

# Neuroekonomija - budućnost bihevioralne ekonomije?

---

**Miloš, Tomislav**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2021**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Pula / Sveučilište Jurja Dobrile u Puli**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:137:025036>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-09-01**



*Repository / Repozitorij:*

[Digital Repository Juraj Dobrila University of Pula](#)



Sveučilište Jurja Dobrile u Puli  
Fakultet ekonomije i turizma  
«Dr. Mijo Mirković»

**Tomislav Miloš**

**NEUROEKONOMIJA – BUDUĆNOST  
BIHEVIORALNE EKONOMIJE?**

Završni rad

Pula, 2021.

Sveučilište Jurja Dobrile u Puli  
Fakultet ekonomije i turizma  
«Dr. Mijo Mirković»

**Tomislav Miloš**

# **NEUROEKONOMIJA – BUDUĆNOST BIHEVIORALNE EKONOMIJE?**

Završni rad

**JMBAG: 0081149756, redoviti student**

**Studijski smjer: Marketinško upravljanje**

**Predmet: Ekonomska sociologija**

**Znanstveno područje: Društvena znanost**

**Znanstveno polje: Ekonomija**

**Znanstvena grana: Neuroekonomija**

**Mentor: doc.dr.sc. Saša Stjepanović**

Pula, rujan 2021.



## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Ja, dolje potpisani Tomislav Miloš, kandidat za prvostupnika Poslovne ekonomije ovime izjavljujem da je ovaj Završni rad rezultat isključivo mogega vlastitog rada, da se temelji na mojim istraživanjima te da se oslanja na objavljenu literaturu kao što to pokazuju korištene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da niti jedan dio Završnog rada nije napisan na nedozvoljeni način, odnosno da je prepisan iz kojega necitiranog rada, te da ikoji dio rada krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem, također, da nijedan dio rada nije iskorišten za koji drugi rad pri bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili radnoj ustanovi.

Student

Tomislav Miloš

U Puli, 22.9.2021.



## IZJAVA O KORIŠTENJU AUTORSKOG DJELA

Ja, Tomislav Miloš dajem odobrenje Sveučilištu Jurja

Dobrile u Puli, kao nositelju prava iskorištavanja, da moj Završni rad pod nazivom

Neuroekonomija – budućnost bihevioralne ekonomije?

koristi na način da gore navedeno autorsko djelo, kao cjeloviti tekst trajno objavi u javnoj internetskoj bazi Sveučilišne knjižnice Sveučilišta Jurja Dobrile u Puli te kopira u javnu internetsku bazu završnih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice (stavljanje na raspolaganje javnosti), sve u skladu s Zakonom o autorskom pravu i drugim srodnim pravima i dobrom akademskom praksom, a radi promicanja otvorenoga, slobodnoga pristupa znanstvenim informacijama.

Za korištenje autorskog djela na gore navedeni način ne potražujem naknadu.

U Puli, 22.9.2021.

Potpis

Tomislav Miloš

# Sadržaj

1. Uvod.....	1
2. Neuroekonomija.....	2
2.1. Razvoj neuroekonomije.....	2
2.2. Kognitivna neuroznanost.....	4
2.3. Razvoj kognitivne neuroznanosti.....	5
3. Osnovne pretpostavke neuroekonomije.....	6
4. Struktura ljudskog mozga.....	8
4.1. Neuron i prijenos informacija u mozgu.....	10
5. Metode istraživanja neuroekonomije.....	11
5.1. EEG (elektroencefalografija).....	11
5.2. MEG (magnetoencefalografija).....	13
5.3. PET (pozitronska emisijska tomografija).....	14
5.4. fMRI (funkcionalna magnetska rezonanca).....	16
5.5. fNIRS (funkcionalna blizinska infracrvena spektroskopija).....	17
5.6. Naočale za praćenje pokreta očiju.....	18
5.7. Kombinacije metoda.....	20
6. Koraci u neuroekonomskom istraživanju.....	20
7. Donošenje odluka u neuroekonomiji.....	21
7.1. Jednostavni izbori.....	22
7.1.1. <i>Mozak izračunava signal vrijednosti odluke za svaku opciju tijekom vremena izbora</i> .....	22
7.2. Kompleksni izbori.....	23
7.2.1. <i>Intertemporalni izbori</i> .....	23
7.2.2. <i>Donošenje odluka u društvenom kontekstu</i> .....	24
7.2.3. <i>Donošenje odluka u uvjetima nesigurnosti i rizika</i> .....	25
8. Budućnost neuroekonomije.....	27
9. Zaključak.....	28
Literatura.....	30
Popis slika.....	34
Sadržaj.....	35
Abstract.....	36

## 1. Uvod

Neuroekonomija je relativno nova interdisciplinarna znanstvena grana koja istražuje neurološku osnovu donošenja odluka u ekonomiji. Može se smatrati i poddisciplinom bihevioralne ekonomije, budući da se temelji na spoznajama o aktivnostima koje se događaju u mozgu tijekom donošenja ekonomskih odluka. Nastoji se nadograditi na postojeće modele bihevioralne ekonomije, koja je spoznajama iz psihologije već prouzročila promjene u modelima donošenja odluka klasične ekonomije. Neuroekonomija promatranjem mozga, organa zaduženog za donošenje odluka, nastoji doći do bioloških temelja ovog procesa. Ovaj rad nastoji prikazati neuroekonomiju kao novi, suvremeni pristup promatranja procesa donošenja odluka, koristeći pritom spoznaje iz neuroznanosti.

Neuroekonomija ostvaruje uvid u moždane aktivnosti putem metoda kao što su funkcionalna magnetna rezonanca ili elektroencefalografija. Ove metode pomažu otkriti koji dijelovi mozga sudjeluju u promatranom procesu. Kombiniranjem tih informacija sa znanjem o funkcijama određenih dijelova mozga moguće je interpretirati i objasniti pojedine načine donošenja odluka. Na taj način postaje moguće nadograditi već postojeće modele bihevioralne ekonomije.

Ovaj rad je strukturno podijeljen na devet poglavlja. Nakon uvoda, započinjemo s definiranjem pojma neuroekonomije, nakon čega slijedi kratka povijest njenog razvoja. Kako bismo razumjeli metode kojima se neuroekonomija koristi, potrebno je krenuti od pretpostavki na kojima sama znanost počiva. Stoga prije nego što navedemo i opišemo metode ove znanosti predstavljamo nekoliko pretpostavki na kojima se temelji, te opisujemo osnovnu strukturu ljudskog mozga i neurona, te način na koji oni prenose informacije u mozgu. Metode koje se koriste u neuroekonomiji ključne su kako bismo razumjeli na koji način se promatraju biološke osnove donošenja odluka, stoga ćemo pobliže proučiti donošenje odluka u području intertemporalnih izbora, donošenje odluka u društvenom kontekstu te donošenje odluka u situacijama neizvjesnosti i rizika. Nakon toga slijedi kratki osvrt na budućnost neuroekonomije, te naposljetku slijedi zaključak.

## **2. Neuroekonomija**

Neuroekonomija je novo interdisciplinarno područje znanosti koje proučava događanja u mozgu pri donošenju odluka. Ovo područje nastalo je spajanjem bihevioralne ekonomije, kognitivne psihologije i neuroznanosti. Važnu ulogu igrao je i tehnološki razvoj, budući da bez uređaja kao što su fMRI, PET i EEG ne bi bilo moguće promatrati događanja u mozgu tijekom procesa donošenja odluka.

Neuroekonomija nastoji testirati ekonomske modele ponašanja te na taj način dobiti uvid u procese koji se događaju u mozgu pojedinca. Uz pomoć dostupne tehnologije moguće je dobiti uvid u to koji dijelovi mozga se aktiviraju pri procesu donošenja odluka. Kroz takva testiranja moguće je potvrditi i poboljšati dosadašnje modele ili doći do potpuno novih saznanja te ih iskoristiti kako bi se ponašanje pri donošenju odluka u ekonomskim modelima bolje objasnilo.

Bihevioralna ekonomija kao znanost nastala je s ciljem da se bolje i preciznije objasni ekonomske modele ponašanja korištenjem spoznaja iz kognitivne psihologije. Uključivanjem neuroznanosti te njenih metoda i spoznaja neuroekonomija nastoji pružiti još bolji uvid u ekonomske modele ponašanja (Polšek, Bovan, 2014).

### **2.1. Razvoj neuroekonomije**

Prema Glimcheru et al. (2009), neuroekonomija svoje porijeklo kao znanost ima u događajima koji slijede nakon revolucije neo klasične ekonomije 1930-ih godina i u počecima stvaranja kognitivne neuroznanosti 1990-ih godina. Stoga ćemo u sljedećem dijelu rada izdvojiti neke događaje iz povijesti ekonomije, opisati kognitivnu neuroznanost kao disciplinu te naglasiti događaje koji su utjecali na njen razvoj a koji su bitni za nastanak neuroekonomije.

Počeci ekonomije kao znanosti vežu se uz Adama Smitha, kojeg se smatra začetnikom moderne ekonomije, i objavu njegovog najpoznatijeg djela "Bogatstvo naroda" 1776. godine. Objavom tog djela započelo je razdoblje klasične ekonomske teorije. Smith je u svom djelu opisao brojne fenomene koji igraju važnu ulogu u razumijevanju ponašanja pojedinca pri donošenju odluka na tržištu.



U razdoblju koje je slijedilo ekonomske teorije koje su se razvijale bile su vrlo heterogene. Razvilo se više škola mišljenja s različitim pristupima. Bitno je spomenuti onu Johna Maynarda Keynesa, osnivača ekonomske teorije danas poznate kao kejnzizam, koji je smatrao da se velika većina ekonomskih odluka donosi u situacijama neizvjesnosti gdje sama vjerojatnost mogućeg ishoda nije poznata. Zaključio je kako je pozamašan dio poslovnog ciklusa određen neodlučnošću pojedinca, ali ekonomisti toga vremena još nisu uspjeli objasniti taj proces znanstvenim metodama.

