstu analize anketnog upitnika, pojedinačni odgovor ispitanika rijetko pruža dublje razumijevanje, osim ako nije kontekstualiziran unutar cjelokupnog skupa podataka.

Stoga, statistička analiza postaje ključan proces transformacije sirovih podataka u korisne informacije. Kroz ovaj rad, istražujemo osnovne statističke koncepte, deskriptivnu statistiku te inferencijalnu statistiku, kako bismo stvorili čvrste temelje za ključni segment istraživanja. U tom ključnom dijelu, fokusiramo se na odabrane neparametarske statističke metode te njihovu primjenu. Konkretno, primjenjujemo ih kroz statističku analizu ankete o navikama razvojnih inženjera u tri različita programska alata. Kroz ovaj rad, prikazat će se važnost i praktična primjena neparametarskih statističkih metoda u kontekstu stvarnog istraživanja.

2. Metode i tehnike rada

Sam rad pisan je u alatu LaTeX Overleaf koji je online uređivač za LaTeX format. Skup podataka nad kojima se provodila statistička analiza pronađen je na Kaggle-u, a podaci su zapravo direktno vezani na samog ispitivača odnosno Stack Overflow [1]. Za posebne testove na dva i više zavisnih uzoraka, koristili su se i anketni upitnici iz 2022. [2] i 2021. [3] Za statističku analizu, koristili su se alati PSPP, BlueSky Statistics, Statistica i Datatab. Za obradu sirovih podataka i izračune nekih računskih operacija, korišteni su Microsoft Excel i Python. Rad je citiran IEEE stilom citiranja.

3. Osnove statističke analize

U suvremenom svijetu, gdje podaci postaju sveprisutni, važnost statističke analize ne može se zanemariti. Statistika je više od skupa brojki i grafikona; ona je temeljna znanost koja omogućuje razumijevanje kompleksnosti stvarnog svijeta kroz kvantitativne informacije. Od temeljnih istraživanja u različitim znanstvenim disciplinama do strateškog donošenja odluka u poslovanju, zdravstvu i politici, statistička analiza igra ključnu ulogu u tumačenju i davanju smisla podacima.

U ovom poglavlju, cilj je pružiti jasan i sažet uvod u osnovne koncepte statističke analize. Bit će razmotreni osnovni statistički pojmovi i vrste analiza. Pored toga, naglasak će biti stavljen na pregled različitih statističkih alata i softvera koji omogućuju istraživačima da efikasno obrađuju i interpretiraju podatke. Kroz ovaj uvod, stvorit će se čvrsta osnova za dublje razumijevanje specifičnih statističkih metoda, posebno neparametarskih metoda, koje će biti detaljnije obrađene u kasnijim dijelovima rada.

3.1. Osnovni statistički pojmovi

U osnovi svake statističke analize leže ključni koncepti i definicije koje formiraju temelj za razumijevanje i primjenu statistike u praksi. Ovo potpoglavlje posvećeno je razjašnjavanju ovih osnovnih statističkih pojmova, koji su neophodni za bilo koju vrstu statističke analize.

3.1.1. Varijable i mjerne skale

Da bismo razumjeli statističku analizu, ključno je da upoznati se s raznim tipovima podataka. Ovaj dio poglavlja fokusira se na klasifikaciju i razumijevanje različitih vrsta podataka, što je temeljni korak u svakoj statističkoj analizi. Sposobnost prepoznavanja i pravilnog tretiranja različitih tipova podataka omogućuje istraživačima da odaberu odgovarajuće statističke metode i interpretiraju rezultate na valjan način. Same varijable u statistici možemo podijeliti u dvije kategorije: kvalitativne i kvantitativne. Kvalitativne varijable, poput spola ili boje očiju, pružaju informacije koje su opisne prirode. S druge strane, kvantitativne varijable, kao što su visina i težina, izražavaju se kroz numeričke vrijednosti i prenose kvantitativne informacije. Njih također možemo podijeliti na kontinuirane i driskretne varijable.

Prema Dumičić i sur. [4], mjerne skale ili ljestvice omogućavaju nam razvrstavanje i kvantifikaciju različitih oblika statističkog obilježja, odnosno varijable. Postoje četiri osnovne vrste mjernih skala:

1. **Nominalna skala:** Koristi se za kategorizaciju podataka koji nemaju prirodni redoslijed. Primjeri uključuju kategorije kao što su nacionalnost ili vrsta zanimanja. Na ovoj skali, brojevi se često koriste kao kodovi ili oznake, ali ne predstavljaju numeričku vrijednost. U nominalnoj skali razlikujemo binarne (dihotomne) varijable te multinomne varijable. Dihotomne varijable su one koje mogu imati samo dvije vri-

jednosti (npr. živi-umrli, oženjeni-neoženjeni, ima djece-nema djece). Multinomne varijable imaju tri ili više mogućih vrijednosti. [5]

2. **Redoslijedna (ordinalna) skala:** Ordinalna skala rangira kvalitativne varijable, poput redoslijeda dovršavanja zadaće kod studenata, plasmana sportaša na natjecanjima, preferencija hrane kod odraslih, ocjena učinkovitosti usluge, standardiziranih rezultata testova (npr. postotni rangovi koje koriste pri upisima na fakultete), vojnih i socioekonomskih statusa te rangiranja anketa. Za razliku od nominalnih ljestvica, brojevi na ordinalnoj ljestvici daju smislen redoslijed rangiranim objektima na temelju njihovih atributa ili ocjena. Pravilno rangiranje na ordinalnim ljestvicama ključno je za točnu interpretaciju podataka. Na primjer, na ljestvici od 10 bodova, viši rangovi mogu ukazivati na pozitivnije percepcije ili preferencije, ali značenje ranga (npr. 1 kao najpozitivnije ili prvi izbor) ovisi o kontekstu i utječe na konstrukciju ljestvice. [6, str. 42]
3. **Intervalna skala** razlikuje od drugih mjernih skala po tome što osigurava jednolike udaljenosti između točaka na skali. Na primjer, temperatura u stupnjevima Fahrenheitia funkcionira na takvoj intervalnoj skali, gdje razlika od 20°F između 10°F i 30°F odražava identičnu razliku uočenu između 40°F i 60°F. Za razliku od skala s apsolutnom ili istinskom nultom točkom, koja označava potpuni nedostatak mjenog svojstva, intervalne skale imaju proizvoljnu nultu točku. To znači da pri 0°F ne postoji odsustvo temperature; to je jednostavno točka za jedan stupanj toplija od -1°F i hladnija od 1°F. Zbog nedostatka prave nule, usporedbe omjera ili proporcija, poput izjave "90°F je dvostruko toplije od 45°F", netočne su jer pretpostavljaju nepostojeću osnovicu mjerenja. [7, str. 8]
4. **Omjerna skala:** Slična je intervalnoj skali, ali s dodatnom karakteristikom apsolutne nulte točke, što znači da 0 predstavlja odsustvo određene vrijednosti (npr. broj uzdržavanih osoba može biti 0). Omjerna skala spada u numeričke varijable koje možemo podijeliti na kontinuirane i diskretne. Diskretne varijable mogu imati konačni broj mogućih vrijednosti (npr. ocjena od 1 do 5 ili rezultat bacanja kockice). Varijabla se smatra kontinuiranom ako može poprimiti beskonačan broj stvarnih vrijednosti unutar određenog intervala. Na primjer, razmotrimo visinu čovjeka. Visina ne može poprimiti bilo koju vrijednost. Ne može biti negativna i ne može biti viša od tri metra. Ali između 0 i 3 metra, broj mogućih vrijednosti je teoretski beskonačan. Učenik može biti visok 1,6321748755... metara. Prijavljena visina bit će zaokružena na najbliži centimetar, dakle, bit će 1,63 metra. [8]

3.1.2. Deskriptivna statistika

Deskriptivna statistika je temelj svake statističke analize i služi kao alat za organiziranje, sažimanje i prikazivanje podataka na jasan i razumljiv način. Ovaj dio poglavlja fokusirat će se na različite metode i tehnike koje se koriste u deskriptivnoj statistici za opisivanje karakteristika skupa podataka. Od temeljnih mjera centralne tendencije, poput srednje vrijednosti, medijana i

moda, do složenijih mjera varijabilnosti i raspodjele, deskriptivna statistika pruža ključne uvide u prirodu i strukturu podataka.

3.1.2.1. Mjere centralne tendencije

Mjera centralne tendencije odnosi se na uobičajena očekivanja unutar uzorka, uključujući njegovu najfrekventniju vrijednost ili prosječnu karakteristiku. Ova mjera nam pomaže razumjeti grupiranje podataka u uzorku oko određene središnje vrijednosti. Neke od najpoznatijih mjera centralne tendencije su aritmetička sredina, mod, medijan te geometrijska i harmonijska sredina. [9, str. 79]

- Aritmetička sredina je mjera centralne tendencije koja predstavlja prosječnu vrijednost distribucije. Izračunava se zbrajanjem svih vrijednosti unutar uzorka ili populacije te dijeljenjem s ukupnim brojem vrijednosti. Sredina se uobičajeno koristi s podacima na intervalnoj ili omjernoj razini. Formula za izračun sredine uzorka je:

$$\bar{X} = \frac{\Sigma X}{n} \quad (3.1)$$

gdje ΣX predstavlja zbroj svih vrijednosti u uzorku, a n je broj subjekata ili objekata u uzorku.

- Mod ili dominantna vrijednost je vrijednost koja se najčešće pojavljuje. Ako su vrijednosti raspoređene u razrede, onda je mod sredina onog razreda s najvećom učestalosti [10]. Distribucije mogu imati više modova. Ako distribucija ima dva moda, nazivamo je bimodalnom. Ako ima više modova, tada je nazivamo multimodalnom. Mod je posebno koristan za kategorijske podatke [11, str. 48].
- Medijan predstavlja srednju vrijednost sortiranog skupa podataka, dijeleći ga na dva jednaka dijela [11, str. 49]. Posebno je koristan u asimetričnim distribucijama jer nije osjetljiv na iznimke.
- Geometrijska sredina (GS) je mjera centralne tendencije koja se često koristi u poslovanju i ekonomiji. Izračunava se kao n -ti korijen iz produkta n vrijednosti unutar distribucije. Formula za izračun geometrijske sredine je:

$$GS = \sqrt[n]{X_1 \cdot X_2 \cdot \dots \cdot X_n} \quad (3.2)$$

Primarno se koristi za prosječne vrijednosti indeksnih brojeva, omjera i postotnih promjena tijekom vremena. Geometrijska sredina manje je pogođena ekstremnim vrijednostima i prikladna je za distribucije koje su geometrijske ili pozitivno asimetrične [12, str.9].

- Harmonijska sredina (HS) predstavlja alternativnu mjeru centralne tendencije. Posebno je korisna za analizu skupova podataka koji uključuju stope ili omjere, posebice kada je poželjno minimizirati utjecaj ekstremnih vrijednosti. Harmonijska sredina izračunava se formulom:

$$HS = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{X_i}} \quad (3.3)$$

gdje:

- n označava broj podataka,
- X_i predstavljaju pojedinačne podatke.

Ova mjera je manje osjetljiva na stršila ekstremne vrijednosti u usporedbi s aritmetičkom i geometrijskom sredinom, što ju čini prikladnom za scenarije gdje su podaci obrnuto povezani s željenom mjerom centralne tendencije, kao što su slučajevi koji uključuju stope ili cijene. Usredotočimo li se na recipročne vrijednosti podataka, harmonijska sredina pruža jedinstvenu perspektivu na skup podataka, čime se ističe njena korisnost u specifičnim analitičkim kontekstima gdje je recipročna veza podataka od primarnog interesa [12, str.10].

3.1.2.2. Mjere varijabilnosti

Varijabilnost se odnosi na rasprostranjenost uzorka, njegov raspon ili distribuciju. Mjera varijabilnosti daje nam ideju o tome kako je uzorak podataka rasprostranjen oko neke vrijednosti. Osnovne mjere varijabilnosti jesu varijanca i standardna devijacija [9, str. 85].

- Raspon predstavlja razmak između najviše i najniže vrijednosti unutar skupa podataka. Na primjer, u skupu podataka 2, 3, 5, 6, 7 i 12, raspon se izračunava kao razlika između najvišeg rezultata, koji je 12, i najnižeg rezultata, koji je 2, čime se dobiva raspon od 10. Neki izvori dodaju jedan na ovaj rezultat, čineći ga 11. Iako se opseg ponekad koristi za opisne svrhe, ima ograničenu relevantnost u inferencijalnoj statistici. Ne uzima u obzir distribuciju vrijednosti između krajnjih točaka. [12, str.10]
- Varijanca i standardna devijacija su ključne mjere varijabilnosti podataka u statistici, koje se široko koriste u opisnim i inferencijalnim analizama. One pružaju vrijedne uvide u to kako se podaci udaljavaju od prosjeka. Varijanca se izračunava kao prosjek kvadriranih razlika između svake točke podataka i prosjeka skupa podataka. U statistici populacije, simbolizirana je kao sigma (σ), dok je u uzorcima predstavljena kao σ^2 . Proces uključuje kvadriranje odstupanja od prosjeka, zbrajanje tih kvadriranih vrijednosti i dijeljenje s ukupnim brojem podataka minus jedan ($n-1$). Važno je napomenuti da je varijanca uvijek nenegativna. Vrijednost nula sugerira da su sve točke podataka identične, dok negativna vrijednost ukazuje na pogreške u izračunu.

S druge strane, standardna devijacija je standardizirana mjera varijabilnosti direktno povezana s varijancom. Izračunava se kao kvadratni korijen varijance. Standardna devijacija je predstavljena sigma (σ) za populacije i 's' za uzorke i pruža informacije o opsegu odstupanja podataka od prosjeka u istim jedinicama kao i

originalni podaci. Standardna devijacija je posebno korisna za razumijevanje kako se podaci raspršuju oko prosjeka i identificiranje izuzetaka ili ekstremnih vrijednosti koje utječu na ukupnu distribuciju.

Važno je napomenuti da standardna devijacija uzorka (s) pruža nepristrasnu procjenu populacijske standardne devijacije (σ) kada se koristi u inferencijalnim statističkim testovima. Kako se veličina uzorka povećava, razlika između vrijednosti uzorka i standardne devijacije smanjuje se, što ukazuje na približavanje stvarnim vrijednostima populacije. U praktičnim primjenama, i varijanca i standardna devijacija su ključne za sažimanje varijabilnosti podataka, što pomaže istraživačima da donose informirane odluke na temelju raspršenosti podataka i njihove distribucije. [12, str.11-12]

- Kvantili se odnose na statističku mjeru koja se koristi za podjelu distribucije na jednako razmaknute postotne intervale. Primjeri kvantila uključuju percentile, kvartile i decile. Percentili dijele distribuciju na segmente, a svaki predstavlja jedan postotni bod (ili proporciju ekvivalentnu 0,01 distribucije). Vrijednost određenog postotka pokazuje položaj u distribuciji gdje je određeni postotak rezultata na ili ispod te vrijednosti.

Primjerice, ako IQ koeficijent od 115 pada unutar 84. percentila, to znači da je 84% populacije postiglo IQ koeficijent od 115 ili niži. Također, termin "postotni rang" često se koristi kao sinonim za "postotak", pa se može reći da IQ rezultat od 115 ima postotni rang od 84%.

Decili se koriste za podjelu distribucije na segmente, gdje svaki obuhvaća deset postotnih bodova. To znači da se distribucija može podijeliti na deset decila, s njihovim gornjim granicama definiranim 10., 20., 30., i tako dalje do 90. percentila, a zatim do 100. percentila. Dakle, rezultat koji odgovara 10. percentilu označava gornju granicu prvog decila, dok rezultat usklađen s 20. percentilom označava gornju granicu drugog decila, i tako dalje. Razmak između rezultata na 10. i 90. percentilu naziva se interdecilni razmak.

Kvartili, s druge strane, dijele distribuciju na blokove koji predstavljaju 25 postotnih bodova. To rezultira s četiri kvartila, definirana 25. percentilom, 50. percentilom (poznatim i kao medijan), 75. percentilom, i 100. percentilom. Dakle, rezultat koji odgovara 25. percentilu definira gornju granicu prvog kvartila, dok rezultat koji odgovara 50. percentilu definira gornju granicu drugog kvartila, i tako dalje. Razlika između rezultata na 75. i 25. percentilu naziva se interkvartilni razmak. [12, str.11]

- Koeficijent varijacije je alternativna mjera varijabilnosti koja se rijetko koristi, ali može biti korisna u određenim kontekstima. Predstavljen je CV notacijom i izračunava se dijeljenjem standardne devijacije (ili varijance) s prosjekom distribucije. Ova mjera omogućava usporedbu varijabilnosti među distribucijama koje imaju različite prosjeke ili koriste različite jedinice mjerenja. Izražavanjem varijabilnosti u odnosu na veličinu prosjeka, koeficijent varijacije daje standardiziranu mjeru koja olakšava usporedbe između skupova podataka s različitim skalama.

Jedna od ključnih prednosti koeficijenta varijacije je njegova sposobnost procjene varijabilnosti varijable nezavisno o njenoj jedinici mjerenja ili skali, što ga čini posebno korisnim pri usporedbi stupnja varijabilnosti u različitim skupovima podataka koji mogu imati različite prosjeke ili jedinice mjerenja.

Važno je napomenuti da je koeficijent varijacije zapravo omjer, a veći izračunati broj ukazuje na veći stupanj varijabilnosti u varijabli koja se mjeri. U nekim slučajevima, izračunati broj koeficijenta varijacije se množi sa 100 kako bi se izrazio kao postotak, što olakšava tumačenje varijabilnosti u odnosu na prosječnu vrijednost. Za razliku od standardne devijacije i varijance, numerička vrijednost koeficijenta varijacije nije u istim jedinicama kao i varijabla koja se mjeri.

Ako su poznate vrijednosti populacijske standardne devijacije i prosjeka, one se mogu koristiti umjesto uzoraka standardne devijacije i prosjeka u izračunu koeficijenta varijacije. Ova mjera pruža standardizirani način za usporedbu varijabilnosti između različitih skupova podataka, čineći ga vrijednim alatom u statističkoj analizi i tumačenju podataka. [12, str.15-16]

3.1.3. Inferencijalna statistika

Inferencijalna statistika je grana statistike koja se bavi izvođenjem zaključaka ili predviđanjem o populaciji na temelju analize uzorka. Ova disciplina omogućava istraživačima da donesu zaključke i stvore prognoze o populaciji na osnovu proučavanja reprezentativnog uzorka. Njezin značaj u istraživanju ogleda se u sposobnosti istraživača da generaliziraju nalaze dobivene na uzorku na cijelu populaciju, čime se pružaju uvidi i prognoze koje mogu biti od koristi pri donošenju odluka. Inferencijalna statistika ima za cilj izvlačenje zaključaka o većoj skupini (populaciji) na temelju promatranja manjeg podskupa (uzorka). Populacija u statistici definira se kao kompletni skup mogućih promatranja, dok uzorak označava manju grupu stvarnih promatranja izdvojenih iz populacije. [11]

3.1.3.1. Testiranje hipoteza

Testiranje hipoteza je statistički proces koji se koristi za procjenu valjanosti pretpostavki o parametru ili distribuciji osnovne populacije, na temelju analize uzoraka. Sheskin [12, str. 57] razlikuje dvije vrste testiranja hipoteza: istraživačku i statističku. Primjer istraživačke hipoteze je: Plaća svih programera u Hrvatskoj veća je od 1000 eura. Statistička hipoteza sastoji se od dva ključna koncepta: nulta hipoteza, koja predstavlja početnu pretpostavku o parametru koji se ispituje, i alternativna hipoteza, koja predstavlja suprotnu tvrdnju. Proces donošenja odluka o prihvatanju ili odbacivanju nulte hipoteze uključuje mogućnost dvije vrste statističkih grešaka. Greška prve vrste, ili greška tipa I, događa se kada istinita nulta hipoteza biva neopravdano odbijena. S druge strane, greška druge vrste, ili greška tipa II, javlja se kada se lažna nulte hipoteze neopravdano prihvati. Grafički prikaz dan je u tablici 1.

| Odluka | Nulta hipoteza je | |
|-------------------------|-------------------|------------------|
| | istinita | lažna |
| Prihvati nultu hipotezu | odluka ispravna | pogreška tipa II |
| Odbaciti nultu hipotezu | pogreška tipa I | odluka ispravna |

Tablica 1: Rezultati testiranja hipoteza (samostalna izrada prema [12])

U tablici 1 prikazani su ishodi odluka temeljem istinitosti nulte hipoteze. Proces odlučivanja temelji se na distribuciji vjerojatnosti za statističku test veličinu koja se izračunava iz uzorka. Vjerojatnost ostajanja kod neispravne nulte hipoteze označena je s b , a vjerojatnost komplementarnog događaja te vjerojatnosti, $(1 - b)$, određuje se kao snaga testa, tj. sposobnost testa da odbaci neispravnu nultu hipotezu. a označava vjerojatnost odbacivanja istinite nulte hipoteze, a što još možemo nazvati razinom značajnosti ili razinom signifikantnosti. Parametri a i b određuju se unaprijed, a njihov odnos odražava težinu koju pridajemo svakoj vrsti greške u kontekstu specifičnog istraživanja [13].

Gibbons [14, str. 21] navodi da je snaga testa ovisna o sljedeće 4 varijable:

1. Mjeri netočnosti H_0 , odnosno razlika između tvrdnji iznesenih u H_0 i H_1 .
2. Razini signifikantnosti testa α .
3. Broju promatranih slučajnih varijabli koje sudjeluju u statističkoj provjeri, što obično odgovara veličini uzorka.
4. Kritičnom području ili području odbacivanja R .

Prema Witteu i Witteu [11, str.192], ovo su 4 koraka u testiranju hipoteza:

1. Riječima postaviti istraživačko pitanje
2. Identificirati statističku hipotezu, odnosno postaviti nultu i alternativnu hipotezu
3. Precizirati pravilo odluke, odnosno postaviti granicu nakon koje se može odbiti nultu hipotezu
4. Izračunati z vrijednost
5. Napraviti odluku
6. Interpretirati rješenje

U ovome će se radu zapravo koraci 4 i 5 spojiti u jedan jer nam to omogućuju statistički softveri koji će se koristiti, a koji će odmah prikazati p-vrijednost.

3.2. Normalnost distribucije

Opić [15] navodi da je provjera normalnosti distribucije jedan od najvažnijih preuvjeta za odabir pristupa obrade podataka u kvantitativnom i kvalitativnom istraživanju na određenom uzorku. Procjena normalnosti je od iznimne važnosti, s obzirom da odstupanja od normalne raspodjele mogu značajno potkopati pouzdanost statističkih testova i analiza. Odnosno, razne statističke metode statističke analize poput regresije, analize varijance ili t-testa imaju neke pretpostavke o distribuciji. Prema centralnom graničnom teoremu, ako je veličina uzorka veća od 100, pogrešna pretpostavka o distribuciji ne predstavlja veliki problem. Međutim, za ispravnost rezultata i donošenje smislenih zaključaka, pretpostavka o normalnosti trebala bi se uvijek uzeti u obzir, bez obzira na veličinu uzorka. Ako kontinuirani podaci prate normalnu distribuciju, za analizu takvih podataka možemo se osloniti na aritmetičku sredinu pri analizi. U tom slučaju, aritmetička sredina se koristi kako bi se usporedile grupe i izračunao nivo signifikantosti ili p-vrijednost. S druge strane, ako podaci nisu normalno distribuirani, tada nam sama aritmetička sredina ne znači puno i nije dobar odabir za bilo kakvu statističku analizu. Zato je najbolje prije bilo kakve analize napraviti test normalnosti distribucije, a zatim odlučujemo je li aritmetička sredina primjenjiva za analizu. Ako jest, tada je koristimo za analizu parametarskim testovima. U protivnom, koristimo medijane i neparametarske testove. [15]

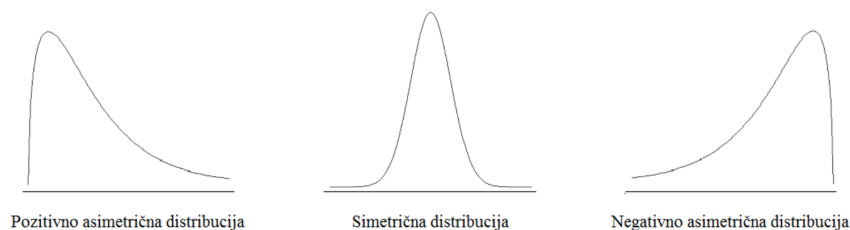
Pretpostavke o normalnoj distribuciji su temeljne za razumijevanje statističkih podataka. Petz (kao što se citira u [15]) navodi sljedeće pretpostavke o normalnoj distribuciji. Prva je da se vjeruje da su podaci koji se prikupljaju u različitim istraživanjima često distribuirani na način koji odgovara normalnoj distribuciji. Ovo je ključno za interpretaciju i analizu u statističkim istraživanjima. Nadalje, ističe se važnost uzimanja dovoljno velikog broja mjerenja kako bi se osigurala pouzdanost statističkih zaključaka. Također, sva mjerenja moraju biti provedena koristeći istu metodu i pod sličnim uvjetima kako bi se osigurala njihova usporedivost. Konačno, uzorak mjerenja mora biti homogen u odnosu na ispitivane karakteristike, dok razlike unutar uzorka mogu biti ključne za razumijevanje šire slike.

Normalna distribucija posjeduje svoje karakteristike. Jedan od njih je mjesto infleksije. Mjesto infleksije predstavlja mjesto gdje je nagib krivulje najstrmiji. Posljedica infleksije je spljštenost (engl. *kurtosis*).

Uz spljošetnost, karakteristika normalne distribucije jest i njena simetričnost odnosno asimetrija (engl. *skewness*). Asimetrija predstavlja mjeru stupnja asimetrije raspodjele. Asimetrija distribucije je nagnutost distribucije na desnu ili lijevu stranu, pa je logično da uz simetričnu postoji desna (pozitivna - mjere asimetričnosti su veće od 0) i lijeva (negativna - mjere asimetričnosti su manje od 0) distribucija. Dok nema asimetrijai, mjera asimetrijai iznosi 0 [15].

Prema jačini, razlikujemo jake (velike) i slabe (male) asimetrije. Neke od najvažnijih mjera asimetrije jesu koeficijent asimetrije, Pearsanova mjera asimetrije i Bowleyjeva mjera asimetrije. [16]

Prikaz asimetrije dan je na slici 1.



Slika 1: Asimetrija distribucije podataka [16]

Osim normalne distribucije, postoje i ostale distribucije. Njih možemo podijeliti na distribucije diskontinuiranih varijabli i distribucije kontinuiranih varijabli. Primjeri diskontinuiranih distribucija su binomna i Poissonova. Primjer distribucije kontinuiranih varijabli su dakako normalna distribucija, eksponencijalna distribucija i uniformna distribucija.

Kada govorimo o testiranju normalnosti podataka, postoje dvije metode procjene normalnosti: grafička i numerička. Numeričke, odnosno metode statističkim testovima imaju prednost u tome što omogućuju objektivnu procjenu normale, ali imaju nedostatak što ponekad nisu dovoljno osjetljive na male uzorke ili su preosjetljive na velike uzorke. Statistička ili numerička testiranja normalnosti mogu se provesti različitim testovima, od kojih su najpoznatiji Kolmogorov-Smironovljev test, Shapiro-Wilkinsonov test i Anderson-Darlingov test. Grafička interpretacija ima prednost u tome što omogućava dobru prosudbu o normalnosti u situacijama kada bi numerički testovi mogli biti preosjetljivi ili preslabo osjetljivi. Treba naglasiti da procjena normale pomoću grafičkih metoda zahtijeva veliku dozu iskustva kako bi se izbjegle pogrešne interpretacije. [17]

U tablici 2 dana je usporedba različitih grafičkih testova normalnosti.

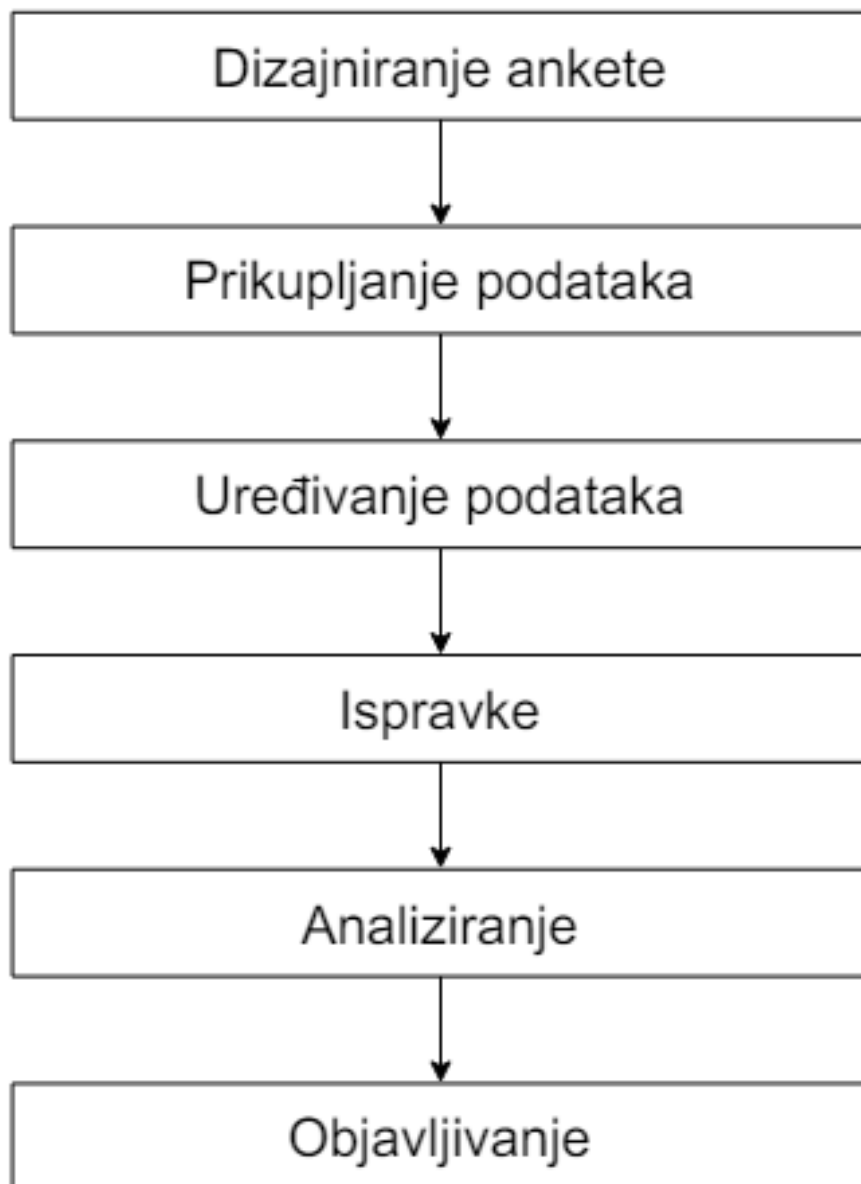
| Grafikoni | Svrha | Prednost | Uvjet normalnosti |
|---|---|---|---|
| Kvartil-kvartil (QQ) dijagram | Usporediti kvartile podataka s kvartilima normalne distribucijske linije. | Povećava odstupanja od repa. Pogodno za veliki uzorak. | Očekivana vrijednost trebala bi pasti na očekivanu liniju normalne distribucije. |
| Vjerojatnost-vjerojatnost (PP) dijagram | Usporediti kumulativnu vjerojatnost varijable s kumulativno normalno distribuiranom vjerojatnošću. | Identificira stršila, asimetriju i spljoštenost. Povećava odstupanje od središnje distribucije. Pogodno za mali uzorak. | Očekivana vrijednost trebala bi pasti na očekivanu liniju normalne distribucije. |
| Dijagram s pravokutnicima (engl. <i>Boxplot</i>) | Testirati prisutnost simetrije u podacima. | Identificira simetriju, rasipanje i stršila. Fokusira se samo na medijan i međukvartilni raspon. | Pravokutnik međukvartilnog raspona bit će simetričan s prosjekom i medijanom u sredini. |
| Detrendirani vjerojatnosni dijagram | Analizirati odstupanje varijabilnih podataka od očekivanih normalno distribuiranih podataka. | Pogodno za veliki uzorak. | Vrijednosti bi se trebale grupirati horizontalno blizu nulte vrijednosti. |
| Histogram | Provjeriti formaciju zvonolikog oblika preko frekvencijske distribucije promatranih vrijednosti. | Jednostavan postupak i bolje vizualno predstavljanje. Identificira praznine i stršila. Priказuje prisutnost asimetrije i simetrije u podacima. | Frekvencijska distribucija trebala bi biti u obliku zvona. |
| Stablo-list dijagram (engl. <i>Stem-and-leaf plot</i>) | Originalno prikazivanje podataka za provjeru prisutnosti zvonolikog oblika u frekvencijskoj distribuciji. | Predstavlja stvarne vrijednosti podataka. Identificira stršila, praznine, simetriju, asimetriju, prosjek, najvišu vrijednost, najnižu vrijednost i medijan. | Frekvencija formira zvonoliku krivulju. |

Tablica 2: Metode grafičkog testiranja normalnosti (samostalna izrada prema [18])

3.3. Anketni upitnici i istraživanja

Anketni upitnik ili anketa je metoda prikupljanja podataka koja se koristi za prikupljanje informacija od populacije postavljanjem pitanja i bilježenjem odgovora. To je važan alat u znanstvenom istraživanju i koristi se u različitim područjima kao što su medicina, psihologija i obrazovanje. Ankete mogu biti samoprovodene ili provodene od strane ispitivača, i mogu biti dizajnirane kako bi ciljale specifične populacije ili prikupile podatke od slučajnog uzorka populacije [19]. Dizajn i provođenje anketa zahtijeva rigorozno planiranje i razmatranje različitih faktora kao što su metode uzorkovanja, razvoj upitnika i analiza podataka [20]. U kontekstu statističke analize, ankete pružaju sredstvo za dobivanje podataka za kvantitativnu analizu, a metodologija za analiziranje podataka ankete je kritičan aspekt istraživanja anketa [21].

