

Fregeovo načelo kontekstualnosti u kontekstu suvremenih jezičnih tehnologija

Đudajek, Tin

Master's thesis / Diplomski rad

2021

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:131:210647>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-14**



Sveučilište u Zagrebu
Filozofski fakultet
University of Zagreb
Faculty of Humanities
and Social Sciences

Repository / Repozitorij:

[ODRAZ - open repository of the University of Zagreb
Faculty of Humanities and Social Sciences](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FILOZOFSKI FAKULTET
ODSJEK ZA FILOZOFIJU

Tin Đudajek

**FREGEOVO NAČELO KONTEKSTUALNOSTI
U KONTEKSTU SUVREMENIH JEZIČNIH
TEHNOLOGIJA**

Diplomski rad

Mentor: prof. dr. sc. Davor Lauc

Zagreb, lipanj 2021.

Sadržaj

Uvod	1
1. Friedrich Ludwig Gottlob Frege.....	3
1.1. Rođenje i odrastanje.....	3
1.2. Studij u Jeni i Göttingenu.....	3
1.3. Privatni život	4
1.4. Znanstveni rad	4
2. Znanstveni život	6
2.1. Početak rada na sveučilištu u Jeni.....	6
2.2. Matematika i logika; djela i radovi	6
2.3. Filozofija jezika.....	7
3. Načelo kontekstualnosti	9
3.1. Načelo kontekstualnosti prije Grundlagena	9
3.2. Načelo kontekstualnosti u Grundlagenu	10
3.3. Formulacije načela kontekstualnosti.....	12
4. Google BERT	15
4.1. Povijest Googleovih algoritama do BERT-a	15
4.2. Google BERT.....	16
4.3. Transformeri.....	17
4.3.1. RNN.....	17
4.3.2. Transformeri	18
5. Načelo kontekstualnosti i Google BERT.....	21
Zaključak.....	24

Popis literature..... 26

Fregeovo načelo kontekstualnosti u kontekstu suvremenih jezičnih tehnologija

Sažetak

Diplomski rad „Fregeovo načelo kontekstualnosti u kontekstu suvremenih jezičnih tehnologija“ prikazuje jedno od najvažnijih teorijskih postignuća njemačkog filozofa i matematičara Gottloba Fregea – načelo kontekstualnosti u svjetlu novih tehnologija za obradu prirodnog jezika napose Googleove tehnologije BERT. Rad ispituje koliko je načelo kontekstualnosti danas aktualno, primjenjivo te do kolike mjere ga je moguće prepoznati u najnovijim sustavima za obradu prirodnog jezika današnjice. Autor zaključuje da Google BERT, iako je nastao bez jasnih utjecaja Gottloba Fregea i njegova načela kontekstualnosti, počiva na jako bliskim teorijskim postavkama koje je Frege isticao još s prelaska devetnaestog na dvadeseto stoljeće. Prije svega, radi se o kontekstu koji je neizmjerljivo bitan kako za funkcioniranje tehnologije BERT tako i za Fregeovo načelo kontekstualnosti.

Ključne riječi: Gottlob Frege, Google BERT, načelo kontekstualnosti, kontekst, filozofija jezika

Frege's contextuality principle in context of modern language processing technologies

Abstract

The thesis "Frege's contextuality principle in the context of modern language processing technologies" shows one of the most important theoretical achievements of the German philosopher and mathematician Gottlob Frege - the contextuality principle in the light of new technologies for natural language processing, especially Google's BERT technology. The paper examines how applicable the principle of contextuality is today, and to what extent it can be recognized in the latest natural language processing systems of today. The author concludes that Google BERT, although created without the clear influences of Gottlob Frege and his principles of contextuality, rests on very close theoretical assumptions that Frege emphasized as early as the turn of the nineteenth and twentieth centuries. Most importantly, it is a context that is immensely important both for the functioning of BERT technology and for Frege's principle of contextuality.

Key words: Gottlob Frege, Google BERT, contextuality principle, context, philosophy of language

Uvod

Diplomski rad pod naslovom „Fregeovo načelo kontekstualnosti u kontekstu suvremenih jezičnih tehnologija“ za cilj ima prikazati načelo kontekstualnosti njemačkog matematičara, logičara i filozofa Friedricha Ludwiga Gottloba Fregea te pojasniti koji su suvremeni načini primjene Fregeovog načela kontekstualnosti i gdje je ono danas pronašlo suvremenu upotrebu. Veći cilj rada je prikazati u kojoj su mjeri, na koji način i u kojem obliku Fregeove teorije dospjele do današnjice i u kojoj mjeri su one danas potvrđene ili negirane te postoji li uopće njihova primjena u suvremenom svijetu, posebice u tehnologiji. Hipoteza rada je da je Fregeovo načelo kontekstualnosti pronašlo svoju upotrebu u tehnologiji današnjice, prvenstveno u obradi prirodnog jezika, a cilj rada je detaljnije istražiti ovu upotrebu i njene dosege. Diplomski rad, osim pojašnjenja suvremene percepcije Fregeova načela kontekstualnosti želi i pokazati eksplicitan primjer ove spomenute percepcije i to na primjeru Googleove inovativne *tehnike* za obradu prirodnog jezika baziranoj na arhitekturi neuronskih mreža nazvane Google BERT (*Bidirectional Encoder Representations from Transformers*).

Google BERT učinio je veliki tehnološki napredak na polju procesiranja prirodnog jezika i samog razumijevanje prirodne, ljudske komunikacije od strane tehnologije, odnosno računala. Veliki uspjesi multinacionalne kompanije Google i njihove inovativne tehnologije BERT (popularne su aplikacije i tehnologije kojima se svakodnevno koriste milijuni ljudi diljem svijeta). Tehnologije kompanije koje u najvećoj mjeri koriste tehnologiju BERT su tražilica – prvi i najznačajniji proizvod kompanije Google te Google Translate – tehnologija za prevođenje jednog svjetskog jezika na drugi. Zahvaljujući upravo tehnologiji BERT, najpopularnija tražilica na svijetu¹ danas može bolje nego ikada razumjeti zahtjeve korisnika i davati upravo rezultate koje korisnik svakom pretragom i želi dobiti čak ako se pretrage baziraju i na samo jednoj riječi. Tehnologija BERT učinila je ovaj iskorak upravo jer se približila teorijama filozofije jezika koje je zagovarao Gottlob Frege, načelu kontekstualnosti i shvaćanju da se riječi ne pokušavaju shvatiti same po sebi (da nositelj značenja nije riječ), već da se riječi pokušavaju shvatiti tek unutar veće cjeline, odnosno cijele rečenice. Tako nositelj značenja nije riječ, već cijela rečenica. Zahvaljujući ovom pomaku, tehnologija današnjice može bolje nego ikada

¹ Iako danas postoji veliki broj tražilica primjerice Bing, Yahoo, DuckDuckGo ili Baidu, prema više različitih i neovisnih izvora, internetska tražilica Google bilježi više od 95% svih dnevnih pretraga na internetu

prije shvatiti prirodni jezik, bolje ga protumačiti i prevesti. Stoga će ovaj rad, u svojoj suštini proučavati filozofiju jezika kroz prizmu Fregeova pristupa ovom polju filozofije i tehnologije današnjice.