Početakom 1930-ih godina ekonomisti Paul A. Samuelson, Kenneth J. Arrow i Gerard Debreu počeli su zajedno istraživati izbore potrošača i njihovo ponašanje na tržištima. Fokus njihovog istraživanja bile su matematičke strukture izbora nastale od jednostavnijih pretpostavki o preferencijama. Pri kreiranju tih modela njihova pozornost bila je usmjerena na idealizirane izbore i učinkovitu raspodjelu resursa. Za bolje razumijevanje ovog pristupa opisat ćemo prvi i najvažniji od ovih jednostavnih modela, naziva WARP (Weak Axiom Revealed Preference), kojeg je razvio Samuelson. Primjerice, ako potrošač bira između jabuke i naranče i odabire jabuku, to otkriva njegovu preferenciju prema jabukama. Samuelson i drugi autori kasnijim su radovima dokazali da čak i jednostavne pretpostavke binarnih izbora mogu imati bitne implikacije. Razvili su proširenu verziju već spomenutog modela i nazvali je GARP (Generalized Axiom Revealed Preference). Taj model tvrdi da ako potrošač preferira jabuke u odnosu na naranče, te preferira naranče u odnosu na breskve, tada on indirektno otkriva svoju preferenciju prema jabukama u odnosu na breskve. Ispravnost ovog modela značila bi da binarni izbori između para objekata mogu poslužiti za predviđanje relativne poželjnosti između para objekata koje potrošač nikad nije uspoređivao. To znači da, ako je ovaj model točan po uzoru na prethodni primjer, potrošač ne bi trebao odabrati breskvu u odnosu na jabuku.

Tijekom razdoblja koje je uslijedilo razvijali su se brojni teoremi koji su proširivali i dalje razvijali već spomenute teorije iz područja otkrivenih preferencija. Nastale su teorije koje opisuju izbore s neizvjesnim ishodima uz poznate vjerojatnosti, kao što je teorija očekivane korisnosti von Neumanna i Morgensterna. Ova teorija koja je u to vrijeme postala normativna teorija ponašanja, postulira da pojedinac pri donošenju odluka slijedi princip maksimiziranja očekivane korisnosti.

1953. godine Maurice Allais osmislio je niz izbora u paru koji vode do pouzdanih obrazaca otkrivenih preferencija koje krše središnji neovisni aksiom teorije očekivane vrijednosti. Ovakav niz kasnije je nazvan Allaisov paradoks. Nekoliko godina kasnije Daniel Ellsberg predstavlja vlastiti paradoks koji sugerira da bi dvosmislenost koja podržava vjerojatnost nekog događaja mogla utjecati i na sam izbor. Ta dva paradoksa pobudila su sumnju u to da bi određeni funkcionalni dijelovi teorije očekivanih korisnosti temeljeni na jednostavnim aksiomima preferencija mogli biti pogrešni. To je utjecalo na potrebu za matematičkim objašnjenjima koja su razvijena tijekom 1980-ih godina.

Daniel Kahneman i Amos Tversky svojim su radom u razdoblju između 1970-ih i 1980-ih godina kroz primjere provedenih eksperimenata prikazali još veće nepravilnosti u teoriji očekivane korisnosti nego što su to prikazala dva već spomenuta paradoksa. Proučavajući temelje ekonomskih teorija odlučivanja kroz eksperimente utvrdili su da se mnogi uobičajeni izbori ponašanja jednostavno ne poklapaju s aksiomima teorije očekivane korisnosti.

1990-ih godina, dostupnost i niski troškovi korištenja fMRI uređaja izazvali su interes bihevioralnih ekonomista. Uz pomoć ovog uređaja, koji omogućuje uvid u aktivnost neurona u mozgu prilikom procesa donošenja odluka, postalo je moguće ispitivati modele ekonomskog ponašanja iz novog kuta gledanja. U slijedećem dijelu ćemo se koncentrirati na aspekte kognitivne neuroznanosti koji su tome značajno pridonijeli.

## **2.2. Kognitivna neuroznanost**

Kognitivna neuroznanost je pod polje neuroznanosti koje istražuje biološke temelje mentalnih procesa koji se događaju u mozgu. Ova znanost pokušava detaljnije istražiti i objasniti povezanost kognitivnih procesa i aktivnih struktura mozga tijekom tih procesa. Tehnološki napredak, koji je sa sobom donio mnoge tehnike slikovitog prikaza moždane aktivnosti, bio je iznimno značajan za kognitivnu neuroznanost nadograđivši se na spoznaje iz neuroznanosti, kognitivne psihologije i drugih disciplina. Do danas su se razvile mnoge metode koje konstantno postaju sve preciznije a neke od njih spomenut ćemo u nastavku ovog rada. Danas se kognitivna neuroznanost primjenjuje u medicini, psihologiji, kao i u ekonomiji, polju našeg interesa.

### 2.3. Razvoj kognitivne neuroznanosti

U povijesti razvoja neuroznanstvenih istraživanja ponašanja razlikujemo dva različita pristupa, neurološki i fiziološki pristup. Neurološki pristup, koji je dominirao u 20. stoljeću, temeljio se na provedenim istraživanjima o ponašanju ljudi ili životinja s moždanim oštećenjima. U tom razdoblju, predmet fokusa istraživanja u neurologiji najčešće su bila oštećenja osjetilnih sustava, iz razloga što je osjetilne podražaje lakše kontrolirati i zapisivati, odnosno bilo ih je moguće promatrati u ekonomskom smislu. Mentalne procese, s druge strane, nije bilo lako niti kontrolirati niti zapisivati. Iako postoje zapisi koji nude čvrste dokaze o tome kako neurološka oštećenja utječu na mentalno stanje, teško ih je povezati upravo zato što mentalno stanje nije bilo moguće direktno promatrati. U to vrijeme nije postojala jedinstvena teorija koja bi povezala mentalno stanje s neurološkim oštećenjima. Spomenuti drugi pristup, psihofizički model proučavanja mozga, uključuje interakciju direktnih mjerenja biološkog stanja, poput aktivacijskog potencijala neurona, promjene u protoku krvi i promjene u neurotransmiterima.

U razdoblju između 1960-ih i 1980-ih godina dolazi do značajnih napredaka u oba pristupa. Modeli preuzeti iz psihologije počeli su se koristiti u polju neurologije kako bi se bolje opisala i razumjela veza između mozga i ponašanja. Iako sami modeli još uvijek nisu bili dovoljno razvijeni, ipak su u određenoj mjeri olakšavali opisivanje mentalnog stanja. U fiziološkom pristupu, tehnološki razvoj utjecao je na razvoj manje invazivnih metoda proučavanja budnih životinja.

Tijekom istog razdoblja znanstvenici su počeli razvijati modele za opisivanje mentalnih procesa. Proliferacija ovih istraživanja dovela je do višestrukih modela opisivanja istih mentalnih procesa. Problem je bio i u manjku prikupljenih podataka na kojima bi se ti modeli temeljili. Fiziološki eksperimenti teški su za provođenje i spori, te iako su rezultati proizašli iz njih precizni podaci, potrebno je puno vremena kako bi se do njih došlo. S druge strane, neurološki eksperimenti brže dolaze do rezultata, no podaci proizašli iz njih nisu toliko precizni. Pronalazak rješenja za ove probleme bio je značajan dio revolucije kognitivne neuroznanosti čiji je fokus bio istraživanje donošenja odluka.

U drugoj polovici 1980-ih godina William Newsome i J. Anthony Movshon počeli su raditi na modelu koji bi opisao povezanost neuronske aktivnosti u središnjem temporalnom području vizualnog korteksa s odlukama majmuna u domeni perceptivne kategorizacije. U tim eksperimentima, žedni majmuni su morali temeljem vizualnih signala svojim odabirom procijeniti kojom od dvije ponuđene akcije će doći do vode. Taj eksperiment bio je iznimno značajan iz dva razloga. Za neuroznanost, jer je po prvi put omogućio jasnu demonstraciju korelacije između neuronske aktivnosti i stohastičkog izbora. No, bio je iznimno bitan i iz perspektive neuronskog promatranja donošenja odluka jer se radilo o prvom uspješnom pokušaju predviđanja odluka na temelju aktivnosti jednog neurona.

Za bolje razumijevanje odnosa između mentalne i neuronske funkcije kod ljudi trebalo je prvo razviti neinvazivne metode koje bi omogućile slikoviti prikaz moždane aktivnosti čovjeka. 1992. godine više znanstvenika u kratkom razdoblju je objavilo prve rezultate istraživanja u kojem su uz pomoć fMRI uređaja nastali slikoviti prikazi moždane aktivnosti. Ovo je bio veoma značajan događaj jer je to značilo da je moguće dobiti slikoviti prikaz moždane aktivnosti čovjeka pri obavljanju kognitivnih zadataka. Konačni rezultat svih ovih zbivanja uz već navedeni interes bihevioralnih ekonomista za uporabu ovog uređaja kroz nekoliko godina rezultirao je nastankom nove znanosti, neuroekonomije.

### **3. Osnovne pretpostavke neuroekonomije**

Osnovna pretpostavka neuroekonomije je postojanje određenih polja u mozgu koja samostalno ili kroz interakciju s drugim dijelovima mozga sudjeluju u procesu donošenja odluka. Kako bi se ta premisa dokazala, bilo je potrebno utvrditi povezanost između aktivacije pojedinih dijelova mozga i procesa donošenja odluka. Tome su prethodila saznanja o biološkoj osnovi psiholoških funkcija. Moždane aktivnosti su iznimno komplicirane i stvaraju mnogo poteškoća za promatrača, no neuroznanost ih je kroz godine uspjela locirati i adekvatno definirati njihove zasebne funkcije. Uz pomoć spoznaja proizašlih iz neuropsihologije i neurofiziologije utvrdilo se da su pojedina polja mozga odgovorna za izvršavanje određenih psihičkih funkcija te da ih je moguće locirati na razini ćelija mozga. Nakon dolaska do saznanja o postojanju razlike između

vrsta neurona i određenih povezanosti između neurona unutar istih ćelija, javila se potreba za izradom topografskog prikaza mozga utemeljenog na ovim saznanjima. Početkom 20. stoljeća njemački neurolog Korbinian Brodmann predstavio je model koji povezuje 52 polja u moždanoj kori s određenim psihološkim funkcijama. Na taj je način neurologija definirala granice određenih polja te njihove funkcije (Kolev, Njegovanović, Ćosić, 2015).

