

# Kvantno probabilističko modeliranje u kognitivnoj psihologiji: efekt redoslijeda

---

Švogor, Monika

Master's thesis / Diplomski rad

2018

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Rijeka, Faculty of Humanities and Social Sciences / Sveučilište u Rijeci, Filozofski fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:186:791884>

*Rights / Prava:* [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-14**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Humanities and Social Sciences - FHSSRI Repository](#)



Sveučilište u Rijeci  
Filozofski fakultet u Rijeci  
Diplomski studij psihologije

Monika Švogor

**Kvantno probabilističko modeliranje u kognitivnoj psihologiji: efekt redosljeda**

Diplomski rad

Rijeka, 2018.

Sveučilište u Rijeci  
Filozofski fakultet u Rijeci  
Diplomski studij psihologije

Monika Švogor

**Kvantno probabilističko modeliranje u kognitivnoj psihologiji: efekt redosljeda**

Diplomski rad

Mentor: prof. dr. sc. Dražen Domijan

Rijeka, 2018.

## **IZJAVA**

Izjavljujem pod punom moralnom odgovornošću da sam diplomski rad izradila samostalno, znanjem stečenim na Odsjeku za psihologiju Filozofskoga fakulteta Sveučilišta u Rijeci, služeći se navedenim izvorima podataka i uz stručno vodstvo mentora prof. dr. sc. Dražen Domijan.

Rijeka, rujan 2018.

**Naslov:** Kvantno probabilističko modeliranje u kognitivnoj psihologiji: efekt redoslijeda

**Sažetak:** Efekt redoslijeda je poznat fenomen u kognitivnoj psihologiji koji narušava određene pretpostavke klasične teorije vjerojatnosti i odnosi se na različite vjerojatnosti ishoda mjerenja (odgovore na pitanja) ovisno o njihovom redoslijedu. On je u ovom istraživanju analiziran koristeći kvantno probabilističko modeliranje kognitivnih procesa. Testiran je model redoslijeda kvantnog pitanja (engl. *Quantum Question model*; dalje u tekstu QQ model) predložen od strane Wanga i Busemeyera (2013) na uzorku ispitanika koji su odgovarali na tri da/ne pitanja, u različitim redoslijedima. U tu svrhu postavljena su tri problema. Prvi problem bio je namijenjen ispitivanju opće prisutnosti efekta redoslijeda u odgovorima ispitanika te su rezultati ukazali na prisutnost efekta redoslijeda za sva tri pitanja. Drugi je problem bio testirati slaganje podataka s predikcijom modela nazvanom QQ jednakost te su rezultati bili u skladu s hipotezama autora modela. Svrha trećeg problema bila je ispitati ovisnost  $q$  vrijednosti iz modela o trećem pitanju. Kako je QQ jednakost predikcija koja uključuje samo za dva da/ne pitanja, iz QQ modela izvedena je dodatna predikcija koja uključuje treće pitanje te prema kojoj je  $q$  vrijednost neovisna o trećem pitanju. Rezultati su pokazali ograničenu mogućnost modela u objašnjavanju empirijskih podataka. Dan je prijedlog proširenja teorije kako bi uvažila modele s tri ili više pitanja.

**Ključne riječi:** kvantna kognicija, QQ model, efekt redoslijeda, kvantna teorija vjerojatnosti

**Title:** Quantum probabilistic modeling in cognitive psychology: order effect

**Abstract:** The order effect is a well-known phenomenon in cognitive psychology which violates specific axioms of the classical probability theory and refers to different probabilities of measurement outcomes (answers to questions) depending on their order. In this research, the order effect was analyzed using quantum probabilistic modeling of cognitive processes. The Quantum Question (QQ) model suggested by Wang and Busemeyer (2013) was tested on a sample of participants that had answered three yes/no questions about a painting, in different orders. For that purpose, three problems were considered. The first problem was to examine the presence of the order effect in participants' answers and the results showed order effects for all three questions. The second problem was to test data fitness with a model prediction called QQ equality and the data proved to be a good fit to the model. The purpose of the third problem was to examine the dependency of the  $q$  value derived from the model on a third question. Given that the QQ equality is a prediction which includes only two yes/no questions, an additional prediction was derived from the model which includes a third question and according to which, the  $q$  value is independent of a third question. The results showed a limitation in the model in explaining empirical data. A proposal was made how to expand the theory, so it would include models with three or more questions.

**Key words:** quantum cognition, QQ model, order effect, quantum probability theory

## Sadržaj

<b>1. Uvod</b>	<b>1</b>
1.1. Klasična teorija vjerojatnosti	2
1.2. Kvantna teorija vjerojatnosti i kognitivna psihologija	3
1.2.1. Primjeri kršenja klasične teorije vjerojatnosti	6
1.2.1.1. Pogreška konjunkcije	6
1.2.1.2. Zakon totalne vjerojatnosti	7
1.2.1.3. Efekt redoslijeda	7
1.2.2. Osnovne pretpostavke QQ modela	9
<b>2. Problemi i hipoteze rada</b>	<b>12</b>
<b>3. Metoda</b>	<b>13</b>
3.1. Ispitanici	13
3.2. Pribor	13
3.3. Postupak	13
<b>4. Rezultati</b>	<b>15</b>
<b>5. Rasprava</b>	<b>23</b>
5.1. Testiranje prisutnosti efekta redoslijeda	23
5.2. QQ test	26
5.3. Ovisnost $q$ vrijednosti o trećem pitanju	27
5.4. Ograničenje QQ modela na razini tri pitanja	28
5.5. Metodološki nedostaci i eksperimentalna kontrola	31
<b>6. Zaključak</b>	<b>34</b>
<b>Literatura</b>	<b>36</b>
<b>Prilozi</b>	<b>39</b>

## 1. Uvod

Eksperimentalna istraživanja usmjerena testiranju hipoteza proizašlih iz postojećih teorija i modela nerijetko izvještavaju o rezultatima nekonzistentnim, a nekad i potpuno suprotnim tim modelima (Sniehotta, Presseau i Araújo-Soares, 2017). Takve nekonzistentnosti potiču dodatno ispitivanje teorija te njihov razvoj, bilo da se postojeće teorije „nadograđuju“, revidiraju ili produciraju potpuno nove. U kognitivnoj psihologiji sličan je slučaj. U području odlučivanja i prosuđivanja u psihologiji donošenja odluka kao prihvaćeni model funkcioniranja ljudske kognicije prevladava teorija klasične vjerojatnosti (Bruza, Wang i Busemeyer, 2015). Međutim, u psihologijskim eksperimentalnim istraživanjima javljaju se različiti rezultati koji nisu konzistentni s postavkama te teorije (Busemeyer i Wang, 2015).

Klasična se teorija vjerojatnosti, iako se toliko često i široko primjenjuje da se njene postavke rijetko dovode u pitanje, pokazala ograničenom u objašnjavanju nekih empirijskih nalaza kao što su pogreška konjunkcije (Tversky i Kahneman, 1983), kršenje zakona totalne vjerojatnosti (Shafir i Tversky, 1992), efekt redoslijeda koji krši pravilo komutativnosti (Hogarth i Einhorn, 1992; Moore, 2002; Shanteau, 1970) i drugih. Da bi se suočili s tim problemima, kognitivni psiholozi još uvijek nastoje objasniti empirijske nalaze novim teorijama i modelima, no nerijetko tako da se ustraje uz klasičnu teoriju vjerojatnosti, a nekonzistentni nalazi se objašnjavaju različitim heuristikama i pristranostima (npr. Tversky i Kahneman, 1983). Dobra znanstvena teorija bi trebala zadovoljavati određene kriterije poput opsega pojava koje obuhvaća, mogućnosti kreiranja hipoteza koje se mogu testirati i koje je moguće opovrgnuti, parsimonije, slaganja empirijskih podataka, utjecaja u drugim područjima te praktičnoj primjenjivosti (Cramer, 2013). Uzevši u obzir nekonzistentnost empirijskih podataka s pretpostavkama klasične teorije vjerojatnosti i potrebom uključivanja različitih heuristika kako bi se objasnili ti nalazi (čime se zapravo i smanjuje parsimonija), klasična teorija vjerojatnosti ne zadovoljava u potpunosti kriterije dobre znanstvene teorije kada govorimo o kognitivnoj psihologiji.

Jedan od recentnijih modela koji se javio kao alternativa klasičnom modelu kognicije je model kvantne kognicije koji se temelji na kvantnoj teoriji vjerojatnosti (Bruza i sur., 2015). Iako je kvantna teorija vjerojatnosti proizašla iz nekih spoznaja iz područja fizike (Von Neumann, 1932; prema Bruza, Busemeyer i Gabora, 2009) gdje se koristi već gotovo sto godina, tek se relativno nedavno počela učestalije primjenjivati u psihologiji.



Zanimljivo je što je Niels Bohr, jedan od začetnika teorije kvantne vjerojatnosti, u nju uključio neke ideje prilagođene iz psihologije (konkretnije, koncepte o komplementarnosti Williama Jamesa; Busemeyer i Wang, 2015).

Prvi radovi iz područja psihologije koji su imali doticaja s kvantnom teorijom objavljeni su 90-ih godina prošlog stoljeća, no oni su zapravo uključivali koncepte iz kvantne fizike (npr. Hameroff, 1994, 1998; Hameroff i Penrose, 1996; Jibu i sur., 1994; sve prema Bruza i sur., 2009). Tijekom 2000-ih su se prvi put pojavili radovi koji su uključivali generalniju kvantnu teoriju vjerojatnosti, a porast u popularnosti teorije i broju objavljenih radova obilježila je posveta jednog cijelog broja časopisa *Journal of Mathematical Psychology* temi kvantne kognicije (Bruza i sur., 2009).

### 1.1. Klasična teorija vjerojatnosti

U nastavku su opisane neke od najvažnijih općih pretpostavki klasične teorije vjerojatnosti. Klasična teorija vjerojatnosti se, prema Kolmogorovu (1933; prema Bruza i sur., 2015), bazira na pretpostavci da su različiti događaji podskupovi univerzalnog prostora događaja  $U$  koji uključuje sve moguće kombinacije događaja, na primjer događaje  $X$  i  $Y$ . Kada bismo to primijenili na kognitivni sustav,  $X$  i  $Y$  bi reprezentirali primjerice dva različita stava ili odluke i oni bi pripadali univerzalnom prostoru  $U$  koji obuhvaća čitav kognitivni sustav. Teorija predviđa da su događaji definirani podskupovima univerzalnog prostora neovisni o redosljedu tih događaja. Stanje kognitivnog sustava u određenom trenutku reprezentirano je funkcijom  $p$  koja je definirana podskupovima na univerzalnom prostoru  $U$ . Vjerojatnost nekog događaja  $X$  iznosi  $p(X)$ . Ta vjerojatnost je uvijek veća ili jednaka nuli, a ukupna vjerojatnost svih mogućih događaja unutar prostora  $U$  jednaka je 1. Presjek dva događaja ili njihova konjunkcija, odnosno vjerojatnost da će se oba dogoditi ekvivalentna je umnošku njihovih pojedinačnih vjerojatnosti, a njihova unija ili vjerojatnost da će se dogoditi ili jedan ili drugi jednaka je zbrojevima njihovih pojedinačnih vjerojatnosti. Vjerojatnost nekog događaja  $Y$  nakon što se događaj  $X$  već dogodio jednaka je vjerojatnosti oba događaja  $X$  i  $Y$  podijeljena s vjerojatnošću  $Y$ . I konačno, vjerojatnost nekog događaja  $Y$  je prema zakonu totalne vjerojatnosti jednaka zbroju vjerojatnosti da se on događa zajedno s  $X$  i da se događa bez  $X$  (Bruza i sur., 2015). U nastavku rada bit će opisana kvantna teorija vjerojatnosti i njene implikacije na kognitivnu psihologiju.

## 1.2. Kvantna teorija vjerojatnosti i kognitivna psihologija

Teorija kvantne vjerojatnosti jedna je od teorija prema kojoj se različitim događajima određuje vjerojatnost. Prva i najznačajnija primjena joj je u fizici gdje je korištena u interpretaciji ponašanja subatomske čestice, no pronašla je primjenu i u teoriji informacija (Grover, 1997; prema Pothos i Busemeyer, 2013), ekonomiji (Rosenblum i Kuttner, 2006; prema Busemeyer i Wang, 2015), pa i psihologiji (Busemeyer i Wang, 2015; Pothos i Busemeyer, 2013). Kvantno probabilistički model kognitivne psihologije ili kvantna kognicija primjenjuje matematičke postavke kvantne teorije vjerojatnosti za opisivanje kognitivnih procesa. Najvažniji novi pojmovi i principi koje je psihologija preuzela iz kvantne teorije vjerojatnosti su princip neodređenosti, komplementarnost, stanje superpozicije i fenomen prepletenosti.

Najpoznatiji princip kvantne teorije vjerojatnosti je princip neodređenosti (Bruza i sur., 2015). U fizici se neodređenost odnosi na fenomen kada je poznato jedno svojstvo kvantne čestice, nužno je neodređeno neko njeno drugo stanje. Primjerice, ako nam je poznata pozicija čestice, nužno je neizvjesno stanje njenog momenta kretanja. Kao primjer te pojave u psihologiji imamo zauzimanje tuđe perspektive, odnosno vršenje mjerenja pripadnog mentalnog stanja. Tada ne možemo točno izmjeriti vrijednost mentalnog stanja vlastitog mišljenja, zato što nije moguće istovremeno gledati na neku ideju iz dvije različite perspektive. Mjerenje jednog svojstva onemogućuje točno mjerenje drugog. Slično se događa kada gledamo Neckerovu kocku – u jednom trenutku možemo vidjeti samo jednu perspektivu kocke, čak i ako smo svjesni da su moguće višestruke interpretacije. Kada se nalazimo u jednoj perspektivi i to stanje postane određeno, stanje druge perspektive postaje nužno neodređeno (Conte, Khrennikov, Todarello, Federici, Mendolicchio i Zbilut, 2009).