Metodika ovog rada, prije svega, bazira se na kritičkom iščitavanju relevantne literature, a drugi veliki metodološki princip prikaz je rada Google BERT-a poradi ilustracije primjene ove tehnologije i ilustracije primjene načina na koji se Fregeova teorija može povezati s radom Google BERT-a. Rad će biti podijeljen u poglavlja koja će nastojati prikazati život i rad Friedricha Ludwiga Gottloba Fregea, njegove najznačajnije doprinose znanosti, napose matematici, logici i filozofiji jezika s naglaskom na načelo kontekstualnosti. Iduće poglavlje prikazat će tehnološku, suvremenu stranu ovog rada i nastojat će približiti Google BERT i njegov princip rada. Iduće poglavlje povezat će ova dva pojma – načelo kontekstualnosti i Google BERT i prikazati gdje je moguće pronaći poveznicu između ovoga dvoga te u kolikoj mjeri. Naposljetku, rad će biti završen sa zaključkom gdje će autor pokušati sažeti cijeli rad te prikazati do kojih je rezultata stigao ovim istraživanjem.

1. Friedrich Ludwig Gottlob Frege

1.1. Rođenje i odrastanje

Friedrich Ludwig Gottlob Frege rođen je 11. studenog 1848. godine u njemačkom lučkom gradiću Wismaru, na obali Baltičkog mora. Možemo pretpostaviti kako su na njegov kasniji interes za matematiku, logiku i filozofiju barem djelomično utjecali otac Alexander i majka Auguste, koji su u Wismaru bili ravnatelji škole, dok mu je majka bila i potomkinja Philipa Melanchthona, reformatora i bliskog suradnika Martina Luthera. Uz to, Fregeov otac Alexander u drugoj polovici 1800-tih objavljuje svojevrsni priručnik za njemački jezik namijenjen djeci između devete i trinaeste godine života (*Hülfsbuch zum Unterrichte in der deutschen Sprache für Kinder von 9 bis 13 Jahren*), u kojemu naglasak stavlja na samu logičnost jezika. Dalo bi se zaključiti kako je Frege u Wismaru živio sve do 1869. jer je u razdoblju od 1864. pa do 1869. godine pohađao tamošnju gimnaziju², a nakon toga odlazi na Sveučilište u Jeni, gdje počinje njegova znanstvena karijera.

1.2. Studij u Jeni i Göttingenu

Frege u Jenu dolazi 1869. godine na studij kemije, matematike i filozofije, gdje sluša i predavanja fizičara Ernsta Abbea, koji kasnije postaje Fregeov mentor i preporučuje ga na mjesto profesora na Sveučilištu u Jeni.³ Nakon četiri semestra u Jeni, Frege 1871. godine odlazi na Sveučilište u Göttingenu gdje nastavlja svoj studij kemije, matematike i filozofije, no odabire još i fiziku kao još jedan od smjerova u svom fakultetskom obrazovanju. Za vrijeme studija u Göttingenu sluša predavanja filozofa Hermanna Lotzea, za kojeg se navodi kako je izravno utjecao na Fregeova kasnija filozofska razmišljanja.⁴ Bez obzira na Fregeov doprinos filozofiji kao nauci, 1873. godine doktorirao je matematiku (konkretno, geometriju) pod mentorstvom profesora Ernsta Scheringa i to s disertacijom naslovljenom *Über eine geometrische Darstellung der imaginären Gebilde in der Ebene*. Frege svoj rad sažima u sljedeću rečenicu: „Geometrijskim prikazivanjem zamišljenih oblika u ravnini moguća je svojevrsna

² Kevin C. Klement, „Gottlob Frege (1848-1925)“, <https://iep.utm.edu/frege/> (pristup: 20.02.2021.).

³ Isto

⁴ Isto

korelacija, a na temelju koje svaki stvarni ili imaginarni element te ravnine ima stvarni, intuitivni element koji mu odgovara“.⁵ Ubrzo nakon stjecanja titule doktora znanosti, Frege se 1874. godine vraća na Sveučilište u Jeni, gdje i ostaje sve do umirovljenja 1917. godine.

1.3. Privatni život

O Fregeovu obiteljskom životu zna se vrlo malo, no poznato je kako je 1887. oženio Margaretu Lieseburg, koja mu je rodila dvoje djece, no koja su preminula vrlo mlada, a kasnije posvajaju sina Alfreda. U dnevniku koji je vodio potkraj svoga života, točnije 1924. godine, a koji je objavljen tek 1994. godine, piše kako je pobornik antisemitizma i ideje progona Židova iz Njemačke te snažni protivnik katoličanstva, što mnogi povezuju uz njegov odgoj u strogoj i discipliniranoj luteranskoj obitelji.⁶ Njegovo političko opredjeljenje uvelike je vezano uz monarhiju, tj. vojvodstvo Mecklenburg, a protivio se socijalizmu i demokraciji, političkim ideologijama koje su se početkom 20. stoljeća sve više širile zapadnom Europom. Nije bio pobornik ideje o davanju prava glasa svima, bez obzira na podrijetlo, status, etničku pripadnost i drugo, iako nije zabilježeno da je svoja stajališta ikada javno iznosio. Göttlob Frege umro je 26. srpnja 1925. godine u Bad Kleinenu, nedaleko rodnog Wismara, u dobi od 76 godina.

1.4. Znanstveni rad

Iako mu za života ni jedno objavljeno djelo nije dobilo dobre kritike, niti se na njega gledalo kao ozbiljnog i inovativnog autora, Fregeova su djela nakon njegove smrti konačno prepoznata i danas se Frege smatra jednim od najvećih logičara 19. stoljeća. Važno je napomenuti kako je Frege prvenstveno matematičar, iako su njegove ideje i teorije uvelike potpomogle razvoju logike i unaprijedile filozofiju jezika kao i druge filozofske discipline. Kada govorimo o Fregeu i njegovu radu na područjima logike, matematike i filozofije (pritom ponajviše filozofije jezika), važno je istaknuti kako je Frege prvi izveo definiciju kardinalnoga broja, tj. onoga broja koji označava broj

⁵ H. Kaal, „On a Geometrical Representation of the Imaginary Forms in the Plane“, u: B. McGuinness (ur.), *Collected Papers on Mathematics, Logic, and Philosophy*, Blackwell, Oxford, 1984., str. 1-55, ovdje str. 1.