Još jedna značajna pretpostavka neuroekonomije je fenomen morfološke modularnosti ljudskog mozga i višestruke interakcije moždanog sustava pri obavljanju različitih funkcija. Ponašanje ljudi ovisi o interakciji kontroliranih procesa i automatskih procesa, te afektivnih i kognitivnih sustava. Kontrolirani procesi su procesi koji se događaju pod našom kontrolom, odnosno svjesni smo što se događa u njima, te možemo opisati kako smo došli do neke odluke putem takvih procesa. Automatski procesi, koji se odvijaju na podsvjesnoj razini, ne zahtijevaju puno truda, te se za razliku od kontroliranih procesa koji se događaju serijski (korak po korak) odvijaju paralelno jedni s drugima (više zadataka odvija se istovremeno). Današnja saznanja o ovim procesima omogućuju nam uvid u to gdje se u mozgu odvijaju, pa stoga znamo da su automatski procesi uglavnom locirani u tjemenu, sljepoočnom i zatiljnom režnju, dok je čeonu režanj povezan s kontroliranim procesima. Malo detaljniji uvid u moždanu strukturu i same režnjeve ponudit ćemo u sljedećem poglavlju. Nadalje, treba objasniti razliku između već spomenutih kognitivnih i afektivnih sustava. Prema znanstvenicima koji istražuju afektivne procese, njihova glavna značajka nisu emocionalna stanja vezana uz njih, već njihova uloga u motivaciji. Motivacija je stanje unutarnje pobuđenosti određenim težnjama, željama ili potrebama. Emocije mogu biti negativne, pozitivne te katkada oboje istovremeno, no ono što je važno istaknuti je da mnoge od njih sa sobom nose i tendenciju za akcijom: primjerice, osjećaj straha će nas natjerati da pokušamo pobjeći ili nas može "paralizirati". Osim emocija i emocionalnih stanja, pod afektivne procese spadaju i stanja poput gladi i žeđi. Kognitivni procesi su mentalni procesi koji su uključeni u prikupljanje i razumijevanje informacija, te mogu biti automatski poput percepcije vida ili kontrolirani poput donošenja odluka ili planiranja. Kako bi kognitivni sustav utjecao na ponašanje, on mora djelovati kroz afektivni sustav. Ponašanje je stoga rezultat interakcije navedenih procesa i sustava. Inherentna kompleksnost ljudskog mozga odgovorna je za mnogobrojne mogućnosti koje neuroekonomija istražuje, kao i za otvorena pitanja koja

prate ovu granu znanosti. Kako bismo bolje razumjeli povijest njenog razvoja, kao i izazove s kojima se još uvijek suočava, u sljedećem poglavlju ćemo ukratko skicirati strukturu mozga, te metode istraživanja koje se na njoj temelje, te se koriste u neuroekonomiji.

## **4. Struktura ljudskog mozga**

Ljudski mozak je najkompleksniji i najvažniji organ u ljudskom tijelu. Zaslužan je za primanje, obradu i slanje informacija, stvaranje mišljenja, ideja i emocija. Bez obzira na znatan tehnološki napredak posljednjih godina, još uvijek nije moguće u potpunosti objasniti i shvatiti kompleksnost mozga i svih procesa koji se u njemu odvijaju. Budući da se neuroekonomija bavi proučavanjem procesa koji se događaju u mozgu pri donošenju odluka, prikazati ćemo i ukratko objasniti funkcije osnovnih dijelova ljudskog mozga. Ljudski mozak dijeli se na veliki mozak, mali mozak i moždano deblo, koji zajedno čine centralni živčani sustav.

Veliki mozak čine siva tvar, odnosno moždana kora ili moždani korteks i bijela tvar koja se nalazi u središnjem dijelu mozga koji se nadalje sastoji od dviju međusobno povezanih moždanih hemisfera. Lijeva hemisfera upravlja motoričkim funkcijama desne strane tijela, a desna hemisfera lijeve strane tijela. Svaka hemisfera sastoji se od 4 režnja koji su zaduženi za različite funkcije. Najveći dio neuroekonomskog istraživanja posvećen je promatranju velikog mozga ili, još preciznije, moždanog korteksa.

1. Čeonni režanj, koji se nalazi u prednjem dijelu mozga, ujedno je i najveći režanj. Omogućuje razumijevanje i rješavanje problema, te je uključen i u pamćenje, pažnju, raspoloženje, planiranje i emocije.

Dio čeonog režnja koji ćemo posebno izdvojiti je prefrontalni korteks, najmlađi dio čeonog režnja. Vrijedno je spomenuti i da oštećenja tog dijela imaju veliki utjecaj na donošenje lošijih odluka. Nadalje, prefrontalni korteks dijeli se na dorsolateralni, orbitofrontalni i ventromedijalni prefrontalni korteks. Razlog zašto ga izdvajamo je njegova važnost u dosadašnjim istraživanjima u neuroekonomiji koja ćemo spomenuti u nastavku rada. Ovaj dio povezan je s izražavanjem emocija, donošenjem odluka i percepcijom.

2. Sljepoočni režanj nalazi se s obje strane mozga. Glavna uloga sljepoočnog režnja je procesiranje zvuka te razumijevanje jezika i govora. Osim toga, uključen je i u kratkoročno pamćenje i procesiranje emocija.

Unutar sljepoočnog režnja nalazi se i amigdala, moždana struktura čija je funkcija povezana uz osjećaje straha i nelagode. Amigdala ima značajnu ulogu u donošenju ekonomskih odluka, osobito kad se radi o donošenju odluka pod nesigurnim i rizičnim uvjetima, te poglavito vezano uz averziju prema gubitcima, što ćemo pominje proučiti u nastavku rada.

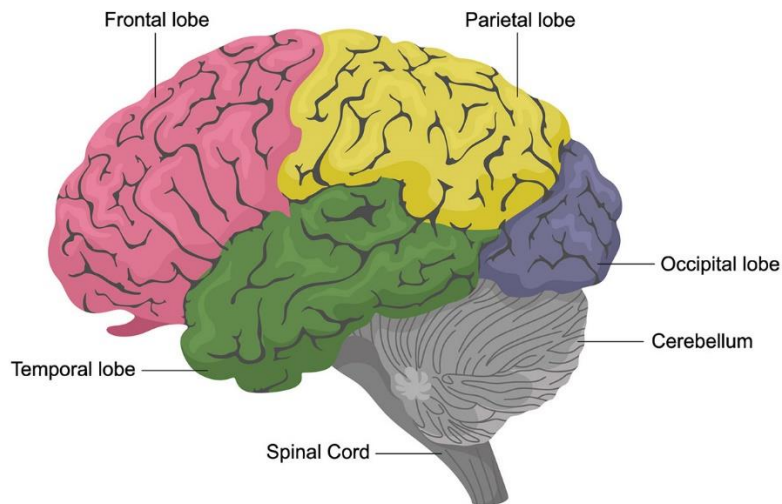
3. Tjemeni režanj nalazi se na središnjem dijelu mozga, omogućuje interpretaciju tjelesnih osjeta, te ima ulogu i u upravljanju kretnjama i ponašanju.

4. Zatiljni režanj se nalazi na stražnjem dijelu mozga. Zadužen je za obradu i interpretaciju senzornih informacija, kao što su primjerice, percepcija udaljenosti ili prepoznavanje objekata i lica.

Mali mozak nalazi se na stražnjem dijelu glave, iznad moždanog debla. Njegova uloga je upravljanje funkcijama kao što su održavanje ravnoteže i koordinacija dobrovoljnih pokreta mišića. Nova istraživanja proučavaju njegovu ulogu u formiranju emocija i mišljenja.

Moždano deblo najstariji je dio ljudskog mozga, a obuhvaća produženu moždinu, most i srednji mozak. Moždano deblo nastavak je kralježničke moždine, te je integracijski organ središnjeg živčanog sustava. Upravlja osnovnim vitalnim funkcijama kao što su disanje i brzina otkucaja srca, no također ima bitnu ulogu u održavanju budne svijesti te pozornosti.

## Human Brain Anatomy



Slika 1: Struktura mozga

Izvor: <https://www.hopkinsmedicine.org/health/conditions-and-diseases/anatomy-of-the-brain>

Pristupljeno: 10.9.2021.

### 4.1. Neuron i prijenos informacija u mozgu

Važno je shvatiti da se informacije u mozgu prenose putem individualnih živčanih stanica, neurona. Neuron je živčana stanica koja je specijalizirana za slanje signala kroz živčani sustav. Sastoji se od tri dijela: tijelo – mjesto na kojem završavaju signali pristigli iz drugih neurona ili receptora, akson – zadužen za brzi prijenos signala i sinapse – dio gdje se pristigli signali prijenose na sljedeće neurone. Neuron ima aktivacijsku ili inhibirajuću funkciju, to je jedan način na koji se međusobno razlikuju. Općenito gledano neuroni locirani u različitim dijelovima mozga imaju različite strukture, funkcije te djeluju u skladu s sustavom s kojim su povezani.

Neuroni prenose informacije kroz električne impulse, odnosno akcijske potencijale, pomoću kojih jedan neuron prenosi informacije do drugog neurona. Akcijski potencijali uzrokuju otpuštanje molekula koje se nazivaju neurotransmiteri od strane neurona. Neurotransmiteri utječu na vjerojatnost akcijskih potencijala u drugim neuronima. Na



taj način informacije prolaze kroz mozak i centralni živčani sustav. Važno je istaknuti neurotransmiter dopamin koji je vezan uz učenje i donošenje odluka u uvjetima nesigurnosti i rizika, a na koji ćemo se vratiti kasnije u ovom radu.