Na slici 2 prikazani su koraci provođenja ankete.



Slika 2: Koraci provođenja ankete (samostalna izrada prema [22, str. 2])

Odabir okvira uzorkovanja je bitan aspekt uzorkovanja ankete, jer čini osnovu za dobivanje reprezentativnog uzorka populacije [23].

U analizi podataka anketa, razne statističke tehnike mogu se koristiti za interpretaciju prikupljenih informacija i izvlačenje smislenih zaključaka. Distribucije frekvencija i križne tabulacije često se koriste za uspostavljanje procjena prevalencije i opisivanje karakteristika anketirane populacije [24]. Nadalje, meta-analiza podataka anketa može se provesti kako bi se dobila jedinstvena sažeta procjena iz kombinacije individualnih i sažetih podataka, čime se pruža sveobuhvatan pregled rezultata iz više anketa [21].

Osim toga, kvaliteta podataka ankete i potencijal za pristranost zbog neodaziva su važni razmatranja u istraživanju anketa. Metodologije za poboljšanje stopa odaziva, kao što su pristupi temeljeni na poticajima i dizajnu, istraženi su kako bi se riješili ovi izazovi i poboljšala pouzdanost rezultata anketa [25]. Dodatno, upotreba analiza povezivanja identificirana je kao veliki napredak u istraživanju anketa, čime se omogućuje ispitivanje statističke veze između stavova zaposlenika i organizacijskih ishoda [26].

Zaključno, ankete su vrijedan alat za prikupljanje podataka u znanstvenim istraživanjima, a njihov dizajn, provođenje i statistička analiza su ključne komponente procesa istraživanja anketa. Slijedeći sustavne metodologije i primjenjujući odgovarajuće statističke tehnike, ankete mogu pružiti vrijedne uvide u različite fenomene u različitim domenama istraživanja.

3.3.1. Zavisni i nezavisni uzorci

Zavisne i nezavisne uzorke također možemo nazivati i parnim te neparnim uzorcima.

U statističkoj analizi, odabir između nezavisnih i zavisnih uzoraka je ključno važan za strukturu i uspjeh istraživačkih projekata. Ovaj izbor utječe na brojne faktore, poput potrebnog broja sudionika, metoda analize i ukupnih troškova istraživanja. Razumijevanje razlika između nezavisnih i zavisnih uzoraka omogućuje istraživačima da poboljšaju svoje eksperimentalne pristupe, što čini rezultate preciznijim i pouzdanijim. [27]

Nezavisni uzorci sastoje se od skupina u kojima sudionici ne utječu jedni na druge, dok su zavisni uzorci karakterizirani skupinama u kojima su rezultati sudionika međusobno povezani. Nezavisni uzorci se često koriste u istraživanjima koje uspoređuju odvojene grupe, na primjer, usporedba grupe koja prima novi lijek s kontrolnom grupom koja ne prima lijek. S druge strane, zavisni uzorci se biraju za istraživanja koje procjenjuju iste sudionike pod različitim uvjetima, kao što je mjerenje učinaka prije i poslije specifične intervencije unutar iste grupe. Razumijevanje ovih razlika je ključno za odabir pravih statističkih analitičkih tehnika i pravilno tumačenje rezultata istraživanja. [27]

Nezavisni uzorci imaju prednost što se sudionici procjenjuju samo jednom, čime se izbjegavaju komplikacije povezane s redoslijedom sudjelovanja ili individualnim razlikama. S druge strane, zavisni uzorci imaju prednost usporedbe sudionika sa samima sobom, što može smanjiti varijabilnost i može omogućiti manje grupe sudionika. Iako nezavisni uzorci mogu zahtijevati više sudionika da bi se nadomjestile razlike među pojedincima, zavisni uzorci mogu poboljšati statistički značaj istraživanja. [27]

"Pri odabiru između nezavisnih i zavisnih uzoraka, istraživači trebaju uzeti u obzir svrhu istraživanja, ciljeve i praktičnost prikupljanja sudionika. Procjenjujući snage i slabosti svakog tipa uzorka, istraživači mogu dizajnirati svoja istraživanja učinkovitije, poboljšavajući valjanost i pouzdanost svojih rezultata." [27]

Ukratko, odabir između nezavisnih i zavisnih uzoraka je temeljna odluka u statističkoj analizi koja značajno utječe na kvalitetu i točnost istraživačkih nalaza. Razumijevanje karakteristika, prednosti i nedostataka svakog tipa uzorka omogućuje istraživačima da donesu odluke koje poboljšavaju integritet i utjecaj njihovih ispitivanja. Također, usklađivanje odabira uzorka s ciljevima istraživanja je ključno za ukupni uspjeh eksperimenta. [27]

3.3.2. Pregled i kratka deskriptivna analiza odabranog anketnog upitnika

Kao anketni upitnik nad kojim će biti analizirani podaci korištenjem neparametarskih metoda, odabran je godišnji anketni upitnik platforme Stack Overflow za 2023. godinu. Stack Overflow je web stranica koja služi kao pomoć programerima, a na kojoj isti mogu postavljati pitanja i davati odgovore. Anketa je provedena na uzorku od 89.184 programera iz 185 različitih zemalja. Istraživanje je trajalo od 8. do 19. svibnja 2023. godine. Uzorak od 89.184 programera iz 185 različitih zemalja predstavlja izuzetno veliku raznolikost skupinu sudionika. Ova raznolikost omogućuje dublju analizu stavova, preferencija i iskustava programera diljem svijeta. Rezultati ovog istraživanja mogu pružiti korisne uvide u globalnu programersku zajednicu i trendove u IT industriji. [1]

Kao što je napomenuto u samom uvodu, za zavisne testove koristit će se i skupovi podataka iz iste ankete koje su provedene u 2022. i 2021. godini. Za potrebe ovog dijela rada, fokus je na anketi iz 2023. jer je na toj anketi obrađeno najviše testova.

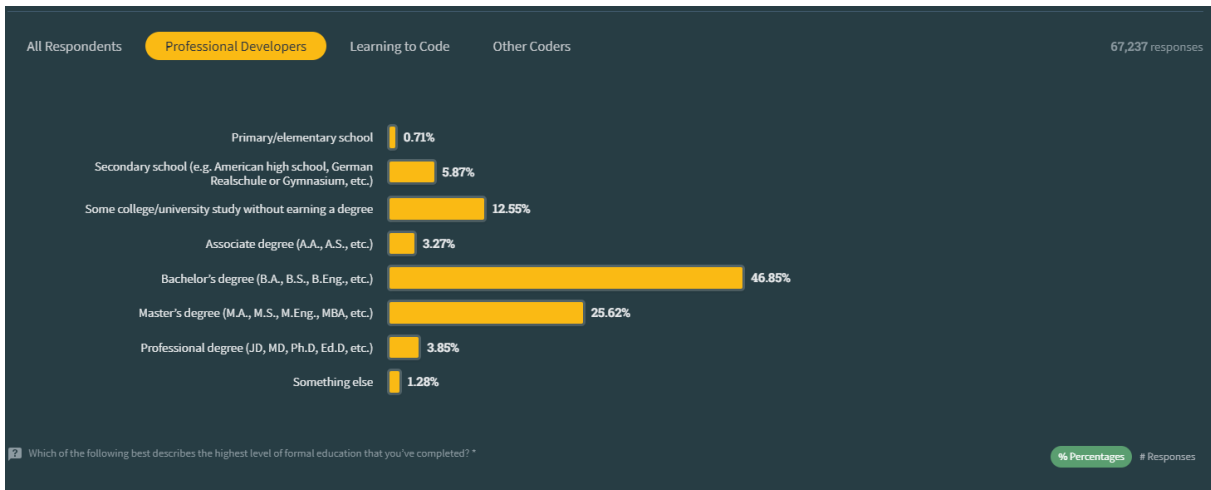
Sami rezultati podijeljeni su u 6 grupa: *Developer Profile*, *Technology*, *AI*, *Work*, *Community* i *Professional Developers*. Svaka od grupa ima svoje podgrupe. Ovdje će se prikazati obrađeni i analizirani rezultati tri nasumična pitanja, jer bi kompletna analiza cijelog anketnog upitnika mogla biti zasebni diplomski rad.

Prvo pitanje koje ćemo pregledati je pitanje o razini obrazovanja. Na ovo pitanje bio je moguć samo jedan odgovor, a mogući odgovori su:

- Primary/elementary school (osnovna škola)
- Secondary school (srednja škola)
- Some college/university study without earning a degree (fakultet bez diplome)
- Associate degree
- Bachelor's degree (provstupnik)
- Master's degree (magistar)
- Professional degree (doktor znanosti)

- Nešto drugo

Uzeli smo analizu samo za profesionalne programere, ojih je u ovom slučaju 67.237, a rezultati su prikazani na slici



Slika 3: Rezultati analize razine obrazovanja ispitanika [1]

Iz rezultata sa slike vidimo da najviše profesionalnih programera ima prvostupničku razinu obrazovanja sa 46,85%. Slijede magistri sa 25,62%. Iznad 10% prošli su još i profesionalni programeri koji jesu krenuli na fakultet, ali ga nisu završili. Najmanje zastupljena razina obrazovanja kod profesionalnih programera je samo završena osnovna škola s 0,71% zastupljenosti.

Slijedeći dijagram koji ćemo prikazati je dijagram točaka koji prikazuje odnos plaće programera i godina iskustva temeljen na vrsti posla koju ispitanici obavljaju.



Slika 4: Dijagram točaka odnosa iskustva i plaće [1]

Na slici 4 vidimo dijagram točaka. Na x osi prikazane su prosječne godine iskustva za određenu vrstu posla koje su u rasponu od 7 do 17 godina. Na Y osi nalaze se medijani plaća programera u američkim dolarima po vrsti posla. Na Y osi, raspon ide od 50,000 do 130,000. Točke su označene različitim bojama, a različite boje predstavljaju broj ispitanika koji pripada određenoj vrsti. Svijetlo plava boja označava najrjeđu vrstu posla, dok tamno crvena označava najčešću vrstu posla. Najmanje ispitanika pripada grupi *Marketing*, njih 40. Najviše ih je u vrsti *Full-stack*, njih 16,996 što se na samom grafu nažalost ne vidi jer se taman preklapa s drugom vrstom posla. Skala raspona ispitanika po grupi nalazi se s desne strane grafa. Sa samog grafa možemo zaključiti kako najveće plaće imaju *Senior Executive* pozicije. U ove pozicije spadaju tzv. *C-Suite* pozicije, odnosno CEO, CTO ili COO. Druge najveće plaće imaju *Engineering manageri*. Također, s grafa možemo zaključiti kako se odnos plaća i godina iskustva, gotovo u pravilu povećavaju.

3.4. Pregled statističkih alata i softvera

U današnjem digitalnom dobu, uloga statističkih alata i softvera u analizi podataka postaje sve važnija. U kontekstu neparametarskih statističkih metoda, pravilna upotreba ovih alata ne samo da povećava efikasnost i brzinu obrade podataka, već i osigurava točnost i valjanost rezultata istraživanja. Odabir odgovarajućeg softvera može imati znatan utjecaj na interpretaciju anketnih podataka, što je posebno ključno u slučajevima gdje tradicionalne parametarske metode nisu prikladne. Ovo potpoglavlje nudi pregled i usporedbu vodećih statističkih softvera gdje su pritom naglašene njihove ključne karakteristike i primjenu u analizi anketa.

3.4.1. Pregled popularnih softvera za statističke analize

Unutar svijeta statističke analize, izbor odgovarajućeg softvera ključan je za uspjeh projekta. Svaki alat ima svoje jedinstvene značajke i specijalizacije, što ga čini više ili manje prikladnim za određene vrste analiza. U ovom dijelu, istražujemo i uspoređujemo nekoliko popularnih statističkih softvera koji su široko korišteni u neparametarskoj statističkoj analizi.

3.4.1.1. R

R je sveobuhvatni statistički softver opće namjene koji se ističe širokim spektrom mogućnosti za analizu podataka. Ovaj program otvorenog koda dostupan je na različitim računalnim platformama. Korisnici mogu preuzeti softver besplatno s CRAN-a, gdje se nalaze potrebne datoteke za preuzimanje i instalaciju, kao i korisni priručnici i FAQ-ovi za pomoć korisnicima. [28]

R se ističe svojom otvorenosti, čime omogućuje pojedincima iz cijelog svijeta da razvijaju i dijele pakete statističkih naredbi i rutina putem CRAN-a. Osnovna verzija R-a sadrži velik broj resursa potrebnih za izvođenje različitih analitičkih metoda. Pored toga, dostupni su i dodatni paketi za naprednije analize, kao što je, na primjer, postupak procjene gustoće. Svaki put kada se koristi naredba iz dodatnog paketa, to se posebno ističe, uz navođenje potrebnog

paketa za izvođenje analize. [28]

R je također i programski jezik, koji korisnicima pruža mogućnost razvoja prilagođenih naredbi za specifične analitičke potrebe, ukoliko postojeće metode ne zadovoljavaju njihove zahtjeve. R isto tako nudi brojne ugrađene funkcije za grafički prikaz, čime omogućava korisnicima stvaranje prilagođenih i detaljnih vizualizacija koje odgovaraju njihovim specifičnim potrebama [28].

3.4.1.2. IBM SPSS

IBM SPSS, široko korišteni statistički softver, primijenjen je u raznim područjima istraživanja za analizu podataka i statističko modeliranje. Pruža sveobuhvatnu platformu za kvantitativnu analizu podataka, a nudi i niz alata za deskriptivnu statistiku, bivarijatnu statistiku i napredne statističke procedure. Istraživači su koristili IBM SPSS za različite primjene, poput medicinskih istraživanja, poslovne analitike i istraživanja u društvenim znanostima.

U području medicinskih istraživanja, IBM SPSS je korišten za procjenu dijagnostičke točnosti, kao što je u evaluaciji akutnog apendicitisa kod djece u hitnim odjelima. Softver je korišten za statističke analize. [29].

Nadalje, u poslovnim i tržišnim istraživanjima, IBM SPSS je bio ključan u provođenju statističkih analiza za određivanje klastera ili grupa, kao što je prikazano u razvoju novog modela za internacionalizaciju firmi. Postupak dvostrukog klasteriranja softvera korišten je za analizu različitih skupova podataka, a što se koristi u napretku istraživanja u poslovnoj administraciji i tržišnoj dinamici [30].

Štoviše, u području društvenih znanosti, IBM SPSS korišten je za preliminarne analize, uključujući usporedbe između grupa na demografskim i kriminalnim karakteristikama. Ova primjena je očita u istraživanjima koje se fokusiraju na učinkovitost programa u smanjenju negativnih emocija i ponašanja u specifičnim populacijama, poput muških zatvorenika. Mogućnosti softvera za provođenje testova t-testova nezavisnih uzoraka ili hi-kvadrat testova bile su vrijedne za analizu i interpretaciju istraživačkih nalaza u kontekstu društvenih i bihevioralnih znanosti.

Zaključno, IBM SPSS se pokazao kao vrijedan alat za istraživače iz raznih disciplina, čime olakšava statističke analize, vizualizaciju podataka i izgradnju modela. Njegova primjena u medicinskim istraživanjima, poslovnoj analitici i istraživanjima u društvenim znanostima naglašava njegovu svestranost i značaj u unapređenju znanja i razumijevanja u različitim poljima.

3.4.1.3. PSPP

Yagnik [31] napominje da se PSPP ističe kao snažan alat za statističku analizu bez troškova, posebno koristan za obrazovne institucije, mala i srednja poduzeća, nevladine organizacije i druge subjekte s ograničenim resursima. Ovaj softver otvorenog koda nudi vjerodostojnu alternativu skupim vlasničkim statističkim paketima poput SAS-a, SPSS-a, Minitaba i State.

Pristupačnost, sučelje slično SPSS-u i širok spektar statističkih funkcionalnosti koji obu-

hvaća sve, od osnovne deskriptivne statistike i inferencijalnih testova do složenih analiza poput procjene pouzdanosti, faktorske analize i logističke regresije, naglašavaju njegovu korisnost. Posebno se ističe njegova kompatibilnost sa SPSS datotekama i intuitivno korisničko sučelje, što dodatno povećava njegovu privlačnost među različitim korisničkim demografijama. Značaj PSPP-a posebno je naglašen u obrazovnom kontekstu, gdje omogućava okruženje usmjereno na učenika, čime omogućava studentima da se izravno angažiraju sa statističkim konceptima, čime se potiče interaktivnije i pozitivnije iskustvo učenja [32].

Osim toga, kontinuirani razvoj PSPP-a obećava nove značajke i poboljšanja, što osigurava njegovu relevantnost i korisnost u olakšavanju informiranog donošenja odluka unutar akademskih i organizacijskih okvira. U suštini, PSPP se ističe kao pristupačan, svestran i neprocjenjiv alat za poučavanje i provođenje statističke analize [31].

PSPP od neparametarskih testova posjeduje Hi-kvadrat test, binomni test, runs test, Kolmogorov-Smirnovljevi test na jednom uzorku. Testove na dva zavisna uzorka, u PSPP-u možemo testirati s Wilcoxonovim, McNemarovim i testom predznaka. Na više zavisnih uzoraka, možemo raditi Friedmanov, Kendallov W i Cochranov Q test. Konačno, za više nezavisnih uzoraka, možemo koristiti Kruskal-Wallisov i medijan test.

3.4.1.4. BlueSky

Muenchen [33] navodi da se BlueSky Statistics ističe svojom pristupačnošću kao alat za statističku analizu, podržan R programskim jezikom. Pohvaljuje se intuitivnim grafičkim korisničkim sučeljem koje se bazira na SPSS softveru, a dizajniran je kako bi olakšao prijelaz korisnika na R. Softver se ističe u generiranju rezultata spremnih za objavu, nudi sveobuhvatne mogućnosti manipulacije podacima i omogućuje stvaranje raznovrsnih grafičkih prikaza, posebice s ggplot2 bibliotekom. Štoviše, integrira podršku za R Markdown i LaTeX, čime se olakšava proces dokumentiranja, te uključuje sofisticirane tehnike uvoza podataka. BlueSky Statistics hvaljen je zbog svoje jednostavnosti u upravljanju skupovima podataka i kontroliranju izlaza, uz svoju svestranost u modeliranju, koja podržava kako ručne tako i automatizirane pristupe.

Za neparametarske testove, BlueSky u mogućnostima ima hi-kvadrat test, Friedmanov test, Kruskal-Wallisov test, te Wilcoxonov test za nezavisne uzorke, jedan uzorak i parove.

3.4.1.5. Statistica

"TIBCO Statistica® je fleksibilni analitički sustav koji omogućuje korisnicima stvaranje analitičkih radnji koje se pakiraju i objavljuju poslovnim korisnicima, istražuju interaktivno i vizualiziraju, stvaraju i implementiraju statističke, prediktivne, rudarske podatke, strojno učenje, prognoze, optimizacije i tekstualne analitičke modele." [34]

Sustav radi na operacijskom sustavu Windows. Nastao je sredinom 1980-ih godina od strane kompanije StatSoft. 2014. licencu na softver kupuje Dell, a od 2017. do danas je u vlasništvu kompanije TIBCO.

3.4.2. Usporedba spomenutih softvera

| Alat | Glavne značajke | Prednosti | Mane | Najpoznatija primjena | Cijena | Subjektivna ocjena podrške zajednice (1-5) |
|---------------------------|---|--|--|--|--|--|
| R | Programski jezik i okruženje za statističko računanje | Besplatan i otvorenog koda | Strma krivulja učenja | Analiza podataka, statistika, istraživanje | Besplatan | 5 |
| IBM SPSS | Napredne statističke analize i upravljanje podacima | Jednostavan za korištenje, bogate mogućnosti analize | Visoka cijena, posebno za manje organizacije | Marketinška istraživanja, sociologija | Plaća se, skuplje licenciranje u komercijalne svrhe | 4 |
| PSPP | Besplatan softver otvorenog koda za analizu podataka | Besplatan i otvorenog koda | Manje napredne funkcije u usporedbi s drugim alatima | Akadska istraživanja, obrazovanje | Besplatan | 3.5 |
| BlueSky Statistics | Grafičko sučelje za statističke analize | Intuitivno sučelje, podrška za razne analize | Manje popularan, manje funkcija | Edukacija, istraživanje | Besplatno za osnovnu verziju, plaćeno za napredne funkcije | 3 |
| Statistica | Napredne statističke i analitičke mogućnosti | Širok spektar analitičkih alata, fleksibilnost | Visoka cijena, može biti složen za nove korisnike | Financijska analiza, znanstveno istraživanje | Plaća se, različite verzije dostupne | 3 |

Slika 5: Usporedba statističkih softvera(samostalna izrada)

4. Općenito o neparametarskim metodama

Tradicionalni statistički testovi, kao što su t-test i analiza varijance, često se koriste u medicinskim istraživanjima i temelje se na specifičnim pretpostavkama o distribuciji populacije ili uzorka. Ove pretpostavke uključuju pretpostavku normalnosti, koja kaže da srednje vrijednosti uzoraka slijede normalnu distribuciju, i pretpostavku jednake varijance, koja pak sugerira da je varijanca uzoraka i njihove odgovarajuće populacije jednaka. Ove procjene su ključne za provođenje parametarskih statističkih evaluacija, koje pretpostavljaju njihovu uspješnost. Međutim, kada ovi preduvjeti nisu ispunjeni - na primjer, kada je distribucija uzoraka asimetrična ili nedefinirana zbog male veličine uzorka - parametarske statističke metode su neučinkovite. U tim je slučajevima neparametarska statistika jedina alternativa. Karakteristike neparametarskih metoda su njihova oslanjanja na predznake i znakove (+ ili -) ili rangiranje podataka umjesto na same vrijednosti podataka. Neparametarske metode naglašavaju relativni redoslijed veličina podataka u odnosu na same vrijednosti podataka. [35]

Neparametarska statistika razlikuje se od parametarske statistike po tome što ima drugačije, manje stroge pretpostavke. Za razliku od parametarskih testova, neparametarski testovi ne pretpostavljaju normalnu distribuciju podataka, što ih čini ih prilagodljivijima za različite vrste podataka, uključujući ordinalne, nominalne, intervalne ili omjerne skale. [35]

Neparametarske metode su odličan izbor za analizu malih skupova podataka ili kada podaci ne zadovoljavaju pretpostavke normalnosti i homogenosti varijanci potrebne za parametarske testove. Iako su ove metode općenito jednostavnije i potencijalno manje snažne od parametarskih tehnika, one nude dobru alternativu, posebno kada se suočavamo s distribucijama koje nisu normalne ili podacima osjetljivim na stršila. Osnovni zahtjev za podatke u neparametarskim testovima je primarno da budu nezavisni i uniformno distribuirani, što omogućuje fleksibilniju primjenu na različite skale podataka. [35]

Pojava naprednih statističkih softvera znatno je pojednostavila izračun točnih p-vrijednosti za neparametarske testove, čime oni postaju lako izvedivi kako za male, tako i za velike uzorke. To se razlikuje od ere prije pojave takvog softvera, kada su ručni proračuni bili zamorni, a samim time i skloni greškama. Kao rezultat, neparametarska statistika pruža učinkovit i praktičan pristup analizi podataka, posebno kada se suočavamo s distribucijama koje nisu normalne ili kada pretpostavke za primjenu parametarskih metoda nisu ispunjene. [6]

Neparametarska statistika pruža značajnu prednost za analizu malih uzoraka, posebno kada su veći uzorci nedostižni. Ona je posebno korisna u istraživanjima s intervalnim podacima i različitim disciplinama gdje varijable mogu biti dihotomne, što utječe i na zavisne i nezavisne varijable. Na primjer, istraživanje u obrazovanju koje ispituje ishode učenja kao prolaz-pad na temelju spola i primanja instrukcija koristi dihotomne varijable. Također, neparametarska metoda je nezamjenjiva za analizu rangiranih ili ordinalnih podataka. Takva rangiranja, korištena na primjer u natjecanjima, odražavaju samo redoslijed završetka bez ukazivanja na točne razlike u vremenima između njih. Čak i kontinuirani podaci mogu se rangirati za analizu u neparametarskim statistikama, što je u suprotnosti s njihovim korištenjem u parametarskim metodama. [35]

Neparametarski testovi su raznoliki, a obuhvaćaju testiranje hipoteza kroz testove koji procjenjuju mjere centralne tendencije (medijan) i intervalne pouzdanosti. Neparametarske metode su prikladne za testiranje hipoteza o podacima centralne tendencije, uzoraka, nezavisnosti, razlika između uzoraka i korelacija kako u velikim tako i u malim uzorcima. [6]

4.1. Prednosti neparametarskih metoda

Hollander, Wolfe i Chicken [36] ističu nekoliko ključnih prednosti korištenja neparametarskih metoda. Prvo, neparametarske metode ne zahtijevaju duboke pretpostavke o podrijetlu podataka, čime se izbjegavaju složene pretpostavke o normalnoj distribuciji. Zatim, ove metode omogućuju precizne izračune p-vrijednosti, intervale povjerenja i stope pogreške u slučaju višestrukih usporedbi, bez potrebe za pretpostavkom normalnih distribucija. Nadalje, njihova jednostavnost čini ih jednostavnijima za primjenu u odnosu na tradicionalne statističke metode. Također, njihova jednostavnost olakšava razumijevanje, čineći ih pristupačnijima istraživačima različitih razina stručnosti. Unatoč prvotnim pretpostavkama, neparametarske metode često zadržavaju svoju učinkovitost u usporedbi s parametarskim metodama, a ponekad čak i nadmašuju parametarske metode u slučaju distribucija koje nisu normalne. Osim toga, ove metode su otporne na izuzetke, što znači da održavaju pouzdanost čak i u prisutnosti neuobičajenih podataka. Konačno, neparametarske metode su izuzetno svestrane i prikladne za različite scenarije, posebno one koji nisu prikladni za primjenu metoda normalne teorije, budući da se fokusiraju na rangiranje podataka umjesto na njihove apsolutne veličine.

Siegel [37, str. 32] navodi još nekoliko prednosti neparametarskih statističkih testova. Prvo, neparametarski testovi osiguravaju precizne p-vrijednosti, posebno kod obimnih uzoraka, nezavisno o obliku distribucije, iako neki zahtijevaju simetriju i kontinuiranu distribuciju. Zatim, u slučaju vrlo malih uzoraka, neparametarski testovi predstavljaju optimalan izbor, osim ako nije poznata distribucija populacije. Nadalje, ovi testovi omogućuju analizu podataka iz više populacija bez potrebe za dodatnim pretpostavkama koje su potrebne za primjenu parametarskih testova. Također, oni su korisni za rangirane podatke ili kada mjerenja reflektiraju redoslijed veličine, gdje parametarski testovi mogu biti nepouzdana bez dodatnih pretpostavki. Uz to, za kategorijalne ili nominalne podatke, neparametarske metode su više prikladne jer parametarski testovi nisu prilagođeni za takve tipove podataka. Konačno, učenje i primjena neparametarskih testova obično su jednostavniji u odnosu na parametarske testove.

4.2. Ograničenja i nedostaci neparametarskih testova

S druge strane, Nahm [35] govori o sljedećim nedostacima neparametarskih metoda:

1. Prave varijacije unutar populacije ostaju neidentificirane zbog nemogućnosti preciznog određivanja funkcije distribucije.
2. Neparametarske metode pružaju manje informacija nego parametarske metode, što čini rješenja izvedenih teže razumljivim.

3. Postoji manje različitih neparametarskih metoda (manje od parametarskih metoda).
4. Potencijalna informacija u podacima nije u potpunosti jasna.
5. Obavljanje računskih operacija za velike uzorke je kompliciranije.

Dodatno, Siegel [37, str. 33] navodi sljedeće nedostatke neparametarskih metoda. Prvi je da ako podaci zaista zadovoljavaju sve kriterije parametarskog statističkog modela i mjerenje je precizno, tada se može reći da neparametarski statistički testovi ne koriste podatke u potpunosti. Drugim riječima, mogu se smatrati neučinkovitim jer informacije promatraju iz široke perspektive. U praksi, ako neparametarski test pokazuje efikasnost od, recimo, 90% , to znači da će u normalnim uvjetima, odgovarajući parametarski test postići istu razinu preciznosti s 10% manjim uzorkom nego što je to potrebno za neparametarsku analizu. Još jedan nedostatak je teškoća pronalaženja korisnih testova i tablica; jer su rašireni po različitim publikacijama i često su vrlo specifični, što otežava pronalaženje stručnjaka.