⁶ Michael A.E. Dummett, „Gottlob Frege“, <https://www.britannica.com/biography/Gottlob-Frege> (pristup: 20.02.2021.).

elemenata u nekome skupu. U svom djelu *Begriffsschrift*, objavljenom 1879. godine, uvodi pojam notacije kvantifikatora, pri čemu mjesto argumenta (referirajući se na govorni jezik) ispunjava promjenjivo slovo – Frege za primjer navodi X, a rezultirajući izraz s prefiksom kvantifikatora.⁷ Bitan je i njegov doprinos na području filozofije matematike, za koju tvrdi da je neosporno vezana uz logiku, dapače, da je aritmetika dio logike i iz nje se može izvesti te se, sukladno tome, Frege naziva ocem logike.

⁷ Isto

2. Znanstveni život

2.1. Početak rada na sveučilištu u Jeni

Godine 1874. Frege se vraća na Sveučilište u Jeni, ovoga puta kao predavač i to zahvaljujući svom bivšem profesoru i mentoru – Ernstu Abbeu. Abbe je kao cijenjeni stručnjak s područja fizike i dugogodišnji profesor na Jeni bio u poziciji Fregea predložiti na mjesto predavača (*Privatdozent*). Frege je na Jeni radio kao profesor sve do svog umirovljenja 1917. godine, a poznato nam je kako u prvih pet godina svog rada na Sveučilištu nije primao plaću, već ga je financijski podupirala majka.⁸ Prvi opširniji rad u Fregeovu znanstvenoistraživačkom opusu upravo je njegov rad kojim je, dakako i uz Abbeovu pomoć, došao do pozicije predavača, pod naslovom *Rechnungsmethoden, die auf eine Erweiterung des Grössenbegriffes gründen (Metode izračuna temeljene na razradi pojma jakosti)*, a jednim dijelom obuhvaća i teoriju složenih matematičkih funkcija, svojevrsnu srž Fregeove matematičke logike.⁹ Pet godina kasnije, 1879, objavljuje čuveno djelo *Begriffsschrift (Pojmovno pismo)* i ubrzo nakon promaknut je u docenta i predaje matematiku na Sveučilištu, iako objavljivanje *Begriffsschrifta* vrlo vjerojatno nije utjecalo na stjecanje te titule jer u ondašnjim znanstvenim i sveučilišnim krugovima nije bilo prepoznato kao inovativno ni značajno.

2.2. Matematika i logika; djela i radovi

Frege 1879. godine objavljuje svoje prvo značajno djelo s područja logike pod nazivom *Begriffsschrift (Pojmovno pismo)*, koje u ono vrijeme nije bilo shvaćeno ozbiljno, a Fregeovi kolege smatrali su da se Frege ne nadovezuje na već postojeće postulate i renomirane autore, već predstavlja nešto što im je bilo u potpunosti nepoznato i novo (istinosne funkcije, argumenti). *Begriffsschrift* je shvaćeno kao djelo prožeto simbolizmom, za razliku od ustaljenih principa direktnog iznošenja činjenica.¹⁰ S obzirom na loše kritike i općenito loš prijem *Begriffsschrifta*, Frege odlučuje napisati rad u kojem će svoje ideje i viđenje logike opisati *uobičajenim* jezikom, no i dalje stavljajući naglasak na kontriranje dotadašnjim ustaljenim logičkim stavovima i

⁸ Kevin C. Klement, „Gottlob Frege (1848-1925)“.

⁹ Isto

¹⁰ R. Mendelsohn, *The Philosophy of Gottlob Frege*, Cambridge University Press, Cambridge, 2005, str. 2.

praksama.

Narednih pet godina posvetio je stvaranju djela *Die Grundlagen der Arithmetik. Eine logisch-mathematische Untersuchung über den Begriff der Zahl (Osnove aritmetike. Logičko – matematičko istraživanje pojma broja)*, koje je objavljeno 1884. godine. Fokus je stavljen na logičko shvaćanje matematike, kao i logički pristup matematici te nastoji pokazati da se aritmetika zasniva na čisto logičkim načelima (shvaćanje koje se obično naziva logicizmom) pa na toj osnovi nudi definiciju pojma broja. Ovdje Frege iznosi svoje ideje o definiranju pojma broja, a bavi se i značenjem pa naglašava kako značenje riječi ovisi o kontekstu, tzv. kontekstualni princip ili načelo kontekstualnosti. Baš kao ni *Begriffsschrift*, ni ovo djelo, u vrijeme kada je objavljeno, nije se prepoznalo kao značajno. Iako 1879. godine dobiva titulu izvanrednog profesora na Sveučilištu u Jeni i nastavlja raditi kao profesor matematike, Frege se nakon dva neuspješna i kritički vrlo loše percipirana djela sve više okreće filozofiji jezika. U razdoblju od 1891. do 1892. godine objavljuje svoja tri najpoznatija znanstvena rada – '91. izlazi *Funktion und Begriff (Funkcija i koncept)*, godinu dana kasnije objavljuje *Über Sinn und Bedeutung (O smislu i referenci)*, a nedugo zatim i *Über Begriff und Gegenstand (O pojmu i predmetu)*.

Proći će četiri godine do njegove sljedeće publikacije pa tako 1893. godine objavljuje *Grundgesetze der Arithmetik (Osnovni zakoni aritmetike)*, djelo koje se nadovezuje na njegova dva prethodno objavljena djela. Frege u prvom svesku predstavlja novi logički jezik koji tada koristi kako bi definirao prirodne brojeve, kao i njihova svojstva i neumorno radi na pisanju drugoga sveska. U međuvremenu prima pismo od Bertranda Russella, koji mu ukazuje kako prvi svezak obiluje kontradikcijama i na postojanje paradoksa u teoriji skupova koju Frege iznosi (Russellov paradoks). Nakon tri neuspješna i nezapažena djela, Frege odustaje od daljnjeg rada na opsežnim tekstovima te se njegov daljnji pismeni rad sastoji od stručnih radova. U razdoblju od 1904. do svog umirovljenja sa Sveučilišta u Jeni 1917. godine objavljuje još šest radova s područja matematike i geometrije, a kasnije, 1920-ih godina još nekoliko radova u kojima se vraća logici i filozofiji jezika.