## **5. Metode istraživanja neuroekonomije**

Neuroekonomija pomoću niza različitih metoda nastoji otkriti biološku osnovu ekonomskog ponašanja. Bihevioralna ekonomija kroz provođenje eksperimenata u kojima ispitanici vrše odabire između više ponuđenih izbora prikuplja podatke na temelju kojih formira modele donošenja odluka. Neuroekonomija kroz metode koje omogućuju slikoviti prikaz moždane aktivnosti ili mjerenje električne aktivnosti mozga pri procesu donošenja odluka nastoji doći do spoznaja o tome koji dijelovi mozga su u tom procesu aktivni i kojim intenzitetom. Uz pomoć takvih prikupljenih podataka nastoji se nadograditi već postojeće modele donošenja odluka. U nastavku ćemo navesti i detaljnije proučiti neke od metoda i uređaja koji se koriste u neuroekonomskim istraživanjima. Naravno, treba naglasiti i važnost medicinskih uređaja poput fMRI-ja, PET-a ili EEG-a, uz pomoć kojih kroz promatranje mozga kao glavnog izvora informacija tijekom procesa donošenja odluka dolazimo do otkrića odluka koje se događaju a da ih sami nismo ni svjesni.

„Tehnologije koje se koriste u znanstvenim istraživanjima nisu samo alati koje znanstvenici koriste kako bi istražili interesna područja. Nove tehnologije pomažu pri definiranju novih znanstvenih područja i brisanju granica onih starih“ (Camerer, Loewenstein, Prelec, 2005).

### **5.1. EEG (elektroencefalografija)**

Elektroencefalografija smatra se jednom od najstarijih metoda za mjerenje električne aktivnosti mozga, te je prvi put korištena još 1920-ih godina. Metoda je u potpunosti bezbolna i neinvazivna. Tijekom snimanja električne aktivnosti mozga pri donošenju odluka na površinu glave ispitanika stavlja se kapa na koju su pričvršćene elektrode koje su spojene na EEG uređaj.

EEG snimka ne odražava samo zbroj svih električnih aktivnosti s glave ispitanika, već uključuje i električnu aktivnost neurona tijekom njihove aktivacije, te uz to prikazuje i električne aktivnosti koje se događaju u tijelu ispitanika kao što su signali iz mišića, kože i krvi (Jelić, 2014).

Elektroencefalografija je metoda kojom se proučava moždana aktivnost čovjeka pri donošenju odluka, a koja direktno prati aktivnost neurona u mozgu u tom procesu. Prednosti ove metode, uz već navedenu neinvazivnost i bezbolnost, svakako su manji troškovi održavanja uređaja i cijena samog uređaja u odnosu na uređaje poput fMRI-ja ili MEG-a. Veličina ovog uređaja je neznatna u odnosu na već ranije spomenute uređaje, te usto postoje prenosive inačice uređaja koje se mogu koristiti i izvan medicinskih ustanova. Važno je naglasiti da EEG mjeri moždanu aktivnost unutar jedne sekunde odnosno u milisekundama dok, recimo, fMRI iste mjeri u sekundama. No, naravno, postoje i nedostaci i manjkavosti ove metode, primjerice ograničenost prostorne rezolucije. Odnosno, budući da EEG može očitati samo aktivnost s površine mozga, uređaj ne može odrediti u kojem točno dijelu unutar mozga dolazi do moždane aktivnosti. Također, ponekad dolazi do očitavanja spontane pozadinske moždane aktivnosti koja nije usko povezana sa zadatkom te je u tom slučaju potrebno više ponavljanja istog zadatka kako bi se takva aktivnost otkrila te izolirala.



## Slika 2: EEG uređaj

Izvor: <https://www.nhs.uk/conditions/electroencephalogram/>

Pristupljeno: 13.8.2021.

### **5.2. MEG (magnetoencefalografija)**

Magnetoencefalografija je druga metoda mjerenja električne aktivnosti mozga uz već spomenuti EEG. Prvi put korištena je 1970-ih godina. MEG uređaj detektira sićušna magnetska polja koja nastaju u mozgu tijekom procesa donošenja odluka. Uređaj se može koristiti samo u magnetski zaštićenoj prostoriji, gdje ispitanik sjeda za stolac uređaja te na glavu stavlja kacigu koja uz pomoć posebnih senzora naziva SQUID (Superconducting Quantum Interference Devices) uspijeva detektirati sićušna magnetna polja koja nastaju u mozgu (Charron, Fuchs, Oullier, 2008).

Prednosti ovog uređaja su brzina mjerenja moždane aktivnosti koja se može usporediti s onom EEG uređaja, no ova metoda pruža i malo bolji uvid u aktivnosti dublje strukture mozga za razliku od EEG-a. Međutim ona pati od iste manjkavosti u pogledu ograničene prostorne rezolucije, iako u specifičnim situacijama može prikazati prostornu rezoluciju kvalitetno kao i fMRI uređaj. Uz to je dosta osjetljiv na fiziološke reakcije koje svojim djelovanjem mogu uzrokovati smetnje u tumačenju rezultata. Jedan je od skupljih uređaja za mjerenje moždane aktivnosti.



Slika 3: MEG uređaj

Izvor: <https://www.topdoctors.co.uk/medical-dictionary/magnetoencephalography#>  
Pristupljeno 13.8.2021.

### **5.3. PET (pozitronska emisijska tomografija)**

Pozitronska emisijska tomografija jedna je od dviju metoda slikovitog prikaza moždane aktivnosti. Druga metoda, fMRI, puno se više koristi. No, to ne znači da PET, koji je starija metoda, i danas nije u upotrebi. Ovaj uređaj je i dalje preferirana metoda u određenim situacijama.

Ovom metodom dobiva se uvid u aktivne dijelove moždane strukture te intenzitet njihove aktivnosti u slikovitom prikazu. Uz predznanje o tome koji dio mozga je zadužen za koje funkcije i aktivnosti moguće je preciznije utvrditi koji procesi se događaju u mozgu ispitanika. Pri moždanoj aktivnosti dolazi do većeg dotoka krvi u dijelu mozga zaduženom za tu aktivnost. Stoga se u ispitanikovu vratnu arteriju ubrizgava radioaktivna tekućina sastavom slična glukozi koja je uobičajeno gorivo za stanice. Naziv te tekućine je 2-deoksiglukoza. Nakon ulaska u krvotok, tekućina prodire u aktivne neurone. Budući da, za razliku od glukoze, stanice ne mogu odmah razgraditi 2-deoksiglukozu ona se nakuplja u aktivnim neuronima gdje se postepeno i sporije

razgrađuje. PET snimka daje prikaz razine radioaktivnosti u različitim dijelovima mozga (Jelić, 2014).

Za razliku od fMRI metode koja prateći BOLD signal nudi relativnu mjeru, pozitronska emisijska topografija mjeri apsolutni protok krvi. Zbog toga ova metoda omogućuje usporedbe između provedenih istraživanja, ispitanika i moždanih regija. Prednost ove metode je svakako bolja prostorna rezolucija moždane aktivnosti u odnosu na ranije spomenuti EEG, dok joj je nedostatak brzina mjerenja moždane aktivnosti u odnosu na EEG (koji mjeri unutar sekunde) budući da PET metoda mjeri unutar minute. Ubrizgavanje radioaktivne tekućine u krvotok ispitanika razlog je zašto se ova metoda smije izvesti ograničeni broj puta kako bi se dobila bolja slika, dok fMRI nije ograničen tim faktorom. Usto, činjenica da se u krvotok ubrizgava 2-deoksiglukoza, iako u malim količinama, svakako je jedan od faktora zašto se ova metoda danas manje koristi.



Slika 4: PET uređaj

Izvor: <https://blog.houseofdiagnostics.com/2020/01/11/pet-scan-procedure-benefits-uses/>

Pristupljeno: 13.8.2021.

#### **5.4. fMRI (funkcionalna magnetska rezonanca)**

Funkcionalna magnetska rezonanca je novija metoda slikovitog prikaza moždane aktivnosti. Do njenog razvoja došlo je u zadnjem desetljeću 20. stoljeća. Metoda je neinvazivnog tipa, bezbolna te, za razliku od PET metode, ne iziskuje ubrizgavanje nikakvog sadržaja u krvotok ispitanika. fMRI je jedna od najčešće korištenih metoda u neuroekonomskim istraživanjima.

Tijekom provođenja metode ispitanik je smješten u fMRI uređaju, gdje skener na njega primjenjuje jaka magnetna polja kako bi otkrio i snimio gdje se u mozgu odvija moždana aktivnost. Metoda se zasniva na praćenju dotoka krvi u mozak no fMRI, za razliku od PET uređaja, mjeri zasićenost krvi kisikom prilikom moždane aktivnosti, odnosno prati BOLD (blood oxygenation level dependent imaging) signal (Kolev, Njegovanović, Ćosić, 2015).

U odnosu na druge metode, fMRI nudi najbolji slikoviti prikaz moždane aktivnosti. Za razliku od PET metode koja se radi ubrizgavanja radioaktivnog sadržaja u ispitanika može ponoviti ograničeni broj puta, fMRI se može ponoviti više puta kako bi se dobio bolji prikaz moždane aktivnosti. Brzina mjerenja moždane aktivnosti je između 1 i 3 sekunde, što je brže od PET uređaja, ali sporije od EEG-a. Najveće mane ove metode su cijena korištenja i cijena samog uređaja, no i sam postupak, iako neinvazivan, zahtijeva 30 do 60 minuta strogog mirovanja u uskom prostoru. Kako bi se to postiglo, nije neuobičajeno da se glava ispitanika imobilizira za vrijeme korištenja uređaja. U odnosu na druge ranije spomenute uređaje, ovo je jedini uređaj koji stvara buku pri korištenju.



Slika 5: fMRI uređaj

Izvor: <https://www.unr.edu/neuroscience/research/center/core-facilities/neuroimaging-core>

Pristupljeno 13.8.2021.