Princip komplementarnosti u kvantnoj kognitivnoj teoriji pretpostavlja da se pri bilo kakvom mjerenju (a u psihologiji se to odnosi na razmatranje nekih pitanja ili problemskih zadataka koja zahtijevaju prosudbe ili donošenje neke odluke) razlikuju ona pitanja koja su kompatibilna i ona koja su nekompatibilna. Kompatibilna pitanja se smisleno ne preklapaju i odgovaranje na jedno pitanje (odnosno, vršenje mjerenja vrijednosti odgovora) neće utjecati na drugo. Pitanja su nekompatibilna ako se na njih ne može simultano odgovoriti (izvršiti mjerenje). Da bi se na njih odgovorilo, potrebno ih je sagledati iz različitih perspektiva, koje se mogu zauzeti samo sekvencijalno, ali ne istovremeno. U obzir tada treba uzeti redosljed kojim

su ta pitanja prezentirana, jer prvo pitanje i perspektiva koju je osoba zauzela stvaraju kontekst koji ometa odgovaranje na drugo pitanje (Busemeyer i Wang, 2015). Komplementarnost u kvantnoj teoriji vjerojatnosti se tu razlikuje od komplementarnosti u klasičnoj teoriji vjerojatnosti po tome što prema klasičnoj vjerojatnosti redosljed mjerenja ne bi trebao imati učinak na sam ishod mjerenja, a u kvantnoj teoriji vjerojatnosti ta je mogućnost uzeta u obzir (Bruza i sur., 2015).

Sljedeći novi koncept je pojam superpozicije. U fizici je poznat eksperiment s dvostrukim prorezom u kojem je opaženo da fotoni mogu *mijenjati* svoje ponašanje ako se mjeri putanja njihovog kretanja, odnosno puko mjerenje može determinirati putanju njihovog kretanja. Kada se ne opaža njihovo kretanje, vjerojatnost prolaska kroz oba proreza je podjednaka, no ako se njihovo kretanje opaža, vjerojatnost prolaska kroz jedan prorez postaje 1, dok vjerojatnost prolaska kroz drugi prorez postaje 0. Teorija kvantne vjerojatnosti pretpostavlja da je foton prije mjerenja u stanju superpozicije u kojem je krajnji ishod njegovog ponašanja neodređen, a postupkom mjerenja razbija se stanje superpozicije u definirano stanje (Busemeyer i Bruza, 2012). Kada kažemo da je ljudski kognitivni sustav u stanju superpozicije, to znači da točna vrijednost nekog odgovora ne postoji sve dok se ona ne pokuša izmjeriti. Smatra se da je ljudski kognitivni sustav u neodređenom stanju superpozicije u svakom trenutku prije donošenja neke odluke ili prosudbe te postoji određeni potencijal za svaki mogući ishod. Koji će to ishod biti, postaje definitivno tek kad se on podvrgne mjerenju, postavljanjem pitanja o odluci ili prosudbi. Sam čin mjerenja će zapravo proizvesti taj ishod (Busemeyer i Wang, 2015).

Prepletenost je princip koji se tiče sastava kompleksnih kognitivnih procesa. Prema teoriji kvantne vjerojatnosti moguće je postojanje takozvanih prepletenih sustava za koje ne možemo izdvojiti zajedničku distribuciju vjerojatnosti sustava od distribucije vjerojatnosti sastavnih dijelova tih sustava. Drugim riječima, u prepletenim sustavima, kakvima se smatraju i neki kognitivni sustavi, promjena u nekom sastavnom dijelu zahtijeva promjenu u nekom drugom dijelu. To dovodi do međuzavisnosti između dijelova kognitivnih sustava kakva nije moguća u klasičnoj teoriji vjerojatnosti (Pothos i Busemeyer, 2013). Na primjer, kada se uči neka riječ u eksperimentu pamćenja, opaženo je da se cijela asocijativna mreža te riječi aktivira zajedno s njom te se ta riječ i njene asocijacije ponašaju kao jedno (Busemeyer i Bruza, 2012). Takva međuzavisnost postoji i kad je sustav u stanju superpozicije – neodređenosti kognitivnog sustava u odnosu na dva potencijalna ishoda neke mentalne operacije, što može dovesti do toga da su mjere dijelova tog sustava u super-korelaciji. Ona se odnosi na očekivane korelacije nekih

događaja koji su u superpoziciji i još nisu aktualizirani, a zbog prepletenosti će aktualizacija ishoda koji dolazi prvi u vremenu odrediti vjerojatnost drugog, budućeg događaja (White, Pothos i Busemeyer, 2014).

Prema klasičnoj vjerojatnosti, kognitivni se sustav mijenja iz trenutka u trenutak, ali u svakom trenutku postoji definitivno stanje u odnosu na odluku koja se treba donijeti, čak i ako u danom trenutku ne znamo kakvo to stanje jest. Bilo kakvo mjerenje odrazit će kakvo je to stanje u tom trenutku. Međutim, kvantna kognitivna teorija nalaže kako je kognitivni sustav u neodređenom stanju (superpozicije) u svakom trenutku prije donošenja odluke (mjerenja) te postoji potencijal za svaki ishod. Mentalno stanje ili odluka postaje konačna tek u trenutku mjerenja. Mjerenje zapravo stvara svojstvo sustava, odnosno to je stanje rezultat interakcije stanja superpozicije i poduzete mjere. To su i dokazali neki eksperimenti poput onog koje su proveli Busemeyer, Wang i Lambert-Mogiliansky (2009), u kojem je pokazano kako formiranje ranijih prosudbi utječe na preferenciju slika. Ono što je zapravo demonstrirano jest kako u nekim slučajevima internalne vrijednosti preferencija ne postoje sve dokle se one ne pokušaju izmjeriti, a te se izmjerene preferencije istog podražaja razlikuju kada je ranije (ili nije) napravljena neka prosudba istog podražaja. Stvaranje mentalnih stanja procesom njihovog mjerenja ne vrijedi za odgovore ili reakcije koje su ranije izražene ili naučene, a u trenutku mjerenja su samo dozvane, već vrijedi za one situacije koje su slabo strukturirane, dvosmislene, kod kojih je moguće donositi kompleksnije, kreativnije prosudbe i kod kojih se odlučivanje odvija u stanju neodređenosti (White i sur., 2014).

Ono što je još specifično za kvantnu teoriju vjerojatnosti je način prikazivanja procesa pridjeljivanja vjerojatnosti različitim događajima. Za razliku od klasične teorije vjerojatnosti, u kvantnoj su teoriji svi mogući događaji (koji u kontekstu psihologije uključuju i one događaje i pitanja o kojima se donosi neka odluka ili prosudba) reprezentirani kao sub prostori u višedimenzionalnom vektorskom prostoru koji se naziva Hilbertovim prostorom. Mentalno stanje donošenja odluke između više opcija reprezentirano je vektorom unutar tog prostora. Vjerojatnost da se mentalno stanje (odluka ili prosudba) slaže sa stvarnim stanjem ili događajem (točan odabir ili prosudba) računa se kao kvadrirana duljina projekcije vektora mentalnog stanja na sub prostor događaja. Sub prostori događaja koji su međusobno isključivi (kompatibilni) su pod pravim kutom, tako da je projekcija vektora mentalnog stanja moguća na samo jedan sub prostor, a međusobno nekompatibilni događaji su pod kosim kutom, tako da što je manji kut između njihovih sub prostora, to je viša klasična korelacija između njih (White i sur., 2014).

Taj je sustav organiziran na način da različiti redoslijed projiciranja vektora na sub prostore različitih događaja (tj. različiti redoslijed postavljanja pitanja) uzrokuje različite konačne odgovore o vjerojatnosti tih događaja (ili različite odluke), a time i različite duljine projekcije na njihove pripadne sub prostore. To se događa zato što se tada projekcije na nove događaje zbivaju iz jednog sub prostora u drugi, a projekcije iz različitih položaja na neki sub prostor će biti različite duljine (Bruza i sur., 2015).

U nastavku je opisano kako ove pretpostavke kvantne teorije vjerojatnosti mogu pomoći u opisivanju nekih rezultata u kognitivnoj psihologiji koji nisu u skladu s klasičnom teorijom vjerojatnosti. Nakon toga bit će detaljnije demonstrirano kako se postavke kvantne teorije vjerojatnosti mogu primijeniti u objašnjenju efekta redoslijeda.

### 1.2.1. Primjeri kršenja klasične teorije vjerojatnosti

#### 1.2.1.1. Pogreška konjunkcije

Jedan od najpoznatijih primjera iracionalnih nalaza u psihologiji je pogreška konjunkcije (Tversky i Kahneman, 1983). Radi se o jednostavnom eksperimentu u kojem je ispitanicima prezentiran opis žene koji je tipičan za feministkinju, ali netipičan za bankovnu službenicu. Zatim je ispitanicima zadan zadatak da procijene je li osoba iz opisa bankovna službenica ili bankovna službenica i feministkinja. Prema klasičnoj teoriji vjerojatnosti ispravan bi odgovor bio da je vjerojatnije da je bankovna službenica jer je vjerojatnost generalnijeg događaja uvijek veća od specifičnijeg (konjunktnog). Međutim, u istraživanjima se konzistentno nalazi da ispitanici procjenjuju da je vjerojatnije da je ta osoba i bankovna službenica i feministkinja nego samo bankovna službenica. Tversky i Kahneman (1983) su taj fenomen objasnili heuristikom reprezentativnosti koja je iznimka principu kognicije prema klasičnoj teoriji vjerojatnosti.

Kvantni kognitivni model ovaj fenomen objašnjava na način koji ga inkorporira u teoriju umjesto da ga tretira kao iznimku pravilu. Iz perspektive kvantne vjerojatnosti, pitanja vjerojatnosti da je osoba iz zadatka feministkinja ( $F$ ) ili bankovna službenica ( $B$ ) su nekompatibilna, zato što odgovori ovise jedan o drugome i ne mogu se simultano procesirati. Zato se umjesto toga rade sekvencijalne konjunkcije: ili  $B$  pa  $F$ , ili  $F$  pa  $B$ . Rezultati tih procjena neće biti isti jer će procjena prvog događaja utjecati na procjenu drugog. U kontekstu opisa kojeg su ispitanici dobili na početku zadatka nije vjerojatno da se radi o bankovnoj službenici, ali je zato vjerojatno da se radi o feministkinji. Ako ispitanici prvo procesiraju samo informaciju

$B$ , dat će nisku procjenu vjerojatnosti. Ako sekvencijalno procesiraju informaciju  $F$  pa  $B$ , vjerojatnije će prihvatiti informaciju  $F$ , a zatim nakon što je formiran kontekst da se feministkinje mogu baviti različitim poslovima, lakše će prihvatiti i vjerojatnost da se radi i o bankovnoj službenici (Bruza i sur., 2015).

#### 1.2.1.2. Zakon totalne vjerojatnosti

Zakon totalne vjerojatnosti je jedna od postavki klasične teorije vjerojatnosti. On nalaže da, kada iz perspektive donositelja odluke donošenje neke odluke ( $X$  ili  $\sim(ne)X$ ) ovisi o nekom drugom događaju  $Y$  čiji je ishod trenutno neizvjestan, i kada će ta odluka biti ista ( $X$ ) i u jednom ( $Y$ ) i u drugom ( $\sim Y$ ) mogućem ishodu tog neodređenog događaja, tada donošenje odluke u neodređenom stanju (kada nemamo informaciju o  $Y$ ) ne bi trebao biti problem i tada bi se trebala donijeti odluka  $X$  čak i kada nemamo informacije o  $Y$ . Međutim, često se događa da se donošenje odluka odgađa dokle se nesiguran događaj ne razriješi, ili se čak donosi odluka ( $\sim X$ ) koja nije ista onoj koja bi se donijela u slučaju razriješenog događaja  $Y$  (Bruza i sur., 2015).

Jedan je primjer toga eksperiment koji su proveli Shafir i Tversky (1992). Njihovi ispitanici su igrali igru zatvorenikove dileme u kojoj je uvijek bilo isplativije ne surađivati. Ako protivnik surađuje ( $Y$ ), ispitanik bi više zaradio ako odluči ne surađivati ( $\sim X$ ). Ako protivnik pak ne surađuje ( $\sim Y$ ), a ispitanik surađuje ( $X$ ), ispitanik bi izgubio novac, tako da se opet više isplati ne surađivati ( $\sim X$ ). Kada su ispitanici znali kako je protivnik igrao (informacija o  $Y$ ), oni nisu surađivali ( $\sim X$ ), što je bilo i za očekivati jer je ta odluka bila isplativija bez obzira na ponašanje protivnika. Međutim, kada nisu znali kako je protivnik igrao (stanje neodređenosti), oni su vjerojatnije surađivali ( $X$ ). U terminima klasične vjerojatnosti to je iracionalno jer koji god bio ishod sa strane protivnika, ispitanici ne bi trebali surađivati, te to što su trenutno u neodređenom stanju oko igre protivnika ne bi trebalo imati utjecaja na njihovu odluku. Prema teoriji kvantne vjerojatnosti, u toj situaciji neodređenosti kada ispitanik još nije donio odluku, on je u stanju superpozicije te postoji potencijal za sve moguće ishode njegove odluke, uključujući i odluku  $X$  koja nije ista onoj koja bi se donijela u slučaju razriješenog događaja ( $\sim X$ ).

#### 1.2.1.3. Efekt redoslijeda

Efekt redoslijeda je dobro dokumentiran fenomen u psihologiji (npr. Hogarth i Einhorn, 1992; Moore, 2002; Shanteau, 1970), a odnosi se na utjecaj redoslijeda informacija ili mjerenja na ažuriranje vjerovanja kroz vrijeme. Vodeći se principom komutativnosti proizašlom iz

klasične teorije vjerojatnosti, a prema kojem je  $X i Y = Y i X$ , redosljed mjerenja dviju različitih mjera ne bi trebao utjecati na njihove ishode. Međutim, prema različitim istraživanjima na tu temu (npr. Lee, Schwarz i Goldstein, 2014; Moore, 2002; Sayre, 1939; Schwarz i Hippler, 1995; Tourangeau, Rainski i Bradburn, 1991 i drugi), pokazalo se da redosljed mjerenja nekih psiholoških procesa može utjecati na same njihove rezultate.