4.3. Usporedba neparametarskih i parametarskih metoda

Neki izvori prave razliku između parametarskih i neparametarskih testova na temelju činjenice da parametarski testovi pretpostavljaju određene parametre o distribuciji populacije koje se koriste u testiranju. Neparametarski testovi, prema tim izvorima ne prave te pretpostavke. Međutim, valja napomenuti je da ni neparametarski testovi nisu potpuno bez pretpostavki. [12]

Konsenzus među istraživačima je da su parametarski testovi prikladni za analizu podataka intervala ili omjera, osim ako ne postoje kršenja njihovih temeljnih pretpostavki. Kada te pretpostavke nisu ispunjene, preporuča se transformirati podatke za neparametarsko testiranje. Iako parametarski testovi općenito nude veću statističku snagu, ta se prednost smanjuje kada se prekrše pretpostavke. S druge strane, u nekim izvorima, autori se pribojavaju pretvarati intervalne ili omjerne podatke u ordinalne ili kategoričke formate za neparametarsko testiranje zbog mogućeg gubitka informacija. Umjesto toga, ovi izvori radije koriste parametarske testove zbog svoje kompaktnosti i pouzdanosti, čak čak i ako se neke pretpostavke ne ispunjavaju. U takvim slučajevima, test se prilagođava kako bi se povećala njegova pouzdanost. [12]

Ograničenja neparametarskih testova su ta da oni su slabiji (slabije jačine) od korespondirajućih parametarskih testova kad je distribucija podataka normalna. Ako je distribucija podataka normalna, manje su vjerojatnosti da ćemo odbaciti nultu hipotezu kad je ona lažna. Druga limitacija neparametarskih testova odnosi se na činjenicu kako smo često primorani modificirati samu hipotezu. Razlog tome je što se testovi baziraju na medijanu i zbog toga ćemo imati drugačije rezultate kod asimetričnih populacija. [12]

Neparametarske statističke metode korisne su kada parametarski testovi nisu primjenjivi, posebno kada se radi s nominalnim podacima. Neparametarske statističke metode su fleksibilne i dobro funkcioniraju s nominalnim i ordinalnim podacima, a također se mogu primijeniti i na intervalnim i omjernim podacima. Na njih ne utječu ekstremne vrijednosti ili stršila jer koriste rangirane podatke i kao mjeru centralne tendencije koriste medijan. Neparametarski

testovi ne zahtijevaju pretpostavke o distribuciji podataka, što ih čini korisnima za podatke koji nisu normalno raspoređeni ili su pristrani. Neparametarska statistika obično je jednostavnija za ručno izračunavanje. Neparametarski testovi manje su snažni od parametarskih testova, što znači da su skloniji napraviti pogrešku tipa II. Neparametarska statistika općenito se koristi samo kada su podaci previše pristrani za parametarske testove. Svaki parametarski test ima odgovarajuću neparametarsku alternativu. Na primjer, Mann-Whitney U test može se koristiti umjesto t-testa za nezavisne uzorke kada su podaci izrazito asimetrični. [12]

Na kraju, izbor između parametarskih i neparametarskih testova često nije presudano bitan. Obje vrste obično dovode do sličnih zaključaka prilikom analize istih podataka. U slučajevima različitih rezultata, više eksperimenata može pružiti jasnoću u vezi s postavljenom hipotezom. [12]

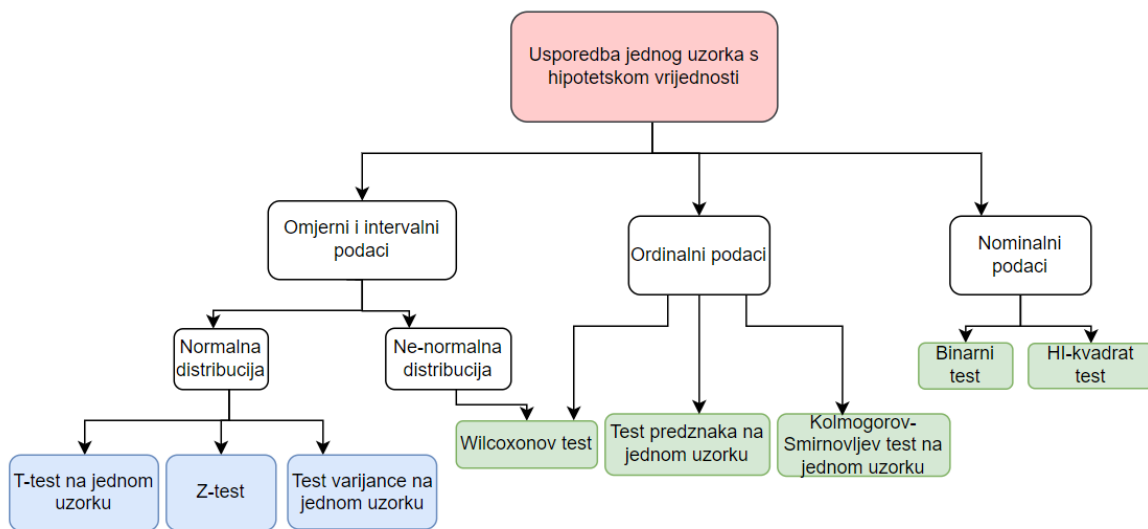
Tablica 3: Parametarski nasuprot neparametarskim testovima s obzirom na veličinu uzorka (samostalna izrada prema [38])

| | Parametarski testovi | Neparametarski test | Treba li koristiti test normalnosti? |
|---------------------------------|---|--|--|
| Veliki uzorci (> 100) | Robustan. P-vrijednost će biti gotovo točna, čak i ako populacija nije blizu normalne distribucije. | Snažan. Ako je distribucija normalna, p-vrijednost će biti gotovo identična onoj koju bismo dobili iz parametarskog testa. S velikim veličinama uzoraka, neparametarski testovi su gotovo jednako snažni kao parametarski testovi. | Korisno. Možemo koristiti test normalnosti kako bismo odredili jesu li podaci uzorkovani iz normalne distribucije. |
| Mali uzorci (< 15) | Nije robustan. Ako distribucija nije normalna, p-vrijednost može biti zavaravajuća. | Nije snažan. Ako distribucija nije normalna, p-vrijednost dobivena iz neparametarskog testa može biti veća nego p-vrijednost dobivena iz parametarskog testa. | Nije previše korisno. Ima malo snage za razlikovanje između normalnih i distribucija koje nisu normalne. |

4.3.1. Kada koristiti koji test?

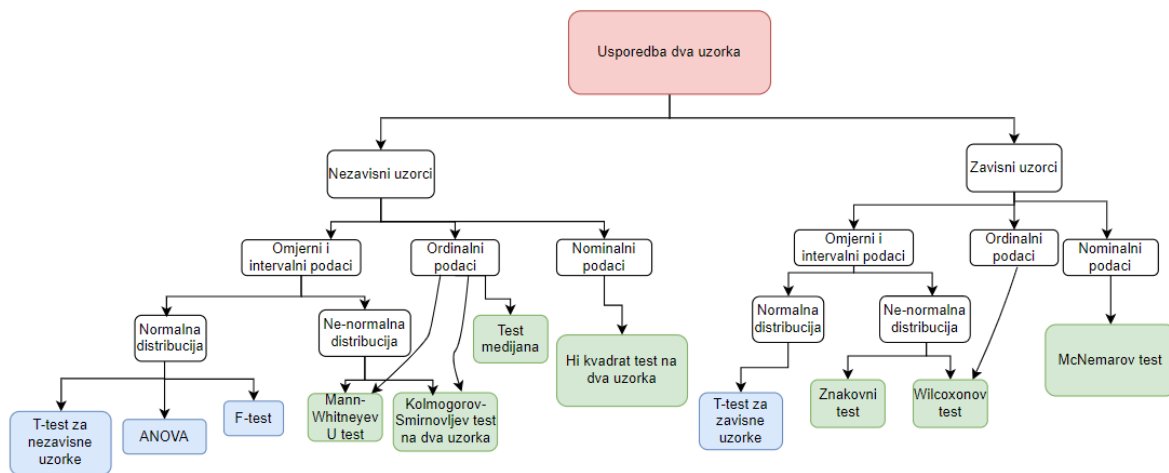
U ovom potpoglavlju analizirat će se koji je statistički test pogodno koristiti u određenim situacijama. Također, pomoću dijagrama će se prikazati nad kojim vrstama podataka je pogodno koristiti koji test. Valja naglasiti kako u dijagramima nisu prikazani svi parametarski kao

ni svi neparametarski testovi. Razlog tome je što postoji jako puno izvedenica i različitih vrsta testova, a u ovim dijagramima, kao i u ovom radu, spominju se samo oni najkorišteniji. Dodatno, detaljnija analiza stavljena je na neparametarske testove, tako da je možda nenamjerno izostavljen i pokoji parametarski test. Iako bi zapravo bilo točnije da se svi dijagrami nalaze u jednom dijagramu, oni su podijeljeni radi bolje preglednosti. Što se samih dijagrama tiče, najprije treba napraviti razliku na tome da statističke testove dijelimo na testove značajnosti razlike (crvena boja) i testove korelacije (žuta boja). Parametarski testovi u dijagramima su označenim plavom bojom, a neparametarski testovi označeni su zelenom bojom. Testove značajnosti dijelimo na one nad kojima se testira jedan uzorak (slika 6), one nad kojima se testiraju dva uzorka (slike 7) te tri ili više uzorka (8). Najprije će se prikazati dijagram toka odabira statističkog testa za jedan uzorak.



Slika 6: Dijagram toka odabira statističkog testa za jedan uzorak (samostalna izrada)

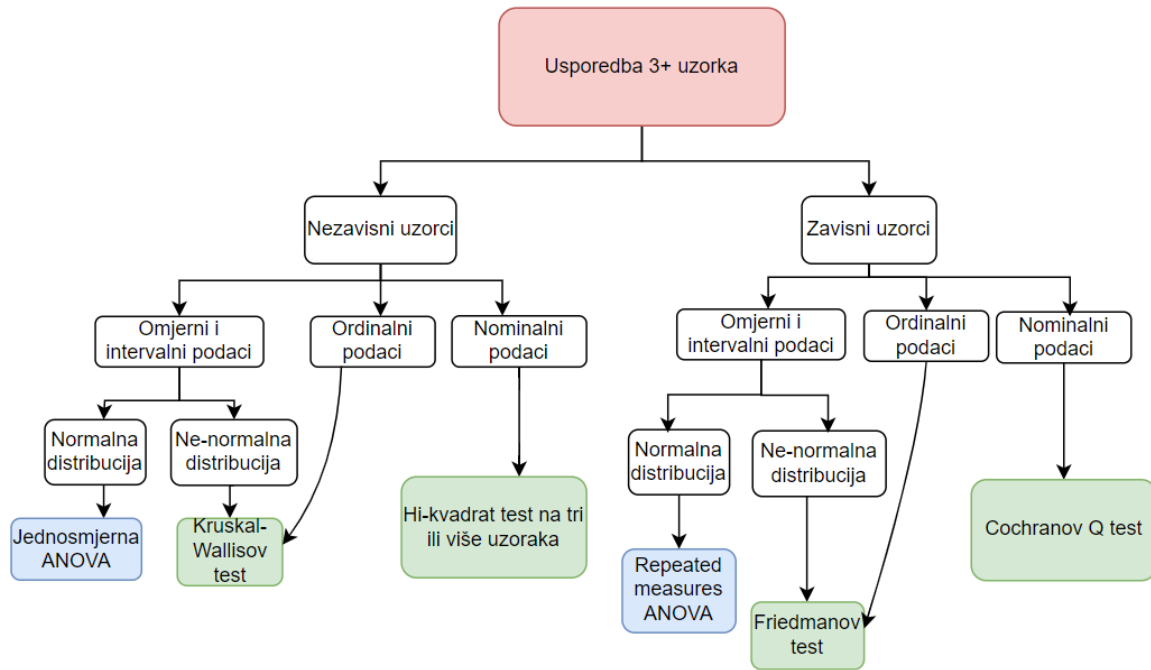
Na slici 6 vidimo dijagram toka odabira statističkog testa za jedan uzorak. Korištenje pojedinog testa generalno je podijeljeno na tip podatka (mjernu skalu) kojeg želimo testirati. Tipovi su podijeljeni u nominalne, ordinalne te omjerne i intervalne podatke koji čine jednu skupinu zbog sličnih karakteristika. Iz dijagrama na slici 6 možemo zaključiti kako se parametarski testovi koriste isključivo za normalno distribuirane omjerne i intervalne podatke. Parametarski testovi koji se koriste za usporedbu jednog uzorka s hipotetskom vrijednosti su t-test na jednom uzorku, z-test i test varijance na jednom uzorku. Ako želimo testirati podatke na omjernoj ili intervalnoj mjernoj, a isti nemaju normalnu distribuciju, tada je najpogodniji Wilcoxonov test na jednom uzorku. Njega možemo koristiti i s ordinalnim podacima, a za ordinalne podatke pogodni su još i neparametarski test predznaka na jednom uzorku te Kolmogorov-Smirnovljev test na jednom uzorku. Za testiranje nominalnih podataka koriste se binomni i hi-kvadrat test.



Slika 7: Dijagram toka odabira statističkog testa za dva uzorka (samostalna izrada)

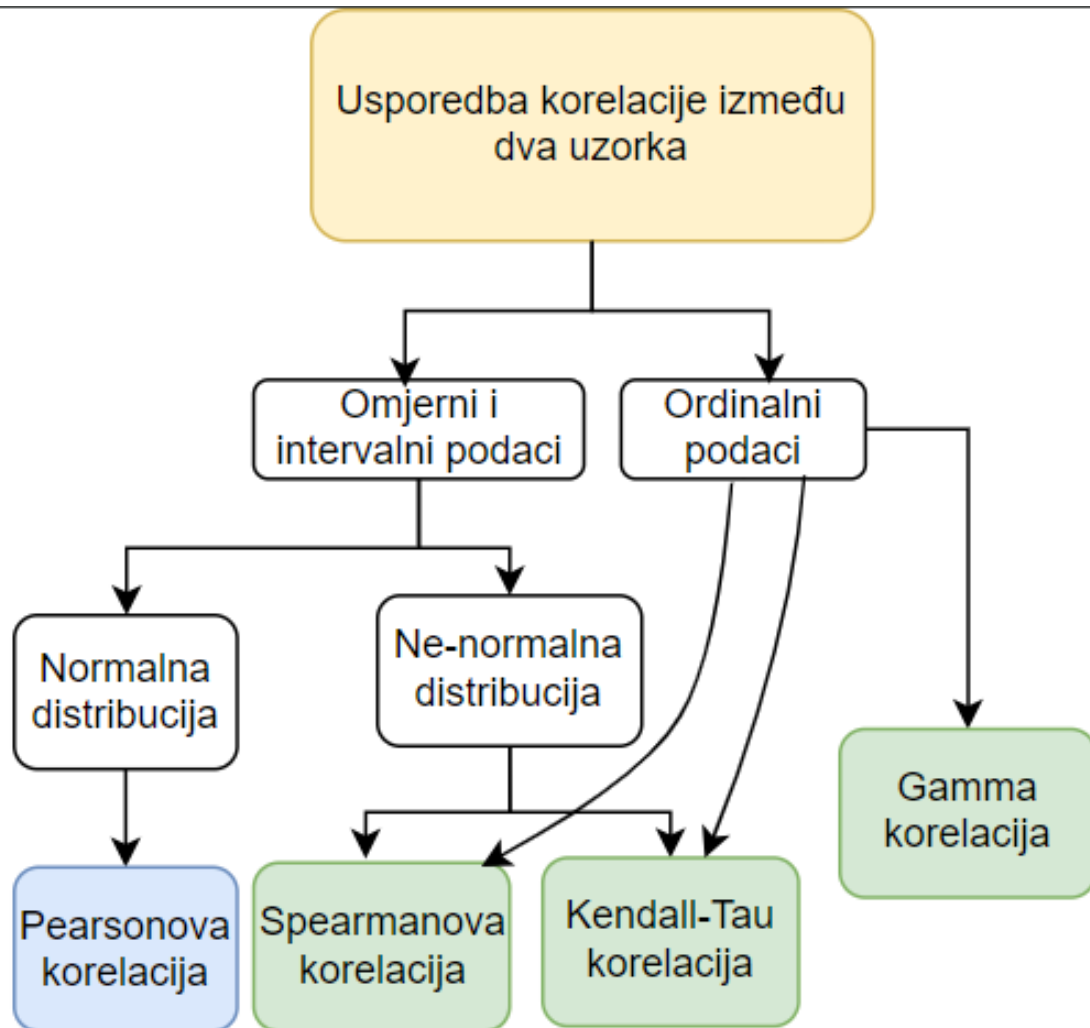
Na slici 7 vidimo dijagram toka odabira statističkog testa za dva uzorka. Ovdje je prvo napravljena podjela prema tome jesu li uzorci nezavisni ili zavisni. Kod nezavisnih uzoraka, pri normalnoj distribuciji i uspoređivanju uzoraka nad omjernim ili intervalnim podacima, koriste se parametarski testovi. Ti parametarski testovi su t-test za zavisne uzorke, ANOVA i F-test. Ako na istoj skali testiramo podatke koji ne prate normalnu distribuciju, koristimo neparametarske testove MWU ili K-S na dva uzorka. Iste neparametarske testove možemo koristiti i na ordinalnim podacima, a također možemo koristiti i test medijana. Nad nominalnim podacima, možemo koristiti hi-kvadrat na dva uzorka.

Što se tiče zavisnih uzoraka, za normalno distribuirane omjerne/intervalne podatke koristimo t-test za zavisne uzorke. Za podatke koji nisu normalno distribuirani možemo koristiti randomizacijski test ili Wilcoxonov test kojeg također možemo testirati i nad ordinalnim podacima. Za zavisne grupe i varijable mjerene na nominalnoj skali testiramo McNemarovim testom.



Slika 8: Dijagram toka odabira statističkog testa za tri ili više uzoraka (samostalna izrada)

Slika 8 prikazuje dijagram toka odabira statističkog testa za tri ili više uzoraka. Jednosmjernu ANOVA metodu koristimo kada su omjerni ili intervalni podaci normalno raspoređeni. Kada nisu, najpogodniji je neparametarski Kruskal-Wallisov test, a kojeg možemo koristiti i ako su podaci mjereni na ordinalnoj skali. Na nominalnoj možemo, kao i za sve brojeve uzoraka, koristiti hi-kvadrat test. Repeated measures ANOVA ili ponovljena ANOVA koristi se kod zavisnih podataka. Kod zavisnih podataka, na ordinalnoj skali ili omjernoj skali koja nije normalno distribuirana ili intervalnoj skali koristimo Friedmanov test. Cochranov Q test koristi se kod nominalnih podataka i zavisnih uzoraka.



Slika 9: Dijagram toka odabira statističkog testa za testiranje korelacije između dvije varijable (samostalna izrada)

Konačno, na slici 9 prikazan je dijagram toka odabira statističkog testa za testiranje korelacije ili povezanosti između dvije varijable. Pearsonova korelacija je najpoznatiji predstavnik parametarskog "tima" u testovima korelacije. Koristi se kod normalne distribucije na omjernim ili intervalnim podacima. Ako distribucija nije normalna, pandan Pearsonovom koeficijentu korelacije je Spearmanov test korelacije. Njega, kao i Kendall-Tau korelaciju možemo računati i na ordinalnoj skali. Gamma korelaciju možemo testirati isključivo na ordinalnim podacima.

5. Vrste neparametarskih metoda

U ovom poglavlju opisan će se vrste neparametarskih metoda s obzirom na broj uzoraka. U raznim izvorima, postoje razni oblici dijeljena statističkih testova. Dok neki izvori statističke metode dijele prema vrsti varijable koja se testira, drugi ih izvori poput [37] dijele prema broju uzoraka koji se ispituju. Potonja razdioba je ona koja se koristi u ovom radu.

5.1. Neparametarski testovi na jednom uzorku

Ovo potpoglavlje predstaviti će statističke neparametarske metode koje testiraju hipoteze iz jednog uzorka. Ovi testovi obično testiraju prikladnost određenoj distribuciji. Primjerice, istraživačko pitanje koje možemo postaviti u neparametarskim testovima na jednom uzorku je "Postoji li značajna razlika u centralnoj tendenciji između uzorka i populacije?". [37, str. 35]

Jedna od najlakših i najrazumljivijih neparametarskih statističkih metoda je test predznaka. Test predznaka koristit ćemo i u nekim kasnijim testovima na više uzoraka pa će se ovdje samo kratko spomenuti osnovne informacije o tom testu. Koristi se za uspoređivanje jednog uzorka sa nekom hipotetskom vrijednosti. Ime za test predznaka dolazi od dodjeljivanja pozitivnog (+) ili negativnog (–) predznaka svakom promatranju na temelju toga je li ili nije premašilo određenu očekivanu vrijednost. Ako bilo koja promatranja točno odgovaraju očekivanoj vrijednosti, ona se ignoriraju i isključuju iz uzorka. [39]

5.1.1. Kolmogorov-Smirnovljev test na jednom uzorku

Kolmogorov-Smirnovljev test na jednom uzorku koristi se za provjeru usklađenosti, odnosno za ocjenu stupnja usklađenosti između distribucije uzorka (promatrane vrijednosti) i neke pretpostavljene teorijske distribucije. Test određuje može li se za vrijednosti u uzorku pretpostaviti da potječu iz populacije koja ima teorijsku distribuciju. U osnovi, test uspoređuje kumulativnu frekvencijsku distribuciju koja bi se dogodila pod teorijskom distribucijom s promatranom kumulativnom frekvencijskom distribucijom. Najveća razlika između ove dvije distribucije (teorijske i promatrane) određuje se i na osnovu referentne distribucije uzoraka procjenjuje se je li takva velika razlika vjerojatna samo na osnovu slučajnosti. [37, str. 47]

Metodologija ispitivanja uključuje definiranje funkcije $F_p(X)$ kao specifične, pune distribucije frekvencije, npr. teorijska distribucija kumulativnih brojeva. Za bilo koju vrijednost X , postotak slučajeva s vrijednostima manjim ili jednakim X predstavljen je s $F_p(X)$. Izraz $S_w(X)$ koristi se za opisivanje opažene distribucije frekvencije; sastoji se od zbroja opaženih brojeva pojavljivanja. Pod nultom hipotezom da je uzorak izvučen iz specifične teorijske distribucije, za svaku vrijednost X , očekuje se da će $S_w(X)$ biti sličan $F_p(X)$, s razlikama koje su unutar tipičnih slučajnih pogrešaka. Kolmogorov-Smirnovljev test usredotočen je na najveću od ovih razlika, a najveća razlika, D , definirana je kao $D = \max |F_p(X) - S_w(X)|$. [37, str. 48-49]

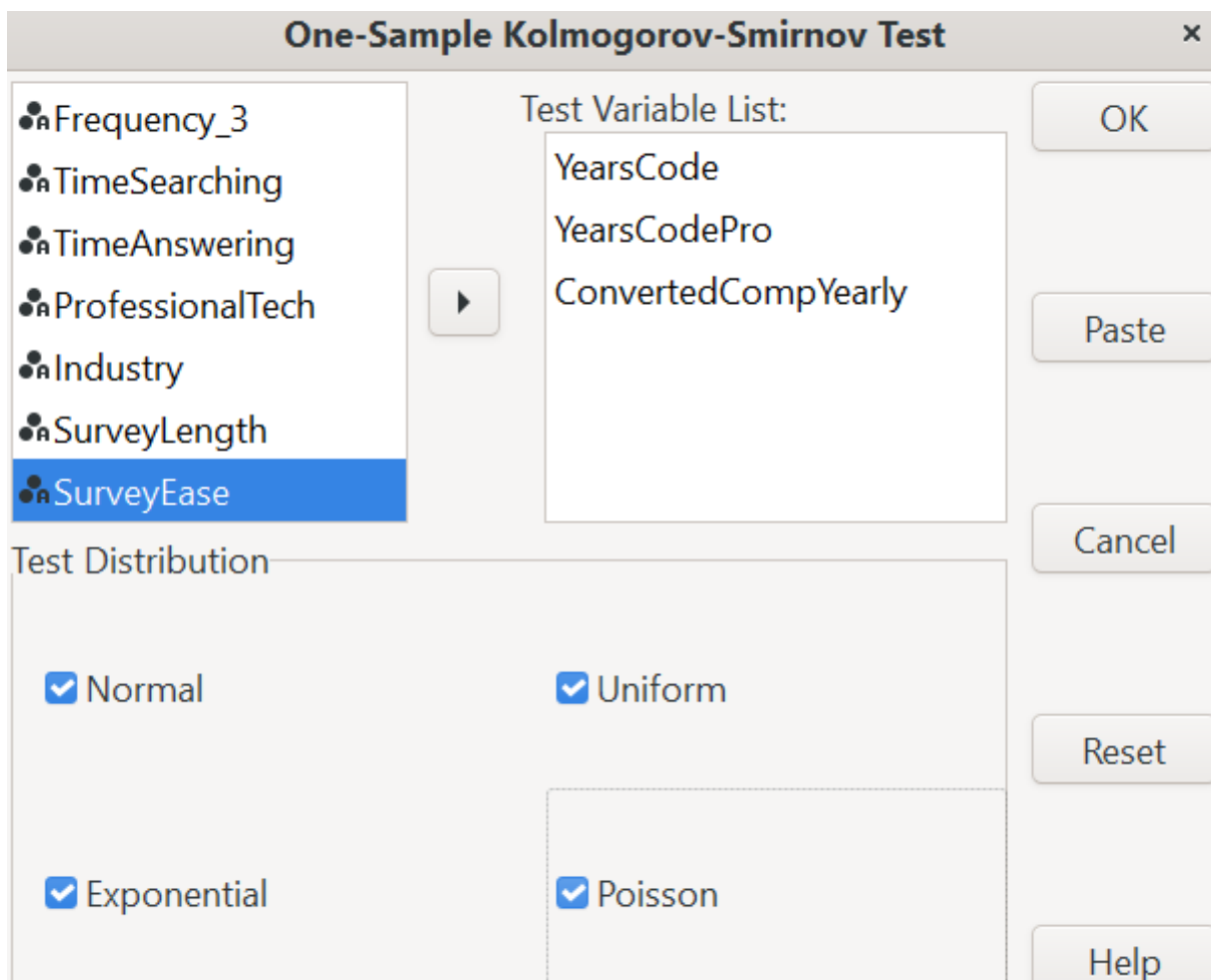
5.1.1.1. Primjer primjene Kolmogorov-Smirnovljeva testa

Kolmogorov-Smirnovljev test iskorišten je za testiranje distribucija numeričkih varijabli: *YearsCode*, *YearsCodePro* i *ConvertedCompYearly*. Sve tri varijable, testirane su za normalnu, uniformnu, Poissonovu i eksponencijalnu distribuciju. Testovi su provedeni u alatu PSPP. Tri različite varijable testiramo za četiri različite distribucije. Stoga, kako se ne bismo ponavljali, odredit ćemo jednu nultu hipotezu i jednu alternativnu hipotezu za sve 3 varijable i sve 4 distribucije, što nas dovodi do 12 jednakih hipoteza.

Postavljamo jednaku hipotezu za svih 12 testova varijable.

- Nulta hipoteza (H_0): Podaci dolaze iz populacije koja ima određenu distribuciju.
- Alternativna hipoteza (H_1): Podaci ne dolaze iz populacije koja ima određenu distribuciju.

Najprije, u PSPP-u moramo odabrati *Analyze* -> *Non-parametric Statistics* i odabrati *1 Sample K-S*. Nakon toga, odabiremo varijable i distribucije što je prikazano na slici 10.



Slika 10: Odabir varijabli i distribucija za K-S test u PSPP-u (samostalna izrada)

Na slici 10 je vidljiv odabir varijabli te vrste distribucije koje je moguće testirati Kolmogorov-

Smirnovljev testom u PSPP-u. Za potrebe ovog rada, odabrane su svi tipovi distribucije kao primjer. Nakon što se klikne na OK, u output prozoru se pojavi izračunati KS test. Svaka vrsta distribucije prikazana je u svojoj tablici, a cijeli prikaz rezultata vidljiv je na slici 11.

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

| | | YearsCode | YearsCodePro | vertedCompYe |
|--------------------------|----------------|-----------|--------------|--------------|
| N | | 162 | 162 | 162 |
| Normal Parameters | Mean | 14.62 | 12.61 | 52969.99 |
| | Std. Deviation | 9.35 | 17.74 | 41729.45 |
| Most Extreme Differences | Absolute | .14 | .26 | .17 |
| | Positive | .14 | .24 | .17 |
| | Negative | -.08 | -.26 | -.10 |
| Kolmogorov-Smirnov Z | | 1.78 | 3.26 | 2.21 |
| Asymp. Sig. (2-tailed) | | .002 | .000 | .000 |

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

| | | YearsCode | YearsCodePro | vertedCompYe |
|--------------------------|----------|-----------|--------------|--------------|
| N | | 162 | 162 | 162 |
| Uniform Parameters | Minimum | 1.00 | 1.00 | 643.00 |
| | Maximum | 45.00 | 102.00 | 267724.0 |
| Most Extreme Differences | Absolute | .35 | .68 | .55 |
| | Positive | .35 | .68 | .55 |
| | Negative | -.02 | -.02 | -.01 |
| Kolmogorov-Smirnov Z | | 4.48 | 8.68 | 6.97 |
| Asymp. Sig. (2-tailed) | | .000 | .000 | .000 |

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

| | | YearsCode | YearsCodePro | vertedCompYe |
|--------------------------|----------|-----------|--------------|--------------|
| N | | 162 | 162 | 162 |
| Poisson Parameters | Lambda | 14.62 | 12.61 | 52969.99 |
| Most Extreme Differences | Absolute | .31 | .41 | .58 |
| | Positive | .31 | .41 | .58 |
| | Negative | -.20 | -.15 | -.41 |
| Kolmogorov-Smirnov Z | | 3.98 | 5.24 | 7.39 |
| Asymp. Sig. (2-tailed) | | .000 | .000 | .000 |

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

| | | YearsCode | YearsCodePro | vertedCompYe |
|--------------------------|----------|-----------|--------------|--------------|
| N | | 162 | 162 | 162 |
| Exponential Parameters | Scale | 14.62 | 12.61 | 52969.99 |
| Most Extreme Differences | Absolute | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| | Positive | . | . | . |
| | Negative | -1.00 | -1.00 | -1.00 |
| Kolmogorov-Smirnov Z | | 12.73 | 12.73 | 12.73 |
| Asymp. Sig. (2-tailed) | | .000 | .000 | .000 |

Slika 11: Rezultati K-S testova za (slijedno) normalnu, uniformnu, Poissonovu i eksponencijalnu distribuciju (samostalna izrada)

Na slici 11 prikazani su rezultati K-S testova. Za sve tri varijable, prikazani su redom rezultati za svaku od distribucija. Na rezultatima testiranja za normalnu distribuciju vidimo da je broj uzoraka po 162 za svaku varijablu. Srednje vrijednosti iznose 14.,2 za varijablu *YearsCode*, 12,61 za *YearsCodePro* te 52969,99 za *ConvertedCompYearly*. Standardne devijacije iznose 9,35 za *YearsCode*, 17,74 za *YearsCodePro* i 41729,45 *ConvertedCompYearly*. Vrijednost Kolmogorov-Smirnovljeve Z iznosi 1,78 za *YearsCode*, 3,26 za *YearsCodePro* te 2,21 za *ConvertedCompYearly*. Što se tiče p-vrijednosti, sve su manje od 0,05, što ukazuje na to da distribucije nisu normalne.

Iz testa na uniformnu distribuciju možemo vidjeti minimalne i maksimalne vrijednosti koje ukazuju na domenu podataka. Najekstremnije razlike su veće nego za normalnu distribuciju, što ukazuje na još veće odstupanje od uniformne distribucije. P-vrijednosti su .000 za sve varijable, što jasno odbacuje hipotezu da su podaci uniformno distribuirani.

Test na Poissonovu distribuciju prikazuje nam lambda parametre koji zapravo odgovaraju srednjim vrijednostima. Također, vidimo da su ekstremne razlike su još veće, posebno za *ConvertedCompYearly*. P-vrijednosti su također .000, što pokazuje da distribucije nisu u skladu s Poissonovom distribucijom.

Konačno, kod eksponencijalne distribucije vidimo da su parametri mjerenja skalirani na osnovu srednjih vrijednosti varijabli. Za sve varijable, najekstremnija negativna razlika je -1,00, dok je pozitivna razlika odsutna, što implicira da su podaci znatno teži prema nižim vrijednostima u usporedbi s očekivanjima eksponencijalne distribucije. Kolmogorov-Smirnovljeve Z vrijednosti su iznimno visoke, 12.73 za sve varijable, s p-vrijednostima od .000, što potvrđuje da distribucije ne prate eksponencijalnu distribuciju.

U svim slučajevima, p-vrijednosti su manje od 0,05, što ukazuje na statistički značajno odstupanje od teorijskih distribucija. Ovo nam govori da niti jedna od varijabli ne slijedi očekivanu teorijsku distribuciju, te da bi bilo potrebno koristiti neparametarske metode za ove podatke. Možemo zaključiti da svih 12 nultih hipoteza možemo odbiti, odnosno možemo zaključiti da niti jedna varijabla ne slijedi normalnu, uniformnu, Poissonovu niti eksponencijalnu distribuciju.