### **5.5. fNIRS (funkcionalna blizinska infracrvena spektroskopija)**

Funkcionalna blizinska infracrvena spektroskopija je nova optička neinvazivna metoda snimanja moždane aktivnosti. fNIRS koristi izvor svjetlosti i detektor za mjerenje apsorpcije i raspršenosti infracrvenog svjetla na području lubanje i moždanog tkiva. NIRS detektira i mjeri promjene u apsorpciji uzrokovane promjenama u oksigeniranom i deoksigeniranom hemoglobinu, odnosno prati zasićenost krvi kisikom, slično kao i BOLD signali korišteni u fMRI metodi (Kable, 2011).

Najveća prednost ove metode je mogućnost konstruiranja manjih mobilnih fNIRS uređaja koje ispitanici mogu nositi bez ikakvih restrikcija u kretanju. Radi toga je pomoću ovog uređaja moguće mjeriti moždanu aktivnost kod ljudi koji boluju od klaustrofobije i mlađih ispitanika koji inače imaju problema s mirovanjem tijekom ispitivanja. Cjenovno je veoma pristupačan u odnosu na druge uređaje, te ne proizvodi buku tijekom korištenja. Iako, kao što smo već spomenuli, mjeri slične signale kao



fMRI, ovaj uređaj omogućuje slabiju prostornu rezoluciju od te metode, no nudi malo bržu vremensku razlučivost. Usto, infracrvena svjetlost pri očitavanju prodire samo do moždanog korteksa, ne i dublje u mozak pri očitavanju moždane aktivnosti.



Slika 6: fNIRS uređaj

Izvor: <https://www.technologynetworks.com/neuroscience/products/fnirs-system-for-brain-imaging-research-311064>

Pristupljeno: 13.8.2021.

## 5.6. Naočale za praćenje pokreta očiju

„Naočale za praćenje pokreta očiju su posebno dizajnirane naočale koje se mogu koristiti za mjerenje smjera pogleda, duljine fiksacije i veličine zjenica, a ti čimbenici koreliraju s pažnjom, emotivnim odgovorom i drugim kognitivnim procesima“ (Jelić, 2014).

Tehnološki razvoj omogućio je stvaranje mobilne verzije ovih naočala, koja se koristi u terenskim istraživanjima pozicioniranja proizvoda u supermarketima. Ispitanici s



naočalama prolaze trgovinom kupujući proizvode, pri čemu istraživači imaju uvid u kupovne obrasce ispitanika, te mogu vidjeti gdje na policama traže proizvode, na kojem dijelu polica najviše zadržavaju pogled, u kojim dijelovima trgovina najviše traže proizvod, u kojem vremenu donose odluke o kupovini proizvoda i slično. Tvrtke koje provode takva istraživanja u skladu s prikupljenim podacima mogu tvrtkama proizvođačima dotičnih proizvoda, skuplje naplaćivati pozicioniranje proizvoda na mjestima koja rezultiraju s povećanim brojem prodaja. U novije vrijeme, ove naočale se koriste kako bi se dobio uvid u obrasce kretanja očiju pri istraživanju web sadržaja. Na taj način tvrtke poput Facebook-a mogu dobiti uvid u to kako se korisnici služe njihovim stranicama, na koji način konzumiraju sadržaj, kao i na što se fokusiraju. Uz pomoć rezultata takvih istraživanja tvrtke mogu formirati cjenike za web-oglašivače (Jelić, 2014).



Slika 7: Naočale za praćenje pokreta očiju

Izvor: <https://imotions.com/blog/future-trends-part-1-eye-tracking/>

Pristupljeno 13.8.2021.

## 5.7. Kombinacije metoda

Dosad smo naveli nekoliko metoda te izdvojili njihove prednosti i nedostatke, no treba spomenuti da se u neuroekonomskim istraživanjima često koriste i razne kombinacije metoda. Najčešća kombinacija metoda je fMRI uz EEG, pa se tako ovom kombinacijom dobiju precizni slikoviti prikaz moždane aktivnosti iz fMRI uređaja uz brzinu očitavanja moždane aktivnosti unutar jedne sekunde od strane EEG uređaja. Kombinacija MEG i fMRI uređaja ne nudi mogućnost istovremenog snimanja kao prethodna kombinacija, te je stoga manje popularna. Naočale za praćenje pokreta očiju često se kombiniraju s uređajima poput fMRI-ja koji nudi slikovit prikaz moždane aktivnosti ili EEG-a koji nudi bolji uvid u stanje svijesti ispitanika. Spajanje fNIRS uređaja s naočalama za praćenje pokreta očiju je također popularna kombinacija metoda istraživanja. Kombinacijama različitih metoda otvaraju se nove mogućnosti istraživanja i poboljšanja već postojećih metoda.

Uz sve dosad navedeno, važno je istaknuti i fiziološke reakcije čije očitavanje također igra važnu ulogu u istraživanjima, te se isto tako mjeri uz već navedene metode.

Fiziološke reakcije su automatske tjelesne reakcije izazvane određenim događajima iz okoline ili unutar samog pojedinca. Primjeri takvih reakcija su: brzina otkucaja srca, brzina disanja ili galvanske reakcije kože. Takve reakcije povezane su sa stanjem psihofizičke pobuđenosti (Jelić, 2014).

## 6. Koraci u neuroekonomskom istraživanju

Na početku neuroekonomskog istraživanja potrebno je postaviti hipotezu, te predstaviti predmet istraživanja. Nakon postavljanja hipoteze samog istraživanja, potrebno je procijeniti kako neuroekonomija može dati odgovor na postavljeni izazov, tj. predmet istraživanja. Ono što slijedi je odabir najprikladnije metode za provođenje istraživanja. Pri prevođenju postavljenog pitanja istraživanja u studiju projekta važno je paziti na sve detalje kako bi se izbjegle moguće greške koje mogu utjecati na tumačenje kasnijih rezultata istraživanja.

Nakon provedenih istraživanja potrebno je proći nekoliko koraka u analizi dobivenih rezultata kako bi se podaci o aktivaciji moždanih dijelova ispitanika prikupljeni tijekom

istraživanja mogli usporediti među ispitanicima. Potrebno je izvršiti prostornu normalizaciju mozgov u šablonski predložak mozga. Naime, niti jedan mozak nije identičan drugom, te stoga treba provesti ovaj postupak kako bi se postigla sličnost u veličini i prostornoj orijentaciji. Cilj ovog postupka je dovesti moždane strukture u najbliže moguće poravnanje za usporedbu. Jedna od metoda koje se koriste kako bi se to postiglo je Talairach stereotaktički koordinacijski sustav. Taj sustav omogućuje nužno poravnanje pomoću koordinacijskog sustava za identifikaciju određenog lokaliteta u mozgu u odnosu na anatomske orijentire, prostornom transformacijom pomoću koje jedan mozak sliči drugom, te koristeći atlas koji opisuje standardni mozak s anatomske i citoarhitektonskim oznakama. Međutim danas se najčešće koriste analitički softveri poput onog kreiranog od strane neurobiološkog instituta iz Montreala, koji se temelji na prosjeku proizašlom iz velikog broja fMRI snimki. Nakon poravnanja slijedi tumačenje dobivenih podataka istraživanja na temelju spoznaja na kojima ova znanost počiva.

Otprije nam je poznato da su određeni dijelovi mozga povezani s određenim funkcijama. Do tih spoznaja došlo se istraživanjem pojedinaca s moždanim oštećenjima, na kojima su se često provodila istraživanja prije pojave neinvazivnih metoda slikovitog prikaza moždane aktivnosti. Još jedan pristup dolazi iz mikroskopske anatomije, Već spomenuti znanstvenik Brodmann podijelio je moždani korteks na 52 polja proučavajući modifikaciju citoarhitekture mozga.

Današnje shvaćanje lokalizacije kompleksnijih moždanih funkcija poput donošenja odluka značajno se razvilo posljednjih godina. Taj porast usko je povezan s razvojem mnogih metoda i uređaja koji se koriste za proučavanje moždane aktivnosti. Pomoću metoda koje smo naveli u prethodnom dijelu rada moguće je dobiti uvid u mozak te interpretirati neuroekonomska istraživanja.

## **7. Donošenje odluka u neuroekonomiji**

„Znamo da postoje stvari koje ljudski mozak može i ne može učiniti. Ukoliko se ekonomski modeli o tome kako ljudi donose odluke, odluče konstruirati koristeći se podacima o tome što ljudski mozak stvarno može, tada se značajna količina podataka

iz suvremene neuroznanosti može iskoristiti u konstrukciji ekonomskih modela ponašanja“ Glimcher (2011).

Neuroekonomija nastoji otkriti neurobiološke procese koji utječu na ljudsko ponašanje, te nastoji opisati strukturne modele donošenja odluka na temelju neurobioloških podataka. Ovi podaci mogu biti značajni i za opisivanje ponašanja ljudi u prirodnim i društvenim znanostima. U nastavku ćemo opisati kako mozak vrši odabir između jednostavnih i kompleksnijih izbora.

## **7.1. Jednostavni izbori**

Jednostavni izbori su najjednostavniji primjeri ekonomskog donošenja odluka koji se mogu proučavati neuroekonomskim metodama. Oni omogućuju uvid u računski i neurobiološki proces koji se odvija u mozgu tijekom donošenja odluka bez ikakvih dodatnih faktora poput strateških razmišljanja, ograničenja vremena ili bilo kojih drugih ograničavajućih faktora. U nastavku ćemo opisati jedan model utemeljen na jednostavnim izborima prije nego što prijedemo na one kompleksne.

### ***7.1.1. Mozak izračunava signal vrijednosti odluke za svaku opciju tijekom vremena izbora***

U ovom modelu izbor ovisi o izračunu i usporedbi između signala vrijednosti odluka. Pretpostavka ovog modela je da se vrijednost odluke računa od samog početka procesa donošenja odluke do trenutka kada je odluka donesena. Primjerice od trenutka kada se pred ispitanikom na ekranu pojave mogući izbori do trenutka kada ispitanik pritiskom na ekran izvrši izbor. Hipoteza koja govori o postojanju signala vrijednosti odluke u trenutku izbora jedna je od najčešće testiranih u području neuroekonomije. U testiranjima provedenim uz pomoć uređaja poput fMRI-ja i EEG-a otkrivena je povećana aktivnost neurona u ventromedijalnom prefrontalnom korteksu prilikom dodjeljivanja vrijednosti odlukama opcijama u vrijeme izbora.