2.3. Filozofija jezika

1892. Frege objavljuje rad *Über Sinn und Bedeutung (O smislu i referenci)* u kojem naglašava kako mora postojati razlika između pojmova smisla i reference. Frege zaključuje kako je referenca neke rečenice upravo njena istinita (istinosna) vrijednost, dok je njezin smisao ona misao koju rečenica izražava. Smisao je, prema Fregeu, određen nazivom, tj. imenom, bez obzira na to ima li referencu. Kao takav, smisao različitih naziva/imena je različit čak i kad je njihova referenca ista. Iste godine objavljuje *Über Begriff und Gegenstand (O pojmu i predmetu)* u kojem razrađuje teoriju da se svaka smisljena rečenica sastoji od izraza (objekt) i pojma (predikat). Uz navedeno, Frege se dotiče i (logičkog) načela kompozicije, koje pojednostavljeno objašnjava kako je značenje složenih izraza određeno značenjima njihovih sastavnih izraza te pravilima koja se koriste za njihovo kombiniranje, a naziva se i Fregeovim načelom, iako će se mnogi složiti kako se ideja načela kompozicije može pronaći u ranijim radovima engleskog logičara i matematičara Georgea Boolea.

Još jedno nezaobilazno načelo kada govorimo o Fregeovoj filozofiji jezika je *načelo kontekstualnosti*, čija je bit sadržana u prethodno spomenutoj tvrdnji kako se značenje neke riječi može i mora iščitati samo iz konteksta. U *Grundlagen der Arithmetik* Frege navodi kako je važno jasno odvojiti psihološko od logičkog, kao i subjektivno od objektivnog. Smisao i značenje riječi nikada se ne traži izolirano, već u kontekstu, a pritom na umu treba imati razliku između pojma i predmeta, odnosno subjekta i objekta.

3. Načelo kontekstualnosti

3.1. Načelo kontekstualnosti prije *Grundlagena*

Dušan Dožudić u svom radu *Fregeovo načelo kontekstualnosti* navodi da se načelo kontekstualnosti načelno može podijeliti na semantičko i epistemičko¹¹. Kada govorimo o semantičkom načelu, najjednostavnije bismo ga mogli opisati kao načelo koje se temelji na analizi riječi/jezika i utvrđivanju srodnosti pojma. Epistemičko ili epistemološko odnosi se, pak, na istinitost i objektivnost, točnije spoznaju. U Fregeovim ranije objavljenim radovima, poput *Begriffsschrift*, ne govori se direktno o načelu kontekstualnosti, niti je ono uopće spomenuto kao takvo. Ipak, rad u kojem se već pomalo naziru ideje koje Frege predstavlja u *Grundlagenu* je članak pod nazivom *Booles rechnende Logik und die Begriffsschrift*, objavljen između 1880. i 1881. godine. Frege u *Grundlagenu* čvrsto stoji iza ideje da se značenje ili smisao riječi nikada ne traži zasebno (izolirano), već u kontekstu, a ta se misao može iščitati i u ulomku spomenutog Fregeova članka: „Pa tako umjesto sastavljanja suda od individue kao subjekta i već unaprijed formiranog pojma kao predikata, činimo suprotno, te dolazimo do pojma rastavljajući sadržaj mogućega suda. [...] Stoga se u pojmovnom pismu [svojsva i relacije koje nije moguće dalje analizirati] nikada ne pojavljuju zasebno, već uvijek u kombinacijama koje izražavaju sadržaje mogućega suda. Mogao bih to usporediti s ponašanjem atoma: pretpostavljamo kako atom nikada nije moguće naći zasebno, već samo kombinirano s drugima, izlazeći iz jedne kombinacije samo kako bi odmah ušao u drugu.“¹² U članku Frege spominje i tri vrlo važne odrednice – *značenje, istovjetnost i određeni član*. Ta će tri pojma u *Grundlagenu* biti ključne odrednice samoga rada.¹³

Begriffsschrift se uzima kao jedno od Fregeovih najznačajnijih djela, no kada govorimo o načelu kontekstualnosti, sasvim je jasno da u njemu ne postoje ni natruhe ideja koje čine okosnicu *Grundlagena*. Dapače, oba je djela, uključujući i članak *Booles rechenende Logik und die Begriffsschrift*, potrebno gledati kao zasebne cjeline i kao svojevrsnu komparaciju Fregeovih ideja. *Begriffsschrift* objedinjuje matematičku i

¹¹ Dušan Dožudić, *Fregeovo načelo kontekstualnosti*, Hrvatski studiji – Studia Croatica, Zagreb, 2004., str. 40

¹² Gottlob Frege, „Boole's logical Calculus and the Concept-script“ [Booles rechnende Logik und die Begriffsschrift], u: H. Hermes, et al (ur.), *Gottlob Frege, Posthumous Writings*, Basil Blackwell, Oxford, str. 9-46, ovdje 17

¹³ D. Dožudić, *Fregeovo načelo kontekstualnosti*, str. 41

logičku problematiku i predstavlja neke nove ideje. *Booles rechnende Logik und die Begriffsschrift* tekst je u kojem Frege već polako formira sve veća zanimanja za jezik, dok je *Grundlagen* uistinu djelo koje zaslužuje najviše pažnje i čitanja, čemu u prilog ide i činjenica da je ono, s Fregeovim načelom kontekstualnosti, uvelike utjecalo na kasnije filozofe poput L. Wittgensteina i B. Russella.

3.2. Načelo kontekstualnosti u *Grundlagenu*

Grundlagen (1884.) se smatra Fregeovim kapitalnim djelom. Ako išta, ono je i dalje čvrsti dokaz da je Frege ponajprije matematičar i logičar, no *Grundlagen* je istovremeno i odličan pokazatelj kako se ne može umanjiti njegov značaj na području filozofije, konkretno filozofije jezika. Uvod u ovo djelo započinje kritikom na dotadašnje shvaćanje i definiranje pojma broja te Frege predstavlja svoje viđenje istoga, istovremeno povlačeći paralele s jezičnim elementima. Srž načela kontekstualnosti, koje je u središtu ovoga rada, svodi se na tri bitne odrednice, kao što Frege navodi u uvodu *Grundlagena*: „U ovome sam istraživanju kao načela utvrdio sljedeće: oštro valja lučiti psihološko od logičkoga, subjektivno od objektivnoga; o značenju riječi treba pitati u kontekstu rečenice, a ne u njihovoj pojedinačnosti; pred očima valja imati razliku između pojma i predmeta.“¹⁴ Kod prve je odrednice važno napomenuti kako upravo u njoj i leži Fregeova definicija pojma broja jer je psihološko neosporno vezano uz subjektivno, a Frege matematiku shvaća kao potpuno objektivnu znanost, neovisnu o ljudskoj misli i poimanju. Vrlo razumljiv primjer tog njegovog stava dan je u §47: „Da navođenje broja izražuje nešto činjenično, neovisno o našem shvaćanju može čuditi samo one koji pojam drže za nešto subjektivno, jednako predodžbi. No taj je nazor pogrešan. Ako npr. pojam tijela podredimo pojmu teškoga ili pojam kita pojmu sisavca, onda time tvrdimo nešto objektivno. Kad bi pojmovi bili subjektivni, tada bi podređenost jednoga pojma drugome, kao njihova međusobna veza također bila nešto subjektivno [...] "svi kitovi su sisavci" [...] Iako se naša rečenica može opravdati samo promatranjem pojedinih životinja, to ipak ništa ne dokazuje o njezinu sadržaju. [...] Ako je pojam nešto objektivno, onda i iskaz o njemu može sadržavati nešto činjenično.“¹⁵