Primjer ovog efekta, koji se često spominje u literaturi iz područja kvantne kognicije, je onaj koji je dao Moore (2002). Radi se o anketi koja je ispitivala javno mišljenje o dvojici američkih političara, Billu Clintonu i Alu Goreu. Ispitanike se pitalo misle li generalno da je Bill Clinton vjerodostojna i povjerljiva osoba (pitanje  $X$ ), a zatim i misle li isto o Alu Goreu (pitanje  $Y$ ). Pritom je manipuliran redosljed odgovaranja na ta pitanja, tako da je dio ispitanika imao redosljed  $XY$ , a drugi  $YX$ . U prvom je slučaju (redosljed  $XY$ ) pitanje  $X$  u nekomparativnom kontekstu, jer je postavljeno prvo, a u drugom (redosljed  $YX$ ) u komparativnom, zato što je postavljeno nakon pitanja  $Y$ , čime je pružen kontekst za usporedbu s prethodnim pitanjem. Ono što se pokazalo jest da je vjerojatnost odgovaranja s "da" na isto pitanje ( $X$  ili  $Y$ ) bila različita kada su pitanja bila postavljena različitim redosljedom, odnosno, razlika u odgovaranju s "da" na pitanja  $X$  i  $Y$  je bila manja u komparativnom nego u nekomparativnom kontekstu.

Primjenom principa komplementarnosti zaključili bismo da pitanja  $X$  i  $Y$  nisu komplementarna i stoga prvo pitanje i perspektiva koju je osoba zauzela prilikom odgovaranja stvaraju kontekst koji ometa i utječe na odgovaranje na drugo pitanje (Busemeyer i Wang, 2015).

Raniji pokušaji objašnjenja efekta redosljeda kroz modele alternativne probabilističkima (Hogarth i Einhorn, 1992; Shanteau, 1970) pokazali su se neučinkovitima u tome što im nedostaje aksiomska podloga i omogućuju samo *ad hoc* primjenu. S druge strane, kvantno probabilistički model (model redosljeda kvantnog pitanja; engl. *Quantum Question model*; dalje u tekstu QQ model) pruža objašnjenje efekta redosljeda jedinstvenom teorijom bez potrebe za sekundarnim objašnjenjima kao što su heuristike i pristranosti, a uz aksiomske principe primjenjive na niz drugih dosad problematičnih empirijskih nalaza (Trueblood i Busemeyer, 2011). U nastavku su prikazane osnovne pretpostavke QQ modela, razvijene od strane Wanga i Busemeyera (2013), proizašle iz kvantne teorije vjerojatnosti.

### 1.2.2. Osnovne pretpostavke QQ modela

Klasična i kvantna teorija vjerojatnosti razvijene su za određivanje vjerojatnosti različitim događajima. U klasičnoj teoriji vjerojatnosti događaji su definirani kao podskupovi prostora događaja. Takvi se događaji smatraju komutativnima i neovisnima o redoslijedu. U kvantnoj teoriji vjerojatnosti događaji su reprezentirani kao sub prostori u višedimenzionalnom vektorskom prostoru koji se naziva Hilbertovim prostorom i ovakvo gledanje na događaje uvažava ovisnost o redoslijedu. Mentalno stanje ili uvjerenje osobe o nekom objektu reprezentirano je vektorom stanja unutar tog prostora koji se označava slovom  $S$ . Taj vektor generalno ima duljinu 1, ali u odnosu na različite sub prostore događaja može imati različite koordinate. Sub prostori događaja obuhvaćeni su baznim vektorima u Hilbertovom prostoru (osim koordinatnog sustava) koji su pod različitim kutevima. Ako su osi ortogonalne (na primjer za odgovaranje na neko pitanje s "da" i s "ne"), njihovi događaji su kompatibilni, međusobno isključivi, a vjerojatnost njihove konjunkcije je 0. Ako su osi nekih događaja pod kosim kutom, pitanja su nekompatibilna i odgovaranje na jedno pitanje ne dovodi do sigurnog odgovora na drugo pitanje. Odgovaranje na neko pitanje se teoretizira kao projiciranje vektora stanja  $S$  na sub prostor koji reprezentira odgovor na to pitanje (generalni događaj). Ta se kognitivna operacija naziva projektorom.

U primjeru pitanja  $X$  i  $Y$  na koja je moguće odgovoriti s "da" ili s "ne", projektor za odgovaranje s "da" na pitanje  $X$  označava se simbolom  $P_X$ , a za odgovaranje s "da" na pitanje  $Y$  simbolom  $P_Y$ . Projektori za odgovaranje s "ne" na neko od ta dva pitanja, odnosno projektori na osi ortogonalne osima  $X$  i  $Y$  su  $P_{\sim X}$  i  $P_{\sim Y}$ . Vjerojatnost da se mentalno stanje (odluka ili prosudba) slaže s nekim događajem ili vjerojatnost određenog odgovora na postavljeno pitanje računa se kao kvadrirana duljina ortogonalne projekcije vektora mentalnog stanja na sub prostor događaja (Jednadžba 1.)

$$p(X_{da}) = ||P_X * S||^2 \quad (1)$$

Kada je pitanje stvarno postavljeno, ovaj proces proizvodi novo ažurirano mentalno stanje reprezentirano vektorom stanja koji leži na sub prostoru  $X$ , označeno simbolom  $S_X$ . Ovaj se novi vektor stanja normalizira u modelu kako bi mu duljina iznosila 1, zato što vjerojatnost odgovora koji već znamo postaje 1. Neko sljedeće mjerenje (postavljanje popratnog pitanja) projicira se



iz tog novog vektora stanja. Na primjer, vjerojatnost odgovaranja s "da" na pitanje  $Y$  nakon odgovaranja s "da" na pitanje  $X$  iznosila bi:

$$p(X_{da}Y_{da}) = ||P_X * S||^2 * ||P_Y * S_X||^2 \quad (2)$$

Što se tiče efekta redoslijeda, vjerojatnost odgovaranja s "da" na pitanje  $X$  nakon odgovaranja s "da" na pitanje  $Y$  (komparativni kontekst) može se razlikovati od vjerojatnosti odgovaranja s "da" na pitanje  $X$  u nekomparativnom kontekstu gdje prethodno nije postavljeno pitanje  $Y$  jer je u tom slučaju polazišni vektor stanja u drugom položaju u odnosu na os  $X$ . U nekomparativnom kontekstu vjerojatnost odgovaranja s "da" na pitanje  $X$  je jednako kao u Jednadžbi 1. Odnosno, vjerojatnost odgovora "da" na pitanje  $X$  je u tom slučaju jednaka kvadriranoj duljini projekcije vektora stanja  $S$  na os  $X$ . U komparativnom kontekstu ukupna vjerojatnost odgovaranja s "da" nakon odgovaranja na pitanje  $Y$  (bilo s "da" ili s "ne") je:

$$\begin{aligned} Tp(X_{da}) &= p(Y_{da}X_{da}) + p(Y_{ne}X_{da}) \\ &= ||P_Y * S||^2 * ||P_X * S_Y||^2 + ||P_{\sim Y} * S||^2 * ||P_X * S_{\sim Y}||^2 \end{aligned} \quad (3)$$

Odnosno, vjerojatnost odgovaranja s "da" na pitanje  $X$  nakon odgovaranja na pitanje  $Y$  (bilo s "da" ili s "ne") je jednaka zbroju kvadrirane projekcije vektora  $S_Y$  iz osi  $Y$  na os  $X$  te kvadrirane projekcije vektora  $S_{\sim Y}$  iz osi  $\sim Y$  na os  $X$ .

Wang i Busemeyer (2013) su ove pretpostavke uspješno primijenili na rezultate na kojima je Moore (2002) prikazao efekt redoslijeda. Uz to, izveli su općenito pravilo vjerojatnosti odgovaranja s  $a$  na pitanje  $X$ , a zatim s  $b$  na pitanje  $Y$ :

$$p(X_a Y_b) = ||P_{X_a} * S||^2 * ||P_{Y_b} * S_{X_a}||^2 = ||P_{Y_b} * P_{X_a} * S||^2 \quad (4)$$

Prema tome pravilu, vjerojatnost odgovaranja s  $a$  na pitanje  $X$ , a zatim s  $b$  na pitanje  $Y$  je jednaka kvadriranoj projekciji vektora stanja  $S$  na os  $X_a$ , a zatim normaliziranog vektora  $S_{X_a}$  na os  $P_{Y_b}$ .

Također, postavili su predikciju za testiranje slaganja empirijskih podataka s QQ modelom, nazvanu QQ jednakost. Imamo li dva pitanja,  $X$  i  $Y$ , na koja je moguće odgovarati s "da" ili "ne", imamo 4 moguća ishoda (2 x 2 matrica:  $X_{da}Y_{da}$ ,  $X_{ne}Y_{ne}$ ,  $X_{da}Y_{ne}$ ,  $X_{ne}Y_{da}$ ). Općenito, model dozvoljava efekt redoslijeda (kao što je  $p(X_{da}Y_{ne}) \neq p(Y_{ne}X_{da})$ ), ali predviđa da vjerojatnost različitih odgovora na dva pitanja (npr.  $X_{da}Y_{ne}$  i  $X_{ne}Y_{da}$ ) bude ista u oba redoslijeda:

$$p(X_{da}Y_{ne}) + p(X_{ne}Y_{da}) = p(Y_{da}X_{ne}) + p(Y_{ne}X_{da}) \quad (5)$$

Ako vjerojatnost različitih odgovora (jedno "da", drugo "ne" i obrnuto) u redosljedu  $XY$  označimo kao  $p_{XY}$ , a u redosljedu  $YX$  označimo kao  $p_{YX}$ , tada

$$q = p_{XY} - p_{YX} = 0 \quad (6)$$

Pretpostavlja se da je ovaj kvantitativni test neovisan o parametrima te da vrijedi i za veći broj dimenzija (sub prostora) te projektora (mjerjenja).

Wang i Busemeyer (2013) su predložili dva načina testiranja ovih pretpostavki, primjenom z-testa za provjeru je li  $q$  statistički različit od 0, te hi-kvadrat testom za provjeru razlikuje li se spomenuta  $2 \times 2$  matrica (frekvencije različitih ishoda) uz pretpostavku  $p_{XY} - p_{YX} = 0$  (Jednadžba 6.) od iste matrice koja to ne pretpostavlja, odnosno od frekvencija koje međusobno nisu različite. Autori su i proveli te provjere i pokazali slaganje empirijskih podataka s QQ modelom.

Wang, Solloway, Shiffrin i Busemeyer (2014) su proveli daljnju provjeru modela na uzorku od 70 prethodno provedenih anketa na velikom broju ispitanika u kojima su manipulirani redosljedi postavljanja pitanja te su rezultati pokazali iznenađujuće slaganje empirijskih podataka s modelom. Međutim, i Wang i Busemeyer (2013) te Wang i sur. (2014) su testirali ovaj model na setovima podataka s po dva pitanja. Cilj ovog rada bit će testirati ovaj model na tri dimenzije (tri da/ne pitanja).

## 2. Problemi i hipoteze rada

Prvi problem ovog rada je istražiti prisutnost efekta redoslijeda na skupu podataka koji podržava kvantno probabilistički model s tri pitanja. Zanima nas razlikuje li se vjerojatnost odgovaranja s "da" na određeno pitanje  $X$  ( $p(X_{da})$ ) s obzirom na položaj tog pitanja u odnosu na druga dva postavljena pitanja  $Y$  i  $Z$ ?

Prema kvantno probabilističkom modelu pretpostavlja se da će se na ovom skupu podataka javiti efekt redoslijeda u nekom obliku, odnosno da će se vjerojatnost odgovaranja s "da" na određeno pitanje  $X$  ( $p(X_{da})$ ) razlikovati s obzirom na položaj tog pitanja u odnosu na druga dva postavljena pitanja. Hipoteza će se testirati hi-kvadrat testovima za svako pitanje u svakoj kombinaciji redoslijeda te dodatnim hi-kvadrat i z-testovima za naknadne post hoc provjere razlika između pojedinog pitanja u različitim parovima redoslijeda.

Sljedeći problem je provjeriti vrijedi li predikcija QQ jednakosti – pretpostavka da je vjerojatnost odgovora s "da" na jedno, a s "ne" na drugo pitanje neovisna o redoslijedu pitanja (Jednadžbe 5. i 6.), na ovom skupu podataka.

Pod pretpostavkom  $p(X_{da}Y_{ne}) + p(X_{ne}Y_{da}) = p(Y_{da}X_{ne}) + p(Y_{ne}X_{da})$ , očekuje se da  $q$  vrijednost neće biti statistički značajno različita od nule, odnosno da razlika između  $p(X_{da}Y_{ne}) + p(X_{ne}Y_{da})$  i  $p(Y_{da}X_{ne}) + p(Y_{ne}X_{da})$  neće biti statistički značajna ni za jedan par pitanja koja dolaze na mjestu  $X$  i  $Y$ , a postavljena su jedno neposredno iza drugoga. Postojanje razlike ukazat će na nesposobnost modela u objašnjenju dobivenih rezultata. Hipoteza će se testirati hi-kvadrat i z-testovima za svaki par pitanja.

Konačno, uzevši u obzir QQ jednakost i pretpostavku da je  $q = p_{XY} - p_{YX}$  (Jednadžba 6.), posljednji je problem ispitati razlikuje li se  $q$  ako je prije pitanja  $X$  i  $Y$  postavljeno nekompatibilno pitanje  $Z$ .

U slučajevima kada se prije bilo koja dva uzastopna pitanja na mjestima  $X$  i  $Y$  pojavljuje i ne pojavljuje nekompatibilno pitanje  $Z$ , ne bi trebala postojati razlika između njima pridruženih vrijednosti  $q$ . Razlog te pretpostavke je taj što model uključuje potrebu za normalizacijom vektora stanja  $S_X$ , odnosno  $S_Y$  prije projekcije na os  $Y$ , odnosno  $X$ , na vrijednost 1. Tom se normalizacijom gubi informacija o duljini prethodne projekcije  $S_Z$  na os  $X$ , odnosno  $Y$  i njen efekt na naknadne projekcije. Sva tri postavljena pitanja testirat će se na mjestima  $X$ ,  $Y$  i  $Z$ , a značajnosti razlike između  $q$  vrijednosti bit će provjerene z-testovima.