Osnovni dijelovi provođenja ovakvog istraživanja jesu: 1. Postojanje nekog oblika bihevioralnih podataka potrebnih kako bi se mogla procijeniti vrijednost koju mozak povezuje uz signal za koji pokazuje interes. 2. Mjerenje aktivnosti neurona u određenom dijelu mozga tijekom izvršavanja određenog izbora. 3. Statističke metode pomoću kojih se može utvrditi je li neuronska aktivnost tijekom razdoblja interesa modulirana od strane signala interesa.

Jedan primjer takvog istraživanja o postojanju vrijednosti odluka proveli su H. Plassmann, J. O'Doherty i A. Rangel (2007) uz pomoć fMRI uređaja. Gladnim ispitanicima su tijekom ispitivanja prikazivane slike njima poznatih jela, te su oni morali odlučiti koliko bi ponudili za pravo da dobiju to jelo po završetku ispitivanja. Njihove ponude pružaju mjeru ponašanja vrijednosti odluke u svakom ispitivanju. Ovo ispitivanje je otkrilo da je aktivnost u promatranom dijelu mozga tijekom vremena odabira bila u skladu s ponudama ispitanika, što potvrđuje hipotezu da mozak izračunava vrijednost odluke u vremenu izbora. Rezultati ovog ispitivanja u skladu su s rezultatima istraživanja koja su uslijedila, te je utvrđeno da je aktivnost u promatranom dijelu mozga prisutna i pri donošenju kompleksnijih odluka. Važno je napomenuti da u istraživanjima provedenim na ispitanicima s oštećenjem na promatranom dijelu mozga utvrđeno da oni ne mogu donositi konzistentne odluke, što dodatno osnažuje pretpostavku po kojoj ventromedijalni prefrontalni korteks igra važnu ulogu u računanju signala vrijednosti odluka. Ipak ovo je tek početak istraživanja tih teorija te je potrebno provesti još istraživanja kako bi se ista potvrdila (Fehr i Rangel, 2011).

## **7.2. Kompleksni izbori**

Ukratko ćemo opisati te kroz par primjera prikazati istraživanja provedena vezano uz kompleksne izbore proizašle iz bihevioralne ekonomije, kao što su intertemporalni izbori, donošenje odluka u društvenom kontekstu i donošenje odluka u uvjetima nesigurnosti i rizika.

### **7.2.1. Intertemporalni izbori**

Intertemporalni izbori opisuju proces u kojem ljudi donose odluke, pri čemu su uključeni troškovi i koristi izbora raspoređeni kroz vrijeme. Model diskontinuirane korisnosti je dominantni model opisivanja intertemporalnih izbora. Model diskontinuirane korisnosti polazi od toga da ljudi neovisno o vremenu imaju konstantne preferencije, te da određuju vrijednost događajima neovisno o vremenu njihova zbivanja. Međutim, to nije u potpunosti u skladu s opisom intertemporalnih izbora. Prema modelu diskontinuirane korisnosti, pretpostavlja se da bi osoba koja preferira uzeti jednu jabuku danas nego dvije jabuke sutra, isto tako preferirala jednu jabuku za stotinu dana u odnosu na dvije jabuke za sto i jedan dan. No, istraživanja su dala dokaze koji pobijaju tu pretpostavku.

Kako bi se razriješio taj problem, predložen je model hiperboličnog diskontinuiranja, koji objašnjava kako ljudima tijekom malih vremenskih odgoda procjena korisnosti dobra pada vrlo naglo, dok tijekom dužih vremenskih odgoda korisnosti dobara opadaju znatno sporije. Korištenjem tog modela znatno je lakše objasniti zašto bi ljudi koji bi odabrali jednu jabuku danas radije nego dvije sutra isto tako odabrali dvije jabuke nakon 101 dana radije nego jednu jabuku nakon 100 dana.

Fokus neuroekonomskih istraživanja McClurea et al. (2004, 2007) o intertemporalnim izborima je pitanje može li se ponašanje kao što je diskontinuiranje u budućnosti i impulzivni odabir manje nagrade naspram veće nagrade u daljem vremenu bolje objasniti kroz interakciju više sustava. Interakcija između dviju regija mozga odgovorna je za odabir između trenutne nagrade i nagrade nakon određenog vremenskog perioda u izboru primarnih (jelo) i sekundarnih (novac) nagrada. Opisat ćemo primjer istraživanja McClurea et al. (2007) provedenog uz pomoć fMRI uređaja. Žedni ispitanici su odgovarali na niz izbora između toga da dobiju odmah malu količinu vode ili soka, ili da dobiju veće količine istih pića nakon 20 minuta. Otkriveno je da limbički sustav koji je povezan sa afektivnim sustavom veću aktivnost iskazuje prilikom odabira trenutne nagrade, dok lateralni prefrontalni korteks koji je povezan sa kognitivnim sustavom pokazuje aktivnost u oba slučaja, neovisno o vremenu dobivanja nagrade. To potvrđuje pretpostavku o interakciji dvaju različitih sustava u intertemporalnim izborima. Po kojoj je limbički sustav usko povezan s donošenjem impulzivnih odluka, te povezanost korteksa s općenitijim dijelovima procesa donošenja odluka vezanih uz intertemporalne izbore. Nadalje, promatranjem relativne aktivnosti zabilježene u promatranim dijelovima mozga moguće je ustanoviti koju će odluku ispitanici donijeti (Loewenstein et al. 2008).

### **7.2.2. Donošenje odluka u društvenom kontekstu**

Neuroekonomska istraživanja u društvenom kontekstu fokusirana su na aspekte poput poštenja, povjerenja, te reciprociteta u donošenju društvenih odluka te njihove povezanosti s moždanim funkcijama.

U istraživanju provedenom od strane Sanfey et al. (2003) ispitanicima je priopćeno da će igrati igru ultimatumu u kojoj će oni biti strana koja prima ponudu od deset drugih

igrača. Ponude koje će dobiti bile su unaprijed određene od strane ispitivača ovog eksperimenta. Ponude su bile sljedeće: od strane pet ispitivača ponuđeno je bilo pola ukupnog iznosa odnosno 5 dolara za svaku stranu, dok su u drugih pet ponuda ponuđači veću polovicu od ukupnih 10 dolara zadržali za sebe. U deset drugih istraživanja ispitanici su identične ponude dobili od strane kompjutera. U skladu s prijašnjim istraživanjima ispitanici su bili spremniji prihvatiti niže ponude od strane kompjutera nego od strane ljudi. Treba istaknuti i da je aktivnost u mozgu u dijelu povezanom s emocijama (insula) bila veća kada su ispitanici dobili ponudu koja nije bila poštena od strane ljudi nego od kompjutera. Štoviše, to hoće li ispitanici odbiti ili prihvatiti ponudu od strane ljudi moglo se predvidjeti kroz aktivnost u insuli, iz čega proizlazi da ispitanici nisu odbijali ponude iz reciprociteta, odnosno nisu odgovarali neljubaznošću na neljubaznost, već su tako reagirali jer ih neljubaznost emocionalno boli. Jedan od čestih zadataka koji se koristi za istraživanja u ovom području je i zatvorenikova dilema. U toj igri sudionik može surađivati sa drugim igračem ili ga izdati. Naime konačni ishod igre ne ovisi isključivo o jednom igraču, već i o odlukama drugog igrača. Istraživanja potvrđuju pretpostavku koja kaže da ispitanici preferiraju suradnju s drugim igračima, čak i u situacijama u kojima bi veću korist imali izdajom. Igrači nisu motivirani isključivo nagradom koju dobiju u obliku novca već ih motivira i suradnja s drugim igračima, ali ne i suradnja s kompjuterima (Loewenstein et al. 2008).

### ***7.2.3. Donošenje odluka u uvjetima nesigurnosti i rizika***

Kada ljudi vrše izbor između više ponuđenih pravaca djelovanja, u većini slučajeva ne znaju koje su potencijalne posljedice odabranih akcija, što znači da je većina odluka donesena pod uvjetima rizika. Teorija kojom se to najčešće opisuje je model očekivane korisnosti koju je 1738. godine predložio Daniel Bernoulli. Prema njemu, ljudi vrše odabir između više alternativa procjenjujući korisnost koja proizlazi iz njihovog odabira, usporedbom korisnosti koja proizlazi iz alternativnih izbora, te naposljetku odabirom one koja rezultira najvećom očekivanom korisnošću. No, istraživanjima su utvrđena brojna odstupanja koja ukazuju na to da postoje obrasci ponašanja kojima ne maksimiziramo očekivanu korisnost. Pretpostavimo da igramo igru bacanja novčića, u kojoj imamo 50% šanse da osvojimo 20 kuna i 50% šanse da izgubimo 10 kuna, uz uvjet da je naše trenutno bogatstvo jedan milijun kuna. Prema teoriji očekivane

korisnosti, taj dobitak ili gubitak gledamo na način da ćemo iznosu od milijun kuna dodati 20 kuna ili oduzeti 10 kuna. No, istraživanja koja su proveli D. Kahneman i A. Tversky dokazali su da to nije tako, već da ljudi svoje odluke donose s užim fokusom na stvari, odnosno ljudi bi ovaj primjer bacanja novčića gledali kao priliku da dobiju 20 kuna ili da izgube 10 kuna.

Mnogobrojna istraživanja došla su do podataka koji sugeriraju postojanje više moždanih regija koje sudjeluju u donošenju odluka u uvjetima nesigurnosti. Pri predviđanju u takvim situacijama, aktivna je regija koja je dio frontomedijalnog korteksa, te dolazi do povećanja aktivnosti i u mezijalnom prefrontalnom korteksu. Pri donošenju odluka u slučaju manjka bitnih informacija dolazi do aktivnosti u prefrontalnom korteksu koji ima ulogu u procesu razmišljanja, te se stoga čini da su regije tog dijela mozga zadužene za donošenje odluka u takvim situacijama.