Nadalje, Frege nastoji redefinirati pojam broja, istodobno se oslanjajući na jezične

¹⁴ Gottlob Frege, *Osnove aritmetike i drugi spisi*, Kruzak, Zagreb, 1995., str. 20

¹⁵ Isto, str. 77

elemente, tj. dajući primjere kako samo spominjanje brojeva u sebi sadrži iskaz o određenom pojmu: „To je možda najjasnije u slučaju broja 0. Ako kažem 'Venera ima 0 mjeseca', onda uopće ne postoji mjesec ili agregat mjeseca o kojemu bi se nešto moglo iskazati, nego se time pojmu 'Venerin mjesec' pridaje neko svojstvo, naime svojstvo da pod sobom ne obuhvaća ništa. Ako kažem "carevu kočiju vuku četiri konja", onda broj četiri pridajem pojmu "konj koji vuče carevu kočiju".“¹⁶

Kada bi se *Grundlagen* sudio prema uvodu, lako bi se moglo zaključiti kako je Fregeova zaokupljenost kontekstom i kontekstualnošću nešto što će biti *lajtmotiv* cjelokupnog rada, no to nije točno. *Grundlagen* je djelo koje se prvenstveno bavi matematičkim (ili bolje, aritmetičkim) problemima, no ne smije se zanemariti i značajna jezično-filozofska nota. Kontekst je za Fregea neizbježna odrednica koja naprosto mora postojati kako bi ono što je izgovoreno imalo smisao, a kada kakva cjelina ima smisao, onda i njeni dijelovi dobivaju svoj sadržaj: „[...] Pred očima uvijek moramo imati potpunu rečenicu. Zapravo samo u njoj riječi imaju neko značenje. Nutarnje slike koje pritom možda imamo pred očima ne moraju odgovarati logičkim sastavnim dijelovima suda. Dovoljno je ako rečenica kao cjelina ima smisao; time i njezini dijelovi dobivaju svoj sadržaj.“¹⁷ Cijeli središnji dio za ovaj je rad, koji je fokusiran na kontekstualnost, zapravo, manje bitan. Frege će se letimično nadovezati na već prethodne iskaze, no u središtu će biti broj i pojam broja (kao i pojedina problematika kojom se bavi već i u *Begriffsschriftu*) te osvrtnje na prethodnike poput Humea, Schrödera i dr. Kao što navodi i Dožudić, Frege se ponovno nadovezuje na pojam konteksta tek na samom kraju, prije zaključka, pritom se referirajući i dopunjujući već iskazano – konkretno, o važnosti konteksta naspram pojedinačnosti te distanciranjem od psihološkoga: „[...] Pokazalo se da se broj kojim se bavi aritmetika ne smije shvatiti kao nesamostalan atribut, nego supstantivno. Broj se tako pojavio kao predmet koji se daje prepoznati, iako ne kao fizikalni ni samo prostoran, a ni kao ono o čemu pomoću moći uobrazilje možemo stvoriti sliku. Potom smo postavili načelo da se značenje neke riječi ne smije objašnjavati pojedinačno, nego u kontekstu rečenice, a mislim da jedino držimo li se toga možemo izbjeći fizikalno shvaćanje broja, a da ne zapadnemo u psihološko. [...]“¹⁸

¹⁶ Isto, str. 78

¹⁷ Isto, str. 87/88

¹⁸ Isto, str. 132

Ono što predstavlja problem *Grundlagena*, kada je riječ o kontekstualnosti, jest kontradikcija koja se može iščitati iz Fregeovih tvrdnji i njima pridruženih primjera. Prvotno se nameće ideja da se značenje riječi ne može iščitati iz nje same, već samo u kontekstu, a kasnije u §60 da dijelovi rečenice, ako je ona smisljena cjelina, dobivaju svoj sadržaj. Upravo su zbog takvih kontradikcija Fregeova stajališta o kontekstualnosti bila otvorena za pojedinačne interpretacije njegovih kasnijih proučavatelja. Frege je svojim *Grundlagenom*, ponajviše svojom idejom kontekstualnosti, utjecao na kasnije filozofe, a ovdje se može istaknuti Wittgenstein kao jedan od značajnijih *sljedbenika*. S obzirom na to da pojam kontekstualnosti u *Grundlagenu* nije u središtu samoga rada, već se o njemu govori samo kako bi se поближе predstavila problematika definiranja pojma broja, kontekstualnost je pojam koji je kasnijim filozofima, upravo poput Wittgensteina, bio otvoren za vlastitu interpretaciju. Poznato nam je kako je Frege nakon *Grundlagena* i manjka interesa za problematiku koja je u djelu razrađena odustao od daljnjeg objavljivanja radova na tu temu te se pred kraj svoga života više bavio filozofijom jezika, no ti se radovi više ne bave konceptom kontekstualnosti.