5.1.2. Hi-kvadrat test

U istraživanjima se često želi analizirati broj ljudi, predmeta ili reakcija koji pripadaju određenim kategorijama. Na primjer:

- Željeli bismo provjeriti razliku u zastupljenosti određenih programskih jezika kod programera.
- Možda želimo ispitati razliku u stajalištima ispitanika prema nekoj temi (podrška, neutralnost, neslaganje).

Za analizu takvih podataka, gdje ispitanike ili odgovore kategoriziramo, koristimo hi-kvadrat test (eng. *chi-square test*). Ovaj test spada u metode provjere usklađenosti i omogu-

ćava nam utvrditi postoji li razlika između promatranih i očekivanih frekvencija (broja ispitanika) po pojedinim kategorijama. [37]

Prvo moramo odrediti očekivane frekvencije. To radimo polazeći od nulte hipoteze koja specificira omjere za svaku kategoriju. Na temelju nulte hipoteze možemo izračunati očekivanu brojnost za određenu kategoriju. Hi-kvadrat test zapravo provjerava udaljenost između očekivanih i promatranih vrijednosti – želimo vidjeti jesu li dovoljno bliske da prihvatimo nultu hipotezu. [37]

Formula hi-kvadrat testa glasi:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (5.1)$$

gdje su simboli u formuli:

- O_i – promatrana frekvencija za kategoriju i ,
- k - broj kategorija,
- E_i – očekivana frekvencija za kategoriju i (prema nultoj hipotezi),
- $\sum_{i=1}^k$ – zbroj po svim kategorijama k .

Koraci pri izračunu hi-kvadrat testa su:

1. Kategoriziraj promatrane frekvencije u k kategorija. Zbroj svih frekvencija mora biti N (ukupan broj ispitanika).
2. Prema nultoj hipotezi, odredi očekivanu frekvenciju E za svaku kategoriju. Uvjeti:
 - Ako imamo više od 2 kategorije i više od 20% očekivanih frekvencija je manje od 5, moramo spojiti neke kategorije da povećamo očekivane frekvencije.
 - Ako imamo samo dvije kategorije ($k = 2$), svaka očekivana frekvencija mora biti veća ili jednaka 5.
3. Izračunaj hi-kvadrat vrijednost prema formuli 5.1.
4. Odredi broj stupnjeva slobode: $df = k - 1$.
5. U statističkim tablicama pronađi kritičnu vrijednost hi-kvadrat distribucije za zadani broj stupnjeva df i odabranu razinu značajnosti α (najčešće 0,05). Ako je izračunata hi-kvadrat vrijednost veća od kritične, odbacujemo nultu hipotezu.

[37]

5.1.2.1. Primjer primjene hi-kvadrat testa

Za hi-kvadrat test na jednom uzorku napraviti će se test koji odgovara na pitanje "Ima li značajne razlike između stupnjeva obrazovanja kod programera u Hrvatskoj?". Iz već filtriranog skupa podataka, morala su se izbrisati još dva zapisa jer njihove vrijednosti u varijabli EdLevel nisu bile valjane.

Iz pitanja, dobivamo sljedeće hipoteze:

- H_0 : Distribucija programera u Hrvatskoj prema razini obrazovanja je uniformna.
- H_1 : Distribucija programera u Hrvatskoj prema razini obrazovanja nije uniformna.

Test je obrađen u alatu PSPP, a njegov rezultat vidljiv je na slici 12.

```

NPAR TEST
  /CHISQUARE= EdLevel.
  
```

| EdLevel | | | |
|---|------------|------------|----------|
| Value | Observed N | Expected N | Residual |
| Bachelor?s degree (B.A., B.S., B.Eng., etc.) | 37 | 40.00 | -3.00 |
| Master?s degree (M.A., M.S., M.Eng., MBA, etc.) | 88 | 40.00 | 48.00 |

| Value | Observed N | Expected N | Residual |
|--|------------|------------|----------|
| Secondary school (e.g. American high school, German Realschule or Gymnasium, etc.) | 13 | 40.00 | -27.00 |
| Some college/-university study without earning a degree | 22 | 40.00 | -18.00 |
| Total | 160 | | |

Test Statistics

| | Chi-square | df | Asymp. Sig. |
|---------|------------|----|-------------|
| EdLevel | 84.15 | 3 | .000 |

Slika 12: Rezultat hi-kvadrat testa na razinu obrazovanja u Hrvatskoj (samostalna izrada)

Na slici 12 prikazan je rezultat hi-kvadrat testa za razinu obrazovanja među progra-

merima u Hrvatskoj. Distribucija obrazovanja prikazana je tako da je očekivani broj za svaku kategoriju 40. Taj broj dobiven je dijeljenjem ukupnog broja ispitanika (160) i broja mogućih kategorija (4). Za svaku od skupina, izračunata je njezina veličina i također njihova razlika od očekivane vrijednosti. Te vrijednosti su:

- Bachelor's degree (provstupnik): 37 rezultata, razlika -3
- Master's degree (magistar): 88, razlika 48
- Secondary school (srednja škola): 13, razlika 27
- Some college/university study without earning a degree (studij bez dobivanja diplome): 22, razlika 18

Na rezultatima vidimo da je hi-kvadrat vrijednost 84,15, a broj stupnjeva slobode iznosi 3 (dobiven iz 4 vrste obrazovanja). Asimptotska signifikantnost (Asymp. Sig.) je .000, što ukazuje na to da postoji statistički razlika između očekivanih i promatranih vrijednosti. Iz ovog razloga, možemo odbaciti nultu hipotezu da je distribucija programera prema razini obrazovanja uniformna.

Također, pošto imamo samo 4 kategorije, ovaj postupak izračuna hi-kvadrat vrijednosti možemo izračunati i ručno, prema formuli 5.1.

$$chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} = \frac{(37 - 40)^2}{40} + \frac{(88 - 40)^2}{40} + \frac{(13 - 40)^2}{40} + \frac{(22 - 40)^2}{40} = 84,15$$

5.1.3. Wilcoxonov test na jednom uzorku

Test predznaka uzima u obzir samo predznak razlika vrijednosti obilježja i medijan, a ne njihovu veličinu. Wilcoxonov test također počiva na predznacima spomenutih razlika. Osim toga, postupak testiranja u Wilcoxonovom testu uključuje i rangirane apsolutne razlike vrijednosti varijable i pretpostavljene vrijednosti medijana. Rangiranje se provodi pridruživanjem prvih n prirodnih brojeva apsolutnim razlikama. Najmanjoj apsolutnoj vrijednosti razlike pridružuje se broj jedan, sljedećoj dva, i tako dalje redom sve do najveće vrijednosti razlike s pridruženim brojem n . Postoje li dvije ili više jednakih apsolutnih vrijednosti razlika, svakoj od njih pridružit će se prosječni rang. Wilcoxonov test polazi od istih hipoteza kao i test predznaka. Kritične vrijednosti sampling-distribucije određene nultom hipotezom tablicirane su pa se odluka donosi usporedbom testne veličine i kritičnih vrijednosti. Wilcoxonov test počiva na uzorku vrijednosti veličine n koji čine vrijednost numeričke ili rangirane varijable i koji potječe iz osnovnog skupa simetrično raspoređenog prema nepoznatom medijanu. [40]

Ako se s n_0 označi pretpostavljena vrijednost medijana, koraci, provođenja testa su sljedeći:

1. Izračunava se razlika između vrijednosti promatranih obilježja i medijana koji se ispituje.

2. Odbacuju se svi podaci koji nemaju razliku i smanjuje se veličina uzorka za broj podataka s razlikom 0.
3. Rangiraju se apsolutne vrijednosti izračunatih razlika, a podacima s istim vrijednostima dodjeljuje se prosječni rang.
4. Svaki rang se množi s predznakom koji ovisi o tome je li izračunata razlika pozitivna ili negativna.
5. Izračunava se testna veličina kao zbroj rangova s pozitivnim predznakom umanjena zbroj rangova s negativnim predznakom.
6. Donošenje odluke o hipotezi temelji se na usporedbi izračunate testne veličine s teorijskom vrijednosti sampling-distribucije.

Hipoteze koje se ispituju su:

1. $H_0 : \eta = \eta_0$
 $H_1 : \eta \neq \eta_0$
2. $H_0 : \eta \leq \eta_0$
 $H_1 : \eta > \eta_0$
3. $H_0 : \eta \geq \eta_0$
 $H_1 : \eta < \eta_0$

gdje su pod 1 hipoteze koje se odnose na dvosmjernan test, 2 na jednosmjernan test na desnu stranu, a 3 na jednosmjernan test na lijevu stranu. Nulta hipoteza se prihvaća ako je testna veličina jednaka teorijskoj vrijednosti ili manja od nje.

Za velike uzorke, testna statistika se normalizira i uspoređuje s normalnom distribucijom kako bi se donio zaključak o značajnosti razlike.

[12]

5.1.3.1. Primjer primjene Wilcoxonovog testa u programskom alatu BlueSky Statistica

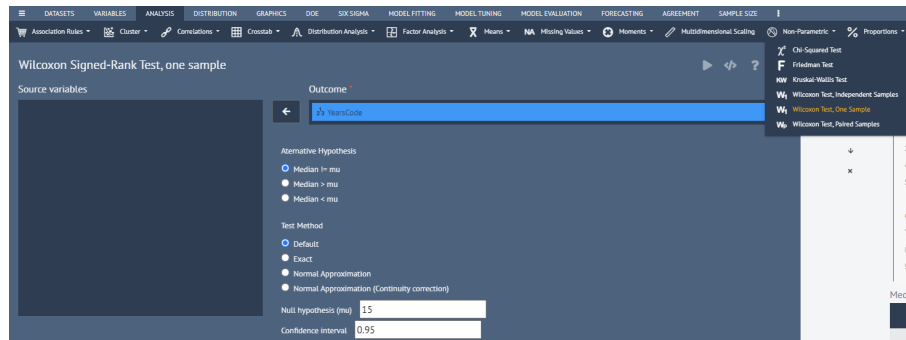
Pošto alati Statistica i PSPP nemaju opciju testiranja Wilcoxonovim testom na jednom uzorku, isti je test testiran u programskom alatu otvorenog kod BlueSky Statistics. Prema podacima iz anketnog upitnika Stack Overflowa iz 2022. godine, vlastitom analizom utvrđen je medijan od 15 godina za broj godina koliko ispitani programeri programiraju. Stoga će ispitati anketni upitnik iz 2023. godine i postaviti istraživačko pitanje: "Je li medijan broja godina koliko programeri programiraju identičan za 2023. i 2022.?"

Stoga postavljamo hipoteze:

- H_0 : Medijan broja godina koliko programeri programiraju identičan je za 2023. i 2022.

- H_1 : Medijan broja godina koliko programeri programiraju različit je za 2023. i 2022.

U alat BlueSky Statistics, zbog problema s performansama, uvedena je samo izvađena i prefiltrirana varijabla *YearsCode*. Odabir podataka i varijabli za Wilcoxonov test vidljiv je na slici 13.



Slika 13: Odabir podataka i varijabli za Wilcoxonov test na jednom uzorku u alatu BlueSky Statistics (samostalna izrada)

Na slici 13 u gornjoj strani prikazane su opcije za neparametarske testove u BlueSky Statistics. Dakako, odabrana je opcija Wilcoxon Test, One Sample. S lijeve strane slike 13 vidimo opcije koje postoje za ovaj test. Odabrana je jedina varijabla koja postoji u unesenom skupu podataka. Zatim, postoje opcije za odabir alternativne hipoteze, gdje možemo bitati hoćemo li testirati različitost između medijana i testne vrijednosti, ili ćemo raditi dvostrani test, odnosno provjeru je li medijan u uzorku manji ili veći od testne vrijednosti. Nakon toga, biramo metodu testa koju želimo koristiti, a u ovom slučaju odabrana je standardna metoda. Na kraju, biramo testnu vrijednost (15) i raspon pouzdanosti (0,95). Rezultati testa iz BlueSky Statistics vidljivi su na slici 14.



Slika 14: Rezultati Wilcoxonovog testa na jednom uzorku (samostalna izrada)

Na slici 14 prikazani su generirani rezultati iz alata BlueSky Statistics. Sami rezultati nisu detaljni kao oni u PSPP-u ili Statistici. Međutim, ono što se može iščitati je da je medijan promatrane varijable (*YearsCode*) 11 godina, što je već samo po sebi ispod nulte vrijednosti od 15 godina koja se razmatra. Druga tablica prikazuje da je statistika testa (*V*) jako velika, a *P* vrijednost je jako mala. Samim time, možemo zaključiti kako odbijamo nultu hipotezu da nema razlike u medijanima po broju godina koliko programeri programiraju između 2023. i 2022. godine.

Kako bismo ipak mogli dobiti nešto više podataka, isti je test proveden kroz alat Data-Tab, a rezultati su vidljivi na slici 15.

Descriptive statistics

Copy

| | n | Mean | Median | Standard deviation |
|-----------|-------|-------|--------|--------------------|
| YearsCode | 86114 | 13.97 | 11 | 10.26 |

Ranks

Copy

| | | n | Mean Rank | Sum of Ranks |
|------------------------|----------------|-------|-----------|--------------|
| YearsCode - Test Value | Negative Ranks | 53362 | 38273.78 | 2042365664.5 |
| | Positive Ranks | 28416 | 45801.52 | 1301495866.5 |
| | Ties | 4336 | | |
| Total | | 86114 | | |

- Negative Ranks: YearsCode < Test Value
- Positive Ranks: YearsCode > Test Value
- Ties: YearsCode = Test Value

Wilcoxon-Test

Copy

| | W | z | p |
|-----------|--------------|--------|-------|
| YearsCode | 1301495866.5 | -54.91 | <.001 |

Slika 15: Rezultati Wilcoxonovog testa na jednom uzorku u Datatabu (samostalna izrada)

Na slici 15 vidimo da je broj uzoraka nad kojima je test proveden 86114, što bi također bila korisna informacija u BlueSky Statistics, ali se taj podatak ipak može lako provjeriti. Također, možemo primjetiti da je statistika testa (u Datatabu "W", spram "V" u BlueSky Statistics) identična, odnosno u Datatabu je zaokružena na jednu decimalu, a u BlueSky Statistics na cijeli broj. Međutim, taj broj je jednak. Dodatno, Datatab nam pokazuje i z vrijednost (iznosi -54,91) kojom možemo izračunati i veličinu učinka. Iako je zbog jako niske P vrijednosti zanemarivo računati veličinu uzorka, većina izvora predlaže da se ona svakako navede u rezultatima statističke analize. Veličina učinka izračunava se formulom

$$r = \left| \frac{Z}{\sqrt{N}} \right| \quad (5.2)$$

gdje r označuje veličinu učinka, z označuje z vrijednost, a N je veličina uzorka. Uvrštavanjem u formulu, dobivamo veličinu učinka

$$r = \left| \frac{Z}{\sqrt{N}} \right| = \left| \frac{-54,91}{\sqrt{86114}} \right| = 0,187$$

što nam prema Cohenovoj skali govori da postoji mala, ali ipak statistički značajna razlika između grupa.

5.1.4. Binomni test

U velikom broju populacija postoje dvije različite klase ili kategorije, kao što su muškarci i žene, pismeni i nepismeni, članovi i nečlanovi, učenici i ne-učenici, oženjeni i neoženjeni i sl. Sva promatrana mjerenja iz populacije pripadaju jednoj od ove dvije diskretne klasifikacije. [37, str. 37]

U svakoj populaciji s dvije klase, ako je udio jedne klase P , onda je udio druge klase $1 - P$, koji se često označava kao Q . Vrijednost P može varirati među populacijama, ali unutar jedne populacije ostaje konstantna. Međutim, čak i ako znamo ili pretpostavljamo vrijednost P za neku populaciju, ne možemo očekivati da će slučajni uzorak točno odražavati omjere P i Q . Nasumičnost uzorkovanja obično dovodi do odstupanja od populacijskih vrijednosti P i Q . [37, str. 39].

Binomna distribucija je distribucija koja opisuje raspon vrijednosti koje možemo očekivati od dvoklasne populacije. P pokazuje različite vrijednosti koje bi se mogle proizvesti pod pretpostavkom da je hipoteza H_0 o vrijednosti populacije točna. Stoga se binomna distribucija može koristiti za testiranje hipoteze H_0 kada se rezultati istraživanja dijele u dvije kategorije. Ovaj test ispituje vjerojatnost da vrijednosti koje vidimo u našem uzorku dolaze iz populacije s određenom vrijednošću P [37, str. 36].

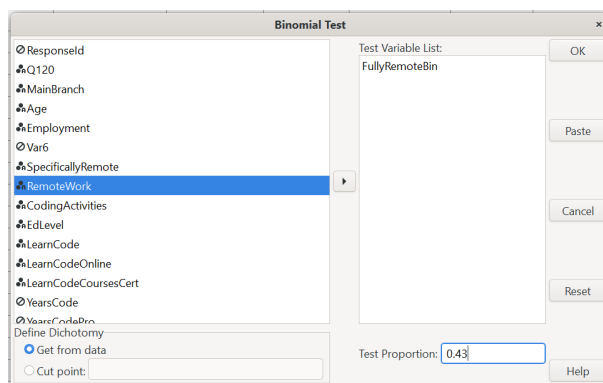
"Binomni test omogućuje testiranje hipoteze o vjerojatnosti pojavljivanja u dvije kategorije ili klase. Binomni test se koristi za procjenu je li vjerojatnost promatranih rezultata ili još ekstremnijih rezultata značajno različita od očekivane vjerojatnosti pod pretpostavkom nulte hipoteze." [37]

5.1.4.1. Primjer primjene binomnog testa

Binomni test odrađen je za dihotomnu varijablu *SpecificallyRemote*. To je izvedenica varijable *RemoteWork* koja je kategorička. Ankentni upitnik plaforme Stack Overflow iz 2022. godine govori nam da je 43% ljudi radilo od isključivo remote. Stoga ćemo u binomnom testu postaviti testnu vrijednost na 0,43. Istraživačko pitanje koje postavljamo je: "Proporcija ljudi koji rade isključivo na daljinu je 0,43". Iz toga možemo zaključiti i navesti nultu i alternativnu varijablu, a s obzirom kako se općenito smatra da je trend povratka u urede, alternativna hipoteza bit će tako i postavljena.

- H_0 : Postotak programera koji rade isključivo na daljinu u Hrvatskoj iznosi 43 posto.
- H_1 : Postotak programera koji rade isključivo na daljinu u Hrvatskoj iznosi manje od 43 posto.

U programskom alatu PSPP odabiremo Analyze -> Non-parametrics -> Binominal. To nas dovodi do ekrana za odabir varijabli nad kojima želimo napraviti binomni test koji je prikazan na slici 16. Te varijable moraju biti dihotomne. Također, mora se odabrati i testna vrijednost.



Slika 16: Ekran za unos varijabli i testnih vrijednosti u PSPP-u (samostalna izrada)

Na slici 16 je vidljiv ekran za unos varijabli i testnih vrijednosti u PSPP-u. Odabrana je nova varijabla FullyRemoteBin te testna vrijednost 0,43. Rezultati binomnog testa u alatu PSPP vidljivi su na slici 17.

```

NPAR TEST
  /BINOMIAL(0.43) = FullyRemoteBin.

```

Binomial Test

| | Category | N | Observed Prop. | Test Prop. | Exact Sig. (1-tailed) | |
|----------------|----------|---|----------------|------------|-----------------------|------|
| FullyRemoteBin | Group 1 | 1 | 75 | .46 | .43 | .221 |
| | Group 2 | 0 | 87 | .54 | | |
| | Total | | 162 | 1.00 | | |

Slika 17: Rezultati binomnoga testa (samostalna izrada)

Na slici 17 prikazani su rezultati binomnog testa. U rezultatima vidimo da je broj ljudi koji rade na daljinu 75, a broj onih koji ne rade je 87. Ukupan broj ispitanih iznosi 162. Postotak ljudi koji rade na daljinu je 46%, dok je postotak ljudi koji ne rade na daljinu 54%. P vrijednost iznosi 0,221. U rezultatima vidimo da je postotak ljudi koji rade na daljinu veći od testne pretpostavke, međutim zbog tolike P vrijednosti možemo zaključiti da iako je postotak promatrane populacije veći od testnog postotka, ne postoji dovoljno dokaza da je stvarni udio ljudi koji rade na daljinu drugačiji od 43%.

5.2. Neparametarski testovi na dva nezavisna uzorka

U ovom potpoglavlju predstaviti ćemo metode koje testiraju sličnosti ili razlike između dvije nezavisne grupe. Dvije grupe mogu se pronaći na dva načina. Prvi način je da su uzorci izvučeni nasumično iz dvije populacije. Drugi je način da se u jednom uzorku pronađu dvije grupe. [37, str. 95] Ovaj drugi način će se koristiti u ovome radu.

5.2.1. Medijan test

Prema Petzu [41], medijan test na dva nezavisna uzorka predstavlja jednostavan test koji se svodi na hi-kvadrat test, a kojim ispitujeemo pripadaju li dva uzorka populaciji s istim medijanom. U parametarskoj statistici njemu djelomično odgovara t-test kojim ispitujeemo značajnost razlika između dvije aritmetičke sredine.

Postupak u medijan testu bazira se na tome da se pronađe centralna vrijednost odnosno medija iz svih rezultata zajedno te se oni unose u 2×2 tablicu. Ako imamo neparan broj rezultata, tada je medijan ta vrijednost koja dijeli skup na pola. U ovom slučaju, dogodit će se da postoje duplikati odnosno vrijednosti jednake medijanu. Tada, te slučajeve zapisujemo proizvoljno ispod ili iznad medijana. Ako je ukupan broj rezultata paran, medijan je aritmetička sredina između dva rezultata koji se nalaze u sredini niza svih rezultata poredanih po veličini. U tom slučaju, svi rezultati bit će ispod ili iznad medijana. Sve rezultate iznad medijana označavamo s "plus", a sve ispod medijana sa "minus". [41]

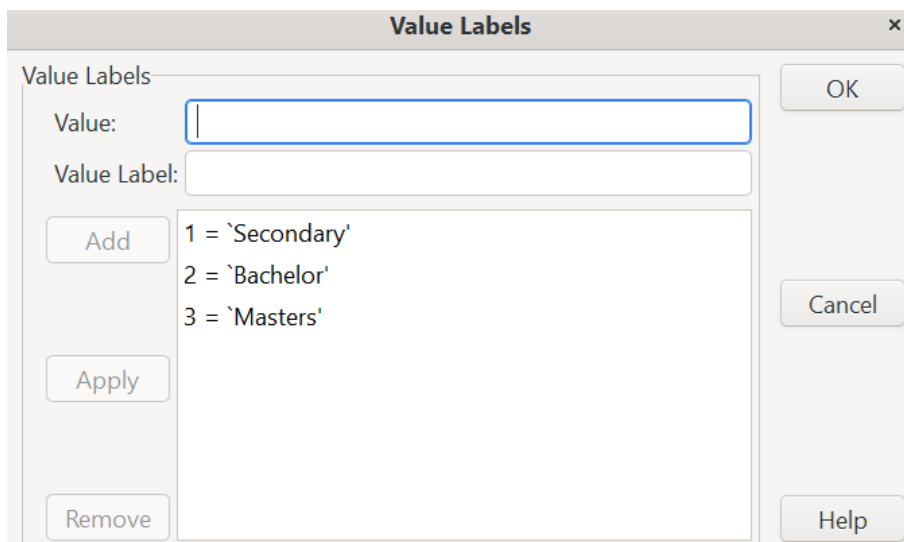
5.2.1.1. Primjer primjene medijan testa

Medijan testom testirat ćemo dolaze li dva uzorka iz populacije s identičnim medijanom. Odabrali smo varijable *EdLevel* i *ConvertedCompYearly*. *EdLevel* varijabla predstavlja nivo obrazovanja ispitanika, a za ovaj test odabrane su mogućnosti *Bachelor* i *Masters*.

Hipoteze su sljedeće:

- H_0 : Programeri koji imaju titulu *Bachelor* i programeri koji imaju titulu *Masters* dolaze iz populacije s istim medijanom varijable *ConvertedCompYearly*. Drugim riječima, ne postoji razlika između plaća programera s titulom bakalara (*Bachelor*) i programera s titulom magistra (*Masters*)
- H_1 : Programeri koji imaju titulu *Bachelor* i programeri koji imaju titulu *Masters* ne dolaze iz populacije s istim medijanom varijable *ConvertedCompYearly*. Drugim riječima, postoji razlika između plaća programera s titulom bakalara (*Bachelor*) i programera s titulom magistra (*Masters*)

Medijan test izračunat je u programskom alatu PSPP. Ovdje će se dati opis koraka unosa varijabli u PSPP, a unešene varijable i vrijednosti koristit će se još i za Kruskal-Wallisov test (za dva i za više nezavisnih uzoraka) te za medijan test na više nezavisnih uzoraka. Najprije, bilo je potrebno kreirati varijable u alatu PSPP. Valja uočiti kako je ovdje proces drugačiji od uobičajenog unosa podataka u PSPP preko Import data. Dakle, najprije u VariableView kreiramo varijable koje želimo. U našem slučaju, kreirane su varijable *Educ* i *Salary*. Varijable kreiramo jednostavnim unosom imena varijable, a ostala polja automatski se popune od strane PSPP-a automatskim podacima. Većina zadanih podataka odgovara potrebama, ali ipak je za medijan test potrebno izmjeniti nekoliko stvari. Prva je ta da se moraju dodati *Value Labels* (vrijednosne labele), kojima će se kasnije grupirati uzorci. Tako za varijablu *Educ* stavljamo *Value Labels*, što je vidljivo na slici 18.



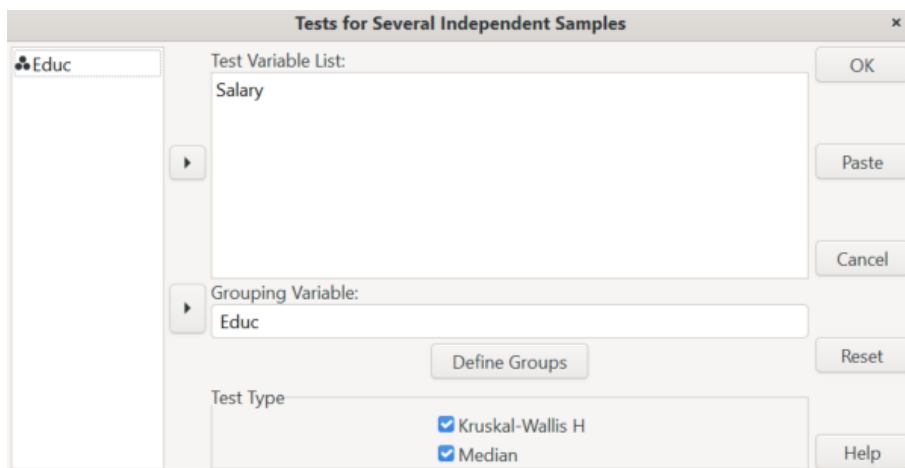
Slika 18: Dodjeljivanje Value Labels u PSPP (samostalna izrada)

Na slici 18 vidljiv je unos *Value Labels*. Unesene su vrijednosti 1 za najniži stupanj obrazovanja - srednja škola (secondary), 2 za Bachelor (prvostupnik) i 3 za najveći stupanj obrazovanja (Masters). Na slici 19 vidimo da smo i promjenili vrstu mjere na varijablama, odnosno varijabli *Educ* dodijeljena je nominalna mjera, a varijabli *Salary scale*. Na istoj slici može se vidjeti i kompletni izgled *Variable view-a* u PSPP-u.

| Variable | Name | Type | Width | Decimal | Label | Value Labels | Missing Values | Columns | Align | Measure | Role |
|----------|--------|---------|-------|---------|-------|-------------------|----------------|---------|-------|---------|-------|
| 1 | Educ | Numeric | 8 | 0 | | {1, Secondary}... | None | 8 | Right | Nominal | Input |
| 2 | Salary | Numeric | 8 | 0 | | None | None | 8 | Right | Scale | Input |
| 3 | | | | | | | | | | Unknown | |
| 4 | | | | | | | | | | Nominal | |
| 5 | | | | | | | | | | Ordinal | |
| 6 | | | | | | | | | | Scale | |
| 7 | | | | | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | | | | | |

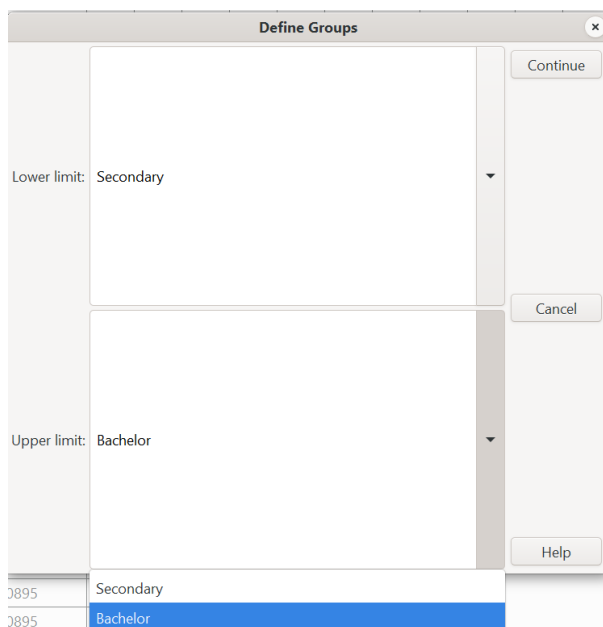
Slika 19: Variable view u PSPP (samostalna izrada)

Nakon što su napravljene varijable, u PSPP su zaljepljene filtrirane vrijednosti iz originalnog skupa podataka. Izračun medijan testa u PSPP-u radi se tako da se mora otići u opciju *K independent samples*, gdje se otvara prozor sa slike 20.



Slika 20: Prozor za izračun testova na k nezavisnih uzoraka u PSPP-u (samostalna izrada)

Na slici 20 već su namještene varijable na svojim mjestima; testne varijabla je *Salary*, a grupirajuća varijabla je *Educ*. Valja primjetiti da su na slici označeni i Kruskal-Wallis H test i Median test. Razlog tome je čisto tehnički jer ako se odabere samo median, program baca grešku, a ako se odaberu obje opcije tad program normalno vrati rezultate za obje opcije slijedno. Također, valja primjetiti da postoji gumb *Define Groups* koji otvara prozor sa slike 21.



Slika 21: Definiranje uzoraka ili grupa (samostalna izrada)

Na slici 21 vidimo definiranje grupa ili uzoraka za izvođenje medijan testa. Postavljamo donju granicu (1 - *Secondary*) i gornju granicu (2 - *Bachelor*). Na slici nije prikazana i treća opcija *Masters*, ali su za test na dva uzorka dovoljne samo dvije grupe. Kad su svi podaci ispunjeni, pokreće se test i rezultati se generiraju u skočnom prozoru. Sami rezultati u PSPP-u nisu baš čitljivi pa je preporučljivo prebaciti generirani odgovor u PDF i iz njega onda dalje čitati i obrađivati rezultate. Međutim, i tu se ponekad tekst malo preklapa pa je najbolje napraviti isti test nekoliko puta kako bi bio generiran na novoj stranici PDF-a. Konačno, rezultati samog

testa prikazani su na slici 22.

| | | Educ | |
|--------|----------|-----------|----------|
| | | Secondary | Bachelor |
| Salary | > Median | 723 | 11704 |
| | ≤ Median | 1446 | 10836 |

| | N | Median | Chi-Square | df | Asymp. Sig. |
|--------|-------|--------|------------|----|-------------|
| Salary | 24709 | 75000 | 273.58 | 1 | .000 |

Slika 22: Rezultati medijan testa na dva uzorka (samostalna izrada)

Na slici 22, a u tablici *Frequencies* vidimo našu 2x2 tablicu. Vidimo da PSPP odabire postavljati vrijednosti jednake medijanu u broj rezultata koji su ispod medijana. Iz druge tablice vidimo da je medijan 75000. 723 programera sa srednjoškolskim obrazovanjem ima plaću veću od medijana, 1446 ih ima ili manju ili jednaku medijanu. 11704 progmera sa prvostupničkom titulom ima plaću veću od 75000, dok 10836 ima manje ili isto. Vidimo da je i izračunata i testna statistika, a hi kvadrat iznosi 273,58 na 1 stupnju. Na nivou signifikantnosti od 0,05, vidimo da je *P* vrijednost približna nuli stoga odbacujemo nultu hipotezu. Ručno izračunata vrijednost prema formuli ?? iznosi 272,84. Ako pogledamo tablicu B, vidimo da za nivo signifikantnosti od 0,05 i $k = 1$, $\chi_k^{2rit} = 3,841$. Dobivena vrijednost je puno veća što još jednom dokazuje da odbijamo nultu hipotezu. Konačno, možemo zaključiti da uzorci ne dolaze iz populacije s istim medijanima plaća. Drugim riječima, postoji razlika između plaća programera s titulom bakalara (*Bachleor*) i programera s titulom magistra (*Masters*).