### 3. Metoda

#### 3.1. Ispitanici

U istraživanju je sudjelovalo 570 ispitanika. Pri prikupljanju ispitanika traženo je da oni budu stariji od 16 godina, imaju osnovno razumijevanje engleskog jezika i pristup stolnom računalu s Internetom. Nakon što su izbačeni ispitanici koji su više puta pristupili istraživanju ostao je 521 ispitanik od čega 244 (46.83%) muškaraca i 276 (52.97%) žena, dobi između 16 i 68 godina ( $M = 27.13$ ;  $SD = 8.04$ ). Otprilike jedna trećina ispitanika dolazila je iz zemalja izvan Hrvatske.

#### 3.2. Pribor

U istraživanju je korištena slika izrađena tehnikom akvarela dimenzija 29.7 x 21 centimetara (Prilog 1.) koju su ispitanici procjenjivali na tri različita pitanja. Kako bi se isključila mogućnost da dobiveni rezultati odražavaju prethodno formirane stavove o podražajnom materijalu, nego umjesto toga psihičke procese nastale u samom trenutku mjerenja te da potencijalni varijabilitet među njima bude ishod promjene redoslijeda pitanja, slika je izrađena isključivo za potrebe ovog istraživanja.

#### 3.3. Postupak

Za prikupljanje rezultata korištena je web aplikacija kojoj su ispitanici pristupali putem dijeljene poveznice. Poveznici se moglo pristupiti samo preko osobnog računala, no ne i preko mobitela ili tableta kako bi slika koja se procjenjivala bila dovoljno vidljiva na ekranu. Eksperiment je bio na engleskom jeziku kako izvor potencijalnih ispitanika ne bi bio ograničen na hrvatsko govorno područje te kako bi se prikupio što veći broj ispitanika. Uvjeti za sudjelovanje u istraživanju bili su starosna dob iznad 16 godina, poznavanje engleskog jezika i pristup istraživanju s osobnog računala. Nakon otvaranja poveznice ispitanici su pročitali kratku uputu s osnovnim informacijama o istraživanju te pritiskom gumba za nastavak dali privolu za prikupljanje njihovih rezultata. Zatim su ispunili obrazac s općim podacima – spol, dob i informacija o tome je li im to prvo sudjelovanje u ovome istraživanju (kasnije će to omogućiti izbacivanje ispitanika koji su više puta sudjelovali u istraživanju). Nakon upisivanja svojih podataka slijedio je eksperiment.

Ispitanici su procjenjivali sliku iz Priloga 1. na tri da/ne pitanja:

A: Do you like this painting? (*Sviđa li Vam se ova slika?*)

B: Would you hang this painting on your wall? (*Biste li ovu sliku objesili na svoj zid?*)

C: Do you think this painting is expensive? (*Mislite li da je ova slika skupa?*)

Svaki je ispitanik odgovarao na sva tri pitanja u jednom od šest mogućih redosljeda (Tablica 1.). Tek kada bi ispitanik odabrao i potvrdio odgovor, mogao bi prijeći na sljedeće pitanje te nije postojala mogućnost povratka i mijenjanja odgovora.

*Tablica 1. Broj ispitanika ovisno o redosljedu pitanja*

Redosljed pitanja	Broj ispitanika u uvjetu
<i>ABC</i>	88
<i>ACB</i>	89
<i>BAC</i>	85
<i>BCA</i>	85
<i>CAB</i>	91
<i>CBA</i>	83
Ukupno	521

#### 4. Rezultati

Prije testiranja hipoteza izračunati su deskriptivni podaci. U Tablici 2. prikazane su proporcije odgovora "da" i "ne" na pitanja *A*, *B* i *C*, neovisno o redosljedu postavljanja pitanja.

Tablica 2. Proporcije odgovora "da" i "ne" na pitanja *A*, *B* i *C*, neovisno o redosljedu

Pitanje	$p(X_{da})$	$p(X_{ne})$
A: Do you like this painting?	0.3013	0.6987
B: Would you hang this painting on your wall?	0.1766	0.8234
C: Do you think this painting is expensive?	0.2438	0.7562

Kako bi se istražila prisutnost efekta redosljeda, ispitano je razlikuje li se vjerojatnost odgovaranja s "da" na određeno pitanje ( $p(X_{da})$ ) s obzirom na položaj tog pitanja u odnosu na druga dva postavljena pitanja. Razlike su provjerene hi-kvadrat testovima. Izračunate su proporcije i frekvencije odgovora "da" i "ne" na svako pitanje ovisno o šest mogućih redosljeda, zatim očekivane frekvencije za svako pitanje i redosljed te odstupanja između opaženih i očekivanih frekvencija. Očekivane su frekvencije u skladu s nul-hipotezom da između proporcija pojedinih odgovora na isto pitanje u različitim redosljedima postavljanja pitanja nema značajne razlike. Statistički značajna razlika bila bi indikator postojanja efekta redosljeda za odgovarajuće pitanje. Tablica 3. prikazuje podatke za pitanje *A*, Tablica 4. za pitanje *B* i Tablica 5. za pitanje *C*.

Tablica 3. Pregled odgovaranja s "da" i "ne" na pitanje *A* u različitim redosljedima

Redosljed	$p(A_{da})$	$p(A_{ne})$	$fr(A_{da})$	$fr(A_{ne})$	$N$	Očekivane frekvencije ( $A_{da}$ )	Očekivane frekvencije ( $A_{ne}$ )	Odstupanje ( $A_{da}$ )	Odstupanje ( $A_{ne}$ )
<i>ABC</i>	0.3750	0.6250	33	55	88	26.5182	61.4818	1.5843	0.6833
<i>ACB</i>	0.3034	0.6966	27	62	89	26.8196	62.1804	0.0012	0.0005
<i>BAC</i>	0.2941	0.7059	25	60	85	25.6142	59.3858	0.0147	0.0064
<i>BCA</i>	0.1647	0.8353	14	71	85	25.6142	59.3858	5.2662	2.2714
<i>CAB</i>	0.2637	0.7363	24	67	91	27.4223	63.5777	0.4271	0.1842
<i>CBA</i>	0.4096	0.5904	34	49	83	25.0115	57.9885	3.2302	1.3933
Ukupno			157	364	521				

Tablica 4. Pregled odgovaranja s "da" i "ne" na pitanje B u različitim redosljedima

Redosljed	$p(B_{da})$	$p(B_{ne})$	$fr(B_{da})$	$fr(B_{ne})$	$N$	Očekivane frekvencije ( $B_{da}$ )	Očekivane frekvencije ( $B_{ne}$ )	Odstupanje ( $B_{da}$ )	Odstupanje ( $B_{ne}$ )
ABC	0.2045	0.7955	18	70	88	15.5393	72.4607	0.3896	0.0836
ACB	0.1573	0.8427	14	75	89	15.7159	73.2841	0.1874	0.0402
BAC	0.2000	0.8000	17	68	85	15.0096	69.9904	0.2639	0.0566
BCA	0.1059	0.8941	9	76	85	15.0096	69.9904	2.4061	0.5160
CAB	0.1429	0.8571	13	78	91	16.0691	74.9309	0.5862	0.1257
CBA	0.2530	0.7470	21	62	83	14.6564	68.3436	2.7456	0.5888
Ukupno			92	429	521				

Tablica 5. Pregled odgovaranja s "da" i "ne" na pitanje C u različitim redosljedima

Redosljed	$p(C_{da})$	$p(C_{ne})$	$fr(C_{da})$	$fr(C_{ne})$	$N$	Očekivane frekvencije ( $C_{da}$ )	Očekivane frekvencije ( $C_{ne}$ )	Odstupanje ( $C_{da}$ )	Odstupanje ( $C_{ne}$ )
ABC	0.3295	0.6705	29	59	88	21.4511	66.5489	2.6566	0.8563
ACB	0.3034	0.6966	27	62	89	21.6948	67.3052	1.2973	0.4182
BAC	0.2588	0.7412	22	63	85	20.7198	64.2802	0.0791	0.0255
BCA	0.2471	0.7529	21	64	85	20.7198	64.2802	0.0038	0.0012
CAB	0.1209	0.8791	11	80	91	22.1823	68.8177	5.6371	1.8170
CBA	0.2048	0.7952	17	66	83	20.2322	62.7678	0.5164	0.1664
Ukupno			127	394	521				

Izračunata su tri hi-kvadrat testa s 5 stupnjeva slobode kako bi se ustanovilo razlikuje li se vjerojatnost odgovaranja s "da" na svako postavljeno pitanje ( $p(X_{da})$ ) s obzirom na položaj tog pitanja u odnosu na druga dva postavljena pitanja. Rezultati su pokazali statistički značajan efekt redosljeda za pitanja A ( $\chi^2 = 15.06$ ;  $p < 0.05$ ) i C ( $\chi^2 = 13.48$ ;  $p < 0.05$ ), no ne i za pitanje B ( $\chi^2 = 7.99$ ;  $p > 0.05$ ). Rezultati sugeriraju da je vjerojatnost odgovora "da" na pitanja A i C ovisna o redosljedu. Provedeni su dodatni hi-kvadrat (testovi nezavisnosti) i z-testovi za naknadne post hoc provjere za sva tri pitanja, u svim kombinacijama redosljeda, s Holmovim korekcijama za broj provedenih testova (Holm, 1979). Zato što se radi o 2 x 2 tablici, hi-kvadrat

testovi provedeni su s korekturom (Petz, 2007). Tablica 6. prikazuje rezultate tih testova za pitanje A, Tablica 7. za pitanje B, a Tablica 8. za pitanje C.

Tablica 6. Post hoc testovi za pitanje A

Kombinacija redoslijeda	$\chi^2$	$z$
<i>ABC-ACB</i>	0.7187	1.0066
<i>ABC-BAC</i>	0.9322	1.1266
<i>ABC-BCA</i>	8.6299*	3.1086*
<i>ABC-CAB</i>	2.0649	1.5976
<i>ABC-CBA</i>	0.0943	-0.4638
<i>ACB-BAC</i>	0.0010	0.1333
<i>ACB-BCA</i>	3.9035	2.1544*
<i>ACB-CAB</i>	0.1803	0.5900
<i>ACB-CBA</i>	1.6802	-1.4557
<i>BAC-BCA</i>	3.3275	2.0065*
<i>BAC-CAB</i>	0.0790	0.4494
<i>BAC-CBA</i>	1.9786	-1.5683
<i>BCA-CAB</i>	1.9946	-1.5956
<i>BCA-CBA</i>	11.1736*	-3.5135**
<i>CAB-CBA</i>	5.5276	-2.0392*

\*  $p < 0.05$   
\*\*  $p < 0.01$

Rezultati analize odgovaranja na pitanje A pokazuju statistički značajnu razliku u potvrdnom odgovaranju na to pitanje u pet od petnaest mogućih kombinacija redoslijeda postavljanja pitanja. Dobivena je statistički značajno niža vjerojatnost potvrdnog odgovora na pitanje A kada je ono postavljeno u redoslijedu *BCA* ( $p(A_{da}) = 0.16$ ) nego u redoslijedima: *ABC* ( $p(A_{da}) = 0.38$ ;  $\chi^2 = 8.63$ ;  $z = 3.11$ ;  $p < 0.05$ ), *ACB* ( $p(A_{da}) = 0.30$ ;  $z = 2.15$ ;  $p < 0.05$ ), *BAC* ( $p(A_{da}) = 0.29$ ;  $z = 2.01$ ;  $p < 0.05$ ) i *CBA* ( $p(A_{da}) = 0.41$ ;  $\chi^2 = 11.17$ ;  $p < 0.05$ ;  $z = -3.51$ ;  $p < 0.01$ ). Također, pokazala se statistički značajno niža vjerojatnost potvrdnog odgovora na pitanje A kada je ono postavljeno u redoslijedu *CAB* ( $p(A_{da}) = 0.26$ ) nego u redoslijedu *CBA* ( $p(A_{da}) = 0.41$ ;  $z = -2.04$ ;  $p < 0.05$ ).



Tablica 7. *Post hoc* testovi za pitanje B

Kombinacija redosljeda	$\chi^2$	$z$
<i>ABC-ACB</i>	0.3494	0.8166
<i>ABC-BAC</i>	0.0132	0.0744
<i>ABC-BCA</i>	2.4903	1.7876
<i>ABC-CAB</i>	0.7972	1.0904
<i>ABC-CBA</i>	0.3279	-0.7549
<i>ACB-BAC</i>	0.2587	-0.7357
<i>ACB-BCA</i>	0.6562	1.0012
<i>ACB-CAB</i>	0.0146	0.2714
<i>ACB-CBA</i>	1.7797	-1.5580
<i>BAC-BCA</i>	2.2249	1.7047
<i>BAC-CAB</i>	0.6510	1.0074
<i>BAC-CBA</i>	0.4054	-0.8211
<i>BCA-CAB</i>	0.2633	-0.7412
<i>BCA-CBA</i>	5.2349*	-2.4895*
<i>CAB-CBA</i>	2.6862	-1.8304

\*  $p < 0.05$   
\*\*  $p < 0.01$

Iako ukupni hi-kvadrat test za pitanje B nije ukazao na efekt redosljeda uzimajući u obzir sve moguće redosljede istovremeno, ipak su provedeni *post hoc* testovi kako bi se provjerilo postoje li razlike na razini pojedinačnih kombinacija redosljeda. Rezultati *post hoc* testova za pitanje B pokazuju statistički značajnu razliku u potvrdnom odgovaranju na to pitanje u jednom od petnaest mogućih kombinacija redosljeda postavljanja pitanja – dobivena je statistički značajno niža vjerojatnost potvrdnog odgovora na pitanje B kada je ono postavljeno u redosljedu *BCA* ( $p(B_{da}) = 0.11$ ) nego u redosljedu *CBA* ( $p(B_{da}) = 0.25$ ;  $\chi^2 = 5.23$ ;  $z = -2.49$ ;  $p < 0.05$ ).