3.3. Formulacije načela kontekstualnosti

Kada govorimo o pojmu kontekstualnosti u *Grundlagenu*, ono se načelno sastoji od tri bitne odrednice ili formulacije (spomenute u prethodnom poglavlju), a Dožudić navodi i četvrtu. Dožudić u svom radu ove formulacije označava simbolima f_1 , f_2 , f_3 (i f_4)¹⁹, a ovaj će se rad poslužiti Dožudićevom sistematikom. F_1 podrazumijevalo bi odrednicu da se o značenju riječi treba pitati u kontekstu rečenice, ne izolirano, a o tome Frege govori već na samome početku *Grundlagena*. Ipak, sadržajni primjer moguće je pronaći u §60: „[...] Tako se za neku riječ za koju nam nedostaje odgovarajuća nutarnja slika čini kako nema sadržaj. Pred očima uvijek moramo imati potpunu rečenicu. Zapravo samo u njoj riječi imaju neko značenje. [...]”²⁰

F_2 , i jedna od kontradiktornih definicija spomenutih u prethodnom poglavlju, jest ona kojom Frege određuje da je dovoljno da rečenica kao cjelina bude smisljena te, sukladno tome, i njeni dijelovi dobivaju svoj sadržaj: „[...] Dovoljno je ako rečenica kao cjelina ima smisao; time i njezini dijelovi dobivaju svoj sadržaj. Čini mi se da ova napomena

¹⁹ D. Dožudić, *Fregeovo načelo kontekstualnosti*, str. 36-40

²⁰ G. Frege, *Osnove aritmetike i drugi spisi*, str. 87

može baciti svjetlo na mnoge teške pojmove, kao što je pojam beskonačno malenoga, a njezin se domet sigurno ne ograničuje na matematiku. [...]“²¹

F₃ moguće je iščitati i u §60, no bolji je primjer onaj u §62: „Ako o broju ne možemo imati nikakvu predodžbu ili zor, kako nam onda broj treba biti dan? Riječi nešto znače samo u kontekstu nekoga stavka. Stvar je dakle u tome da se objasni smisao stavka u kojemu se pojavljuje brojka.“²² Treća formulacija se, dakle, sastoji u tome da riječi imaju značenje samo u kontekstu rečenice. Kao četvrtu formulaciju (f₄) Dožudić uzima onu iz zaključka *Grundlagena* (§106): „[...] Potom smo postavili načelo da se značenje neke riječi ne smije objašnjavati pojedinačno, nego u kontekstu rečenice, a mislim da jedino držimo li se toga možemo izbjeći fizikalno shvaćanje broja, a da ne zapadnemo u psihološko. [...]“²³

Kada govorimo o ovim četirima formulacijama, bitno je naglasiti kako se Frege koristi različitom terminologijom te kroz poglavlja u *Grundlagenu* naglasak stavlja na različite pojmove. Kao što navodi i Dožudić, u f₁ upotrijebljen je glagol *pitati* – „[...] o značenju riječi treba se pitati u kontekstu rečenice, a ne izolirano“, dok u f₄ ne „pitamo“, već „objašnjavam“ – „[...] značenje neke riječi ne smije objašnjavati pojedinačno, nego u kontekstu rečenice.“ Dakako, Frege nedvojbeno želi iskazati isto ono što je sadržano u f₁, no bitno je primijetiti kako postoji sadržajna razlika. Dožudić navodi kako se izraz *pitati* u f₁ može shvatiti dvosmisleno i dovodi ga u vezu s pojmom *znati*, tj. *znanje*²⁴. Ako znamo da je prva formulacija sadržana u „želi li se znati značenje riječi, o njemu se treba pitati u kontekstu rečenice“, može se reći kako se radi o vrlo dobroj opservaciji te da *pitanje* i *znanje* u tom pogledu doista i jesu u bliskoj vezi jedno s drugim. Kada govorimo o f₂ i f₃, obje se formulacije temelje na istoj zamisli – onoj da kontekst kakve rečenice uvjetuje značenje riječi u istoj toj rečenici. Preduvjet koji postoji u f₂ je taj da rečenica naprosto mora biti smisljena (smisljena cjelina) kako bismo uopće i mogli govoriti o ikakvom značenju njenih dijelova, tj. riječi koje je tvore. Kao što je spomenuto, f₄ zapravo je ponavljanje formulacije f₁, no kao što navodi i Dožudić, f₄ ukazuje na f₂ i f₃, a već spomenuto *objašnjenje*, navodi, Frege mjestimično koristi kao

²¹ Isto, str. 88

²² Isto, str. 89

²³ Isto, str. 132

²⁴ D. Dožudić, *Fregeovo načelo kontekstualnosti*, str. 16

sinonim za *definiciju*²⁵. Ono što je moguće zaključiti iz toga je kako se uistinu radi o dva bliskoznačna, no nikako istoznačna pojma, te se ni u kom slučaju ne može govoriti o mijenjaju značenja samih iskaza. Na kraju se još valja dotaknuti prve formulacije (f₁) – ako govorimo o pronalaženju značenja neke riječi u kontekstu, što je bit ove formulacije, znači da je u njoj uspostavljena i subjektivna instanca. Dakle, najprije mora postojati subjekt, tj. osoba, prema Dožudiću, koja će uopće razmišljati i pitati se o značenju pojedine riječi kako bi spomenuta formulacija uopće bila valjana.

²⁵ D. Dožudić, *Fregeovo načelo kontekstualnosti*, str. 17

4. Google BERT

4.1. Povijest Googleovih algoritama do BERT-a

Kada je riječ o algoritmima koje je Google razvijao unazad desetak godina na svojoj tražilici najprije je potrebno objasniti kako su algoritmi vrlo složen sustav koji se koristi za dobavljanje, tj. dohvaćanje podataka iz indeksa pretraživanja sa svrhom pružanja najboljih i najtočnijih mogućih rezultata, koji odgovaraju postavljenom upitu. Googleov *search engine*, odnosno tražilica, funkcionira na temelju kombiniranih algoritama i brojnih čimbenika rangiranja te, sukladno s time, korisniku prikazuje web stranice rangirane po relevantnosti.

Od 2009. pa sve do 2011. godine Google je algoritme većinom usavršavao većim ažuriranjima pa je tako prvi značajniji algoritam bio *Panda*, predstavljen početkom 2011. godine. „Iako je *Panda* iz današnje perspektive manje značajan algoritam, važno ga je spomenuti jer je s njime došlo do pomaka pri utvrđivanju relevantnosti i točnosti pretraživanih informacija.“²⁶ Dobro je spomenuti i *Venice* iz 2012. s kojim su rezultati pretraživanja uključili stranice na temelju postavljene lokacije ili IP adrese korisnika. Iste godine dolazi do još dva ažuriranja – *Penguin* i *Pirate*, no mnogo značajniji je *Hummingbird* iz 2013. *Hummingbird* je postavio temelj za Googleovo glasovno pretraživanje, a najbitnija je novost ta da algoritam sada počinje prepoznavati kontekst umjesto da stavlja naglasak na značenje samih riječi, tj. *Hummingbird* uzima u obzir cijelu frazu. Na taj način korisnik na svoj upit dobiva koliko-toliko konkretan odgovor umjesto dotadašnjeg popisa rezultata.“²⁷ U sljedeće dvije godine pojavljuju se *Pigeon* (2014.) i *Mobilegeddon* (2015.), a 2016. Google uvodi vrlo važna poboljšanja s *RankBrain*. S tim je algoritmom došlo do značajnog pomaka u dešifriranju značenja pretraživanja jer funkcionira na principu nagađanja o riječima koje mu nisu poznate te pronalazi riječi sličnoga značenja te sukladno s time prikazuje najrelevantnije rezultate. Još dva značajnija algoritma, zajedno sa svojim ažuriranjima, bili su *Speed Update* (2017.) i *Medic* iz 2018. godine, a nakon *Medic* Google razvija BERT – svoj najznačajniji i daleko

²⁶ Willemien Hallebeek, „A brief history of Google's algorithm updates“, <https://yoast.com/google-algorithm-updates/> (pristup: 22.05.2021)

²⁷ Isto

najnapredniji algoritam do sada.