5.2.2. Kolmogorov-Smirnovljev test na dva uzorka

Prema Siegelu [37, str. 127], Kolmogorov-Smirnovljev dvosmjerni test na dva uzorka provjerava podudarnost između distribucija nezavisnih uzoraka kako bi se utvrdilo jesu li izvučeni iz iste populacije. Ovaj test osjetljiv je na bilo kakve razlike u obliku, položaju ili raspršenosti distribucija uzoraka.

Također, Siegel [37, str. 128] navodi da se može koristiti jednosmjerni test kako bi se utvrdilo jesu li vrijednosti jedne populacije veće od vrijednosti druge, na primjer, u testiranju predikcija o boljim rezultatima eksperimentalne skupine u odnosu na kontrolnu.

Kolmogorov-Smirnovljev test, bilo jednosmjerni ili dvosmjerni, uspoređuje kumulativne distribucije uzoraka kako bi se procijenila njihova podudarnost. Ako su distribucije uzoraka dovoljno različite, to sugerira da uzorci potječu iz različitih populacija. Stoga, značajno odstupanje između kumulativnih distribucija ukazuje na odbacivanje pretpostavke o istovjetnosti populacija. [str. 128-130][37]

5.2.2.1. Primjer primjene K-S testa u programskom alatu Statistica

Istražit će se sljedeće istraživačko pitanje: "Razlikuje li se distribucija godišnje zarade značajno između pojedinaca koji izvan posla uopće ne programiraju i onih koji na bilo koji način programiraju i izvan posla?"

Najprije, moramo odrediti nultu i alternativnu hipotezu.

Nulta hipoteza je: U dva uzorka, suma rangova nema signifikantnu razliku. Drugim riječima, Ne postoji

- H_0 : Postoji razlika u plaćama između ljudi koji izvan posla uopće ne programiraju i ostalih.
- H_1 : Ne postoji razlika u plaćama između ljudi koji izvan posla uopće ne programiraju i ostalih.

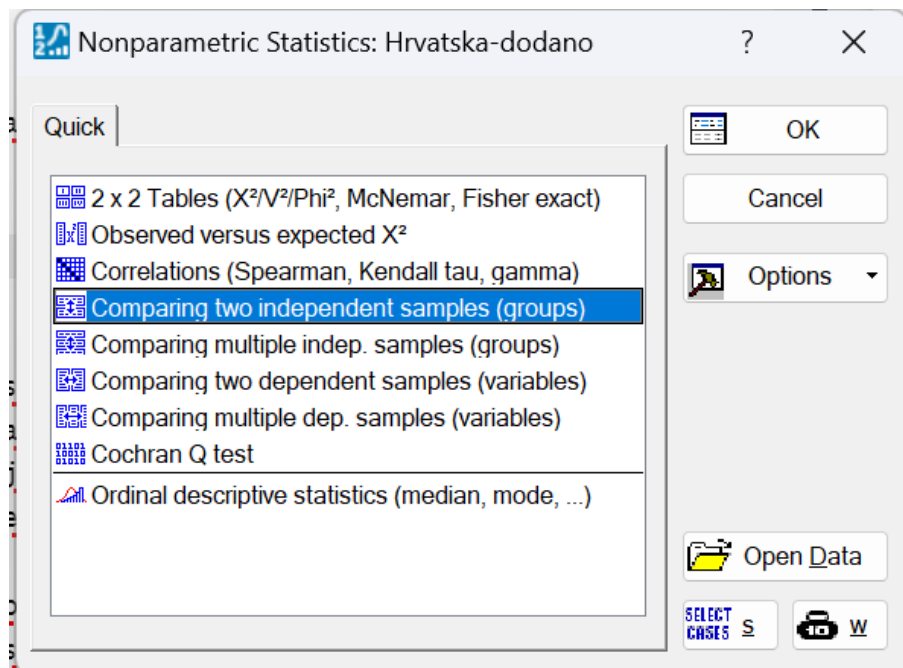
Slijedi opis varijabli i pitanja koje se koriste u ovom primjeru. Prvo je pitanje u anketi glasilo: "*Which of the following best describes the code you write outside of work? Select all that apply.*" Prevedeno na hrvatski jezik, pitanje glasi "Koji od ponuđenih odgovora najbolje opisuje kod koji pišete izvan posla? Odabirate sva polja koja se mogu primjeniti na vašem slučaju". Ispitanici su imali mogućnost odabira više odgovora iz sljedeće skupine odgovora:

1. Hobby
2. Freelance/contract work
3. Contribute to open-source projects
4. Bootstrapping a business
5. School or academic work
6. Professional development or self-paced learning from online courses
7. I don't code outside of work
8. Other (ispitanici mogu dopuniti vlastitim odgovorima)

U samom skupu podataka, odnosno u .csv datoteci, primjer odgovora je: Bootstrapping a business;School or academic work, gdje su odabrani odgovori odvojeni delimiterom. Da bismo mogli napraviti test na dva uzorka, bilo je potrebno i modificirati skup podataka da dobijemo novu varijablu binarne vrijednosti, naziva *CodesAfterWork*, koja će određivati piše li ispitanik kod isključivo na poslu ili ne.

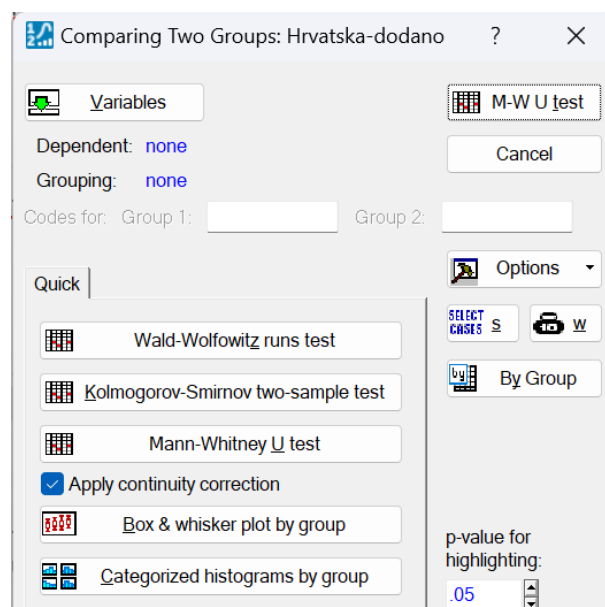
Ovo je implementirano na način da se u alatu Statistica najprije dodala nova varijabla, i to nakon varijable *CodingActivities*. U tu varijablu, koja je dakle dihotomna, vrijednost *No* je postavljena za sve one koji su isključivo odgovorili kako ne kodiraju izvan posla. Svi ostali odgovori prevedene su kao *Yes* u novoj varijabli *CodesAfterWork*.

Nakon što je nova varijabla dodana, napokon se može napraviti Kolmogorov-Smirnovljev test na dva uzorka. Najprije, u alatu Statistica otvaramo prozor za neparametarsku statistiku koji je vidljiv na slici 23.



Slika 23: Prozor Nonparametric Statistics u alatu Statistica i odabir usporedbe dva nezavisna uzorka (samostalna izrada)

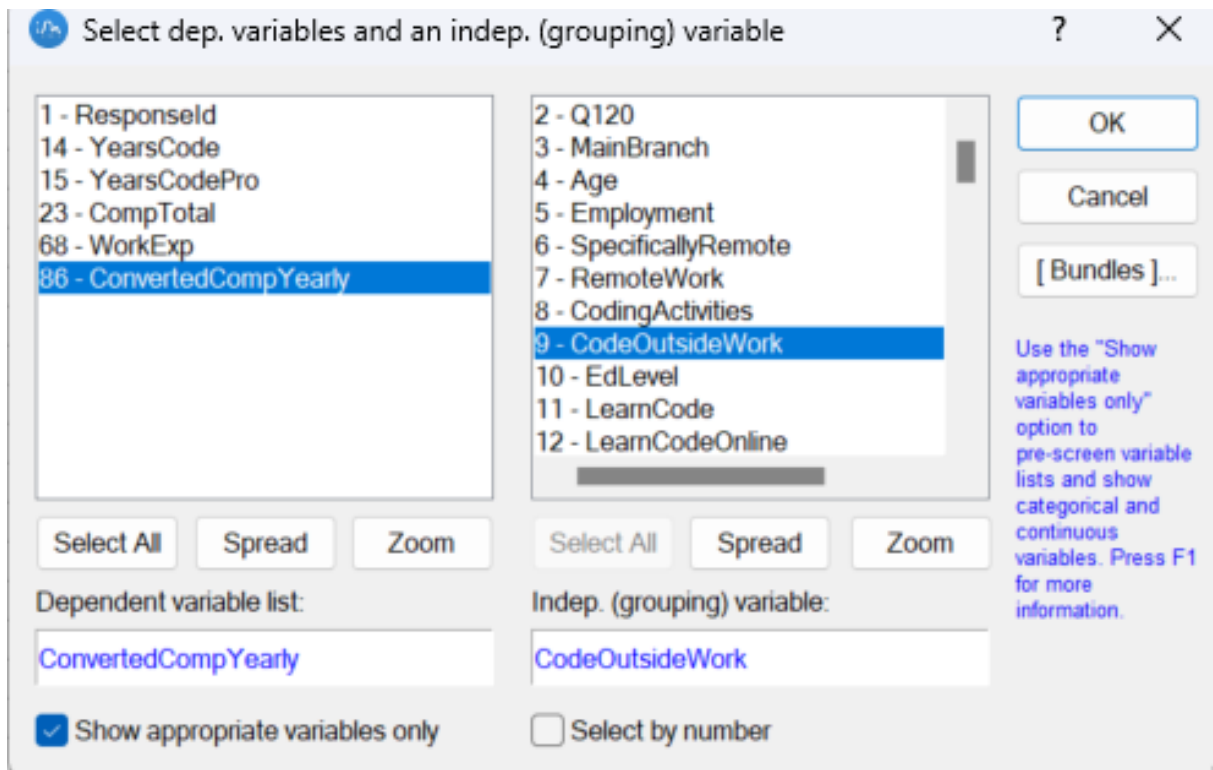
Nakon toga, odabiremo opciju označenu na slici 23 nakon koje nam se otvara prozor vidljiv na slici 24.



Slika 24: Prozor usporedbe dva nezavisna uzorka (samostalna izrada)

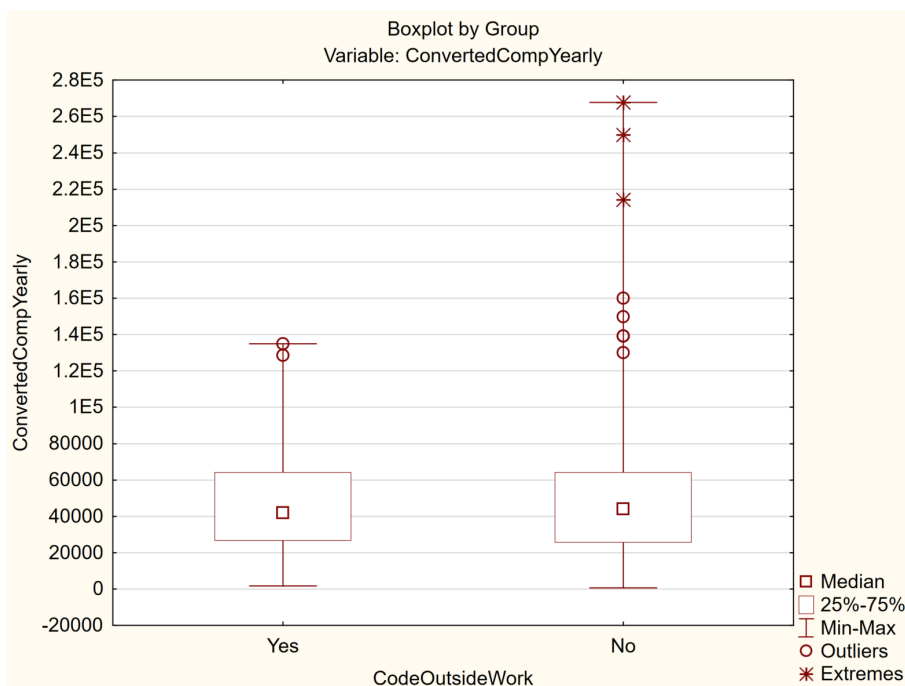
Na slici 24 vidimo različite mogućnosti. Prva je odabir varijabli. Zatim, imamo vid-

Ijive mogućnosti odabira tri različita neparametarska testa na dva nezavisna uzorka: Wald-Wolfowitzev, Kolgomorov-Smirnovljevi i Mann-Whitney U test. Uz to, vidimo i mogućnost generiranja dijagrama s pravokutnicima te histograma. Na desnoj strani prozora vidimo zakozvane "brze" opcije gdje možemo na brzinu odabrati najkorišteniji MWU test, a ostatak prozora je standardan kao i za svaku ostalu vrstu. Sljedeći je korak odabiranje varijabli na kojima ćemo raditi test i za koje će Statistica prepoznati uzorke. Odabir varijabli prikazan je na slici 25.



Slika 25: Odabir varijabli (samostalna izrada)

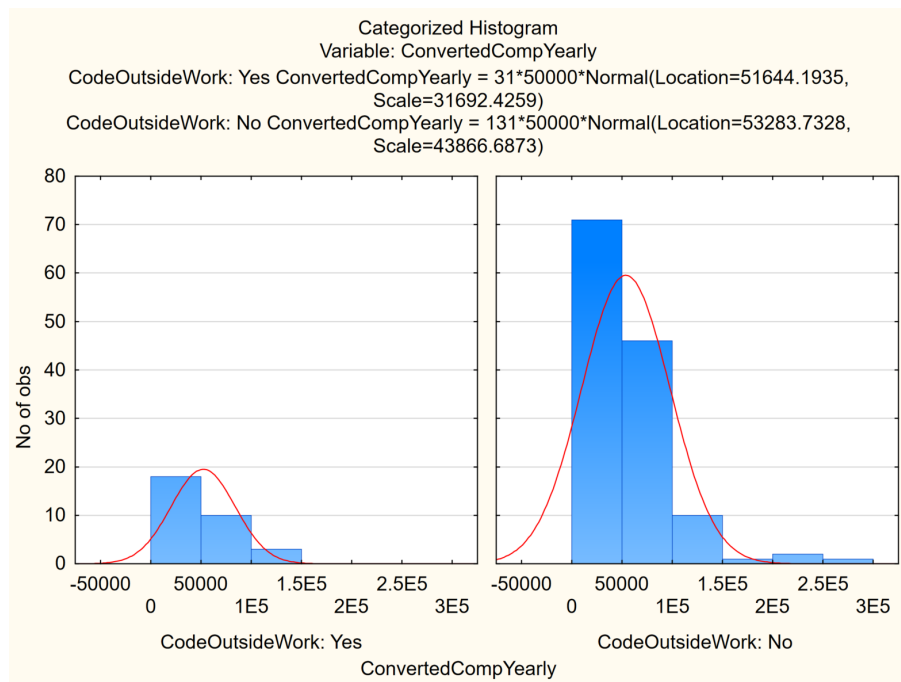
Na slici 25 vidimo prozor odabira varijabli nad kojima želimo napraviti statistički test. Da bi nam se olakšao odabir zavisnih varijabli (u ovom slučaju varijable), uključena je kvačica "Show appropriate variables only" koji filtrira samo numeričke varijable. Za zavisnu varijablu, odabrana je preračunata godišnja zarada, odnosno *ConvertedCompYearly*. Za nezavisnu varijablu, odabrana je već spomenuta varijabla *CodeOutsideWork*. Kod odabira nezavisne ili grupirajuće varijable za testiranje na dva uzorka, bitno je da vrijednost te varijable ima samo dva moguća rezultata, inače odabir varijabli javlja grešku. Nakon što kliknemo OK, vraćamo se na prozor sa slike 24. Odatle, najprije opciju *Box whisker plot by group*, a čiji je rezultat vidljiv na slici 26.



Slika 26: Dijagram s pravokutnicima za varijable *CodeOutsideWork* i *ConvertedCompYearly* (samostalna izrada)

Dijagram s pravokutnicima na slici 26 prikazuje distribuciju godišnje preračunate kompenzacije (*ConvertedCompYearly*) za dvije grupe: one koji kodiraju izvan posla ("Yes") i one koji to ne rade ("No"). Iz njega vidimo da je medijan kompenzacije za grupu koja kodira izvan posla niži nego za grupu koja to ne radi. Ovo je prikazano crvenim kvadratom unutar svake kutije. Pravokutnik predstavlja interkvartilni raspon, koji pokriva od 25. do 75. percentila distribucije. Interkvartilni raspon za grupu koja kodira izvan posla je uži u odnosu na grupu koja ne kodira, što sugerira manju varijabilnost u kompenzaciji unutar te grupe. "Brkovi" koji se protežu iz pravokutnika pokazuju opseg podataka, isključujući stršila. Vidljivo je da grupa koja kodira izvan posla ima niže maksimalne vrijednosti (bez ekstrema), dok grupa koja ne kodira ima veći opseg plaća. Krugovi predstavljaju stršila koje se značajno razlikuju od ostalih podataka, ali nisu ekstremno visoke ili niske. Zvijezde označavaju ekstremno visoke ili niske vrijednosti. Grupa koja ne kodira izvan posla ima više ekstremnih vrijednosti, što upućuje na to da ima više osoba s vrlo visokim plaćama u odnosu na onu koja kodira.

Iz ovog dijagrama s pravokutnicima može se zaključiti da iako grupa koja ne kodira izvan posla ima veći raspon plaća i više ekstremno visokih vrijednosti, medijan kompenzacije je veći u ovoj grupi. S druge strane, grupa koja kodira izvan posla ima manju varijabilnost u kompenzaciji i niži medijan. Nakon dijagrama s pravokutnicima, vidjet ćemo rezultate iz histograma na slici 27.



Slika 27: Histogrami na dvije grupe za K-S test (samostalna izrada)

Histogrami sa slike 27 prikazuju distribuciju godišnje preračunate kompenzacije (*ConvertedCompYearly*) za dvije različite grupe: one koji kodiraju izvan posla ("*CodeOutsideWork: Yes*") i one koji to ne rade ("*CodeOutsideWork: No*"). Svaki histogram prikazuje broj promatranja (*No of obs*) na vertikalnoj osi i godišnju preračunatu kompenzaciju na horizontalnoj osi. Nad svakim histogramom je nacrtana crvena krivulja, koja predstavlja normalnu distribuciju prilagođenu podacima, sa specifičnim parametrima lokacije (srednja vrijednost) i omjera (standardna devijacija) kako slijedi.

Za grupu koja kodira izvan posla, srednja vrijednost iznosi 51.644,1935, a standardna devijacija 31.692,4259. Za drugu grupu srednja vrijednost je 53.283,7328, dok je standardna devijacija 43.866,6873. Analizirajući histogram, možemo zaključiti da grupa koja ne kodira izvan posla ima nešto veću srednju vrijednost godišnje preračunate kompenzacije. Iako su srednje vrijednosti slične, grupa koja ne kodira izvan posla ima veću raznolikost u plaćama, što se vidi po širem obliku histograma i većoj standardnoj devijaciji. Na oba histograma se vidi da većina podataka leži bliže lijevom kraju (manje vrijednosti plaće), a manji broj promatranja se proteže prema desnom kraju (veće vrijednosti plaže). To sugerira desnu asimetriju u distribuciji plaće za obje grupe. Na osnovu prilagođene crvene krivulje normalne distribucije, može se primijetiti da distribucija plaća za obje grupe odstupa od savršene normalne distribucije. Ovo se osobito vidi u grupi koja ne kodira izvan posla, gdje je krivulja šira i ravnomjernija, što nam sugerira veću varijabilnost u plaćama.

Histogrami pokazuju da postoji veći broj osoba s nižim plaćama u obje grupe, što je tipično za distribucije plaća gdje većina zaposlenika zarađuje unutar sličnog raspona, ali malo njih zarađuje značajno više, što stvara dugi rep na desnoj strani distribucije.

Konačno, izračunat je i Kolmogorov-Smirnovljev test, a njegovi rezultati vidljivi su u slici

| Kolmogorov-Smirnov Test (Hrvatska-dodano) | | | | | | | | | |
|--|--------------------|--------------------|---------|-------------|------------|-----------------|----------------|----------------|---------------|
| By variable CodeOutsideWork | | | | | | | | | |
| Marked tests are significant at p < .05000 | | | | | | | | | |
| variable | Max Neg Diffenc | Max Pos Diffenc | p-value | Mean Yes | Mean No | Std.Dev. Yes | Std.Dev. No | Valid N Yes | Valid N No |
| ConvertedCompYearly | -0.065747 | 0.128047 | p > .10 | 51644.19 | 53283.73 | 31692.43 | 43866.69 | 31 | 131 |

Slika 28: Rezultati Kolmogorov-Smirnovljeva testa (samostalna izrada)

Maksimalna negativna razlika u kumulativnim distribucijskim funkcijama dva uzorka je -0,065747. To je najveća razlika gdje distribucija uzorka koji kodira izvan posla premašuje distribuciju uzorka koji ne kodira. Maksimalna pozitivna razlika je 0,128047. Ovo je najveća razlika gdje distribucija uzorka koji ne kodira izvan posla premašuje distribuciju uzorka koji kodira. P-vrijednost je veća od 0,10, što znači da na razini značajnosti od 0,05 ne postoji statistički razlika između distribucija godišnjih preračunatih plaća između onih koji kodiraju izvan posla i onih koji to ne rade. Broj valjanih promatranja (bez nedostajućih podataka) za one koji kodiraju izvan posla (Yes) je 31, a za one koji to ne rade (No) je 131. Zaključno, Kolmogorov-Smirnovljev test ukazuje na to da nema statistički značajne razlike u distribuciji godišnjih preračunatih plaća između ispitanih grupa na odabranoj razini značajnosti.

5.2.3. Wilcoxon-Mann-Whitneyev U test

Wilcoxon-Mann-Whitney U test je alternativa t-testu za nezavisne uzorke, poznat i kao Wilcoxonov test sume rangova ili U test. Posebno je koristan za male skupove podataka i može se primijeniti na podatke mjereni barem na ordinalnoj skali. Na primjer, može se koristiti za istraživanje razlika u plaćama između spolova ili percepcije zdravlja između korisnika prvog lijeka i placeba. Za razliku od parametarskih testova, ne zahtijeva normalnost ili jednake varijance, ali zahtijeva nezavisnost promatranja i slučajni odabir uzorka. [37]

Mann-Whitney U test uspoređuje medijane dviju skupina podataka kako bi utvrdio razliku između njih. Podaci iz obje skupine se kombiniraju i rangiraju, a suma rangova za svaku skupinu izračunava se zasebno. Nulta hipoteza tvrdi da su rangovi za obje skupine jednaki, a značajna razlika u sumama rangova sugerira da skupine dolaze iz različitih populacija. [37]

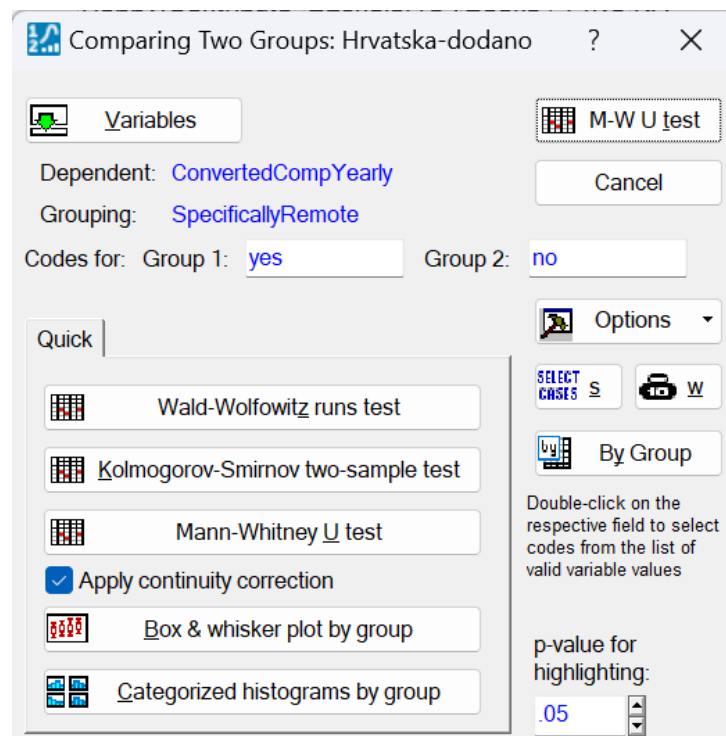
5.2.3.1. Primjer primjene Wilcoxon-Mann-Whitneyevog U testa kroz programski alat Statistica

Istražit će se sljedeće istraživačko pitanje: "Razlikuje li se distribucija godišnje zarade značajno između pojedinaca koji rade isključivo na daljinu (remote) u usporedbi s ostalima?"

Najprije, moramo odrediti nultu i alternativnu hipotezu.

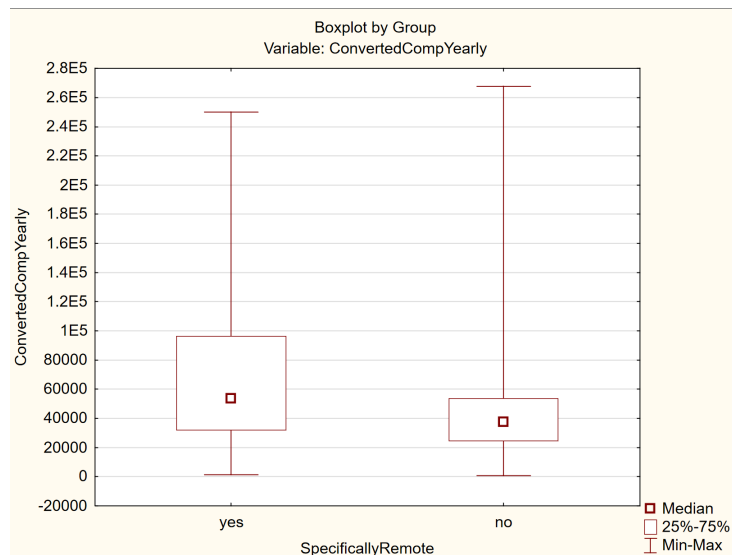
- H_0 : Ne postoji razlika u plaćama između ljudi koji rade isključivo na daljinu i ostalih.
- H_1 : Postoji razlika u plaćama između ljudi koji rade isključivo na daljinu i ostalih.

Također, bilo je potrebno i modificirati skup podataka da dobijemo novu varijablu binarne vrijednosti *SpecificallyRemote* (koju smo već koristili kod binomnog testa) koja će određivati radi li ispitanik isključivo na daljinu ili radi hibridno ili iz ureda.



Slika 29: Početni prikaz statistike za dva nezavisna uzorka (samostalna izrada)

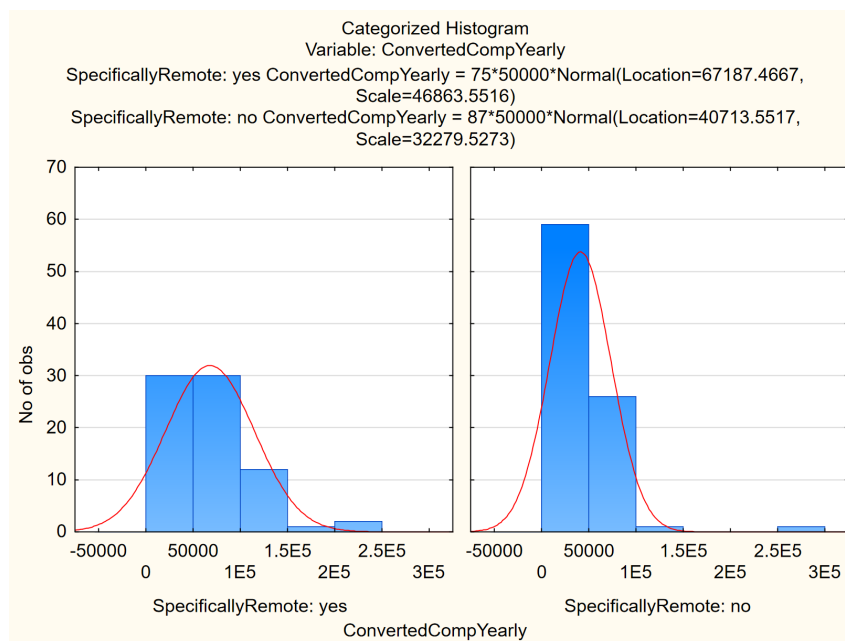
Na slici 29 vidimo početni prikaz statistike za dva nezavisna uzorka. U njemu najprije odabiremo zavisnu i nezavisnu varijablu. Zatim nam se pruža mogućnost promjene kodiranja za različite uzorke. Osim toga, prikazani su mogući testovi koje možemo pokrenuti (Wald-Wolfowitz, Kolmogorov-Smirnovljevi i MWU test). Nadalje, vidimo kako možemo odabrati i dijagram s pravokutnicima te histogram. Također, možemo birati i razinu signifikantnosti kao i mijenjati razne opcije. Najprije je odabran dijagram s pravokutnicima da se vidi nešto prikazano na slici 30.



Slika 30: Dijagram s pravokutnicima preračunatih plaća s obzirom na remote rad (samostalna izrada)

Na slici 30 vidimo dijagram s pravokutnicima koji prikazuje distribuciju godišnje plaće, koje su prikazane na vertikalnoj osi (y-osi), za dvije različite grupe: osobe koje rade isključivo na daljinu (označene s "yes") i one koje ne rade isključivo na daljinu (označene s "no"). Ove grupe su prikazane na horizontalnoj osi (x-osi). Crvene linije unutar pravokutnika označavaju medijan godišnje zarade za svaku grupu. Medijan za grupu koja radi na daljinu je iznad 60000, dok je za grupu koja ne radi na daljinu nešto niži, ali također blizu 60000. Same kutije predstavljaju interkvartilni raspon (raspon između 25. i 75. percentila). Interkvartilni raspon grupe koja radi na daljinu je veći u usporedbi s grupom koja ne radi na daljinu, što ukazuje na veću varijabilnost u zaradama među radnicima na daljinu. Linije koje se protežu od pravokutnika predstavljaju minimalne i maksimalne vrijednosti zarade, koje nisu stršila ili izvanredni podaci (stršila). Maksimalna zarada za grupu koja radi na daljinu ide do skoro 250,000, dok maksimum za grupu koja ne radi na daljinu doseže nešto manje od toga. Na dijagramu nema prikazanih izvanrednih vrijednosti, što bi bili podaci koji znatno odstupaju od ostalih vrijednosti.

Nakon dijagrama s pravokutnicima, prikazan je i histogram za isti skup podataka na slici 31.