Opisat ćemo istraživanje od strane Kahn et al. (2002) fokusirano na pitanje izaziva li mogućnost rizičnih ishoda iščekivane emocije. U ovom istraživanju ispitanici su igrali igru u kojoj se od njih tražilo da povremeno blefiraju, što ih je izlagalo riziku da budu pročitani te da pretrpe poraz. Kada je izbor bio poznat, ali je ostao neotkriven aktivacija u amigdali, dijelu sljepoočnog režnja, bila je izraženija u slučaju kada se radilo o blefiranju nego kada je u pitanju bila poštena igra. Amigdala se obično povezuje sa održavanjem stanja budnosti, no usko je povezana i s procesiranjem straha. Istraživanje provedeno od strane Shiv et al. (2005) bavilo se donošenjem odluka u uvjetima nesigurnosti i rizika, uspoređujući odluke koje donose ispitanici bez oštećenja na mozgu sa odlukama koje donose ispitanici sa oštećenjima na amigdali, orbifrontalnom korteksu ili insularnom korteksu. Radi se o područjima u mozgu vezanim uz procesiranje emocija. Na početku ispitivanja svaki ispitanik je dobio 20 dolara s kojima se mogao kladiti na ishode bacanja novčića. Svaka oklada iznosila je 1 dolar, šanse za dobitak ili gubitak iznosile su 50% , pri čemu je dobitak iznosio 2,5 dolara, a gubitak 1 dolar. Postavljena hipoteza istraživanja tvrdila je da se, budući da svako bacanje novčića ima pozitivnu očekivanu vrijednost, sudionici koji osjećaju strah od rizika nalaze se u nepovoljnijem položaju. U ispitivanju je odigrano 20 rundi u kojima su ispitanici kladili (ukoliko bi ispitanik u rundi odlučio ne se kladiti, u toj rundi zadržao je 1 dolar). Rezultati istraživanja bili su u skladu s postavljenom hipotezom, te su se ispitanici s oštećenjima na područjima povezanim uz procesiranje emocija češće kladili te samim time ostvarili i veće dobitke od ispitanika bez oštećenja, koji bi nakon



ostvarenih gubitaka opreznije pristupali okladama u nastavku. Rezultati također sugeriraju da mjera do koje emocionalni deficiti vode do donošenja loših odluka uvelike ovisi i o samom kontekstu u kojem se odlučuje.

Averzija prema gubitcima je teorija koja govori o tome da pojedinac gubitak određenog novčanog iznosa doživljava intenzivnije nego dobitak istog novčanog iznosa. Kako bi istražili neuronske procese koji stoje iza averzije prema gubitcima. Tom et al. (2007) koristeći fMRI uređaj proveli su istraživanje u kojem je ispitanicima bilo ponuđeno da prihvate ili odbiju niz oklada u kojima su imali 50% šanse za dobitak i 50% šanse za gubitak. Otkrili su da niti jedan dio mozga koji je povezan uz osjećanje straha nije zabilježio povećanu aktivnost uz rast mogućnosti potencijalnog gubitka. No zato je došlo do povećane aktivnosti u ventromedijalnom prefrontalnom korteksu i striatumu, područjima povezanim uz očekivanje i primanje novčane nagrade (ova područja usko su povezana uz dopamin) koja su pratila povećanje dobitka, te su ista područja bilježila i pad aktivnosti uz povećanje gubitka, s time da je bitno naglasiti da je povećanje gubitka bilo dvostruko intenzivnije od porasta dobitka. Zaključak koji proizlazi iz njihovog istraživanja je taj da je averzija prema gubitcima potaknuta asimetričnim odgovorom između dobitka i gubitka u područjima mozga povezanim uz dopamin. Iako opisana istraživanja dokazuju ulogu emocija u donošenju odluka u uvjetima nesigurnosti i rizika, te averziji prema gubitcima, potrebno je provesti još istraživanja prije donošenja konačnih zaključaka o interakciji dvaju sustava u donošenju odluka takvog tipa (Loewenstein et al. 2008).

## **8. Budućnost neuroekonomije**

Iako je neuroekonomija područje znanosti koje postoji relativno kratko, može se reći da su dosadašnja istraživanja provedena u tom području već utjecala na načine promatranja i opisivanja procesa donošenja ekonomskih odluka. U ovom radu naveli smo neke od metoda istraživanja poput elektroencefalografije, magnetoencefalografije ili funkcionalne magnetne rezonance kako bismo prikazali na koji način se u istraživanjima dobiva uvid u moždane procese koji se odvijaju tijekom donošenja odluka. Zatim smo naveli nekolicinu područja istraživanja u neuroekonomiji poput jednostavnih izbora, intertemporalnih izbora, donošenja odluka u društvenom kontekstu i donošenja odluka u uvjetima nesigurnosti i rizika, te smo kroz nekolicinu

primjera prikazali na koji se način analiziraju istraživanja u neuroekonomiji, te istražuju ranije navedene pretpostavke o interakciji više sustava u procesu donošenja odluka. Iako rezultati u navedenim istraživanjima podupiru teorije o interakciji više sustava, budući da se još uvijek radi o relativno novom području znanosti, ti rezultati se još uvijek smatraju preliminarnima.

Nemoguće je sa sigurnošću ustvrditi kako će se neuroekonomija u budućnosti razvijati, no iz trenutne perspektive možemo ustanoviti da potreba za daljnjim istraživanjima u području neuroekonomije svakako postoji. Područja poput ekonomije rada, financija ili marketinga samo su neka od sfera koje mogu direktno profitirati od saznanja iz neuroekonomije. Najbolja potvrda toga je činjenica da su se posljednjih godina razvile nove discipline poput neuromarketinga i neurofinancija koje su usko povezane sa samom neuroekonomijom no, za razliku od same neuroekonomije, ove discipline više su fokusirane na praktičnu primjenu rezultata istraživanja koja se bave reakcijama pojedinaca na marketinške poruke ili proučavanjem toga kako pojedinci donose financijske odluke, dok neuroekonomija nastoji istraživati osnovne mehanizme procesa donošenja odluka. Daljnji razvoj već postojećih metoda, te osmišljavanje novih inovativnih pristupa proučavanja pojedinca prilikom donošenja odluka svakako će igrati bitnu ulogu u daljnjem razvoju. Uz nove spoznaje koje proizlaze iz psihologije i neuroznanosti, budućnost neuroekonomije izgleda obećavajuće. Dugoročni cilj neuroekonomije svakako je kreiranje strukturalnih modela na temelju saznanja o funkcioniranju ljudskog mozga koji će opisivati proces donošenja odluka. Eksponencijalni rast broja istraživanja i porast interesa za ovom znanost u posljednjih godina sugeriraju važnost koju neuroekonomija trenutno ima, a taj trend trebao bi se nastaviti i u budućnosti, stoga će budućnost ove znanosti u nadolazećim godinama biti iznimno zanimljivo za pratiti.

## **9. Zaključak**

Neuroekonomija nastoji nadograditi rad bihevioralne ekonomije istraživanjem bioloških temelja psiholoških procesa koji se događaju pri procesu donošenju odluka. Koristeći spoznaje i metode iz neuroznanosti, ova disciplina pruža novi uvid i obogaćuje ekonomsku znanost. Neuroekonomija je vrlo mlada znanost no njen utjecaj je već sada

značajan: omogućila je bolji uvid u ponašanje pojedinca pri donošenju odluka, bolje razumijevanje pozadinskih procesa iza konkretnih teorija donošenja odluka, kreiranje preciznijih modela koji se zasnivaju na biološkim temeljima, te bolje prediktivne obrasce budućeg ponašanja pojedinaca na tržištu.

Neuroekonomija kao znanost nastala je razvojem tehnologije koja je omogućila uvid u moždanu aktivnost, uz sasvim logični interes bihevioralnih ekonomista za korištenje te tehnologije u ekonomskoj znanosti. Razvoj metoda i uređaja nudi nove informacije, nove pristupe i nove načine promatranja. Danas postoje brojne metode proučavanja koje nisu postojale u vrijeme nastanka ove znanosti. Tehnološki napredak omogućuje ovakav razvoj, te sa sobom donosi i napredak u istraživanjima i nove informacije. Zahvaljujući uređajima koji to omogućuju, danas je tijekom provođenja ispitivanja uz određene metode ispitanicima omogućeno slobodno kretanje. Naravno, to podrazumijeva određena ograničenja u preciznosti podataka, ali ovaj tip istraživanja je tek u ranoj fazi. Kako čovjek uči i napreduje, tako dolazimo do novih metoda i uređaja koji nam omogućuju saznanja o nama samima. Iako se za velik broj rezultata može reći da je potrebno provesti još istraživanja kako bi se ovi potvrdili, činjenica je da ti rezultati čak i u ovoj početnoj fazi pružaju uvid u podatke koji su u ne tako davnoj prošlosti bili nezamislivi. Neuroekonomija izučava najkompleksniji od svih naših organa, mozak. Konkluzivni rezultati neće doći odmah, no nastavak istraživanja je ključan za napredak, a potreba za spoznajama iz neuroekonomije je neosporna, budući da nam razvoj neuroekonomije omogućuje bolje shvaćanje donošenja ekonomskih odluka.

## Literatura

### Knjige:

1. Baars, B. i N. Gage, *Fundamentals of Cognitive Neuroscience*, UK, Elsevier Inc., 2013.
2. Glimcher, P., *Decisions, Uncertainty, and the Brain: The Science of Neuroeconomics*, USA, The MIT Press, 2003.
3. Glimcher, P., *Neuroeconomic Analysis*, USA, Oxford University Press, 2011.
4. Glimcher, P. et al., *Neuroeconomics: Decision Making and the Brain*, USA, Academic Press, 2009.
5. Polšek, D. i K. Bovan, *Uvod u bihevioralnu ekonomiju*, Zagreb, Institut Ivo Pilar, 2014.