4.2. Google BERT

Google BERT, punim nazivom *Bidirectional Encoder Representations from Transformers*, je dosad najnapredniji razvijeni algoritam, a osmislio ga je 2018. godine Googleov softverski inženjer Jacob Devlin, zajedno sa svojim timom. Kao što navodi Brent Csutoras sa *Search Engine Journal*, BERT nije samo algoritam, već se radi i o okviru za obradu prirodnog jezika strojnog učenja (*NLP*).²⁸ Taj okvir podrazumijeva da bi istraživanje obrade prirodnog jezika moglo pridonijeti poboljšanju prirodnog jezika kao takvog.

Spomenuti algoritam *Hummingbird* iz 2013. godine doveo je do pomaka u razumijevanju konteksta, dok je s BERT-om kontekst uistinu došao do izražaja kao jedna od glavnih boljki dosadašnjih algoritama. U uporabi od 2019. godine, BERT je algoritam nove generacije koji prepoznaje kontekst i odnose svih riječi od kojih se rečenica sastoji, za razliku od prijašnjih ažuriranja u kojima su se prepoznavale riječi i njihova pojedinačna značenja, a da pritom kontekst nije uzet u obzir. „U suštini, BERT tražilici pomaže shvatiti koje značenje riječi u pretraživanoj rečenici (pojmu) imaju za ljude te time utvrđuje najkvalitetniji i najrelevantniji rezultat upita. Svi algoritmi baziraju se na pet glavnih kategorija: značenje upita, relevantnost web stranica, kvaliteta sadržaja, upotrebljivost web stranica te kontekst i postavke. Tih pet kategorija ključno je kako bi korisnik dobio najbolji mogući odgovor na svoje pretraživanje.“²⁹

BERT je ujedno i glavni razlog zašto je *Google Translate* u posljednje dvije godine postao poprilično pouzdan kada se radi o prijevodima teksta s jednog jezika na drugi, dok je Translate prije bio koliko – toliko pouzdan samo ako je jedan od odabranih jezika bio engleski. „To se promijenilo s ažuriranjem BERT-a u prosincu 2019, s kojim je obuhvaćen povećani broj jezika, pa tako i hrvatski.“³⁰ Google se s algoritmom BERT,

²⁸ Brent Csutoras, „BERT Explained: What You Need to Know About Google's New Algorithm“, <https://www.searchenginejournal.com/bert-explained-what-you-need-to-know-about-googles-new-algorithm> (pristup: 22.05.2021.)

²⁹ Geoff Atkinson, „History of Google Algorithm Updates“, <https://huckabuy.com/2021/01/13/google-algorithm-updates-history/> (pristup: 22.05.2021.)

³⁰ Search Engine Journal, „History of Google Algorithm Updates“, <https://www.searchenginejournal.com/google-algorithm-history/> (pristup: 22.05.2021.)

zapravo, fokusirao na korisnike – njihove razloge pretraživanja i njihov jezik, dok su raniji algoritmi bili fokusirani tek na usustavljanje informacija. Kako je s BERT-om naglasak stavljen na shvaćanje cijelih fraza, tj. konteksta, kao dobar primjer implementacije BERT-a u Google Translate je npr. fraza „Caught red handed“, koju bi Translate prije razvoja BERT-a s engleskog jezika na hrvatski prevodio u doslovnom značenju „Uhvaćen crvenih ruku“ ili „Uhvaćen s crvenim rukama“, dok danas prijevod te iste fraze glasi „Uhvaćen na djelu“. Na primjeru ove fraze jasno vidimo kako *Google Translate*, prvenstveno zahvaljujući BERT-u, sada razumije ne samo kontekst, već i prirodni jezik te značenjske razlike naizgled jednostavne rečenice s obzirom na jezik kojim se određeni korisnik koristi. Kako navodi Googleov Pandu Nayak u tekstu *Understanding searches better than ever before* iz 2019. godine, zahvaljujući BERT-u, Search sada ima mogućnost uviđanja značenjskih razlika kada se radi o sinonimima.

Kao jedan od primjera navodi pretraživani pojam “do estheticians stand a lot at work”, u kojemu je glagol „stand“ (u prijevodu: stajati) prije BERT-a prilikom pretraživanja shvaćen doslovno, dok je nakon pojave algoritma BERT taj isti glagol prepoznat u kontekstu. Dakle, „stand“ se sada ne shvaća doslovno kao „stajati“, već se odnosi na fizičku zahtjevnost posla te sukladno s time korisnik dobiva relevantan i koristan odgovor na pretraživani upit. BERT počinje razumijevati ljudski prirodni jezik, a s time i ljudski način razmišljanja upravo zato što je fokusiran na korisnika. Dakle, sve ono što je BERT „naučio“ na engleskom jeziku primjenjuje se na druge jezike, s obzirom na činjenicu da je najveća količina web sadržaja upravo na engleskom jeziku.³¹

Ipak, važno je napomenuti da, bez obzira na dosadašnji tehnološki napredak, računalo i dalje ne može u potpunosti i savršeno točno „shvatiti“ naoko beznačajne i suptilne nijanse u jeziku u onoj mjeri u kojoj to može čovjek.

4.3. Transformeri³²

4.3.1. RNN

³¹ Pandu Nayak, „Understanding searches better than ever before“, <https://blog.google/products/search/search-language-understanding-bert/> (pristup: 21.04.2021.)