Slika 31: Histogram preračunatih plaća s obzirom na remote rad (samostalna izrada)

Na slici 31, vidimo histogram koji pokazuje da većina radnika na daljinu ostvaruje niže godišnje zarade. Na histogramu za ovu grupu najveći broj promatranih (oko 60 osoba) nalazi se unutar prvog raspona. Iako crvena krivulja predstavlja približno normalnu distribuciju podataka, nije postignuta potpuna simetrija, što znači da zarade radnika na daljinu ne slijede u potpunosti normalnu distribuciju. Slične zaključke možemo povući i za radnike koji ne rade na daljinu. Većina ispitanika iz ove grupe također je grupirana oko nižih vrijednosti zarada, s tim da je najviše osoba! (više od 60) unutar srednjeg raspona zarade na histogramu. Crvena krivulja označava približno normalnu distribuciju, no i ovdje postoji odstupanje od idealne simetrije. Zanimljivo je primijetiti da se na oba histograma raspon prikazanih zarada kreće od negativnih do iznosa većih od 200,000. Negativne zarade su vrlo neobične i ukazuju na mogućnost grešaka ili netočnih podataka u istraživanju. Oba histograma ipak nedvosmisleno upućuju na zaključak da je broj radnika s nižim primanjima znatno veći od onih s visokim primanjima, što je očekivano za prikaz distribucije dohotka. Da bismo formalno utvrdili postoji li razlika u medijanama zarada između ove dvije grupe, koristili bismo Mann-Whitney U test. Histogrami nam daju dobar vizualni pregled podataka, ali je potrebna dodatna statistička analiza kako bismo mogli donijeti pouzdane zaključke.

| Mann-Whitney U Test (w/ continuity correction) (Hrvatska-dodano) | | | | | | | | | |
|--|-----------------|----------------|----------|----------|----------|---------------|----------|----------------|---------------|
| By variable SpecificallyRemote | | | | | | | | | |
| Marked tests are significant at p < .05000 | | | | | | | | | |
| variable | Rank Sum yes | Rank Sum no | U | Z | p-value | Z adjusted | p-value | Valid N yes | Valid N no |
| ConvertedCompYearly | 7344.000 | 5859.000 | 2031.000 | 4.134896 | 0.000036 | 4.137361 | 0.000035 | 75 | 87 |

Slika 32: Rezultati Mann-Whitney U testa (samostalna izrada)

Na slici 32 vidimo rezultate Mann-Whitney U testa, koji se koristi za procjenu postoji li statistički razlika između dvije nezavisne grupe ili uzorka. U ovom konkretnom slučaju, test uspoređuje godišnju plaću (varijabla *ConvertedCompYearly*) ispitanika koji rade isključivo na

daljinu i onih koji to ne čine.

- *Rank Sum yes/no*: Ovaj parametar prikazuje sumu rangova za svaku grupu. Radnici na daljinu imaju sumu rangova 7344, a druga grupa 5859. Rangovi predstavljaju poziciju koju svaka pojedinačna vrijednost ima kad se svi podaci spoje i sortiraju.
- *U vrijednost*: Statistika U testa, koja uspoređuje dvije grupe, iznosi 2031. Ova vrijednost ukazuje na količinu preklapanja između distribucija plaća svake grupe.
- *Z vrijednost*: Ova vrijednost je standardizirana verzija U statistike. Pomoću Z vrijednosti (4,134896 prije korekcije, 4,137361 nakon korekcije) možemo vidjeti koliko standardnih devijacija je rezultat udaljen od očekivanja ako ne postoji razlika između grupa.
- *p-vrijednost*: Vrlo mala p-vrijednost (0,000036 prije korekcije, 0,000035 nakon) ukazuje na to da je vrlo mala vjerojatnost da bismo samo pukom slučajnošću dobili ovako veliku razliku u rangovima. Standardni je prag značajnosti 0,05, a ovdje je p-vrijednost znatno manja.
- *Valid N yes/no*: Označava broj valjanih mjerenja u svakoj grupi – 75 radnika na daljinu i 87 ostalih radnika.

Možemo zaključiti da smo zbog vrlo male p-vrijednosti sigurni da postoji statistički razlika u godišnjoj zaradi između ispitanika koji rade na daljinu i onih koji ne. Odbacujemo nultu hipotezu koja govori da nema razlike u distribuciji zarade između ovih grupa. Međutim, ovaj test ne pokazuje koja grupa ima veću zaradu, već samo potvrđuje da između njih postoji razlika.

5.3. Neparametarski testovi na dva zavisna uzorka

Prema Siegelu [37, str. 61], statistički testovi za dva zavisna uzorka koriste se za utvrđivanje razlika između dvije intervencije. Intervencija može biti bilo što, poput lijekova, obuke, promjene okoline ili ekonomskih uvjeta. U ovim usporedbama, grupa koja prolazi intervenciju obično se uspoređuje s onom koja nije ili je prošla drugačiju intervenciju. Međutim, značajne razlike između grupa mogu biti uzrokovane vanjskim varijablama. Na primjer, u istraživanju različitih metoda podučavanja, jedna grupa učenika može biti sposobnija ili motiviranija, što otežava preciznu usporedbu metoda.

Siegel [37] navodi da je jedan način prevladavanja tih problema zapravo korištenje dvaju povezanih uzoraka. To se može postići uparivanjem sudionika ili korištenjem svakog sudionika više puta. U metodi uparivanja, sudionici se uparuju prema sličnostima, a zatim se svaki par dodjeljuje različitim uvjetima. [37]

Kao što je već spomenuto, zbog specifičnosti odabranog anketnog upitnika, isti će se proširiti podacima iz anketnih upitnika iz 2022. i 2021. godine.

5.3.1. Test predznaka za dva zavisna uzorka

Test predznaka posebno je koristan za istraživanja u kojima kvantitativno mjerenje nije moguće ili je neizvedivo, ali je moguće rangirati međusobno dva člana svakog para. Test predznaka primjenjiv je kada se za dva povezana uzorka želi utvrditi jesu li dva uvjeta različita. Jedina pretpostavka testa je ta da promatrana varijabla ima kontinuiranu distribuciju. Test nema nikakve pretpostavke o obliku distribucije razlika, niti pretpostavlja da su svi ispitanici izvučeni iz iste populacije. Različiti parovi mogu biti iz različitih populacija s obzirom na dob, spol, inteligenciju itd.; jedini zahtjev je da je unutar svakog para istraživač postigao usklađivanje s obzirom na relevantne vanjske varijable. [12]

5.3.1.1. Primjer primjene testa predznaka u alatu Statistica

Za test predznaka testirat ćemo je li pojava umjetne inteligencije (AI) utjecala na učestalost poslovne komunikacije s ljudima izvan trenutnog tima. Odnosno, ispituje se postoji li razlika u učestalosti poslovne komunikacije s ljudima izvan trenutnog tima između 2022. i 2023. godine. Zapravo, postavljamo sljedeće hipoteze:

- H_0 : Ne postoji razlika u učestalosti poslovne komunikacije s ljudima izvan trenutnog tima između 2022. i 2023.
- H_1 : Postoji razlika u učestalosti poslovne komunikacije s ljudima izvan trenutnog tima između 2022. i 2023.

Na pitanje koliko često komunicirate s ljudima izvan trenutnog tima, ispitanicima su bili ponuđeni sljedeći odgovori:

- Never (Nikad)
- 1-2 times a week (1-2 puta tjedno)
- 3-5 times a week (3-5 puta tjedno)
- 6-10 times a week (6-10 puta tjedno)
- 10 times a week (10+ puta tjedno)

Svakom od ponuđenih odgovora, pridružen je rang, odnosno Never opcija zamijenjena je vrijednošću 1, 1-2 times a week vrijednošću 2 i tako dalje. Konačno, iz početnog stanja sa slike 33, dobili smo stanje sa slike 34 koje ćemo uvesti u programski alat Statistica.

| | A | B |
|----|-------------------|-------------------|
| 1 | Frequency2022 | Frequency2023 |
| 2 | 6-10 times a week | 6-10 times a week |
| 3 | 6-10 times a week | 1-2 times a week |
| 4 | 1-2 times a week | 6-10 times a week |
| 5 | 6-10 times a week | Never |
| 6 | 6-10 times a week | 10+ times a week |
| 7 | 6-10 times a week | 1-2 times a week |
| 8 | 3-5 times a week | 1-2 times a week |
| 9 | 1-2 times a week | 1-2 times a week |
| 10 | 3-5 times a week | 3-5 times a week |
| 11 | 1-2 times a week | 10+ times a week |
| 12 | 10+ times a week | 1-2 times a week |
| 13 | 3-5 times a week | 1-2 times a week |
| 14 | 6-10 times a week | 6-10 times a week |
| 15 | 1-2 times a week | 3-5 times a week |
| 16 | 10+ times a week | 10+ times a week |
| 17 | 6-10 times a week | 10+ times a week |
| 18 | 1-2 times a week | 6-10 times a week |

Slika 33: Varijable za test predznaka prije zamjene

| Frequency2022 | Frequency2023 |
|---------------|---------------|
| 4 | 4 |
| 4 | 2 |
| 2 | 4 |
| 4 | 1 |
| 4 | 5 |
| 4 | 2 |
| 3 | 2 |
| 2 | 2 |
| 3 | 3 |
| 2 | 5 |
| 5 | 2 |
| 3 | 2 |
| 4 | 4 |
| 2 | 3 |
| 5 | 5 |
| 4 | 5 |
| 2 | 4 |

Slika 34: Varijable za test predznaka nakon zamjene

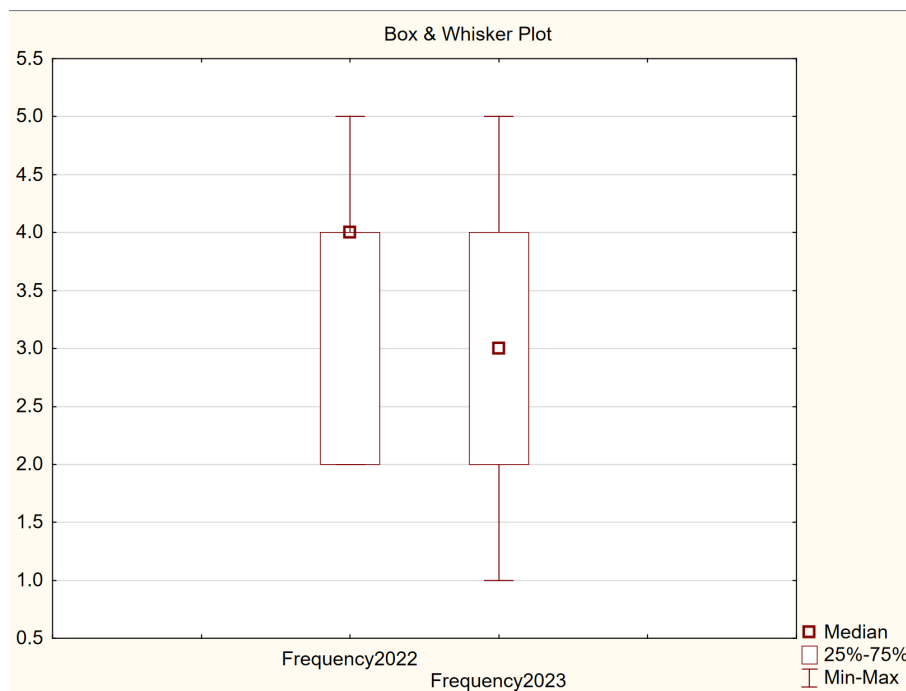
Odabirom opcije Sign test, odabiremo dvije varijable te se generiraju rezultati testa predznaka, vidljivi na slici 35

| Pair of Variables | Sign Test (21-22-23) | | | |
|-------------------------------|----------------------|---------------|-----------|----------|
| | No. of Non-ties | Percent v < V | Z | p-value |
| Frequency2022 & Frequency2023 | 12 | 50.00000 | -0.288675 | 0.772830 |

Slika 35: Rezultati testa predznaka (samostalna izrada)

Na slici 35 prikazan je rezultat izlaza Sign testa. Dio rezultata No.of Non-ties predstavlja broj parova opažanja u kojima se vrijednosti dviju varijabli ne razlikuju. U ovom slučaju, postoji

12 parova opažanja u kojima su vrijednosti učestalosti bile različite kod istih ispitanika u godinu dana razlike. Sljedeći podatak koji se nalazi u tablici jest $Percent\ v < V$ koji predstavlja postotak jednakih rezultata učestalosti. Ovaj postotak predstavlja udio vezanih parova opažanja u ukupnom broju parova. U ovom slučaju, 50% parova opažanja je bilo jednako. Nadalje, z-vrijednost iznosi -0,288675. P-vrijednost je ovdje vjerojatnost dobivanja z-vrijednosti jednake ili ekstremnije od one koja je promatrana, pod pretpostavkom da nema prave razlike između dva uzorka. U ovom slučaju, p-vrijednost iznosi 0,772830. Možemo zaključiti da na temelju ovih rezultata, ne možemo odbaciti nultu hipotezu da ne postoji razlika učestalosti poslovne komunikacije s ljudima izvan trenutnog tima između 2022. i 2023. Za ovaj test, napravljen je i dijagram s pravokutnicima vidljiv na slici 36.



Slika 36: Dijagram s pravokutnicima za test predznaka (samostalna izrada)

Na slici 36 vidimo dijagram s pravokutnicima dobiven prema uvezenim podacima. Na njemu možemo vidjeti kako je medijan učestalosti za 2022. za 1 viši od medijana u 2023. Vizualno, izgleda da postoji razlika između ove dvije varijable.

5.3.2. Wilcoxonov test

Wilcoxonov test za rangiranje parova je neparametarska alternativa t-testu za dva zavisna uzorka. Koristi se kada su pretpostavke t-testa narušene. On proširuje Wilcoxonov test rangova na dva zavisna uzorka, a dodatno zahtijeva intervalne ili omjerne podatke u n parova. Wilcoxonov test procjenjuje je li medijan razlika vrijednosti (vrijednosti iz jednog uvjeta oduzete od vrijednosti iz drugog uvjeta) značajno odstupa od nule, što bi ukazivalo na to da uzorci vjerojatno predstavljaju različite populacije. Ključne pretpostavke uključuju slučajan odabir ispitanika, intervalne ili omjerne podatke za ocjenjivanje i simetričnu distribuciju razlika vrijednosti oko medijana. Pravilna izvedba zahtijeva slučajan redoslijed uvjeta i, ako se koriste parovi

sa podudarnim uzorcima, slučajan raspored unutar parova. Za razliku od drugih rangiranih testova, Wilcoxonov test parova s potpisanim rangiranim razlikama rangira razlike vrijednosti umjesto originalnih vrijednosti, i zato se također zna klasificirati kao test ordinalnih podataka unatoč tome što su njegovi korijeni u intervalnim ili omjernim podacima. [12, str. 809]

5.3.2.1. Primjer primjene Wilcoxonovog testa na dva zavisna uzorka

Za ovaj test testirat ćemo je li pojava umjetne inteligencije (AI) utjecala na vrijeme koje programeri provode tražeći odgovore. Odnosno, ispitujemo postoji li razlika u vremenu provedenom tražeći odgovore između 2022. i 2023. godine. Zapravo, postavljamo sljedeće hipoteze:

- H_0 : Ne postoji razlika u vremenu provedenom tražeći odgovore između 2022. i 2023.
- H_1 : Postoji razlika u vremenu provedenom tražeći odgovore između 2022. i 2023.

Na pitanje koliko vremena u danu potrošite na traženje odgovora na platformi Stack Overflow, ispitanicima su bili ponuđeni sljedeći odgovori:

- Less than 15 minutes (manje od 15 minuta)
- 15-30 minutes (između 15 i 30 minuta)
- 30-60 minutes (između 30 i 60 minuta)
- 60-120 minutes (između 60 i 120 minuta)
- Over 120 minutes (više od 120 minuta)

Svakom od ponuđenih odgovora, pridružen je rang, odnosno Less than 15 minutes opcija zamijenjena je vrijednošću 1, 15-30 minutes vrijednošću 2 i tako dalje. Konačno, iz početnog stanja sa slike 37, dobili smo stanje sa slike 38 koje ćemo uvesti u programski alat Statistica.

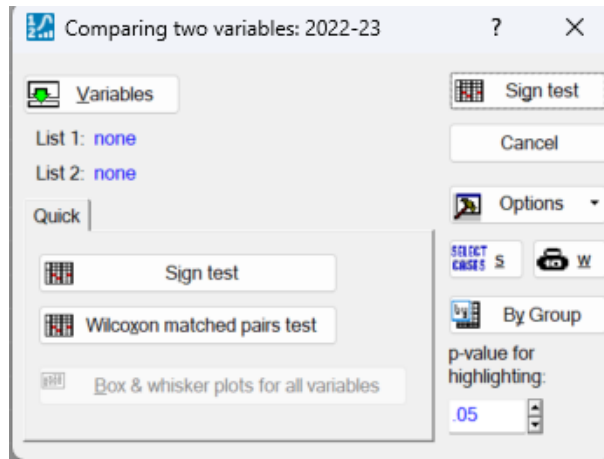
| TimeSearching2022 | TimeSearching2023 |
|------------------------|----------------------|
| 30-60 minutes a day | 30-60 minutes a day |
| 30-60 minutes a day | 15-30 minutes a day |
| 60-120 minutes a day | 15-30 minutes a day |
| 15-30 minutes a day | 60-120 minutes a day |
| 15-30 minutes a day | 15-30 minutes a day |
| 30-60 minutes a day | 30-60 minutes a day |
| 60-120 minutes a day | 30-60 minutes a day |
| 60-120 minutes a day | 60-120 minutes a day |
| 15-30 minutes a day | 30-60 minutes a day |
| Over 120 minutes a day | 30-60 minutes a day |
| 30-60 minutes a day | 30-60 minutes a day |
| 30-60 minutes a day | 30-60 minutes a day |
| Over 120 minutes a day | 60-120 minutes a day |
| 15-30 minutes a day | 30-60 minutes a day |
| 30-60 minutes a day | 15-30 minutes a day |
| 30-60 minutes a day | 30-60 minutes a day |
| Over 120 minutes a day | 30-60 minutes a day |

Slika 37: Varijable prije zamjene (samostalna izrada)

| TimeSearching2022 | TimeSearching2023 |
|-------------------|-------------------|
| 3 | 3 |
| 3 | 2 |
| 4 | 2 |
| 2 | 4 |
| 2 | 2 |
| 3 | 3 |
| 4 | 3 |
| 4 | 4 |
| 2 | 3 |
| 5 | 3 |
| 3 | 3 |
| 3 | 3 |
| 5 | 4 |
| 2 | 3 |
| 3 | 2 |
| 3 | 3 |
| 5 | 3 |

Slika 38: Varijable nakon zamjene (samostalna izrada)

Nakon što smo u *Nonparametrics* prozoru u alatu Statistica odabrali opciju *Comparing to dependent samples (variables)* otvara nam se prozor koji možemo vidjeti na slici 39.



Slika 39: Prozor *Comparing to dependent samples (variables)* u Statistici (samostalna izrada)

Na slici 39 vidimo prozor u kojem se nalaze opcije za testiranje na dva zavisna uzorka. Statistica nam pruža mogućnost Sign testa i Wilcoxonovog testa. Također, vidimo i ostale standardne mogućnosti koje ima svaka ostala vrsta testa u Statistici. Nakon što smo unijeli varijable, klikom na Wilcoxonov test, prikazuju nam se rezultati Wilcoxonovog testa što je prikazano na slici 40.

| Pair of Variables | Wilcoxon Matched Pairs Test (2022-23) | | | |
|---------------------------------------|---------------------------------------|----------|----------|----------|
| | Valid N | T | Z | p-value |
| TimeSearching2022 & TimeSearching2023 | 10 | 15.50000 | 1.223153 | 0.221273 |

Slika 40: Rezultati Wilcoxonovog testa (samostalna izrada)

Na slici 40 vidimo rezultate Wilcoxonovog testa za uspoređivanje parova podataka. Test se koristi za provjeru postoji li statistički razlika između dva skupa podataka. U ovom slučaju dva skupa podataka su "TimeSearching2022" i "TimeSearching2023".

Rezultati testa pokazuju da je p-vrijednost testa 0,221273. To znači da ne postoji statistički razlika između dva skupa podataka na razini značajnosti od 0,05. Drugim riječima, ne možemo zaključiti da se vrijeme pretraživanja značajno promijenilo od 2022. do 2023. godine. Uz to, prikazane su i T i Z vrijednosti. T vrijednost testa je 15,50000. T vrijednost se ne koristi za interpretaciju rezultata testa. Z vrijednost testa je 1,223153. Z vrijednost je standardizirani oblik T vrijednosti i također se ne koristi za interpretaciju rezultata testa. Na temelju rezultata Wilcoxonovog testa ne možemo zaključiti da se vrijeme pretraživanja značajno promijenilo od 2022. do 2023. godine. Konačno, možemo zaključiti da nemamo dovoljno informacija da možemo odbiti nultu hipotezu.

5.3.3. McNemarov test

Sheskin [12, str. 835] navodi da je McNemarov test neparametarska metoda za analizu kategorijalnih podataka iz dva zavisna uzorka, a posebno je korisna za dihotomne varijable. McNemarov test je zapravo specifična primjena Cochranovog Q testa na dva uzorka koja omogućuje usporedbu odgovora prije i poslije intervencije (ili nakon vremenskog razdoblja) između dva uzorka. Test pretpostavlja da svaki ispitanik daje dva podatka, a procjenjuje pitanje dovodi li intervencija ili vremenski odmak do značajnih promjena u distribuciji odgovora. McNemarov test je također primjenjiv na jednogrupne ankete nakon određene intervencije, gdje se ispituje uzrokuje li eksperimentalni tretman značajne pomake u odgovorima.

Test je temeljen na sljedećim pretpostavkama:

1. Uzorak od n ispitanika odabran je nasumično iz populacije koju predstavlja
2. Svako od n promatranja u tablici kontingencije nezavisno je o ostalim promatranjima
3. Varijabla koja se testira mora biti dihotomna, odnosno rezultati ispitanika moraju biti predstavljeni dvočlanom kategoričkom mjerom koja uključuje dvije međusobno isključive kategorije (da/ne i sl.)
4. Većina izvora sugerira izbjegavanje McNemar testa za vrlo male uzorke.

[42]

U konačnici, McNemarov test se koristi za utvrđivanje razlika na dihotomnoj zavisnoj varijabli između dvije povezane grupe. Može se smatrati sličnim t-testu, ali za dihotomnu umjesto kontinuirane zavisne varijable. McNemarov test se koristi za i za analizu sparivanja parova i studija slučajeva. Na primjer, McNemarov test može se koristiti da bi se utvrdilo je li se proporcija sudionika sa niskim samopouzdanjem smanjila nakon niza savjetovanja (zavisna varijabla bi bila "nivo samopouzdanja", koji ima dvije kategorije: "nizak" i "visok"). [42]

5.3.3.1. Primjer primjene McNemarovog testa

McNemarovim testom ispitat ćemo istraživačko pitanje: "Postoji li razlika u upravljanju ljudima između 2022. i 2023.?"

Samim time, postavljamo hipoteze.

- H_0 : Ne postoji razlika u upravljanju ljudima između 2022. i 2023.
- H_1 : Postoji razlika u upravljanju ljudima između 2022. i 2023.

Pitanje koje se postavilo u anketi bilo je Are you an Individual contributor or People manager? Prevedeno na hrvatski jezik, pitanje glasi Jeste li individualni radnik ili upravljate ljudima? Ove dvije kategorije dalje će se u tekstu navoditi kao "radnik" i "vođa". Ovdje su dakle moguća samo dva odgovora, a to je onda dihotomna varijabla. Ukupan skup podataka nad kojima je napravljen McNemarov test vidljiv je na slici 41.

| ICorPM2022 | ICorPM2023 |
|------------------------|------------------------|
| Individual contributor | People manager |
| Individual contributor | People manager |
| Individual contributor | Individual contributor |
| Individual contributor | Individual contributor |
| People manager | People manager |
| Individual contributor | People manager |
| People manager | Individual contributor |
| Individual contributor | Individual contributor |
| Individual contributor | People manager |
| Individual contributor | Individual contributor |
| People manager | Individual contributor |
| Individual contributor | Individual contributor |
| Individual contributor | People manager |
| Individual contributor | Individual contributor |
| People manager | Individual contributor |
| People manager | People manager |
| Individual contributor | People manager |

Slika 41: Tablica za McNemarov test (samostalna izrada)

Na slici 41 prikazana je tablica odgovora istih ispitanika u dvije različite godine. Isti podaci uvedeni su u alat PSPP gdje je obrađena statistička analiza. Kako bi se bolje razumjeli podatke i ispitali jesu li sve pretpostavke testa važeće, najprije moramo napraviti tzv. *Crosstabs* analizu. Ta analiza vidljiva je na slici 42.

```

CROSSTABS
  /TABLES= ICorPM2022 BY ICorPM2023
  /FORMAT=AVALUE TABLES
  /CELLS=COUNT ROW COLUMN TOTAL.

```

Summary

| | Cases | | | | | |
|-------------------------------|-------|---------|---------|---------|-------|---------|
| | Valid | | Missing | | Total | |
| | N | Percent | N | Percent | N | Percent |
| ICorPM2022 x ICorPM2023 | 17 | 100.0% | 0 | .0% | 17 | 100.0% |

ICorPM2022 x ICorPM2023

| | | | ICorPM2023 | | Total |
|----------------|------------------------|----------|------------------------|----------------|--------|
| | | | Individual contributor | People manager | |
| ICorPM2022 | Individual contributor | Count | 6 | 6 | 12 |
| | | Row % | 50.0% | 50.0% | 100.0% |
| | | Column % | 66.7% | 75.0% | 70.6% |
| | | Total % | 35.3% | 35.3% | 70.6% |
| People manager | People manager | Count | 3 | 2 | 5 |
| | | Row % | 60.0% | 40.0% | 100.0% |
| | | Column % | 33.3% | 25.0% | 29.4% |
| | | Total % | 17.6% | 11.8% | 29.4% |
| Total | | Count | 9 | 8 | 17 |
| | | Row % | 52.9% | 47.1% | 100.0% |
| | | Column % | 100.0% | 100.0% | 100.0% |
| | | Total % | 52.9% | 47.1% | 100.0% |

Slika 42: Rezultati *Crosstabs* analize (samostalna izrada)

Na slici 42 prikazan je rezultat Crosstabs analize. Vidimo kako u 2022. imamo 12 radnika i 5 vođa. U 2023. imamo 9 radnika i 8 vođa, što znači da su svi uvjeti zadovoljeni, čak i onaj da u jednoj grupi mora biti minimalno 5 jednakih vrijednosti. Nadalje, iz Crosstabs analize u prvom retku je vidljivo da je šestero radnika ostalo u istoj kategoriji, ali i da je čak šestero radnika postalo vođe u 2023. U drugome retku vidimo jednako za vođe. Troje vođa iz 2022. postali su radnici, a dvoje ih je ostalo na istoj poziciji. Rezultat samog McNemarovog testa u alatu PSPP vidljiv je na slici 43.

| | N | Exact Sig. (2-tailed) | Exact Sig. (1-tailed) | Point Probability- |
|-------------------------|----|-----------------------|-----------------------|--------------------|
| ICorPM2022 & ICorPM2023 | 17 | .508 | .254 | .16 |

Slika 43: Rezultati McNemarovog testa iz PSPP-a (samostalna izrada)

Na slici 43 prikazan je rezultat McNemarovog testa. P-vrijednost, koja je ovdje prikazana nazivom *Point Probability* iznosi 0,16. Ovime možemo zaključiti da na razini signifikantnosti od 0,05 nemamo dovoljno dokaza da odbijemo nultu hipotezu. Konačno, možemo zaključiti kako nema razlike u upravljanju ljudima.

5.4. Neparametarski testovi na više nezavisnih uzoraka

U ovom potpoglavlju istražujemo kako razlikovati i testirati značajnost između uzoraka iz više nezavisnih skupina. Ključno je razumjeti jesu li razlike među uzorcima stvarne ili slučajne varijacije. Neparametarski testovi na više nezavisnih uzoraka omogućuju analizu kategorijalnih ili ordinalnih podataka. Predstaviti ćemo dva takva testa i prikazati njihovu primjenu u statističkim alatima.

5.4.1. Prošireni medijan test

Prošireni medijan test uspoređuje medijane višestrukih nezavisnih uzoraka za podatke mjerene na ordinalnoj skali. Poput medijan testa za dva nezavisna uzorka, prednost proširenog medijan testa je njegova otpornost na odstupanja homogenosti varijance. Nema pretpostavki o distribuciji podataka među grupama osim što distribucije trebaju imati slične oblike. Test zahtijeva da se uzorci nasumično izvuku iz svojih populacija. Također je potrebna nezavisnost unutar i između uzoraka. [41, str.336]

Test kombinira sve promatranja u jednu listu, a da se pritom zadrži pripadnost grupi. Zatim se promatranja rangiraju uzlazno, i izračunava se ukupni medijan. Rezultati koji su iznad medijana označuju se sa "plus", dok se oni ispod medijana označuju s "minus". Može se

dogoditi da broj rezultata bude neparan, tada medijan postaje jedan ili više postojećih rezultata. Kada se to dogodi, rezultati koji su jednaki medijanu dobivaju oznaku "minus". Podaci se mogu preoblikovati u $2 \times k$ tablicu gdje je k broj uzoraka [41, str.337].

Prošireni medijan test se izračunava pomoću hi-kvadrat sa stupnjevima slobode koji su dani formulom $(redovi - 1)(stupci - 1)$. Ako je statistika hi-kvadrat veća od one potrebne da zadovolji unaprijed postavljenu alfa razinu (obično 0,05 ili 0,01), moramo odbaciti nultu hipotezu i izjaviti da medijani populacije nisu jednaki. Nulta hipoteza se izražava kao:

$$H_0 : \text{Ne postoji razlika u medijanama populacija iz kojih su uzeti uzorci.}$$

Alternativna hipoteza izražava se kao:

$$H_A : \text{Barem jedan od medijana uzoraka razlikuje se od jedne ili više ostalih [6, str.129].}$$

5.4.1.1. Primjer primjene proširenog medijan testa

Prvi primjer korištenja proširenog medijan testa je da tražimo postoji li razlika u plaćama između ispitanika s različitim stupnjevima obrazovanja. U testiranje su uzeti stupnjevi obrazovanja kao grupirajuća varijabla, odnosno vrijednosti varijable Educ: Secondary, Bachelor i Masters. Nezavisna varijabla je Salary. Na slici 44 prikazan je rezultat proširenog medijan testa u PSPP-u.

| Frequencies | | | | |
|-------------|----------|-----------|----------|---------|
| | | Educ | | |
| | | Secondary | Bachelor | Masters |
| Salary | > Median | 723 | 11704 | 6412 |
| Salary | ≤ Median | 1446 | 10836 | 6633 |

| Test Statistics | | | | | |
|-----------------|-------|--------|------------|----|-------------|
| | N | Median | Chi-Square | df | Asymp. Sig. |
| Salary | 37754 | 75000 | 278.02 | 2 | .000 |

Slika 44: Rezultat proširenog medijan testa u PSPP-u (samostalna izrada)

Na slici 44 vidimo da je veličina uzorka 37754, medijan iznosi 75000, a u tablici *Frequencies* vidimo i raspored po stupnju obrazovanja i plaći iznad ili ispod medijana. Vrijednost χ^2 iznosi 278,02 na 2 stupnja slobode, što daje p-vrijednost od približno 0,000. To znači da odbacujemo nultu hipotezu čime zaključujemo da postoji razlika plaća između programera sa različitim stupnjevima obrazovanja.

Drugi primjer riješen je preko programskog alata Statistica na cjelokupnom skupu podataka. Sam alat Statistica na velikim podacima preporuča da se iz skupa podataka nasumično odabere manji skup rezultata. Tako da je ovaj test testiran na 2% ispitane populacije.

Istraživačko pitanje koje se postavlja je: "Postoji li razlika u plaćama između grupa programera s obzirom na učestalost posjeta Stack Overflowa." Samim time, postavljamo sljedeće hipoteze:

- H_0 : Ne postoji razlika između medijana plaća programera s obzirom na učestalost posjećivanja Stack Overflowa.
- H_1 : Postoji razlika između medijana plaća programera s obzirom na učestalost posjećivanja Stack Overflowa.