Tablica 8. Post hoc testovi za pitanje C

Kombinacija redosljeda	$\chi^2$	$z$
<i>ABC-ACB</i>	0.0453	0.3744
<i>ABC-BAC</i>	0.7278	1.0199
<i>ABC-BCA</i>	1.0584	1.1965
<i>ABC-CAB</i>	10.0552**	3.3505**
<i>ABC-CBA</i>	2.7746	1.8382
<i>ACB-BAC</i>	0.2347	0.6531
<i>ACB-BCA</i>	0.4370	0.8308
<i>ACB-CAB</i>	7.935*	2.9996*
<i>ACB-CBA</i>	1.704	1.4802
<i>BAC-BCA</i>	0	0.1764
<i>BAC-CAB</i>	4.6213*	2.343*
<i>BAC-CBA</i>	0.4175	0.8289
<i>BCA-CAB</i>	3.8937	2.1688*
<i>BCA-CBA</i>	0.2208	0.6543
<i>CAB-CBA</i>	1.6861	-1.505

\*  $p < 0.05$   
\*\*  $p < 0.01$

Rezultati analize odgovaranja na pitanje C (Tablica 8.) pokazuju statistički značajnu razliku u potvrdnom odgovaranju na to pitanje u četiri od petnaest mogućih kombinacija redosljeda postavljanja pitanja. Dobivena je statistički značajno niža vjerojatnost potvrdnog odgovora na pitanje C kada je ono postavljeno u redosljedu *CAB* ( $p(C_{da}) = 0.12$ ) nego u redosljedima: *ABC* ( $p(C_{da}) = 0.33$ ;  $\chi^2 = 10.06$ ;  $z = 3.35$ ;  $p < 0.01$ ), *ACB* ( $p(C_{da}) = 0.30$ ;  $\chi^2 = 7.94$ ;  $z = 2.30$ ;  $p < 0.05$ ), *BAC* ( $p(C_{da}) = 0.26$ ;  $\chi^2 = 4.62$ ;  $z = 2.34$ ;  $p < 0.05$ ) i *BCA* ( $p(C_{da}) = 0.25$ ;  $z = 2.17$ ;  $p < 0.05$ ).

Idući je korak testiranje QQ jednakosti. Najprije je za svaku kombinaciju dva pitanja koja dolaze jedno iza drugoga ( $X$  i  $Y$ ) izračunata vjerojatnost odgovaranja s "da" i "ne" u različitim obrascima. Na primjer,  $p(X_{da}Y_{ne})$  označava vjerojatnost odgovaranja s "da" na pitanje koje dolazi na mjestu  $X$  i odgovaranje s "ne" na pitanje koje dolazi na mjestu  $Y$ , u slučaju kada je

pitanje  $Y$  postavljeno neposredno nakon pitanja  $X$ , a  $p(Y_{da}X_{ne})$  označava vjerojatnost odgovaranja s "da" na pitanje koje dolazi na mjestu  $Y$  i odgovaranje s "ne" na pitanje koje dolazi na mjestu  $X$ , u slučaju kada je pitanje  $X$  postavljeno neposredno nakon pitanja  $Y$ . Zatim su za sve kombinacije pitanja  $A$ ,  $B$  i  $C$  na mjestima  $X$  i  $Y$  izračunate proporcije takvih obrazaca odgovaranja u kojima je na jedno pitanje bio odgovor "da", a na drugo "ne" u redosljedima  $XY$  i  $YX$ , odnosno  $p(X_{da}Y_{ne}) + p(X_{ne}Y_{da})$  te  $p(Y_{da}X_{ne}) + p(Y_{ne}X_{da})$ , označeno kao  $p_{XY}$  u redosljedu  $XY$  te  $p_{YX}$  u redosljedu  $YX$ . Kako se očekuje da su  $p_{XY}$  i  $p_{YX}$  jednaki (Jednadžbe 5. i 6.), odnosno kako razlika među njima neće biti statistički značajna ni za jedan par pitanja koja dolaze na mjestu  $X$  i  $Y$ , to je testirano hi-kvadrat (s korekturom; Petz 2007) i z-testovima za svaki par pitanja. Tablica 9. prikazuje rezultate. Prvi redak u tablici odnosi se na redosljed pitanja, a podebljana slova označavaju koja dva pitanja se ispituju na mjestima  $X$  i  $Y$ .

Tablica 9. Test QQ jednakosti

	<b><i>AB(C)</i></b>	<b><i>AC(B)</i></b>	<b><i>BC(A)</i></b>	<b><i>(C)AB</i></b>	<b><i>(B)AC</i></b>	<b><i>(A)BC</i></b>
$N_{XY}$	88	89	85	91	85	88
$p(X_{da}Y_{ne})$	0.1818	0.1124	0.0471	0.1319	0.0706	0.0568
$p(X_{da}Y_{ne})$	0.1932	0.1910	0.0588	0.1319	0.2235	0.1477
$p(X_{ne}Y_{da})$	0.0227	0.1910	0.2000	0.0110	0.1882	0.2727
$p(X_{ne}Y_{ne})$	0.6023	0.5056	0.6941	0.7253	0.5176	0.5227
$N_{YX}$	85	91	83	83	85	89
$p(Y_{da}X_{da})$	0.1882	0.0549	0.0723	0.2530	0.0706	0.0674
$p(Y_{da}X_{ne})$	0.0118	0.0659	0.1325	0.0000	0.1765	0.2360
$p(Y_{ne}X_{da})$	0.1059	0.2088	0.1807	0.1566	0.0941	0.0899
$p(Y_{ne}X_{ne})$	0.6941	0.6703	0.6145	0.5904	0.6588	0.6067
$p_{XY}$	0.2159	0.3820	0.2588	0.1429	0.4118	0.4205
$p_{YX}$	0.1176	0.2747	0.3133	0.1566	0.2706	0.3258
$q$	0.0983	0.1073	0.0544	0.0138	0.1412	0.0946
$z$	1.7297	1.5333	0.7808	0.2545	1.9413	1.3015
$\chi^2$	2.3292	1.8892	0.3721	0.0017	3.1666	1.3134

\* $p < 0.05$

\*\* $p < 0.01$

Nijedna od testiranih  $q$  vrijednosti nije se pokazala statistički značajno različitom od nule, ni u jednom od provedenih testova ni za jedan redosljed.

Kako bi se provjerilo vrijedi li QQ jednakost u slučajevima kada se prije bilo koja dva uzastopna pitanja na mjestima  $X$  i  $Y$  pojavljuje i ne pojavljuje nekompatibilno pitanje  $Z$ , ispitano je postojanje razlike u njima pridruženim  $q$  vrijednostima. Vrijednost  $q$  je zapravo razlika između proporcija ispitanika koji su odgovorili s "da" na jedno i "ne" na drugo pitanje u  $XY$  u odnosu na  $YX$  uvjet, a te se proporcije zapravo odnose na broj ispitanika s određenim uzorkom odgovaranja, odnosno frekvencije njihovih odgovora. Razliku između njih možemo testirati sa  $z$ -testovima za razliku između frekvencije različitih odgovora u jednom u odnosu na drugi uvjet. Da bismo te frekvencije učinili usporedivima, bilo je potrebno uzeti u obzir različite veličine uzoraka, što je opisano u Prilogu 2.

U ovom je istraživanju bilo moguće usporediti  $q$  vrijednosti u tri slučaja –  $q$  koji se odnosi na pitanja  $A$  i  $B$  na mjestima  $X$  i  $Y$  gdje je nekompatibilno pitanje  $C$  na mjestu  $Z$  ( $q$  vezan za pitanja  $A$  i  $B$  u redosljedima  $ABC$  i  $BAC$  u odnosu na  $q$  vezan za pitanja  $A$  i  $B$  u redosljedima  $CAB$  i  $CBA$ ). Zatim,  $q$  koji se odnosi na pitanja  $A$  i  $C$  na mjestima  $X$  i  $Y$  gdje je nekompatibilno pitanje  $B$  na mjestu  $Z$  ( $q$  vezan za pitanja  $A$  i  $C$  u redosljedima  $ACB$  i  $CAB$  u odnosu na  $q$  vezan za pitanja  $A$  i  $C$  u redosljedima  $BAC$  i  $BCA$ ) i na kraju  $q$  koji se odnosi na pitanja  $B$  i  $C$  na mjestima  $X$  i  $Y$  gdje je nekompatibilno pitanje  $A$  na mjestu  $Z$  ( $q$  vezan za pitanja  $B$  i  $C$  u redosljedima  $BCA$  i  $CBA$  u odnosu na  $q$  vezan za pitanja  $B$  i  $C$  u redosljedima  $ABC$  i  $ACB$ ).

Rezultati provedenih testova prikazani su u Tablici 10. Prvi redak u tablici odnosi se na redosljede pitanja u kojima se ispituje razlika u  $q$  vrijednostima, podebljana slova označavaju koja dva pitanja se ispituju na mjestima  $X$  i  $Y$ , a slova u zagradama odnose se na nekompatibilno pitanje na mjestu  $Z$ .

*Tablica 10. Rezultati testova usporedbe  $q$  vrijednosti u komparativnima u odnosu na nekomparativne uvjete*

	<b><math>AB(C)-(C)AB</math></b>	<b><math>AC(B)-(B)AC</math></b>	<b><math>BC(A)-(A)BC</math></b>
$z$	0.1938	-29.2117**	-25.967**
			* $p < 0.05$
			** $p < 0.01$

Z-test za usporedbu  $q$  vrijednosti u komparativnom u odnosu na nekomparativni uvjet pokazao je statistički značajnu razliku između  $q$  vrijednosti vezanih za pitanja  $A$  i  $C$  ( $z = -29.21$ ;  $p < 0.01$ ) te za pitanja  $B$  i  $C$  ( $z = -25.97$ ;  $p < 0.01$ ), no ne i za pitanja  $A$  i  $B$  ( $z = 0.19$ ;  $p > 0.05$ ). Vrijednost  $q$ , odnosno razlika u broju ispitanika koji su u različitim redosljedima postavljanja pitanja  $A$  i  $C$  različito na njih odgovorili je značajno veća ako se prije oba pitanja postavilo nekompatibilno pitanje  $B$  ( $q = 0.14$ ), nego ako prije oba pitanja nije postavljeno pitanje  $B$  ( $q = 0.11$ ). Također,  $q$  vrijednost je bila značajno veća u različitim redosljedima postavljanja pitanja  $B$  i  $C$  ako se prije oba pitanja postavilo nekompatibilno pitanje  $A$  ( $q = 0.09$ ) nego ako prije oba pitanja nije postavljeno pitanje  $A$  ( $q = 0,05$ ).

Ovaj rezultat nije u skladu s hipotezom izvedenom iz QQ modela Wanga i Busemeyera (2013) koja je predviđala izostanak razlike među parovima  $q$  vrijednosti te ukazuje na ograničenu mogućnost QQ modela u objašnjavanju dobivenih rezultata.

## 5. Rasprava

Cilj ovog istraživanja bio je analizirati efekt redoslijeda koristeći kvantno probabilističko modeliranje kognitivnih procesa, odnosno testirati QQ model predložen od strane Wanga i Busemeyera (2013) na tri dimenzije da/ne pitanja. U tu svrhu postavljena su tri problema. Prvi problem bio je namijenjen ispitivanju opće prisutnosti efekta redoslijeda u odgovorima ispitanika. Drugi je problem bio testirati slaganje podataka s predikcijom modela nazvanom QQ jednakost koju su postavili Wang i Busemayer (2013). Treći je problem bio ići korak dalje i staviti predikciju QQ jednakosti pred izazov modela s tri pitanja te testirati ovisnost vrijednosti  $q$  o trećem pitanju.

### 5.1. Testiranje prisutnosti efekta redoslijeda

Efekt redoslijeda u ispitivanju stavova poznata je i istraživana pojava u socijalnoj psihologiji. Među ranijim istraživanjima bilo je ono koje je provela Sayre (1939), koje je ispitivalo stavove prema reklamama na radiju. Sayre (1939) je opazila da ispitanici procjenjuju zastupljenost reklama u radijskom programu većom ako tome prethodi pitanje koliko bi novaca bili spremni platiti da uklone reklame. Tourangeau i suradnici (1991) su istraživali efekt redoslijeda na procjene zadovoljstva različitim aspektima života te su primijetili da je procjena ukupnog zadovoljstva životom bila manja kod ispitanika koji su ranije procjenjivali zadovoljstvo bračnim životom. Od recentnijih istraživanja može se istaknuti ranije spomenuto istraživanje Moorea (2002) te ono Leeja i suradnika (2014), koji su ispitivali stavove o osobnom zdravlju ispitanika koji su u jednom slučaju na to pitanje odgovarali bez konteksta, a u drugom nakon skupine pitanja o pojedinim aspektima zdravlja te se pokazalo da su ispitanici svoje zdravlje procjenjivali općenito boljim u komparativnom uvjetu.

Tri pitanja u ovom istraživanju odabrana su kao ekvivalenti tri komponente stava za koje se pretpostavlja da dijele određenu povezanost (Breckler, 1984). Pitanje *A* odnosilo se na afektivnu procjenu sviđanja slike, pitanje *B* odnosilo se na bihevioralni aspekt stava, odnosno procjenu namjere ponašanja, a pitanje *C* na kognitivnu procjenu skupoće slike. Pokazalo se da je za tri sva pitanja bio prisutan efekt redoslijeda – za pitanje *A* u 5 od 15 parova redoslijeda (Tablica 6.), za pitanje *B* u 1 od 15 parova redoslijeda (Tablica 7.), a za pitanje *C* u 4 od 15 kombinacija redoslijeda (Tablica 8.).