### Znanstveni članci iz online časopisa:

1. Camerer, C., Loewenstein, G. i D. Prelec, „Neuroeconomics: How Neuroscience Can Inform Economics“, *Journal of economic literature*, Vol. 43 No. 1 2005. dostupno na: <https://www.aeaweb.org/articles?id=10.1257/0022051053737843>, (pristupljeno: 29.8.2021.).
2. Charron, S., Fuchs, A. i O. Oullier, „Exploring brain activity in neuroeconomics“, *Revue d'economie politique*, Vol.118, No.1, 2008., dostupno na: <https://www.cairn.info/revue-d-economie-politique-2008-1-page-97.htm?contenu=article>, (pristupljeno: 29.8.2021.).
3. Fehr, E. i A. Rangel, „Neuroeconomic Foundations of Economic Choice - Recent Advances“, *Journal of Economic Perspectives*, Vol.25, No.4, 2011, dostupno na: <https://pubs.aeaweb.org/doi/pdfplus/10.1257/jep.25.4.3>, (pristupljeno: 29.8.2021.).
4. Jelić, N., „Bihevioralna ekonomija, neuroekonomija, neuromarketing“, *Jahr : Europski časopis za bioetiku*, Vol.5, No.1, 2014., dostupno na: <https://hrcak.srce.hr/129410>, (pristupljeno: 29.8.2021.).

5. Kable, J., „The Cognitive Neuroscience Toolkit for the Neuroeconomist: A Functional Overview“, *Journal of Neuroscience, Psychology, and Economics*, Vol.4, No.2, 2011., dostupno na: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3142554/>, (pristupljeno: 29.8.2021.).
6. Kahn, I. et al., „The Role of the Amygdala in Signaling Prospective Outcome of Choice“, *Neuron*, Vol.33, No.6, 2002., dostupno na: [https://www.cell.com/neuron/fulltext/S0896-6273\(02\)00626-8?\\_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS0896627302006268%3Fshowall%3Dtrue](https://www.cell.com/neuron/fulltext/S0896-6273(02)00626-8?_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS0896627302006268%3Fshowall%3Dtrue), (pristupljeno: 29.8.2021.).
7. Kenning, P. i H. Plassmann, „NeuroEconomics: An overview from an economic perspective“, *Brain Research Bulletin*, Vol.67, No.5, 2005., dostupno na: [https://www.insead.edu/sites/default/files/assets/faculty-personal-site/hilke-plassmann/documents/2\\_Kenning\\_Plassmann\\_BB\\_2005.pdf](https://www.insead.edu/sites/default/files/assets/faculty-personal-site/hilke-plassmann/documents/2_Kenning_Plassmann_BB_2005.pdf), (pristupljeno: 29.8.2021.).
8. Kolev, D., Njegovanović, A. i K. Ćosić, „Neuroekonomija kao savremena metoda istraživanja donošenja ekonomskih odluka“, *Časopis za ekonomiju i tržišne komunikacije*, Vol.5, No.2, 2015., dostupno na: <https://doisrpska.nub.rs/index.php/economyandmarket/article/view/2028>, (pristupljeno: 29.8.2021.).
9. Konovalov, A. i I. Krajbich, „Over a Decade of Neuroeconomics: What Have We Learned?“, *Sage Journals*, Vol.22, No.1, 2019., dostupno na: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1094428116644502>, (pristupljeno: 29.8.2021.).
10. Plassman, H., O'Doherty, J. i A. Rangel, „Orbitofrontal Cortex Encodes Willingness to Pay in Everyday Economic Transactions“, *Journal of Neuroscience*, Vol.27, No.37, 2007., dostupno na: <https://www.jneurosci.org/content/27/37/9984>, (pristupljeno: 1.9.2021.).
11. Polšek, D. i M. Bokulić, „Dvije paradigme objašnjenja kognitivnih pristranosti u odlučivanju: "bihevioralna ekonomija" i "ekološka racionalnost".“, *Društvena istraživanja : časopis za opća društvena pitanja*, Vol. 22, No. 2, 2013., dostupno na: <https://hrcak.srce.hr/105464>, (pristupljeno: 29.8.2021.).
12. Rustichini, A., „Neuroeconomics: what have we found, and what should we search for“, *Current opinion in Neurobiology*, Vol.19, No.6, 2009., dostupno na:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959438809001366>,  
(pristupljeno: 29.8.2021.).

13. Sanfey, A. et al., „Neuroeconomics: cross-currents in research on decision-making“, *Trends in Cognitive Sciences*, Vol.10, No.3, 2006., dostupno na: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364661306000271>, (pristupljeno: 29.8.2021.).

#### Ostali online izvori:

1. Kopton, I. i P. Kenning, „Near-infrared spectroscopy (NIRS) as a new tool for neuroeconomic research“, 2014., dostupno na: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnhum.2014.00549/full>, (pristupljeno: 29.8.2021.).
2. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, mozak, *Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje*. 2021., dostupno na: <http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=42173>, (pristupljeno 26. 8. 2021.).
3. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, neuron, *Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje*, 2021., dostupno na: <http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=43561>, (pristupljeno 26. 8. 2021.).
4. Loewenstein, G., Rick, S. i J. Cohen, „Neuroeconomics“, 2007, dostupno na: [https://www.researchgate.net/publication/5960513\\_Neuroeconomics](https://www.researchgate.net/publication/5960513_Neuroeconomics), (pristupljeno 27.8.2021.).
5. McClure, S. et al., „Separate Neural Systems Value Immediate and Delayed Monetary Rewards“, 2004., dostupno na: [https://www.researchgate.net/publication/8231027\\_Separate\\_Neural\\_Systems\\_Value\\_Immediate\\_and\\_Delayed\\_Monetary\\_Rewards](https://www.researchgate.net/publication/8231027_Separate_Neural_Systems_Value_Immediate_and_Delayed_Monetary_Rewards), (pristupljeno: 1.9.2021.).
6. McClure, S. et al., „Time Discounting for Primary Rewards“, 2007., dostupno na: [https://www.researchgate.net/publication/6311141\\_Time\\_Discounting\\_for\\_Primary\\_Rewards](https://www.researchgate.net/publication/6311141_Time_Discounting_for_Primary_Rewards), (pristupljeno: 1.9.2021.).

7. Sanfey, A. et al., The Neural Basis of Economic Decision-Making in the Ultimatum Game, 2003., dostupno na: <https://stanford.edu/~knutson/bad/sanfey03.pdf>, (pristupljeno: 1.9.2021.).
8. Shiv, B. et al., „Investment Behavior and the Negative Side of Emotion“, 2005, dostupno na: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.133.163&rep=rep1&type=pdf>, (pristupljeno: 29.8.2021.).
9. Tom, S. et al., „The Neural Basis of Loss Aversion in Decision-Making Under Risk“, 2007., dostupno na: [https://www.researchgate.net/publication/6547758\\_The\\_Neural\\_Basis\\_of\\_Loss\\_Aversion\\_in\\_Decision-Making\\_Under\\_Risk](https://www.researchgate.net/publication/6547758_The_Neural_Basis_of_Loss_Aversion_in_Decision-Making_Under_Risk), (pristupljeno: 1.9.2021.).

## **Popis slika**

Slika 1. Struktura mozga

Slika 2. EEG uređaj

Slika 3. MEG uređaj

Slika 4. PET uređaj

Slika 5. fMRI uređaj

Slika 6. fNIRS uređaj

Slika 7. Naočale za praćenje pokreta očiju



## Sadržaj

Pozadinski proces donošenja odluka koji se događa u mozgu mnogo je kompleksniji nego što se čini na prvi pogled, i to čak i kad se radi o jednostavnim izborima poput odluke između jabuke i naranče. Neuroekonomija se bavi istraživanjem tih unutarnjih procesa. Pritom ova znanost pažnju posvećuje jednostavnim kao i puno kompleksnijim izborima poput intertemporalnih izbora, donošenja odluka u društvenom kontekstu ili donošenja odluka u uvjetima nesigurnosti i rizika. Proučavajući centralni organ donošenja odluka, mozak, putem uređaja poput EEG-a, MEG-a, fMRI-ja i drugih ova disciplina dolazi do spoznaja koje pokreću i utječu na proces donošenja odluka. Neuroekonomija je relativno nova interdisciplinarna grana znanosti nastala spajanjem ekonomije, psihologije i neuroznanosti. Kombiniranjem formalnih modela donošenja odluka proizašlih iz ekonomije s podacima koji opisuju psihološke procese tijekom donošenja odluka, nastaje kompleksni sustav obogaćen spoznajama i metodama proizašlima iz neuroznanosti. To su temelji i osnove ove nove znanosti, neuroekonomije, koja spajanjem svih prethodno navedenih pristupa i spoznaja nastoji doprijeti do bioloških temelja na kojima se zasniva proces donošenja ekonomskih odluka u ljudskih bića.

Ključne riječi: Neuroekonomija, ekonomija, psihologija, neuroznanost, donošenje odluka.

## **Abstract**

The process of decision making taking place in the brain is much more complex than it might seem at first glance, even when the process in question is a simple choice, like the choice between an apple and an orange. Neuroeconomics focuses on exploring those inner processes. It studies both simple and much more complex choices such as intertemporal choices, decision making in social situations and decision making under conditions of risk and uncertainty. By studying the central organ of decision making, the brain, with devices like EEG, MEG, fMRI and others, this scientific discipline arrives at insights that help explain and reveal what influences the decision making process. Neuroeconomics is a relatively new interdisciplinary scientific branch that blends knowledge from economics, psychology and neuroscience. In combining formal models of decision making from economics with data describing psychological processes that take place during decision making, it makes up a complex system enriched with insights and methods that come from neuroscience. These are the foundations of this new science, neuroeconomics, which by combining all the aforementioned approaches tries to explain the biological foundations on which the economic decision making process in human beings is founded.

Key words: Neuroeconomics, economics, psychology, neuroscience, decision making.