Pitanje koje se postavlja u anketi je "How frequently would you say you visit Stack Overflow?", a prevedeno to znači "Koliko često posjećujete Stack Overflow?". Mogući odgovori su:

- Less than once per month or monthly - manje od jednom mjesečno
- A few times per month or weekly - nekoliko puta mjesečno
- A few times per week - nekoliko puta tjedno
- Daily or almost daily - gotovo svaki dan
- Multiple times per day - više puta dnevno

Dakle vidimo da imamo 5 različitih grupa. SOVisitFreq predstavlja nezavisnu odnosno grupirajuću varijablu, dok *ConvertedCompYearly* predstavlja zavisnu varijablu. Također je bilo i onih koji nisu odgovorili na pitanje, a takvi slučajevi izuzeti su iz analize. Kad pokrenemo analizu u alatu Statistica, dobivamo rezultate koji su prikazani na slici 45.

| Median Test, Overall Median = 16486.5; ConvertedCompYearly (Spreadsheet62) | | | | | | | |
|--|---------------------------------|-----------------------|------------------------|----------------------|-------------------------------------|----------|--|
| Independent (grouping) variable: SOVisitFreq | | | | | | | |
| Chi-Square = 7.142875 df = 4 p = .1285 | | | | | | | |
| Dependent: ConvertedCompYearly | A few times per month or weekly | Daily or almost daily | Multiple times per day | A few times per week | Less than once per month or monthly | Total | |
| <= Median: observed | 222.0000 | 216.0000 | 107.0000 | 273.0000 | 48.00000 | 866.000 | |
| expected | 206.5000 | 210.0000 | 117.5000 | 288.5000 | 43.50000 | | |
| obs.-exp. | 15.5000 | 6.0000 | -10.5000 | -15.5000 | 4.50000 | | |
| > Median: observed | 191.0000 | 204.0000 | 128.0000 | 304.0000 | 39.00000 | 866.000 | |
| expected | 206.5000 | 210.0000 | 117.5000 | 288.5000 | 43.50000 | | |
| obs.-exp. | -15.5000 | -6.0000 | 10.5000 | 15.5000 | -4.50000 | | |
| Total: observed | 413.0000 | 420.0000 | 235.0000 | 577.0000 | 87.00000 | 1732.000 | |

Slika 45: Rezultati proširenog medijan testa u alatu Statistica (samostalna izrada)

Prva stvar koju vidimo na samom vrhu slike 45 je iznos medijana koji je 16486,5. Ako iznos medijana ne iznosi cijeli broj, to znači da imamo paran broj ispitanika, što se potvrđuje jer vidimo da je testirana veličina 1732. Vrijednost χ^2 iznosi 7,142875, broj stupnjeva slobode (df) je 4 (5 grupa - 1), a P vrijednost iznosi 0,1285. Za svaku grupu učestalosti posjeta prikazane su promatrane (observed) i očekivane (expected) vrijednosti, kao i razlike između promatranih i očekivanih vrijednosti. Pošto je p -vrijednost veća od praga značajnosti od 0,05, ne odbacujemo nultu hipotezu. Zaključujemo da nema razlike između medijana plaća između grupa.

5.4.2. Kruskal-Wallisov test

Petz i sur. [41, str.338] navode da Kruskal-Wallisov test predstavlja test analize varijance, ali se za razliku od nje koristi rangovima, a ne brojčanim mjernim podacima. Dodatno, on se u programskom alatu Statistica također naziva i "Kruskal-Wallis ANOVA". Moglo bi se reći kako on predstavlja prošireni test sume rangova.

Test počiva na sljedećim pretpostavkama:

1. Zavisna varijabla mora biti mjerena na ordinalnoj skali ili mora biti kontinuirana.
2. Nezavisna varijabla mora biti kategorička i sastojati se od više grupa
3. Ne smije biti veza između različitih grupa
4. Distribucije svake grupe moraju biti istog oblika

[43]

5.4.2.1. Primjer primjene Kruskal-Wallisovog testa

Drugi primjer odgovara na pitanje "Postoji li razlika između plaća programera s obzirom na vrijeme provedeno u traženju odgovora na poslu?". Time dolazimo do sljedećih hipoteza:

- H_0 : Ne postoji razlika između plaća programera s obzirom na vrijeme provedeno u traženju odgovora na poslu.
- H_1 : Postoji razlika između plaća programera s obzirom na vrijeme provedeno u traženju odgovora na poslu.

Ovaj primjer riješen je u alatu Statistica. Također je odabran nasumični uzorak od 2%. Grupirajuća ili nezavisna varijabla je TimeSearching, a predstavlja moguće odgovore na pitanje "Koliko u prosjeku provodite vremena tražeći odgovore ili rješenja na problemima koje srećete na poslu?". Mogući odgovori su:

- Less than 15 minutes a day
- 15-30 minutes a day
- 30-60 minutes a day
- 60-120 minutes a day
- Over 120 minutes a day

Zavisna varijabla je *ConvertedCompYearly*. Na slici 46 vidimo rezultat testa.

| Kruskal-Wallis ANOVA by Ranks; ConvertedCompYearly Independent (grouping) variable: TimeSearching Kruskal-Wallis test: H (4, N= 873) =5.414831 p =.2473 | | | | |
|--|------|------------|-----------------|--------------|
| Depend.: ConvertedCompYearly | Code | Valid N | Sum of Ranks | Mean Rank |
| 15-30 minutes a day | 1 | 231 | 99799.5 | 432.0325 |
| 30-60 minutes a day | 2 | 356 | 162877.0 | 457.5197 |
| 60-120 minutes a day | 4 | 155 | 63542.5 | 409.9516 |
| Less than 15 minutes a day | 5 | 82 | 35728.5 | 435.7134 |
| Over 120 minutes a day | 6 | 49 | 19553.5 | 399.0510 |

Slika 46: Rezultat Kruskal-Wallisovog testa u Statistici (samostalna izrada)

Iz rezultata možemo vidjeti da je veličina uzorka 873, a to je zato jer smo iz rezultata izbrisali osobe koje nisu odgovorile na pitanje. Kruskal-Wallis test daje vrijednost H-statistike od 5,414831 sa 4 stupnja slobode (N=873) i p-vrijednost od 0,2473. P-vrijednost od 0,2473 ukazuje na to da ne postoji statistički razlika između grupa u pogledu medijana za "*Converted-CompYearly*". Da bi razlika bila statistički značajna na standardnom nivou od 0,05, p-vrijednost bi morala biti manja od 0,05. Možemo zaključiti kako nemamo dovoljno dokaza da odbacimo nultu hipotezu te zaključujemo da ne postoji razlika u plaćama s obzirom na vrijeme provedeno u traženju odgovora.

5.5. Neparametarski testovi na više zavisnih uzoraka

Prema Siegelu [37], cilj analitičkih tehnika za prepoznavanje varijanci među tri ili više skupina je ispitati nultu hipotezu, koja tvrdi da su višestruki uzorci pod razmatranjem dobiveni iz populacija koje su identične ili vrlo slične.

Statistička analiza na više uzoraka istodobno zahtijeva statističke alate koji najprije procjenjuju ukupne razlike među uzorcima, a zatim raspravljaju o specifičnim međusobnim razlikama. Korištenje testova koji uspoređuju dva uzorka u scenarijima koji uključuju više grupa, na primjer, pet grupa, to bi zahtijevalo provođenje 10 različitih eksperimenata. Ova metodologija ne samo da je neučinkovita, već također povećava vjerojatnost prve vrste pogreške, kao rezultat višestrukih usporedbi, što bi moglo dovesti do nesporazuma. [37]

Prije analize specifičnih razlika između pojedinih grupa, nužno je provesti temeljite testove na višestrukim uzorcima. Analiza varijance (ANOVA), ili F-test, predstavljaju parametarsku metodu primjenjivu kada uzorci potječu iz populacija karakteriziranih ekvivalentnom varijancom i srednjim vrijednostima koje se pridržavaju normalne distribucije. [37]

5.5.1. Cochranov Q test

Cochranov Q test procjenjuje postoji li razlika među tri ili više usklađenih skupova frekvencija ili proporcija, što je prikladno za nominalne podatke ili dihotomizirane ordinalne informacije. Ovaj test je posebno relevantan prilikom ispitivanja težine testnih stavki na temelju informacija o prolazu ili padu preko više stavki za broj pojedinaca, ili prilikom uspoređivanja odgovora pod različitim uvjetima za iste subjekte. [37]

Cochranov Q test koristi se za utvrđivanje razlika na dihotomnoj zavisnoj varijabli između tri ili više povezanih grupa. Može se smatrati sličnim ANOVA analizi ponovljenih mjerenja, ali za dihotomnu umjesto kontinuirane zavisne varijable, ili kao proširenje McNemarovog testa. Cochranov Q test često se koristi za sudionika koji su prošli kroz više različitih ispitivanja. [37]

Cochranov Q test može se primijeniti za procjenu smanjenja udjela pacijenata koji osjećaju bol nakon tri vrste terapije (zavisna varijabla "nivo bola" s dvije kategorije: "bol" i "bez bola", mjerena na četiri vremenske točke: "prije terapije", "nakon prve terapije", "nakon druge terapije" i "nakon završne terapije"). Također, Cochranov Q test može se koristiti za utvrđivanje

razlika u proporcijama učenika koji preferiraju različite metode učenja (zavisna varijabla "preferencije metode učenja" s dvije kategorije: "metoda A" i "metoda B", mjerena kroz tri različita pristupa: "tradicionalno", "online" i "kombinirano"). [37]

Provođenjem Cochranovog Q testa, moguće je dobiti rezultat koji pokazuje statističku značajnost ili onaj koji to ne pokazuje. Ukoliko test ne pokaže statističku značajnost, to znači da su proporcije kroz različita vremenska razdoblja ili uvjete slične unutar populacije. U tom slučaju, nije potrebno dalje analizirati rezultate post hoc analizom. Međutim, ako se dobije statistički značajan rezultat, potrebna je post hoc analiza jer tada rezultat Cochranova Q testa govori da postoje razlike u proporcijama između tri ili više povezanih grupa, ali ne govori koje specifične grupe se razlikuju jedna od druge (npr. proporcija ženskih sudionika koji se osjećaju sigurno razlikuje se na osnovu toga nose li "sprej", "alarm" ili "ništa", ali ne govori koji od ova tri tretmana/usvjeta čini da se žene osjećaju sigurnije), što omogućuje post hoc analiza. [37]

Cochranov Q test baziran je na sljedećim pretpostavkama:

1. Postoji jedna varijabla s dvije međusobno isključive grupe (dihotomna varijabla), kao što su uspjeh na ispitu ("prolaz" ili "pad") ili osjećaj sigurnosti ("siguran" ili "nesiguran").
2. Postoji jedna nezavisna varijabla koja se sastoji od tri ili više povezanih kategoričkih grupa (ordinalna ili nominalna varijabla), poput razine fizičke aktivnosti ("sjedilački", "nizak", "umjeren" ili "visok") ili pripadnosti nekom kontinentu ("Europljanin", "Azijat" ili "Afrikanac").
3. Sudionici su slučajno odabrani iz populacije.
4. Uzorkovana veličina je dovoljno velika da se može interpretirati asimptotska p-vrijednost generirana Cochranovim Q testom.

[44]

5.5.1.1. Primjer primjene Cochranovog Q testa

Istraživačko pitanje koje postavljamo je: "Postoji li razlika u dnevnoj učestalosti posjećivanju platforme Stack Overflow u 2021., 2022. i 2023. godini?"

Postavljamo sljedeće hipoteze:

- H_0 : Ne postoji razlika u dnevnoj učestalosti posjećivanju platforme Stack Overflow u 2021., 2022. i 2023. godini.
- H_1 : Postoji razlika u dnevnoj učestalosti posjećivanju platforme Stack Overflow u 2021., 2022. i 2023. godini.

Pitanje koje se postavilo u anketi je: "How frequently would you say you visit Stack Overflow", odnosno "Koliko često posjećujete Stack Overflow?". Mogući odgovori su bili:

- *Less than once per month or monthly* (manje od jedanput mjesečno)
- *A few times per month or weekly* (nekoliko puta mjesečno)
- *A few times per week* (nekoliko puta tjedno)
- *Daily or almost daily* (gotovo svakodnevno)
- *Multiple times per day* (više puta dnevno)

Podaci za sve tri godine vidljivi su na slici 47.

| | A | B | C |
|----|------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| 1 | SOVisitFreq2021 | SOVisitFreq2022 | SOVisitFreq2023 |
| 2 | A few times per week | Multiple times per day | A few times per month or weekly |
| 3 | A few times per week | A few times per month or weekly | A few times per week |
| 4 | A few times per week | Multiple times per day | A few times per week |
| 5 | Multiple times per day | A few times per week | A few times per week |
| 6 | Multiple times per day | Daily or almost daily | A few times per week |
| 7 | A few times per week | Multiple times per day | A few times per week |
| 8 | A few times per week | A few times per month or weekly | A few times per month or weekly |
| 9 | Daily or almost daily | Daily or almost daily | Multiple times per day |
| 10 | Daily or almost daily | Daily or almost daily | A few times per week |
| 11 | A few times per week | Daily or almost daily | A few times per week |
| 12 | Multiple times per day | Multiple times per day | Daily or almost daily |
| 13 | Daily or almost daily | Multiple times per day | Multiple times per day |

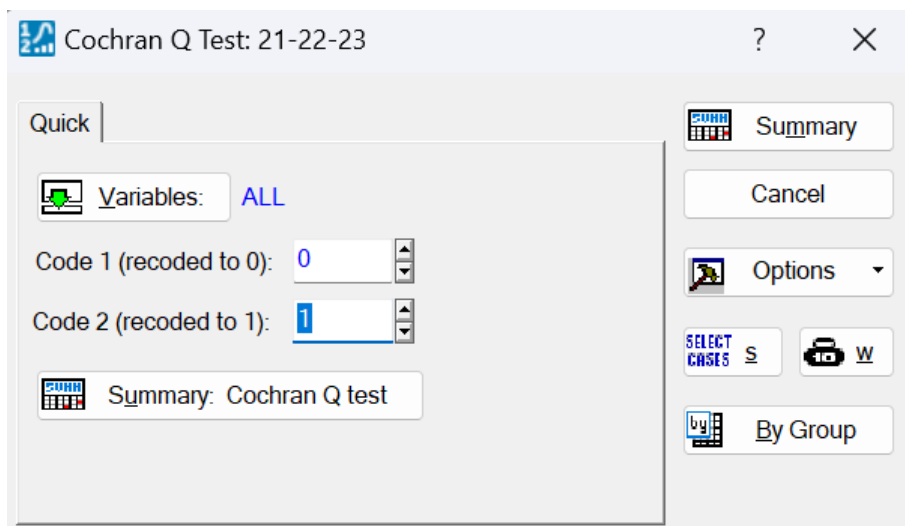
Slika 47: Tablica frekvencije posjeta SO u tri godine (samostalna izrada)

Na slici vidimo tablicu frekvencije dolazaka za 2021., 2022. i 2023. godinu. Svaki redak predstavlja jednog ispitanika. Možemo već ovdje vidjeti kako dolazimo do problema. Naime, Cochranov Q test temeljen je na dihotomnim varijablama. Međutim, takve varijable nažalost nije bilo kroz 3 godine različitih anketa. Stoga, odlučeno je da se varijabla frekvencije podijeli. Varijabla je podijeljena tako da je onim vrijednostima koji označavaju posjet platformi barem jednom dnevno, pridružena vrijednost 1. Svima ostalima, pridružena je vrijednost 0. Nova tablica koja je napravljena nakon navedene supstitucije vidljiva je na slici 48.

| | SOVisitFreq2021 | SOVisitFreq2022 | SOVisitFreq2023 |
|----|-----------------|-----------------|-----------------|
| 1 | | | |
| 2 | 0 | 1 | 0 |
| 3 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 0 | 1 | 0 |
| 5 | 1 | 0 | 0 |
| 6 | 1 | 1 | 0 |
| 7 | 0 | 1 | 0 |
| 8 | 0 | 0 | 0 |
| 9 | 1 | 1 | 1 |
| 10 | 1 | 1 | 0 |
| 11 | 0 | 1 | 0 |
| 12 | 1 | 1 | 1 |
| 13 | 1 | 1 | 1 |

Slika 48: Tablica dihotomnih vrijednosti (samostalna izrada)

Na slici 48 vidljiva je nova tablica kojom možemo napraviti Cochranov Q test. Istu uvođimo u alat Statistica, što je vidljivo na slici 49.



Slika 49: Uvođenje varijabli za Cochranov Q test u alatu Statistica (samostalna izrada)

Na slici 49 vidimo kako ovaj prethodni postupak nije bio potreban jer sam alat Statistica nudi mogućnost reprogramiranja varijabli. Konačno, proveden je Cochranov Q test čiji su rezultati vidljivi na slici 50.

| Cochran Q Test (21-22-23) | | | |
|-----------------------------------|----------|-------------|-------------|
| Number of valid cases:12 | | | |
| Q = 7.714286, df = 2, p < .021129 | | | |
| Variable | Sum | Percent 0's | Percent 1's |
| SOVisitFreq2021 | 6.000000 | 50.00000 | 50.00000 |
| SOVisitFreq2023 | 3.000000 | 75.00000 | 25.00000 |
| SOVisitFreq2022 | 9.000000 | 25.00000 | 75.00000 |

Slika 50: Rezultati Cochranovog Q testa (samostalna izrada)

Na slici 50 vidljivi su rezultati Cochranovog Q testa. Vidimo kako postoji 12 različitih slučajeva. Najprije, u tablici je vidljiva suma vrijednosti. 2021. 6 je ispitanika svakodnevno posjećivalo Stack Overflow, što čini 50% uzorka. Nadalje, 2022., 9 je ispitanika koristilo Stack Overflow na dnevnoj bazi. Vidimo da se dogodio pad u 2023. u kojoj je samo troje ispitanika svakodnevno posjećivalo Stack Overflow. Sama p-vrijednost Cochranovog Q testa iznosi 0,021129 što je manje od 0,05. Time odbacujemo nultu hipotezu. Konačni zaključak je da postoji razlika između dnevnog posjećivanja platforme Stack Overflow između 2021., 2022. i 2023. godine.

5.5.2. Friedmanov test

Petz [41, str. 341] navodi da ako se ista grupa ispitanika podvrgava mjerenjima pod različitim uvjetima, rezultati su međusobno zavisni i ne možemo koristiti Kruskal-Wallisov test.

U tom kontekstu, Friedmanov test, poznat kao metoda dvostruke analize varijance rangova, postaje korisna alternativa. Ovaj test se koristi u parametarskoj statistici za usporedbu srednjih vrijednosti više povezanih uzoraka.

Friedmanov postupak uključuje sljedeće korake: prvo se rezultati raspoređuju u tablicu veličine $N \times k$, gdje redovi predstavljaju pojedinačne ispitanike, a stupci odgovaraju uvjetima pod kojima su testirani. Zatim se rezultati svakog ispitanika pretvaraju u rangove. Ako dva ili više ispitanika dijele isti rezultat, dodjeljuju im se prosječni rangovi. Vrijednost testa ne ovisi o apsolutnim vrijednostima rezultata, već o rangovima koji odražavaju relativnu uspješnost ispitanika pod svakim uvjetom. [41]

Kada se odlučimo na analizu podataka koristeći Friedmanov test, dio tog procesa je i prgeled pretpostavki koje se moraju zadovoljiti ukoliko se podaci uopće mogu testirati Friedmanovim testom. Pretpostavke slijede.

1. Jedna je grupa ispitana tri ili više puta
2. Grupa je slučajni uzorak iz populacije
3. Zavisna varijabla mora biti mjerena na ordinalnoj skali ili mora biti kontinuirana. Na ordinalnoj skali možemo prihvatiti varijable poput onih koji su mjerene na Likertovoj skali i sl. Kao kontinuiranu varijablu možemo koristiti npr. kilažu, kvocijent inteligencije itd.
4. Podaci ne moraju biti normalno distribuirani

[45]

5.5.2.1. Primjer primjene Friedmanovog testa u alatu Statistica

Istraživačko pitanje koje postavljamo je: "Postoji li razlika u učestalosti sudjelovanja u komunikaciji na platformi Stack Overflow između 2021., 2022. i 2023. godine?".

Postavljamo sljedeće hipoteze:

- H_0 : Ne postoji razlika u učestalosti sudjelovanja u komunikaciji na platformi Stack Overflow između 2021., 2022. i 2023. godine.
- H_1 : Postoji razlika u učestalosti sudjelovanja u komunikaciji na platformi Stack Overflow između 2021., 2022. i 2023. godine.

Pitanje koje se postavilo u anketi je: "How frequently would you say you participate in Q&A on Stack Overflow? By participate we mean ask, answer, vote for, or comment on questions?". Na hrvatskom, pitanje je koliko često sudjelujete u raspravama i komunikaciji na Stack Overflow-u? Mogući odgovori su bili:

A few times per month or weekly A few times per week Multiple times per day

- *I have never participated in QA on Stack Overflow* (nikad nisam sudjelovao)
- *Less than once per month or monthly* (rjeđe od jednom mjesečno)
- *A few times per month or weekly* (nekoliko puta mjesečno)
- *A few times per week* (nekoliko puta tjedno)
- *Daily or almost daily* (gotovo svakodnevno)
- *Multiple times per day* (više puta dnevno)

Podaci za sve tri godine vidljivi su na slici 51.

| 1 | SOPartFreq2021 | SOPartFreq2022 | SOPartFreq2023 |
|----|--|--|--|
| 2 | I have never participated in Q&A on Stack Overflow | A few times per week | A few times per week |
| 3 | Less than once per month or monthly | Less than once per month or monthly | Less than once per month or monthly |
| 4 | A few times per week | Less than once per month or monthly | Less than once per month or monthly |
| 5 | I have never participated in Q&A on Stack Overflow | Less than once per month or monthly | Less than once per month or monthly |
| 6 | I have never participated in Q&A on Stack Overflow | I have never participated in Q&A on Stack Overflow | I have never participated in Q&A on Stack Overflow |
| 7 | Less than once per month or monthly | A few times per month or weekly | Less than once per month or monthly |
| 8 | Less than once per month or monthly | Less than once per month or monthly | Less than once per month or monthly |
| 9 | Less than once per month or monthly | Less than once per month or monthly | Less than once per month or monthly |
| 10 | Less than once per month or monthly | I have never participated in Q&A on Stack Overflow | I have never participated in Q&A on Stack Overflow |
| 11 | Less than once per month or monthly | A few times per month or weekly | Less than once per month or monthly |
| 12 | I have never participated in Q&A on Stack Overflow | Less than once per month or monthly | Less than once per month or monthly |
| 13 | A few times per month or weekly | Multiple times per day | Multiple times per day |

Slika 51: Početna tablica za Friedmanov test (samostalna izrada)

Na slici 51 prikazan je raspored rezultata po godinama i ispitanicima. Nad tim istim podacima, pošto su bazirani na Likertovoj skali, potrebno je napraviti transformaciju. Stoga će se onom odgovoru koji je najmanje vrijedan (nikad nisam sudjelovao ili *I have never participated in QA on Stack Overflow*) dodijeliti vrijednost 0, sljedećem 1, a najvećoj varijabli vrijednost 5. Isto tako se moglo transformirati u rasponu od 1 do 6. Nova, transformirana tablica vidljiva je na slici 52.

| | A | B | C |
|----|----------------|----------------|----------------|
| 1 | SOPartFreq2021 | SOPartFreq2022 | SOPartFreq2023 |
| 2 | 0 | 3 | 3 |
| 3 | 1 | 1 | 1 |
| 4 | 3 | 1 | 1 |
| 5 | 0 | 1 | 1 |
| 6 | 0 | 0 | 0 |
| 7 | 1 | 2 | 1 |
| 8 | 1 | 1 | 1 |
| 9 | 1 | 1 | 1 |
| 10 | 1 | 0 | 0 |
| 11 | 1 | 2 | 1 |
| 12 | 0 | 1 | 1 |
| 13 | 2 | 5 | 5 |

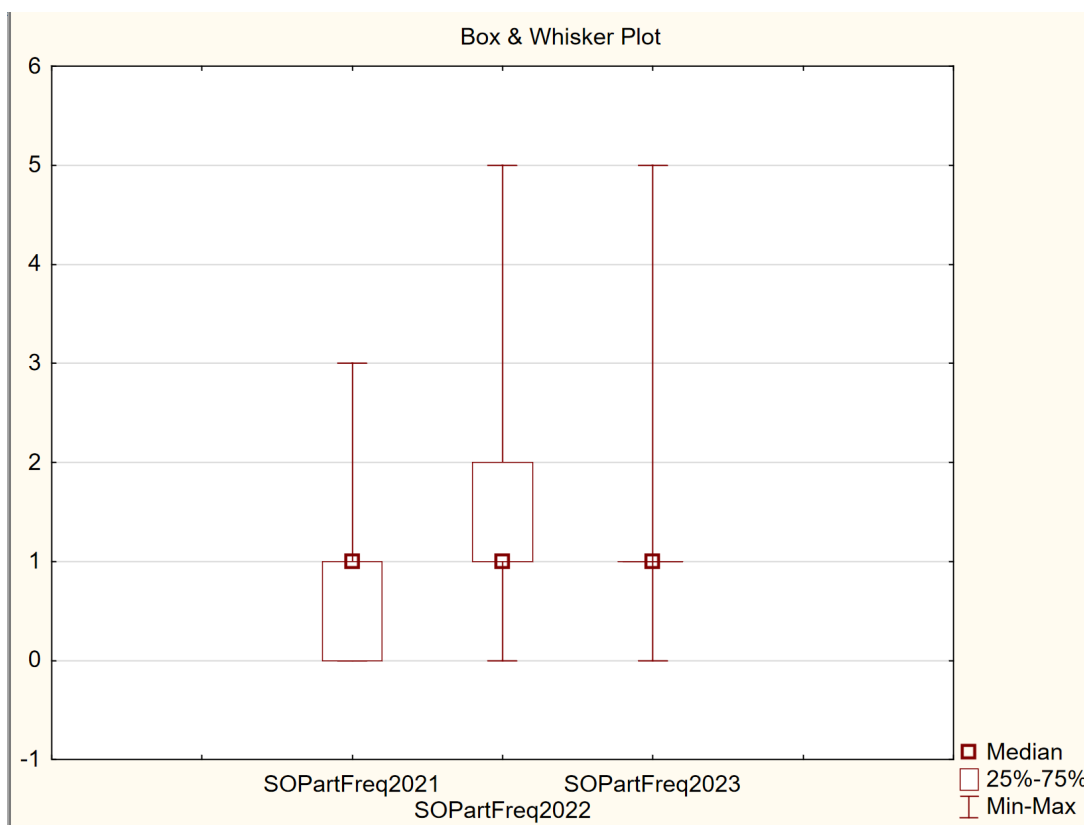
Slika 52: Preračunata tablica za Friedmanov test (samostalna izrada)

Na slici 52 prikazana je tablica koja će se uvesti alat Statistica. Rezultati testa vidljivi su na slici 53.

| Friedman ANOVA and Kendall Coeff. of Concordance (friedman) | | | | |
|---|--------------|--------------|----------|----------|
| ANOVA Chi Sqr. (N = 12, df = 2) = 3.000000 p = .22313 | | | | |
| Coeff. of Concordance = .12500 Aver. rank r = .04545 | | | | |
| Variable | Average Rank | Sum of Ranks | Mean | Std.Dev. |
| SOPartFreq2021 | 1.750000 | 21.00000 | 0.916667 | 0.900337 |
| SOPartFreq2022 | 2.250000 | 27.00000 | 1.500000 | 1.381699 |
| SOPartFreq2023 | 2.000000 | 24.00000 | 1.333333 | 1.370689 |

Slika 53: Rezultati Friedmanovog testa (samostalna izrada)

Na slici 53 prikazan je rezultat Friedmanovog testa. Za svaku varijablu, vidimo njen prosječni rang, sumu rangova, aritmetičku sredinu i standardnu devijaciju. Iako postoji razlika u aritmetičkim sredinama rangova, kao i u samim sumama rangova, p-vrijednost od 0,22313 govori nam kako nema dovoljno dokaza kako bi se odbacila nulta hipoteza. Zato možemo zaključiti kako ne postoji razlika u sudjelovanju u komunikaciji na Stack Overflowu između 2021., 2022. i 2023. godine. Vizualni prikaz na danim podacima preko dijagrama s pravokutnicima vidljiva je na slici 54.



Slika 54: Vizualni pregled Friedmanovog testa (samostalna izrada)

Na slici 54 prikazani su dijagram s pravokutnicimai. Iz samih dijagrama možemo vidjeti kako je medijan zapravo jednak, dok se raspon ponešto razlikuje, ali to je velikim razlogom zbog malog skupa podataka.

5.6. Testovi korelacija

U raznim istraživanjima, često želimo znati jesu li dva rezultata povezana ili koji je stupanj njihove povezanosti. Ponekad, i samo dokazivanje da postoji povezanost između dvije varijable može biti cilj istraživanja. Zanimljivo je biti u mogućnosti odrediti stupanj povezanosti između dva skupa rezultata iz određene grupe ispitanika. No, možda je još zanimljivije reći je li opažena povezanost u uzorku rezultata pokazatelj da su varijable vjerojatno povezane u populaciji iz koje je uzorak izvučen. Koeficijent korelacije sam po sebi predstavlja stupanj povezanosti. Testovi značajnosti tog koeficijenta određuju postoji li veza u populaciji iz koje je uzorak izvučen kako bi pružio podatke iz kojih je koeficijent izračunat. [37, str.195-196]

5.6.1. Spearmanov koeficijent korelacije rangova

Spearmanov koeficijent korelacije rangova je statistički test koji mjeri snagu i smjer povezanosti između dvije rangirane varijable. Koeficijent se kreće od -1 do +1, što pokazuje snagu i smjer odnosa između varijabli na temelju njihovih rangova. Koeficijent pokazuje u kojoj mjeri varijable teže zajedno rasti ili se smanjivati na monoton način. Također, pomaže procijeniti postoji li značajan monoton odnos između dviju varijabli u temeljnoj populaciji na temelju rangova dodijeljenih podatkovnim točkama. Monotoni odnos odnosi se na prirodu odnosa između dviju varijabli gdje odnos dosljedno slijedi određeni smjer. U monotonome odnosu, kako se jedna varijabla povećava ili smanjuje, druga se varijabla također dosljedno povećava ili smanjuje. U kontekstu Spearmanovog koeficijenta korelacije rangova, monoton odnos može se dalje klasificirati kao monotonu rastući (povezan s pozitivnom korelacijom) ili monotonu opadajući (povezan s negativnom korelacijom). Monotonu rastući odnos implicira da je povećanje jedne varijable uvijek popraćeno povećanjem druge varijable. Nasuprot tome, monotonu opadajući odnos pokazuje da povećanje jedne varijable rezultira smanjenjem druge varijable. Valja napomenuti da se u monotonome odnosu odnos između varijabli može opisati pravim linijama, krivuljama ili drugim funkcionalnim oblicima koji pokazuju ovaj dosljedni obrazac smjera. [37]

Konačno, dolazimo i do definiranja hipoteza.

Nulta hipoteza (H_0): nema odnosa ili razlike između varijabli.

Alternativne hipoteze:

- Dvosmjerna alternativna hipoteza ($H_1x \neq 0$): Ova hipoteza sugerira da postoji veza između varijabli, ali ne specificira smjer odnosa.
- Jednosmjerna alternativna hipoteza na gornju granicu ($H_1x > 0$): Ova hipoteza pokazuje pozitivan odnos između varijabli, gdje je povećanje jedne varijable povezano s povećanjem druge varijable.
- Jednosmjerna alternativna hipoteza na donju granicu ($H_1x < 0$): Ova hipoteza implicira negativan odnos između varijabli, gdje povećanje jedne varijable rezultira smanjenjem druge varijable.