Vjerojatnost da je ispitanik potvrdno odgovorio sviđa li mu se slika bila je značajno manja kada je već odgovorio bi li je objesio na svoj zid i misli li da je skupa (u redosljedu  $BCA$ ), nego kada je procjena sviđanja prva koja se formira za taj podražaj ( $ABC$  i  $ACB$ ) ili kada je pitanje o sviđanju bilo postavljeno neposredno nakon pitanja  $B$ , neovisno o tome je li pitanje  $C$  bilo postavljeno prije pitanja  $B$  (redosljedima  $BAC$  i  $CBA$ ). Također, opažena je niža vjerojatnost procjene sviđanja nakon postavljenog pitanja o skupoći slike ( $CAB$ ) nego kada je između pitanja  $C$  i  $A$  postavljeno pitanje  $B$ . Zanimljivo je što je najveći efekt redosljeda za procjenu sviđanja bio za redosljede  $BCA$  i  $CBA$  gdje je pitanje  $A$  u oba slučaja bilo postavljano nakon oba druga pitanja, no u različitom poretku te se vjerojatnost sviđanja slike više nego udvostručuje ako su pitanja  $B$  i  $C$  prije pitanja  $A$  bila postavljena u redosljedima  $CB$  nego  $BC$ . Opaženi obrasci odgovaranja na pitanje  $A$  pokazuju kompleksnu interakciju kognicija vezanih uz preostala dva pitanja, no nakon pomnijeg pregleda uočavaju se određene pravilnosti:

$$||P_C * S||^2 * ||P_A * S_C||^2 + ||P_{\sim C} * S||^2 * ||P_A * S_{\sim C}||^2 < ||P_A * S||^2 \quad (7)$$

i

$$\begin{aligned} & ||P_C * S||^2 * ||P_A * S_C||^2 + ||P_{\sim C} * S||^2 * ||P_A * S_{\sim C}||^2 < \\ & ||P_B * S||^2 * ||P_A * S_B||^2 + ||P_{\sim B} * S||^2 * ||P_A * S_{\sim B}||^2 \end{aligned} \quad (8)$$

Jednadžba 7. se odnosi na to da je vjerojatnost pozitivne procjene sviđanja slike manja ako je ona formirana nakon kognitivne procjene stava ( $A$  nakon  $C$  u redosljedima  $BCA$  te u nekim slučajevima  $CAB$ ) nego ako je afektivna procjena bila prva ispitivana komponenta ( $ABC$  i  $ACB$ ).  $||P_C * S||^2 * ||P_A * S_C||^2$  tada označava projekciju vektora mentalnog stanja na sub prostor  $A$  (odgovaranje na pitanje  $A$ ) iz sub prostora  $C$  (kod odgovaranja s "da" na pitanje  $C$  prije  $A$  u redosljedima  $BCA$  te u nekim slučajevima  $CAB$ ).  $||P_{\sim C} * S||^2 * ||P_A * S_{\sim C}||^2$  znači isto, no u slučajevima kada se na prethodno pitanje  $C$  odgovorilo s "ne". Ta se dva parametra zbrajaju jer nas zanima ukupna vjerojatnost odgovaranja s "da" na  $A$  nakon što je postavljeno pitanje  $C$ , bez obzira na to je li odgovor na  $C$  bio "da" ili "ne".  $||P_A * S||^2$  se odnosi na projekciju vektora mentalnog stanja na sub prostor  $A$ , kada prije  $A$  nisu postavljena prethodna pitanja, te je njegova kvadrirana duljina, odnosno vjerojatnost  $p(A_{da})$  manja od  $p(A_{da})$  ako mu je prethodilo pitanje  $C$ .

Jednadžba 8. odnosi se na to da je vjerojatnost pozitivne procjene sviđanja slike manja ako je ona formirana nakon kognitivne procjene stava nego ako je afektivna procjena dolazila nakon bihevioralne.  $||P_C * S||^2 * ||P_A * S_C||^2 + ||P_{\sim C} * S||^2 * ||P_A * S_{\sim C}||^2$  tada znači isto kao za prethodni

primjer, a  $\|P_B * S\|^2 * \|P_A * S_B\|^2 + \|P_{\sim B} * S\|^2 * \|P_A * S_{\sim B}\|^2$  se odnosi na projekciju vektora mentalnog stanja na sub prostor  $A$  iz sub prostora  $B$  i  $\sim B$ .

Što se tiče efekta redosljeda na odgovaranje na pitanje o tome bi li ispitanik objesio sliku na svoj zid, pokazalo se da je vjerojatnost potvrdnog odgovora više nego dvostruko veća ako tome pitanju prethodi pitanje o skupoći slike ( $CBA$ ), no samo ako nijednom pitanju ne prethodi pitanje  $A$ , što možemo prikazati kao:

$$\|P_C * S\|^2 * \|P_B * S_C\|^2 + \|P_{\sim C} * S\|^2 * \|P_B * S_{\sim C}\|^2 > \|P_B * S\|^2 \quad (9)$$

Projekcija neodređenog vektora mentalnog stanja na sub prostor  $B$  je manja nego projekcija vektora prethodno projiciranog na sub prostor  $C$  ili  $\sim C$ .

Za preostalo pitanje  $C$  pokazalo se da su ispitanici značajno manje vjerojatno procjenjivali da se radi o skupoj slici ako je to pitanje bilo postavljeno bez prethodnih pitanja nego ako su je prije toga procjenjivali na drugim pitanjima, neovisno o tome je li to bilo jedno ili oba pitanja  $A$  i  $B$  i u svim kombinacijama redosljeda u kojima je to slučaj. Najveća je razlika opažena između redosljeda  $CAB$  i  $ABC$ , gdje je vjerojatnost procjene visoke skupoće slike gotovo trostruko veća ako su prije toga postavljena pitanja o sviđanju i ponašajnoj namjeri, tim redosljedom.

U ovom slučaju, obrazac odgovaranja na pitanje  $C$  možemo opisati kao:

$$\|P_A * S\|^2 * \|P_C * S_A\|^2 + \|P_{\sim A} * S\|^2 * \|P_C * S_{\sim A}\|^2 > \|P_C * S\|^2 \quad (10)$$

te

$$\|P_B * S\|^2 * \|P_C * S_B\|^2 + \|P_{\sim B} * S\|^2 * \|P_C * S_{\sim B}\|^2 > \|P_C * S\|^2 \quad (11)$$

Prvo pravilo (Jednadžba 10.) se odnosi na projekciju na sub prostor  $C$  iz prethodno projiciranih vektora na osi  $A$  i  $\sim A$ , a drugo pravilo (Jednadžba 11.) na projekciju na sub prostor  $C$  iz prethodno projiciranih vektora na osi  $B$  i  $\sim B$ , gdje je u oba slučaja duljina projekcije na sub prostor  $C$  veća iz sub prostora drugih pitanja nego iz vektora neodređenog mentalnog stanja.

Iz ovih se rezultata može zaključiti:



1. Kako bi se povećala vjerojatnost pozitivne afektivne komponente stava, mjerenje ne bi smjelo neposredno slijediti kognitivnu procjenu, neovisno o bihevioralnoj procjeni.
2. Kako bi se povećala vjerojatnost pozitivne bihevioralne komponente stava, mjerenje bi trebalo neposredno slijediti kognitivnu procjenu, no samo ako prije toga nema afektivne procjene.
3. Kako bi se povećala vjerojatnost pozitivne kognitivne procjene stava, mjerenje ne bi smjelo biti prvo, nego bi trebalo slijediti afektivnu, bihevioralnu, ili obje procjene.

## 5.2. QQ test

Sljedeći je korak bio testirati slaganje podataka s predikcijom modela nazvanom QQ jednakost koju su postavili Wang i Busemayer (2013). Rezultati su pokazali dobro slaganje podataka s modelom u tome što se nijedna od testiranih  $q$  vrijednosti nije pokazala statistički značajno različitom od nule. Odnosno, nijedan od parova  $p_{XY}$  i  $p_{YX}$  koji predstavljaju vjerojatnost različitih odgovora (jedno "da", drugo "ne" i obrnuto) u redosljedu  $XY$  i u redosljedu  $YX$  nisu bili statistički značajno različiti ni za jednu parnu kombinaciju pitanja  $A$ ,  $B$  i  $C$ . U nastavku je kao primjer prikazana logika računanja  $q$  vrijednosti na primjeru pitanja  $A$  i  $C$  gdje tim pitanjima ne prethodi  $B$ .

Na testirana pitanja  $A$  i  $C$  moguće je odgovarati s "da" ili "ne" te za svaki set odgovora imamo četiri moguća ishoda za redosljed  $AC$  ( $2 \times 2$  matrica:  $A_{da}C_{da}$ ,  $A_{ne}C_{ne}$ ,  $A_{da}C_{ne}$ ,  $A_{ne}C_{da}$ ) i četiri moguća ishoda za redosljed  $CA$  ( $2 \times 2$  matrica:  $C_{da}A_{da}$ ,  $C_{ne}A_{ne}$ ,  $C_{da}A_{ne}$ ,  $C_{ne}A_{da}$ ). U predikciji QQ jednakosti ove su vrijednosti iskazane u proporcijama, no radi potrebe računanja hi-kvadrat testa one su preračunate u frekvencije odgovora. Konkretni podaci za naš set podataka prikazani su u Tablici 11. za redosljed  $AC$  i u Tablici 12. za redosljed  $CA$ .

Tablica 11.  $2 \times 2$  matrica odgovaranja s "da" i "ne" na pitanja  $A$  i  $C$  u redosljedu  $AC$

$AC$		$A$		ukupno
		da	ne	
$C$	da	10	17	27
	ne	17	45	62
ukupno		27	62	89

Tablica 12. 2 x 2 matrica odgovaranja s "da" i "ne" na pitanja A i C u redosljedju CA

CA		A		ukupno
		da	ne	
C	da	5	19	25
	ne	6	61	66
ukupno		11	80	91

Sljedeći korak je izračunati  $p_{AC}$  i  $p_{CA}$ .  $p_{AC}$  je jednak  $p(A_{da}C_{ne}) + p(A_{ne}C_{da})$  što se u Tablici 11. nalazi u dijagonali da-ne i ne-da te iznosi  $17 + 17 = 34$ , dok je  $p_{CA}$  jednak istoj dijagonali u Tablici 12.  $- p(C_{da}A_{ne}) + p(C_{ne}A_{da})$  te iznosi  $6 + 19 = 25$ . Predviđa se da je razlika između  $p_{AC}$  i  $p_{CA}$ , odnosno  $q$  vrijednost, jednaka nuli, no vidimo da ona u ovom slučaju iznosi  $34 - 25 = 9$ . Kako bismo ustanovili je li ta razlika statistički značajna, računaju se hi-kvadrat i z-test. Da bi se popunila kontingencijska matrica potrebna za računanje hi-kvadrata, izračunati su i  $\sim p_{AC}$  i  $\sim p_{CA}$  koji konkretno označavaju jednake odgovore (da-da i ne-ne) za pitanja A i C te iznose 55 i 66. Kontingencijska matrica prikazana je u Tablici 13.

Tablica 13. Kontingencijska matrica za računanje testa QQ jednakosti hi-kvadrat testom, za pitanja A i C

	$p_{XY}$	$\sim p_{XY}$	ukupno
AC	34	55	89
CA	25	66	91
ukupno	59	121	180

Hi-kvadrat testom testirane su opažene frekvencije odgovora nasuprot QQ modelu koji pretpostavlja nul-hipotezu. Zato što se radi o 2 x 2 tablici, računat je hi-kvadrat test s korekturom (Petz, 2007). Uz hi-kvadrat testove računati su i z-testovi za provjeru je li  $q$  statistički značajno različit od 0, odnosno jesu li  $p_{AC}$  i  $p_{CA}$  statistički značajno različiti. Rezultati z-testa također su pokazali slaganje podataka s modelom.

### 5.3. Ovisnost $q$ vrijednosti o trećem pitanju

Zadnji postavljeni problem u istraživanju bio je usporediti  $q$  vrijednosti u slučajevima kada se prije bilo koja dva uzastopna pitanja na mjestima X i Y pojavljuje i ne pojavljuje

nekompatibilno pitanje  $Z$ . Pretpostavlja se da  $q$  vrijednost koja se odnosi na pitanja  $X$  i  $Y$  nije pod utjecajem prethodno postavljenog pitanja  $Z$ .

Ova je hipoteza testirana  $z$ -testovima u tri slučaja – za  $q$  koji se odnosi na pitanja  $A$  i  $B$  na mjestima  $X$  i  $Y$  gdje je nekompatibilno pitanje  $C$  na mjestu  $Z$  ( $q$  vezan za pitanja  $A$  i  $B$  u redosljedima  $ABC$  i  $BAC$  u odnosu na  $q$  vezan za pitanja  $A$  i  $B$  u redosljedima  $CAB$  i  $CBA$ ), zatim za  $q$  koji se odnosi na pitanja  $A$  i  $C$  na mjestima  $X$  i  $Y$  gdje je nekompatibilno pitanje  $B$  na mjestu  $Z$  ( $q$  vezan za pitanja  $A$  i  $C$  u redosljedima  $ACB$  i  $CAB$  u odnosu na  $q$  vezan za pitanja  $A$  i  $C$  u redosljedima  $BAC$  i  $BCA$ ) i na kraju za  $q$  koji se odnosi na pitanja  $B$  i  $C$  na mjestima  $X$  i  $Y$  gdje je nekompatibilno pitanje  $A$  na mjestu  $Z$  ( $q$  vezan za pitanja  $B$  i  $C$  u redosljedima  $BCA$  i  $CBA$  u odnosu na  $q$  vezan za pitanja  $B$  i  $C$  u redosljedima  $ABC$  i  $ACB$ ).

Rezultati su pokazali da je  $q$  vrijednost koja se odnosi na pitanja  $A$  i  $C$  statistički značajno veća u slučaju kada je prije  $A$  i  $C$  postavljeno pitanje  $B$  nego kada  $B$  nije bilo postavljeno prije  $A$  i  $C$ . Također, pokazalo se da je  $q$  vrijednost koja se odnosi na pitanja  $B$  i  $C$  statistički značajno veća u slučaju kada je prije  $B$  i  $C$  postavljeno pitanje  $A$  nego kada  $A$  nije bilo postavljeno prije  $B$  i  $C$ .  $Q$  vrijednosti za pitanja  $A$  i  $B$  se nisu značajno razlikovale (Tablica 10.).

Pronađene razlike protive se pretpostavci koja je izvedena iz QQ modela da između parova  $q$  vrijednosti ne bi trebale postojati razlike. Ta će pretpostavka biti pojašnjena u nastavku.

#### 5.4. Ograničenje QQ modela na razini tri pitanja

Recimo da želimo pomoću modela opisati potvrdno odgovaranje ispitanika na pitanja  $A$  i  $C$  u redosljedu  $AC$ . Model opisuje kako je vjerojatnost odgovora na neko pitanje jednaka kvadriranoj duljini ortogonalne projekcije vektora mentalnog stanja na sub prostor događaja-pitanja (Jednadžba 1.). Vektor mentalnog stanja uvijek ima duljinu 1, a njegov položaj prije projekcije možemo rekonstruirati prema duljinama njegovih projekcija, no ne i prije toga, budući da se nalazi u superpoziciji (Trueblood i Bussemeyer, 2011).