Smjernice za evaluaciju nulte hipoteze nasuprot alternativnim hipotezama su sljedeće:

1. Za neusmjerenu alternativnu hipotezu $H_y : p_s \neq 0$, odbaciti H_0 ako je $|r_s|$ jednak ili veći od kritične vrijednosti za dvosmjerni test na prethodno određenoj razini značajnosti.
 2. Za usmjerenu alternativnu hipotezu $H_x : p_s > 0$, odbaciti H_0 ako je r_s pozitivan i jednak ili veći od kritične vrijednosti za jednosmjerni test na prethodno određenoj razini značajnosti.
 3. Za usmjerenu alternativnu hipotezu $H_z : p_s < 0$, odbaciti H_0 ako je r_s negativan i njegova apsolutna vrijednost je jednaka ili veća od kritične vrijednosti za jednosmjerni test na prethodno određenoj razini značajnosti.
- Neusmjerena hipoteza $H_y : p_s \neq 0$ podržana je na razini od .05, s izračunatom vrijednošću $r_s = 1$ koja se podudara s kritičnom dvorepom vrijednošću.
 - Usmjerena hipoteza $H_x : p_s > 0$ podržana je na razinama .05 i .01, budući da je izračunata vrijednost $r_s = 1$ pozitivan broj koji zadovoljava ili premašuje kritične vrijednosti za jednorepi test.
 - Usmjerena hipoteza $H_z : p_s < 0$ nije podržana, jer je izračunata vrijednost $r_s = 1$ pozitivan broj.

[37]

Spearmanov test korelacije leži na sljedećim pretpostavkama:

1. Dvije varijable koje se uspoređuju trebaju biti mjerene na ordinalnoj, intervalnoj ili omjernoj skali.
2. Dvije varijable koje se uspoređuju moraju predstavljati upareno opažanje. Na primjer, recimo da želimo usporediti povezanost između vremena provedenog na mobitelu tijekom dana i sudjelovanja u odgovaranju na pitanja na Stack Overflow. Jedno upareno opažanje predstavlja rezultat za obje varijable za jednog ispitanika.
3. Postoji monotona veza između dvije varijable koje se ispituju.

[46]

5.6.1.1. Primjer primjene Spearmanovog koeficijenta korelacije rangova

Istraživačko pitanje na koje želimo odgovoriti Spearmanovim testom korelacije rangova je: "Postoji li veza između godina iskustva u programiranju i godišnje zarade?" Rezultati testa pokrenutog u programskom alatu Statistica prikazani su na slici 55.

| Pair of Variables | Spearman Rank Order Correlations (Hrvatska-dodano) MD pairwise deleted Marked correlations are significant at $p < .05000$ | | | |
|--|--|-----------------|-----------------|-----------------|
| | Valid N | Spearman R | t(N-2) | p-value |
| YearsCode & ConvertedCompYearly | 162 | 0.379813 | 5.193479 | 0.000001 |

Slika 55: Rezultati Spearmanovog testa korelacije rangova (samostalna izrada)

Spearmanov test korelacije rangova prikazan na slici pokazuje korelacijski koeficijent između dvije varijable: "YearsCode" i "ConvertedCompYearly". Vrijednost koeficijenta korelacije iznosi 0,379813, što ukazuje na pozitivnu korelaciju između broja godina iskustva u kodiranju ("YearsCode") i godišnje pretvorene kompenzacije ("ConvertedCompYearly").

Ova vrijednost korelacije sugerira da postoji umjerena pozitivna veza između dvije varijable, što znači da tendencija da s većim brojem godina kodiranja dolazi i veća godišnja plaća. Međutim, koeficijent od 0,379813 nije jako visok, pa iako postoji veza, ona nije izrazito snažna.

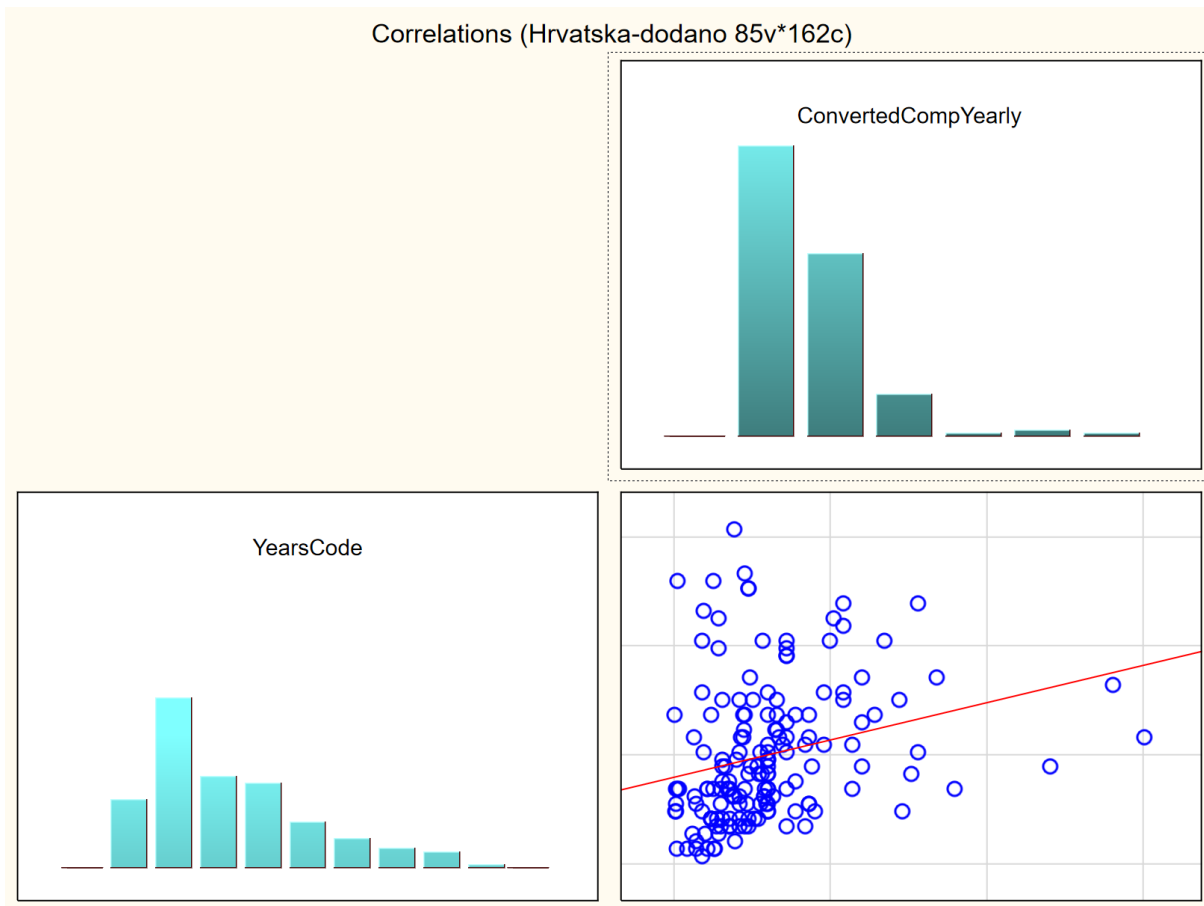
Kako su obilježene korelacije značajne na $P < 0,05$, to znači da postoji manje od 5% vjerojatnosti da je korelacija koju vidimo rezultat slučajnosti. Drugim riječima, statistički je značajno da kako raste broj godina programiranja, tako raste i godišnja plaća, unutar uzorka podataka koji je korišten za ovaj test.

Oznaka *MD pairwise deleted* se odnosi na metodu koja se koristi za rukovanje s podacima koji nedostaju. U ovoj metodi, parovi podataka koji uključuju takve vrijednosti se izostavljaju iz analize po osnovi para, umjesto da se izbacuju svi slučajevi s bilo kakvim nedostajućim podacima.

1. Veličina uzorka (N): Veličina uzorka je 162, što znači da je u analizu uključeno 162 parova podataka. Veći uzorci mogu pomoći u pružanju jačih zaključaka o korelaciji jer smanjuju vjerojatnost slučajne varijabilnosti.
2. Spearmanov koeficijent korelacije (R): Kao što je prethodno spomenuto, koeficijent od 0,379813 ukazuje na umjerenu pozitivnu korelaciju između broja godina kodiranja i godišnje zarade.
3. t-statistika (t(N-2)): Vrijednost t-statistike je 5,193479. Ova vrijednost se koristi za određivanje statističke značajnosti korelacije. U pravilu, veća apsolutna vrijednost t-statistike ukazuje na to da je manje vjerojatno da je uočena korelacija nastala slučajno.
4. p-vrijednost: Prikazana p-vrijednost je izuzetno mala (0,000001), što je mnogo manje od uobičajenog praga značajnosti od 0,05. To sugerira da je korelacija između "YearsCode" i "ConvertedCompYearly" vrlo statistički značajna i da postoji vrlo niska vjerojatnost da je ovakva korelacija rezultat slučajnosti.

S obzirom na veličinu uzorka, statističku značajnost i umjerenu snagu korelacije, možemo zaključiti da, unutar ovog uzorka, veći broj godina iskustva u kodiranju vjerojatno dovodi

do više godišnje zarade. Ipak, treba imati na umu da korelacija ne implicira uzročnost. Drugi faktori mogu utjecati na godišnju zaradu, a godine iskustva su samo jedan od njih. Navedeni rezultati potkrijepljeni su grafovima vidljivima na slici 56.



Slika 56: Grafovi Spearmanovog testa korelacije rangova (samostalna izrada)

Na slici 56 vidimo grafove koji prate Spearmanovu korelacijsku analizu.

U gornjem desnom dijelu, histogram prikazuje distribuciju godišnje pretvorene kompenzacije. Većina ispitanika ima nižu godišnju zaradu, s manjim brojem ispitanika koji zarađuju više. Ovo bi moglo ukazivati na to da postoji relativno malo vrlo visoko plaćenih programera u uzorku ili da postoji velika nejednakost u zaradama.

U donjem lijevom dijelu, histogram prikazuje distribuciju broja godina iskustva u kodiranju među ispitanicima. Čini se da većina ispitanika ima manje godina iskustva, s brojkama koje opadaju kako broj godina iskustva raste. Ovo je tipična distribucija koja sugerira da je u populaciji više mladih ili manje iskusnih programera.

U donjem desnom dijelu, disperzivni dijagram prikazuje odnos između *YearsCode* i *ConvertedCompYearly*. Svaka točka predstavlja jednog ispitanika. Linija trenda crvenom bojom pokazuje općeniti trend umjerene pozitivne korelacije između broja godina iskustva u kodiranju i godišnje zarade, što se podudara s prethodno analiziranom Spearmanovom korelacijom.

Iz disperzivnog dijagrama je vidljivo da, iako postoji trend rasta kompenzacije s godinama iskustva, postoji i značajna varijabilnost. Neki pojedinci s mnogo godina iskustva imaju

relativno nisku kompenzaciju, dok neki s manje godina iskustva imaju visoku kompenzaciju. Također, vidljivo je da postoji nekoliko ispitanika s vrlo visokim godišnjim plaćama, što može ukazivati na stršila ili ekstremne vrijednosti koje bi mogle imati veliki utjecaj na korelacijski koeficijent.

5.6.2. Kendal-Tau test

Kendallov koeficijent korelacije rangova, koji se označava s τ , služi kao precizna mjera za procjenu snage i smjera povezanosti između dvije rangirane varijable. Ova statistička metoda posebno je vrijedna u scenarijima gdje su i nezavisna varijabla (X) i zavisna varijabla (Y) ordinalne, što znači da se mogu rangirati. Stoga se svakom subjektu u skupu podataka može dodijeliti rang za X i Y varijable. Kendallov τ kvantificira stupanj korelacije između ova dva skupa rangova. Ovim testom određuje se koliko su čvrsto i u kojem smjeru povezane dvije varijable.

Kendallov τ je povoljan u situacijama sličnim onima u kojima se primjenjuje Spearmanov koeficijent korelacije rangova (ρ_s). Međutim, jedna od ključnih prednosti τ u odnosu na ρ_s je njegova osjetljivost na izjednačenja unutar podataka. Štoviše, Kendallov τ se može proširiti za mjerenje parcijalnih koeficijenata korelacije, što omogućuje analizu odnosa između dviju varijabli čime se kontrolira učinak jedne ili više drugih varijabli.

Značajnost Kendallovog τ može se testirati jer je poznata njegova distribucija uzorkovanja pod nultom hipotezom da nema povezanosti između dviju varijabli. Ova značajka čini τ , poput ρ_s , podložnim testovima statističke značajnosti, što omogućuje istraživačima da utvrde vjerojatnost da je opažena korelacija posljedica slučajnosti. [37, str. 213.-222.]

Pretpostavke Kendal-Tau testa su:

1. Dvije varijable koje se uspoređuju moraju biti mjerene na ordinalnoj skali ili moraju biti kontinuirane
2. Postoji monotona veza između dvije varijable koje se ispituju.

[47]

5.6.2.1. Primjer primjene Kendal-Tau testa

Kendal-Tau testom testirat će se povezanost varijabli *YearsCodePro* i *ConvertedCompYearly*. *YearsCodePro* varijabla predstavlja broj godina koje su programeri proveli radeći profesionalno. *ConvertedCompYearly* varijabla predstavlja godišnju plaću u dolarima.

Problem kod samog Kendal-Tau testa i izabranog anketnog upitnika je što Kendal-Tau zahtijeva rangirane podatke za optimalne rezultate. Ipak, ovaj test će biti obrađen slično kao Spearmanov.

Istraživačko pitanje koje postavljamo je: "Kakva je povezanost između varijabli *YearsCodePro* i *ConvertedCompYearly*?". Odnosno, možemo postaviti pitanje: "Kakva je povezanost

između godina profesionalnog programiranja i plaće?"

Hipoteze u ovom slučaju nećemo postavljati, već ćemo samo odgovoriti na istraživačko pitanje. Nakon što je pokrenut test u alatu Statistica, prikazani su rezultati sa slike 57.

| Kendall Tau Correlations (Hrvatska-dodano) | |
|--|---------------------|
| MD pairwise deleted | |
| Marked correlations are significant at p <.05000 | |
| Variable | ConvertedCompYearly |
| YearsCodePro | 0.268523 |

Slika 57: Rezultati Kendall-Tau testa (samostalna izrada)

Na slici 57 prikazani su rezultati Kendall-Tau testa. Vidimo da je koeficijent 0,268523. To nam govori da je veza između godina profesionalnog programiranja i plaće pozitivna, ali da je ta veza također relativno slaba.

6. Zaključak

U ovome radu opisane su i prikazane neparametarske statističke metode nad skupom podataka iz ankete o ponašanju programera. Kroz rad su bili objašnjeni sljedeće neparametarske metode: Kolmogorov-Smirnovljev test na jednom uzorku, Hi-kvadrat test na jednom uzorku, Wilcoxonov test na jednom uzorku, binomni test, medijan test, Kolmogorov-Smirnovljev test na dva uzorka, Wilcoxon-Mann-Whitneyev U test, test predznaka za dva zavisna uzorka, Wilcoxonov test na dva zavisna uzorka, McNemarov test, prošireni medijan test, Kruskal-Wallisov test, Cochranov Q test, Friedmanov test, Spearmanov koeficijent korelacije rangova i Kendal-Tau test.

Nakon provedenih testova, može se zaključiti kako neparametarske statističke metode mogu dati dodanu vrijednost interpretaciji rezultata anketnog upitnika. Prigodne su za korištenje kod velikih skupova podataka, ne zahtjevaju određene pretpostavke, poput normalnosti distribucije, kao parametarske metode. Fleksibilnost neparametarskih statističkih metoda je zapravo i njihova najveća prednost, jer daju relativno točne rezultate bez obzira na različite pretpostavke.

Problem kod analize neparametarskim metodama je definitivno taj što je relativno teško pronaći jedan, jedinstveni anketni upitnik ili skup podataka koji sadržava i nezavisne i zavisne uzorke. Ako se takav skup i pronađe, problematično je i pronaći različite tipove pitanja koje bi odgovarale svim različitim metodama.

Konačno, neparametarske metode ipak se pokazuju kao često korištena metoda u statističkim analizama, a posebna je prednost što ih je jednostavno primjeniti pomoću modernih statističkih programa i alata.

Popis literature

- [1] Stack Overflow. „Stack Overflow Developer Survey 2023.” Pristupano: 29.04.2024. (2023.), adresa: <https://survey.stackoverflow.co/2023/>.
- [2] Stack Overflow. „Stack Overflow Developer Survey 2022.” (2022.), adresa: <https://survey.stackoverflow.co/2022/>.
- [3] Stack Overflow. „Stack Overflow Developer Survey 2021.” Pristupano: 29.04.2024. (2021.), adresa: <https://survey.stackoverflow.co/2021/>.
- [4] K. Dumičić, V. Bahovec, M. Čižmešija i dr., ur., *Poslovna statistika*. Zagreb: Element, 2011.
- [5] Laerd Statistics, *Types of Variable*, <https://statistics.laerd.com/statistical-guides/types-of-variable.php>, [Na Internetu; pristupano 27.01.2024], 2018.
- [6] M. Kraska-Miller, *Nonparametric Statistics for Social and Behavioral Sciences*. 12. 2013., str. 1–234, ISBN: 9780429098291.
- [7] C. Willard, *Statistical Methods: An Introduction to Basic Statistical Concepts and Analysis*, 2. izdanje. Routledge, 2020.
- [8] Statistics Canada, *Chapter 8: Descriptive Statistics*, <https://www150.statcan.gc.ca/n1/edu/power-pouvoir/ch8/5214817-eng.htm>, Na Internetu, pristupano 27. siječnja 2024., 2019.
- [9] D. Selvamuthu i D. Das, *Introduction to Statistical Methods, Design of Experiments and Statistical Quality Control*. Singapur: Springer LTD, 2022., ISBN: 978-981-13-1736-1.
- [10] V. Kolesarić i B. Petz, *Statistički rječnik*. Zagreb: Naklada Slap, 2003.
- [11] R. S. Witte i J. S. Witte, *Statistics, eleventh edition*. Wiley, 2017., ISBN: 978-1-119-25445-4.
- [12] D. Sheskin, *Handbook of Parametric and Nonparametric Statistical Procedures: Third Edition*. Chapman i Hall/CRC, 1. 2003., str. 1–1193.
- [13] I. Šošić, *Primijenjena statistika*, 2. izdanje. Zagreb: Školska knjiga, 2006., IX, 781 str., ISBN: 953-0-30337-8.
- [14] J. W. Pratt i J. D. Gibbons, *Concepts of nonparametric theory* (Springer Series in Statistics), eng, 1st ed. 1981. New York: Springer-Verlag, 2003., ISBN: 1-4612-5931-2.
- [15] S. Opić, „Testiranje normalnosti distribucije u istraživanjima odgoja i obrazovanja,” *Školski vjesnik*, sv. 60, br. 2, str. 181–197, 2011., Pristupano: 22.02.2024.

- [16] M. Šimić, „Mjere asimetrije podataka,” Pristupano: 22.02.2024., Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb, 2017.
- [17] P. Mishra, C. M. Pandey, U. Singh, A. Gupta, C. Sahu i A. Keshri, „Descriptive statistics and normality tests for statistical data,” *Annals of Cardiac Anaesthesia*, sv. 22, br. 1, str. 67–72, 2019., Pristupano: 22.02.2024.
- [18] P. Jain R. i Chetty, *How to Graphically Test Normality*, <https://www.projectguru.in/how-to-graphically-test-normality/>, Pristupano: 22.02.2024., 2023.
- [19] K. E. A. Burns, M. Duffett, M. E. Kho i dr., „A Guide for the Design and Conduct of Self-Administered Surveys of Clinicians,” *Canadian Medical Association Journal*, 2008.
- [20] A. R. Artino, J. S. La Rochelle, K. J. DeZee i H. Gehlbach, „Developing Questionnaires for Educational Research: AMEE Guide No. 87,” *Medical Teacher*, sv. 36, 2014.
- [21] S. R. Rao, B. I. Graubard, C. H. Schmid i dr., „Meta-Analysis of Survey Data: Application to Health Services Research,” *Health Services and Outcomes Research Methodology*, sv. 8, str. 98–114, 2008.
- [22] J. Bethlehem, *Applied Survey Methods - A Statistical Perspective*. 5. 2009., ISBN: 978-0-470-37308-8. DOI: 10.1002/9780470494998.ch5.
- [23] R. Tourangeau i T. Yan, „Introduction to survey sampling,” *APA handbook of research methods in psychology: Research designs: Quantitative, qualitative, neuropsychological, and biological*, 2. izdanje, American Psychological Association, 2023., str. 331–357.
- [24] C. Blackburn, N. Spencer i J. Read, „Prevalence of childhood disability and the characteristics and circumstances of disabled children in the UK: Secondary analysis of the Family Resources Survey,” *BMC Pediatrics*, sv. 10, 4. 2010.
- [25] J. Vangeest, T. Johnson i V. Welch, „Methodologies for Improving Response Rates in Surveys of Physicians: A Systematic Review,” *Evaluation the health professions*, sv. 30, str. 303–21, 1. 2008.
- [26] L. Saari i C. Scherbaum, „Identified Employee Surveys: Potential Promise, Perils, and Professional Practice Guidelines,” *Industrial and Organizational Psychology*, sv. 4, str. 435–448, 12. 2011.
- [27] J. Frost, *Independent and Dependent Samples in Statistics*, <https://statisticsbyjim.com/basics/independent-dependent-samples/>, Pristupano: 19.02.2024., 2023.
- [28] J. Kloeke i J. McKean, *Nonparametric Statistical Methods Using R*, 1st. Chapman i Hall/CRC, 2014.
- [29] R. Benabbas, M. Hanna, J. Shah i R. Sinert, „Diagnostic Accuracy of History, Physical Exam, Laboratory Tests and Point-of-Care-Ultrasound for Pediatric Acute Appendicitis in the Emergency Department: A Systematic Review and Meta-Analysis,” *Academic emergency medicine : official journal of the Society for Academic Emergency Medicine*, sv. 24, 2. 2017.
- [30] A. Bryman i D. Cramer, „Quantitative Data Analysis With IBM SPSS 17, 18 19,” 2012.
- [31] J. Yagnik, „PSPP: A Free and Open Source Tool for Data Analysis,” *Voice of Research*, sv. 2, str. 73–76, 3. 2014.

- [32] M. Sto-Tomas, D. J. Tindowen, M. J. Mendezabal, P. Quilang i E. T. Agustin, „The use of PSPP software in learning statistics,” *European Journal of Educational Research*, sv. 8, br. 4, str. 1127–1136, 2019.
- [33] R. Muenchen, *BlueSky Statistics 7.1: User's Guide*. 2020., ISBN: 9781716593673.
- [34] TIBCO Software Inc. „TIBCO Statistica 14.0.0 Documentation.” Pristupano: 29.04.2024. (), adresa: <https://docs.tibco.com/products/tibco-statistica-14-0-0>.
- [35] F. S. Nahm, „Nonparametric statistical tests for the continuous data: The basic concept and the practical use,” *Korean Journal of Anesthesiology*, sv. 69, br. 1, str. 8, 2016.
- [36] E. C. Myles Hollander Douglas A. Wolfe, *Nonparametric statistical methods* (Wiley series in probability and statistics), eng, Third edition. Hoboken, New Jersey: John Wiley Sons, Inc., 2015., ISBN: 1-118-55329-2.
- [37] S. Siegel, *Nonparametric Statistics for the Behavioral Sciences*, 1st. McGraw-Hill book company, inc., 1956.
- [38] M. Marusteri i V. Bacarea, „Kako odabrati pravi test za procjenu statističke značajnosti razlike između skupina?” *Biochemia Medica*, sv. 20, br. 1, str. 15–32, 2010., Pristupano: 21.02.2024.
- [39] E. Whitley i J. Ball, „Statistics review 6: Nonparametric methods,” *Critical Care*, sv. 6, str. 509–513, 2002., ISSN: 1364-8535.
- [40] M. Zorica, „UTJACAJ EKONOMSKE KRIZE NA TRŽIŠTE OSOBNIH AUTOMOBILA U REPUBLICI HRVATSKOJ; PRIMJENA NEPARAMETARSKIH STATISTIČKIH METODA,” Veleučilište u Šibeniku, Šibenik, 2015.
- [41] B. Petz, V. Kolesarić i D. Ivanec, *Petzova statistika. Osnovne statističke metode za nematematičare*. Jasrebarsko: Naklada Slap, 2012., str. 680.
- [42] L. Statistics. „McNemar's Test using SPSS Statistics.” Pristupano: 29.04.2024. (), adresa: <https://statistics.laerd.com/spss-tutorials/mcnemars-test-using-spss-statistics.php>.
- [43] L. Statistics. „Kruskal-Wallis H Test using SPSS Statistics.” Pristupano: 29.04.2024. (), adresa: <https://statistics.laerd.com/spss-tutorials/kruskal-wallis-h-test-using-spss-statistics.php>.
- [44] L. Statistics. „Cochran's Q Test in SPSS Statistics.” Pristupano: 29.04.2024. (), adresa: <https://statistics.laerd.com/spss-tutorials/cochrans-q-test-in-spss-statistics.php>.
- [45] L. Statistics. „Friedman Test using SPSS Statistics.” Pristupano: 29.04.2024. (), adresa: <https://statistics.laerd.com/spss-tutorials/friedman-test-using-spss-statistics.php>.
- [46] L. Statistics. „Spearman's Rank-Order Correlation using SPSS Statistics.” Pristupano: 29.04.2024. (), adresa: <https://statistics.laerd.com/spss-tutorials/spearman-rank-order-correlation-using-spss-statistics.php>.

[47] L. Statistics. „Kendall's Tau-b using SPSS Statistics.” Pristupano: 29.04.2024. (), adresa: <https://statistics.laerd.com/spss-tutorials/kendalls-tau-b-using-spss-statistics.php>.

Popis slika

| | | |
|-----|--|----|
| 1. | Asimetrija distribucije podataka [16] | 11 |
| 2. | Koraci provođenja ankete (samostalna izrada prema [22, str. 2]) | 13 |
| 3. | Rezultati analize razine obrazovanja ispitanika [1] | 16 |
| 4. | Dijagram točaka odnosa iskustva i plaće [1] | 16 |
| 5. | Usporedba statističkih softvera(samostalna izrada) | 20 |
| 6. | Dijagram toka odabira statističkog testa za jedan uzorak (samostalna izrada) . . . | 25 |
| 7. | Dijagram toka odabira statističkog testa za dva uzorka (samostalna izrada) . . . | 26 |
| 8. | Dijagram toka odabira statističkog testa za tri ili više uzoraka (samostalna izrada) | 27 |
| 9. | Dijagram toka odabira statističkog testa za testiranje korelacije između dvije varijable (samostalna izrada) | 28 |
| 10. | Odabir varijabli i distribucija za K-S test u PSPP-u (samostalna izrada) | 30 |
| 11. | Rezultati K-S testova za (slijedno) normalnu, uniformnu, Poissonovu i eksponencijalnu distribuciju (samostalna izrada) | 31 |
| 12. | Rezultat hi-kvadrat testa na razinu obrazovanja u Hrvatskoj (samostalna izrada) . | 34 |
| 13. | Odabir podataka i varijabli za Wilcoxonov test na jednom uzorku u alatu BlueSky Statistics (samostalna izrada) | 37 |
| 14. | Rezultati Wilcoxonovog testa na jednom uzorku (samostalna izrada) | 38 |
| 15. | Rezultati Wilcoxonovog testa na jednom uzorku u Datatabu (samostalna izrada) | 39 |
| 16. | Ekran za unos varijabli i testnih vrijednosti u PSPP-u (samostalna izrada) | 41 |
| 17. | Rezultati binomnoga testa (samostalna izrada) | 41 |
| 18. | Dodijeljivanje Value Labels u PSPP (samostalna izrada) | 43 |
| 19. | Variable view u PSPP (samostalna izrada) | 43 |
| 20. | Prozor za izračun testova na k nezavisnih uzoraka u PSPP-u (samostalna izrada) | 44 |
| 21. | Definiranje uzoraka ili grupa (samostalna izrada) | 44 |

| | | |
|-----|--|----|
| 22. | Rezultati medijan testa na dva uzorka (samostalna izrada) | 45 |
| 23. | Prozor Nonparametric Statistics u alatu Statistica i odabir usporedbe dva nezavisna uzorka (samostalna izrada) | 47 |
| 24. | Prozor usporedbe dva nezavisna uzorka (samostalna izrada) | 47 |
| 25. | Odabir varijabli (samostalna izrada) | 48 |
| 26. | Dijagram s pravokutnicima za varijable <i>CodeOutsideWork</i> i <i>ConvertedCompYearly</i> (samostalna izrada) | 49 |
| 27. | Histogrami na dvije grupe za K-S test (samostalna izrada) | 50 |
| 28. | Rezultati Kolmogorov-Smirnovljeva testa (samostalna izrada) | 51 |
| 29. | Početni prikaz statistike za dva nezavisna uzorka (samostalna izrada) | 52 |
| 30. | Dijagram s pravokutnicima preračunatih plaća s obzirom na remote rad (samostalna izrada) | 53 |
| 31. | Histogram preračunatih plaća s obzirom na remote rad (samostalna izrada) | 54 |
| 32. | Rezultati Mann-Whitney U testa (samostalna izrada) | 54 |
| 33. | Varijable za test predznaka prije zamjene | 57 |
| 34. | Varijable za test predznaka nakon zamjene | 57 |
| 35. | Rezultati testa predznaka (samostalna izrada) | 57 |
| 36. | Dijagram s pravokutnicima za test predznaka (samostalna izrada) | 58 |
| 37. | Varijable prije zamjene (samostalna izrada) | 60 |
| 38. | Varijable nakon zamjene (samostalna izrada) | 60 |
| 39. | Prozor <i>Comparing to dependent samples (variables)</i> u Statistici (samostalna izrada) | 61 |
| 40. | Rezultati Wilcoxonovog testa (samostalna izrada) | 61 |
| 41. | Tablica za McNemarov test (samostalna izrada) | 63 |
| 42. | Rezultati <i>Crosstabs</i> analize (samostalna izrada) | 63 |
| 43. | Rezultati McNemarovog testa iz PSPP-a (samostalna izrada) | 64 |
| 44. | Rezultat proširenog medijan testa u PSPP-u (samostalna izrada) | 65 |
| 45. | Rezultati proširenog medijan testa u alatu Statistica (samostalna izrada) | 66 |
| 46. | Rezultat Kruskal-Wallisovog testa u Statistici (samostalna izrada) | 67 |
| 47. | Tablica frekvencije posjeta SO u tri godine (samostalna izrada) | 70 |
| 48. | Tablica dihotomnih vrijednosti (samostalna izrada) | 70 |
| 49. | Uvođenje varijabli za Cochranov Q test u alatu Statistica (samostalna izrada) | 71 |
| 50. | Rezultati Cochranovog Q testa (samostalna izrada) | 71 |

| | |
|---|----|
| 51. Početna tablica za Friedmanov test (samostalna izrada) | 73 |
| 52. Preračunata tablica za Friedmanov test (samostalna izrada) | 73 |
| 53. Rezultati Friedmanovog testa (samostalna izrada) | 74 |
| 54. Vizualni pregled Friedmanovog testa (samostalna izrada) | 74 |
| 55. Rezultati Spearmanovog testa korelacije rangova (samostalna izrada) | 77 |
| 56. Grafovi Spearmanovog testa korelacije rangova (samostalna izrada) | 78 |
| 57. Rezultati Kendall-Tau testa (samostalna izrada) | 80 |

Popis tablica

| | | |
|----|--|----|
| 1. | Rezultati testiranja hipoteza (samostalna izrada prema [12]) | 9 |
| 2. | Meotde grafičkog testiranja normalnosti (samostalna izrada prema [18]) | 12 |
| 3. | Parametarski nasuprot neparametarskim testovima s obzirom na veličinu uzorka (samostalna izrada prema [38]) | 24 |