Kada je postavljeno prvo pitanje, vektor mentalnog stanja se iz prethodnog položaja projicira na odgovarajući sub prostor  $A$  za odgovor "da", duljina te projekcije iznosi 0.5508:

$$p(A_{da}) = \|P_A * S\|^2;$$

$$\|P_A * S\| = \sqrt{p(A_{da})} = \sqrt{0.3034} = 0.5508, \quad (12)$$

i ekvivalentna je korijenu vjerojatnosti takvog odgovora, odnosno proporciji ispitanika iz uzorka redosljeda koji su odgovorili na isti način. Za odgovor "ne", istom logikom računanja, duljina projekcije iznosi 0.8346. U odnosu na ravninu koju zatvaraju međusobno okomite osi  $A$  i  $\sim A$ , koordinate vektora mentalnog stanja prije postavljanja pitanja su (0.5508, 0.8346). Njegove koordinate za preostala pitanja računat će se na isti način s vjerojatnostima odgovora "da" i "ne", u redosljedima gdje je to pitanje postavljeno na prvom mjestu.

Kod donošenja konačnog odgovora projekcija vektora mentalnog stanja mora se normalizirati na vrijednost 1 jer taj vektor i dalje označava vjerojatnost nekog odgovora (on se nadalje označava sa  $S_A$  za odgovor "da"). Kada je odgovor aktualiziran, njegova vjerojatnost je 1, duljina njegove projekcije također 1:

$$p(A_{da}) = \|P_A * S_A\|^2;$$

$$\|P_A * S_A\| = \sqrt{p(A_{da})} = \sqrt{1} = 1, \quad (13)$$

a koordinate u odnosu na ravninu koju zatvaraju osi  $A$  i  $\sim A$  su (1, 0). Koordinata na osi  $\sim A$  je 0 jer su  $A$  i  $\sim A$  kompatibilna pitanja; kada je vjerojatnost  $p(A_{da}) = 1$ ,  $p(A_{ne})$  je nužno 0. Svako sljedeće pitanje rezultirat će projekcijom na novi sub prostor iz vektora novog mentalnog stanja duljine 1 koji leži na sub prostoru  $A$ .

Nakon odgovaranja s "da" na  $A$ , postavlja se pitanje  $C$  te je prema opaženim podacima njegova duljina 0.7201 za odgovor "da" i 0.6939 za odgovor "ne" ( $p(A_{da}C_{da}) = \|P_C * S_A\|^2$ ;  $\|P_C * S_A\| = \sqrt{0.5185} = 0.7201$ , uz isti postupak za  $p(A_{da}C_{ne}) = 0.6939$ ). Rezultat vrijedi i za jednadžbu iz modela:

$$p(A_{da}C_{da}) = \|P_A * S\|^2 * \|P_C * S_A\|^2;$$

$$0.5185 = 1 * \|P_C * S_A\|^2;$$

$$\|P_C * S_A\| = \sqrt{0.5185} = 0.7201 \quad (14)$$

Iz ovoga se može zaključiti položaj vektora mentalnog stanja  $S_A$ , a time i sub prostora  $A$  i  $\sim A$ , u odnosu na sub prostore pitanja  $C$  i  $\sim C$  jer znamo duljinu vektora (1) i njegove koordinate na ravnini koju zatvaraju  $C$  i  $\sim C$  (0.7201, 0.6939).

Što se događa ako je pitanje  $B$  bilo postavljeno prije  $A$  i  $C$ ? Odgovaranje potvrdno na sva tri pitanja izgledalo bi kao u Jednadžbi 15.

$$p(B_{da}A_{da}C_{da}) = \|P_B * S\|^2 * \|P_A * S_B\|^2 * \|P_C * S_A\|^2 \quad (15)$$

Zbog normalizacije, duljine svih vektora u jednadžbi do onog projiciranog na os  $C$  su zapravo jednake 1, a razlikuju se samo u svojim položajima u odnosu na sub prostore pitanja na kojima se trenutno ne nalaze i to je ono što određuje duljine njihovih potencijalnih projekcija.

Recimo da je odgovor na pitanje  $B$  bio "da", početni vektor mentalnog stanja projicira se na os  $B$ , normalizira na 1, projicira zatim iz osi  $B$  na os  $A$ , normalizira na 1 i u tom trenu je u istom statusu kao kod normalizacije nakon odgovora s "da" na pitanje  $A$  u redosljedu  $ACB$  – duljine 1 i polegnut potpuno na os  $A$ . Iz tog položaja bi projekcija  $S_A$  s osi  $A$  na os  $C$  trebala biti jednaka za redosljede  $ACB$  i  $BAC$ , odnosno neovisno o tome dolazi li pitanje  $B$  prije  $AC$  ili ne. Ista logika može se primijeniti na sve ostale parove redosljeda.

Međutim, iz dobivenih rezultata je primjetno da odnos između pitanja  $A$  i  $C$  nije jednak ako je prije njih postavljeno pitanje  $B$  te se u ovom slučaju QQ model ne slaže s opaženim rezultatima i ne može ih objasniti. Osim činjenice da je  $q$  vrijednost koja se odnosi na pitanja  $A$  i  $C$  statistički značajno manja u slučaju kada prije  $A$  i  $C$  nije postavljeno pitanje  $B$  nego kada  $B$  jest postavljeno prije  $A$  i  $C$ , pokazalo se da efekt redosljeda nije jednak u svim parovima redosljeda u kojima se prije dva pitanja koja testiramo pojavljuje treće pitanje.

Za pitanje  $A$  (Tablica 6.) prisutan je efekt redosljeda kada je postavljeno u paru s  $B$  samo ako je prije oba pitanja postavljeno nekompatibilno pitanje  $C$ , no ne i ako prije oba pitanja nije postavljeno  $C$  (efekt se javlja za parove redosljeda  $CAB-CBA$ , no ne i za  $ABC-BAC$ ). Također, za pitanje  $A$  se javlja efekt redosljeda kada je postavljeno u paru s  $C$  samo ako je prije oba pitanja postavljeno nekompatibilno pitanje  $B$ , no ne i ako prije oba pitanja nije postavljeno  $B$  (efekt se javlja za parove redosljeda  $BAC-BCA$ , no ne i za  $ACB-CAB$ ). Za pitanje  $B$  (Tablica 7.) prisutan je efekt redosljeda kada je postavljeno u paru s  $C$  samo ako prije oba pitanja nije postavljeno nekompatibilno pitanje  $A$ , no ne i ako prije oba pitanja jest postavljeno  $A$  (efekt se javlja za parove redosljeda  $BCA-CBA$ , no ne i za  $ABC-ACB$ ). Za pitanje  $C$  (Tablica 8.) prisutan je efekt redosljeda kada je postavljeno u paru s  $A$  samo ako prije oba pitanja nije postavljeno nekompatibilno pitanje  $B$ , no ne i ako prije oba pitanja jest postavljeno  $B$  (efekt se javlja za parove redosljeda  $ACB-CAB$ , no ne i za  $BAC-BCA$ ).

Način na koji bi teorija mogla uzeti u obzir te rezultate je proširenjem modela s mogućnošću promjene međusobnog položaja sub prostora različitih pitanja ovisno o kontekstu.

Isto kao što kontekst kojeg stvara prethodno postavljanje nekompatibilnog pitanja može utjecati na vjerojatnost nekog odgovora i duljine projekcija vektora mentalnog stanja na odgovarajuće sub prostore pitanja, moguće je da kontekst može utjecati i na povezanost između pitanja i kutove između pojedinih sub prostora. Postavljanjem pitanja  $C$  prije  $A$  i  $B$  i njegovim utjecajem na promjenu u kutu između sub prostora pitanja  $A$  i  $B$ , dobila bi se različita duljina projekcije  $S_A$  s osi  $A$  na os  $B$ , a time i različita  $q$  vrijednost. Zato što je model testiran na efektu redoslijeda kada imamo dva pitanja, nisu dovoljno razmotrene implikacije za situaciju u kojoj imamo tri ili više pitanja. Stoga objašnjenje efekta redoslijeda kvantno probabilističkim modelom ne obuhvaća odstupanje opaženih rezultata od modela u slučaju tri, a vjerojatno i više pitanja, iako autori sami navode da njegove pretpostavke vrijede na više od dvije dimenzije (Wang i Busemayer, 2013).

#### 5.5. Metodološki nedostaci i eksperimentalna kontrola

Valja uzeti u obzir i određene metodološke nedostatke istraživanja. Veličina uzorka u istraživanju, iako relativno velika, bila je značajno manja od one Moorea (2002) na kojoj su Wang i Busemayer (2013) prvi put demonstrirali model. Zbog potrebe za prikupljanjem velikog broja ispitanika ovo je istraživanje bilo ispitanicima dostupno za pristupanje preko interneta, a regrutacija je vršena putem različitih društvenih mreža. Kako bi slika koja se procjenjivala bila dovoljno vidljiva, ispitanicima je bilo moguće pristupiti eksperimentu samo putem stolnog računala, te bi im u suprotnom bila prikazana poruka s molbom da otvore stranicu s računala. Međutim, ta se kontrola pokazala kao određeni nedostatak jer se u moderno vrijeme osobna računala koriste sve manje za pristupanje internetu i društvenim mrežama u odnosu na pametne telefone (Bröhl, Rasche, Jablonski, Theis, Wille i Mertens, 2018) što je u određenoj mjeri otežalo prikupljanje ispitanika. Također, da bi se proširio izvor potencijalnih ispitanika, istraživanje je bilo na engleskom jeziku. Međutim, većini ispitanika engleski ipak nije bio materinji jezik zbog čega je kod nekih moguće određeno nepotpuno razumijevanje upute ili pitanja.

Sljedeći nedostatak predstavlja činjenica da je u internetskim istraživanjima ograničena kontrola ispitanika (Gosling i Manson, 2015). Zbog toga su poduzete određene mjere u kontroli ovog eksperimenta kako bi se osiguralo da razlike u odgovorima ispitanika u različitim redoslijedima budu pod što manjim utjecajem varijabli koje same nisu redoslijed postavljanja pitanja. Te će mjere nadalje biti opisane.

Sam eksperiment konstruiran je s ciljem izazivanja efekta redosljedna nad kojem će se moći provoditi daljnja testiranja hipoteza. Za potrebe ovog istraživanja izrađena je slika koju su ispitanici procjenjivali na tri pitanja. Bilo je važno da odgovori ispitanika odražavaju kognicije nastale u trenutku mjerenja, a ne prethodno formirane stavove, budući da tek tada varijabilitet između istog odgovora u različitom redosljedima možemo smatrati rezultatom efekta redosljedna (Busemeyer i Bruza, 2012). Iz tog razloga nije mogla biti korištena slika s kojom su se ispitanici mogli prethodno susresti i imati formirane stavove prije sudjelovanja u istraživanju. Da bi se opazio efekt redosljedna, potrebno je da kognitivni sustav bude u stanju superpozicije, što ne bi bio slučaj kod predefiniраниh procjena (Busemeyer i Bruza, 2012).

Također, obrazac prije samog procjenjivanja slike uključivao je kontrolno pitanje o tome jesu li ispitanici ranije sudjelovali u ovom istraživanju, što je omogućilo izbacivanje ispitanika koji su više puta odgovarali, iz inicijalnog uzorka. Ako bi neki ispitanik pristupio eksperimentu više puta iz znatiželje ili nekog drugog razloga, velika je vjerojatnost da bi u različitim slučajevima pitanja bila postavljena različitim redosljedima. U drugom i svakom sljedećem ispunjavanju njegovi odgovori ne bi bili pod utjecajem redosljedna jer je prethodno već stvorio stavove o slici.

U uvodu je navedeno da svako izmjereno mentalno stanje odražava projekciju povezanog vektora na os pitanja koje se mjeri, a taj se vektor projicira iz sub prostora pitanja pitanog neposredno prije. Dakle, svako novo mentalno stanje odražava novu projekciju između dva sub prostora pitanja pitanih jedno nakon drugoga. Ako se između ta dva pitanja (npr.  $X$  i  $Y$ ) dogodi ometajuća kognicija, tada se projekcija mentalnog stanja ne vrši iz sub prostora  $X$  na  $Y$ , već iz sub prostora ometajuće kognicije. Na primjer, Schwarz i Hippler (1995) su čak i prije pojave kvantno probabilističkog modela opisali jednu pojavu u pismenim anketama gdje naknadna pitanja mogu utjecati na odgovore na prethodna pitanja jer je ispitanicima bilo moguće čitati pitanja unaprijed. U tom slučaju ne govorimo o efektu redosljedna već o efektu konteksta. Kada su provodili istu anketu telefonskim putem, razlike u odgovorima na isto pitanje javile su se isključivo kao rezultat redosljedna postavljanja pitanja, zato što je pri odgovaranju na pojedino pitanje jedini kontekst koji je mogao utjecati na dani odgovor bilo pitanje koje je prethodno bilo kontrolirano postavljeno. Naravno, ljudski kognitivni sustav nije moguće kontrolirati u toj mjeri da se potpuno onemogući formiranje neželjenih mentalnih stanja između postavljanja dva uzastopna pitanja kao što nije bilo moguće potpuno kontrolirati aktivnosti ispitanika koje bi mogle interferirati s rezultatima poput duljih stanki između pojedinih pitanja ili komentiranja

slike s osobama u blizini. Time nastaje rizik da odgovor na neko pitanje bude pod utjecajem neke kognicije stvorene između tog i prethodnog pitanja zbog čega bi opaženi efekt redoslijeda mogao biti manji nego što stvarno jest. Iz perspektive ispitanika, redoslijed pitanja koji je imao bio je nasumičan, nije bilo moguće vratiti se na prethodna pitanja i mijenjati odgovore niti preskakati pitanja što bi potencijalno izazvalo formiranje ometajućih kognicija ili predefiniраниh stavova. Zahvaljujući nasumičnom redoslijedu pitanja kod svakog ispitanika, ako i jest došlo do interferencije, ona je vjerojatno slučajno raspoređena između različitih redoslijeda te nije vjerojatno da bi se zbog toga javio efekt redoslijeda tamo gdje ga zapravo nema.



## 6. Zaključak

U ovom radu demonstriran je način kognitivno probabilističkog modeliranja psihičkih procesa na primjeru efekta redoslijeda. Potvrđena je prisutnost efekta redoslijeda za sva tri ispitivana pitanja te se pokazalo dobro slaganje QQ modela s empirijskim podacima kada je testiran na parovima pojedinih pitanja. Međutim, model nije predvidio međusobno razlikovanje  $q$  vrijednosti kada se u njega uključi varijabla trećeg pitanja.

Kvantna kognicija je pokret koji je zbog svoje mogućnosti obuhvaćanja različitih fenomena unutar jedinstvene teorije pridobio određenu pozornost u znanstvenoj zajednici. Do danas se javilo više teorija koje su na neki način pokušale pružiti generalno objašnjenje za različite opsege psiholoških procesa, no nijedna teorija do sad nije bila toliko precizna, sveobuhvatna te matematički i empirijski potkovanata kao teorija kvantne kognicije (Busemeyer i Bruza, 2012).

Unatoč dobroj empirijskoj podršci modelu, javio se i određeni skepticizam koji je, imajući u vidu i rezultate ovog istraživanja, bio opravdan. Kvantna kognicija je teorija, kao i brojne generalne teorije prije nje, uspješna u objašnjenju onih fenomena na kojima je građena (i nekih dodatnih), no pokazala se ograničenom u primjeni na određene pojave izvan toga. Naravno, moglo bi se uzeti u obzir i da je ove rezultate možda moguće objasniti nekim specifičnijim pretpostavkama kvantne teorije vjerojatnosti koje ovdje nisu uzete u obzir ili bi predloženo proširenje modela bilo uspješnije u objašnjenju dobivenih rezultata.

Potruga za unificiranom teorijom aktualna je i u drugim granama znanosti, ponajprije fizici gdje je bilo više neuspješnih pokušaja obuhvaćanja svih fizičkih fenomena u jedinstvenu „teoriju svega“ koja bi se mogla primijeniti i na više razine procesa poput kemije, biologije i psihologije. Osvrt na jedinstvenu teoriju u psihologiji dao je slavni fizičar Stephen Hawking:

Pravi razlog zašto ne možemo predvidjeti ljudsko ponašanje je taj što je to jednostavno preteško. Već su nam poznati osnovni fizički zakoni koji upravljaju aktivnošću mozga i oni su relativno jednostavni. Međutim, jednostavno je preteško riješiti jednadžbe kada je uključeno više od nekoliko čestica. Čak i kad se radi o jednostavnoj Newtonovoj teoriji gravitacije, možemo riješiti jednadžbe samo u slučaju dvije čestice. Za tri ili više čestica moramo se poslužiti aproksimacijama i težina rapidno raste s većim brojem čestica. Ljudski mozak sastoji se od stotina milijuna bilijuna bilijuna čestica. To je previše da bismo ikada mogli riješiti

jednadžbe i predvidjeti ljudsko ponašanje (...). Umjesto toga, možemo jedino prihvatiti efektivnu teoriju da posjedujemo slobodnu volju i da smo sami odgovorni za svoje postupke. Ova teorija nije vrlo dobra u predviđanju ponašanja, no svejedno je prihvaćamo jer je nemoguće riješiti jednadžbe koje proizlaze iz fundamentalnih zakonitosti (Hawking, 1993, str. 120-122).

Zaista, možda bi bilo previše za očekivati da teorija koja ne funkcionira savršeno u fizici, bude savršeno primjenjiva u psihologiji. U svakom slučaju, put do jedinstvene „teorije svega“ još je pred nama i pitanje je nalazi li se na njegovom kraju teorija kvantne kognicije, neka druga, ili ćemo na kraju potrage za odgovorima pronaći samo još više pitanja.

## Literatura

- Breckler, S. J. (1985). Empirical validation of affect, behavior, and cognition as distinct components of attitude. *Journal of Personality and Social Psychology*, 47, 1191-1205.
- Bröhl C., Rasche P., Jablonski J., Theis S., Wille M. i Mertens A. (2018). Desktop pc, tablet pc, or smartphone? An analysis of use preferences in daily activities for different technology generations of a worldwide sample. U: Zhou J. i Salvendy G. (ur.) *Human aspects of it for the aged population. acceptance, communication and participation. ITAP 2018. Lecture Notes in Computer Science, vol 10926* (3-20). Cham: Springer.
- Bruza, P. D., Busemeyer, J., i Gabora, L. (2009). Introduction to the special issue on quantum cognition. *Journal of Mathematical Psychology*, 53, 303-305.
- Bruza, P. D., Wang, Z. i Busemeyer, J. R. (2015). Quantum cognition: a new theoretical approach to psychology. *Trends in Cognitive Sciences*, 19(7), 383-393.
- Busemeyer, J. R. i Bruza, P. D. (2012). *Quantum Models of Cognition and Decision*. New York, NY, USA: Cambridge University Press.
- Busemeyer, J. R. i Wang, Z. (2015). What is quantum cognition, and how is it applied to psychology? *Current Directions in Psychological Science*, 24(3), 163-169.
- Busemeyer, J. R., Wang, Z. i Lambert-Mogiliansky, A. (2009). Empirical comparison of Markov and quantum models of decision making. *Journal of Mathematical Psychology*, 53, 423-433.
- Conte, E., Khrennikov, A. Y., Todarello, O., Federici, A., Mendolicchio, L. i Zbilut, J.P. (2009). Mental states follow quantum mechanics during perception and cognition of ambiguous figures. *Open Systems and Information Dynamics*, 16(1), 85-100.
- Cramer, K. M. (2013). Six criteria of a viable theory: Putting reversal theory to the test. *Journal of Motivation, Emotion, and Personality*, 1(1), 9-16.
- Gosling, S. D. i Manson, W. (2015). Internet research in psychology. *Annual Review of Psychology*. 66, 1-26.
- Hawking, S. (1993). *Black holes and baby universes and other essays* [Budućnost svemira i drugi eseji]. Toronto, Canada: Bantam books.

- Holm, S. (1979). A simple sequentially rejective multiple test procedure. *Scandinavian Journal of Statistics*, 6(2), 65-70.
- Lee, S., Schwarz, N. i Goldstein, L. S. (2014), Culture-sensitive question order effects of self-rated health between older hispanic and non-hispanic adults in the United States. *Journal of Aging and Health*, 26(5), 860-883.
- Moore, D. W. (2002) Measuring new types of question-order effects. *Public Opinion Quarterly* 66, 80–91.
- Petz, B. (2007). *Osnovne statističke metode za nematematičare*. Jastrebarsko: Naklada Slap.
- Pothos, E.M. i Busemeyer, J.R. (2013). Can quantum probability provide a new direction for cognitive modeling? *Behavioral and Brain Sciences*, 36(3), 255-274.
- Sayre, J. (1939). A comparison of three indices of attitude toward radio advertising. *Journal of Applied Psychology*, 23(1), 23-33.
- Schwarz, N. i Hippler H. J. (1995). Subsequent questions may influence answers to preceding questions in mail surveys. *The Public Opinion Quarterly*, 59(1), 93-97.
- Shafir, E. i Tversky, A. (1992). Thinking through uncertainty: Nonconsequential reasoning and choice. *cognitive psychology*, 24, 449–474.
- Sniehotta, F. F., Presseau, J. i Araújo-Soares, V. (2014). Time to retire the theory of planned behaviour. *health psychology review*, 8(1), 1-7.
- Tversky, A. i Kahneman, D. (1983). Extensional versus intuitive reasoning: The conjunction fallacy in probability judgment. *Psychological Review*, 90(4), 293–315.
- White, L. C., Pothos, E. M. i Busemeyer, J. R. (2014). Insights from quantum cognitive models for organizational decision making. *Journal of Applied Research in Memory and Cognition*, 4, 229-238.
- Hogarth, R. M., i Einhorn, H. J. (1992). Order effects in belief updating: The belief-adjustment model. *Cognitive Psychology*, 24, 1–55.
- Shanteau, J. C. (1970). An additive model for sequential decision making. *Journal of Experimental Psychology*, 85, 181–191.

- Tourangeau, R., Rainski, K. A. i Bradburn, N. (1991). Measuring happiness in surveys: A test of the subtraction hypothesis. *Public Opinion Quarterly*, 55(2), 255-266.
- Trueblood, J. S. i Busemeyer, J. R. (2011). A quantum probability account of order effects in inference. *Cognitive Science*, 35, 1518-1552.
- Wang, Z. i Busemeyer, J. R. (2013). A quantum question order model supported by empirical tests of an a priori and precise prediction. *Topics in Cognitive Sciences* 5, 689–710.
- Wang, Z., Solloway, T., Shiffrin, R. M. i Busemeyer, J. R. (2014). Context effects produced by question orders reveal quantum nature of human judgments. *Proceedings of the National Academy of Sciences (US)*, 111(26), 9431–9436.

## Prilozi

*Prilog 1. Slika koju su ispitanici procjenjivali u eksperimentu*



*Prilog 2. Računanje razlike između dviju  $q$  vrijednosti  $z$ -testom*

Kako je  $q$  zapravo razlika između proporcija ispitanika koji su odgovorili s "da" na jedno i "ne" na drugo pitanje u  $XY$  u odnosu na  $YX$  uvjet (Jednadžbe 5. i 6.), te se proporcije zapravo odnose na broj ispitanika s određenim uzorkom odgovaranja, odnosno frekvencije njihovih odgovora, a razliku između njih možemo testirati  $z$ -testovima za razliku između frekvencije različitih odgovora u jednom u odnosu na drugi uvjet. Međutim, kako veličine uzoraka u parovima redoslijeda iz kojih se izvode  $q$  vrijednosti nisu jednake, frekvencije različitih odgovora međusobno nisu usporedive i kao takve ih ne možemo uključiti u jednadžbu  $z$ -testa. U ovom prilogu opisano je na koji je način izračunat  $z$ -test za razliku između dvije  $q$  vrijednosti.

Najprije su izdvojeni parametri potrebni za izračun  $z$ -testa:

$$z = \frac{(p_1 - p_2) - 0}{\sqrt{\bar{p}(1 - \bar{p}) \left( \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}} \quad (16)$$

$$p_1 = \frac{a}{n_1} \quad (17)$$

$$p_2 = \frac{b}{n_2} \quad (18)$$

$$\bar{p} = \frac{a + b}{n_1 + n_2} \quad (19)$$

$Z$ -test služi testiranju značajnosti razlike u proporcijama  $p_1$  i  $p_2$ , a nas ovdje zanimaju razlike u dvije  $q$  vrijednosti koje imaju značenje proporcija. Kada govorimo o  $q$  vrijednostima,  $p_1$  označava proporciju razlike u broju različitih odgovora u redoslijedima  $XY$  i  $YX$  kada se prije njih ne pojavljuje  $Z$  u uzorku ispitanika koji su imali redoslijede  $XYZ$  i  $YXZ$ , odnosno  $p_{XY} - p_{YX}$ . Kako broj ispitanika u redoslijedima  $XYZ$  i  $YXZ$  nije bio jednak, tada niti razlika u broju različitih odgovora u tim redoslijedima nije usporediva i potrebno ih je normalizirati. To je učinjeno na sljedeći način:

$$p_1 = \frac{a}{n_1} = p_{XY(Z)} - p_{YZ(Z)} = \frac{fr_{XY(Z)}}{N_{XY(Z)}} - \frac{fr_{YX(Z)}}{N_{YX(Z)}} = \frac{fr_{XY(Z)} * N_{YX(Z)} - fr_{YX(Z)} * N_{XY(Z)}}{N_{XY(Z)} * N_{YX(Z)}} \quad (20)$$

U Jednadžbi 20.,  $p_{XY(Z)}$  se odnosi na  $p_{XY}$  kada  $X$  i  $Y$  ne prethodi  $Z$  u redoslijedu  $XY$  i predstavlja frekvenciju ispitanika koji su u redoslijedu  $XY$  odgovorili na jedno pitanje s "da", a na drugo s "ne" i obrnuto ( $fr_{XY(Z)}$ ), u odnosu na ukupan broj ispitanika koji su imali redoslijed  $XY(Z)$  ( $N_{XY(Z)}$ ).  $p_{YZ(Z)}$  je slično, no u redoslijedu  $YX(Z)$ . Da bismo mogli izlučiti parametre  $a$  i  $n_1$ , potrebno je razliku između  $p_{XY}$  i  $p_{YX}$  svesti na zajednički nazivnik nakon čega se u konačnoj jednadžbi za  $p_1$  brojnik odnosi na parametar  $a$  jednadžbe z-testa, a nazivnik na  $n_1$ .

Isto je učinjeno za  $p_2$  koji označava  $p_{XY}-p_{YX}$  kada se prije  $X$  i  $Y$  javlja  $Z$ :

$$p_2 = \frac{b}{n_2} = p_{(Z)XY} - p_{(Z)YZ} = \frac{fr_{(Z)XY}}{N_{(Z)XY}} - \frac{fr_{YX(Z)}}{N_{YX(Z)}} = \frac{fr_{(Z)XY} * N_{(Z)YX} - fr_{(Z)YX} * N_{(Z)XY}}{N_{(Z)XY} * N_{(Z)YX}} \quad (21)$$

U konačnoj se jednadžbi za  $p_2$  (Jednadžbe 21.) brojnik odnosi na  $b$ , a nazivnik na  $n_2$ .

Imajući informacije o parametrima  $a$ ,  $b$ ,  $n_1$  i  $n_2$ , možemo ih uvrstiti u jednadžbu za  $\bar{p}$  (Jednadžba 22.)

$$\bar{p} = \frac{a + b}{n_1 + n_2} = \frac{fr_{XY(Z)} * N_{YX(Z)} - fr_{YX(Z)} * N_{XY(Z)} + fr_{(Z)XY} * N_{(Z)YX} - fr_{(Z)YX} * N_{(Z)XY}}{N_{XY(Z)} * N_{YX(Z)} + N_{(Z)XY} * N_{(Z)YX}} \quad (22)$$

Sada kada su nam poznati svi potrebni parametri, oni se lako uvrštavaju u konačnu jednadžbu za računanje z-testa.