³² 'Transformeri' su autorov slobodan prijevod engleskog *transformers*

Upravo su takozvani *transformeri* i najveće postignuće Google-ovog BERT-a i, vrlo bi se lako moglo reći, cjelokupni princip na kojemu BERT počiva zbog čega su transformeri i završili u samom imenu ove tehnologije (*Bidirectional Encoder Representations from Transformers*). Pokušavajući objasniti važnost BERT-a u procesuiranju i razumijevanju prirodnog jezika, važno je objasniti tehnologiju koja je prethodila BERT-u. Ona se zvala *Recurrent Neural Network* (RNN) i jedna je od modela koje su se dugo koristile za duboko učenje (*deep learning*) i procesuiranje prirodnog jezika. Za funkcioniranje ove tehnologije, slično kao i za BERT, od ključnog su značenja sekvence budući da najmanjom promjenom u rečenici poput promjene redoslijeda riječi moguće je dobiti rečenicu s potpuno drugačijim značenjem. Sekvence koje je RNN odabrao kao nositeljske cjeline značenja bile su *riječi*.³³ Ako bi se, koristeći ovaj model, rečenica s engleskog jezika pokušala prevesti na francuski, RNN bi uzeo danu rečenicu na engleskom, procesuirao bi jednu po jednu riječ i, potom, svaku riječ zasebno prevodio. To je činio zato jer je svaku riječ smatrao kao posebnom sekvencom, odnosno nositeljem značenja. Stoga se ovaj model i naziva *direkcionalnim*³⁴ ili jednosmjernim. Ipak, RNN je imao svojih problema. „Prije svega, ovaj model mučio se s velikim tekstovima poput paragrafa ili eseja jer bi se događalo da kada model stigne do kraja odlomka, zaboravio bi što se događalo na početku, Primjerice, prijevodni model zasnovan na RNN-u mogao je imati problema s pamćenjem roda subjekta dugih odlomaka. Što je još gore, RNN je bilo teško trenirati. Uz to, budući da su obrađivali riječi uzastopno, RNN-ove je bilo teško i paralelizirati što znači da ih nije bilo moguće trenirati na velikim skupovima podataka.“³⁵

4.3.2. Transformeri

Većinu problema koji su sustavi temeljeni na RNN-u imali, BERT je, točnije transformeri su uspješno riješili. Transformeri su razvijeni 2017. godine na Sveučilištu u Torontu i prvenstveno su napravljeni za potrebe prijevoda. Google BERT, tehnologiju temeljenu upravo na transformerima razvio je Jacob Devlin sa svojim timom iz Google-a 2018. godine, a od 2019. godine ova se tehnologija uspješno koristi na popularnim

³³ Dale Markowitz, „BERT Explained: State of the art language model for NLP“, <https://towardsdatascience.com/bert-explained-state-of-the-art-language-model-for-nlp-f8b21a9b6270> (pristup: 20.04.2021.)

³⁴ *Directional*

³⁵ D. Markowitz, „BERT Explained: State of the art language model for NLP“

Google-ovim tehnologijama kao što su *Google Search* i *Google Translate*. Ono što je transformere učinilo toliko velikim dijelom tehnologije današnjice je činjenica da se transformere moglo jako brzo istrenirati, a razlog toga je što ih se moglo odjednom trenirati na ogromnim skupovima podataka što je bio veliki nedostatak RNN-a. Tako je jedan model koji se temelji na transformerima, GPT-3 (Generative Pre-trained Transformers 3 je autoregresivni jezični model koji koristi *deep learning* kako bi stvorio tekst sličan tekstu koji bi napisao čovjek³⁶) bio istreniran na 45 TB podataka, a danas može pisati cijele eseje ili članke. Ono što transformere čini toliko velikim pomakom na području razumijevanja i procesuiranja prirodnog jezika³⁷ je činjenica što je ova tehnologija više nego ikada prije približila tehnologiju razumijevanju ljudi i obrnuto. Tako danas *Google Search* može „razumijevati pretrage bolje, nego ikada prije“³⁸, a *Google Translate* znatno je poboljšao svoje sposobnosti prevođenja teksta. „Za razliku od direkcionalnih modela koji tekst čitaju uzastopno (slijeva udesno ili zdesna ulijevo), *encoder* transformera čita odjednom čitav niz riječi. Stoga se može smatrati dvosmjernim, premda bi se moglo reći i da je bez-smjerman. Ova karakteristika omogućuje modelu da nauči kontekst riječi na temelju svog okruženja (lijevo i desno od riječi).“³⁹ Ono što transformere čini toliko sofisticiranima jest to da su u mogućnosti promotriti kontekst rečenice i na temelju njega donijeti zaključak – bilo da se radi o prijevodu ili nekom drugom zadatku. Transformeri ne bi prevodili riječ po riječ uzastopno kao što su to radili modeli koji se temelje na RNN-u, već bi za njih nositelj značenja bile veće sekvence teksta. Upravo iz razloga što transformeri ne bi prevodili riječ po riječ, već bi prije prijevoda obratili pažnju na riječi s lijeva i desno od riječi koja se trenutno prevodi, oni se mogu nazvati *bidirekcionalnima*, a poradi ovoga moguće je donijeti zaključak da je upravo taj kontekst neizmjerljivo bitan za razumijevanje i procesuiranje ljudskog jezika. Izumitelji transformera ovo su nazvali pažnjom i predložili prošireni model koji osim *encodera* i *decodera* također ima ugrađen i transformer koji se temelji na pažnji: „Dominantni modeli transdukcije sekvence temelje se na složenim rekurentnim ili konvolucijskim neuronskim mrežama koje uključuju *encoder* i *decoder*. Najbolji s

³⁶ Ashley Pilipiszyn, „GPT-3 Powers the Next Generation of Apps“, <https://openai.com/blog/gpt-3-apps/> (pristup : 21.04.2021.)

³⁷ Natural Language Processing

³⁸ Pandu Nayak, „Understanding searches better than ever before“, <https://blog.google/products/search/search-language-understanding-bert/> (pristup: 21.04.2021.)

³⁹ Rani Horev, „BERT Explained: State of the art language model for NLP“, <https://towardsdatascience.com/bert-explained-state-of-the-art-language-model-for-nlp-f8b21a9b6270> (pristup: 21-04.2021.)

najboljim rezultatima povezuju *encoder*, *decoder* kroz mehanizme pažnje. Predlažemo novu jednostavnu mrežnu arhitekturu, transformer zasnovan isključivo na mehanizmima pažnje, oslobađajući se ponavljanja i konvolucija u cijelosti.⁴⁰ Transformeri se danas smatraju posljednjom riječju tehnologije u procesuiranju i razumijevanju prirodnog jezika, a Google je objavio kako je s listopadom 2020. godine, svaka pretraga na engleskom jeziku bila procesuirana od Google BERT-a. Ipak, sami razlozi za BERT-ovo odlično razumijevanje jezika i dalje nisu dovoljno shvaćeni.^{41, 42}

⁴⁰ Ashish Vaswami et al., „Attention Is All You Need“, <https://arxiv.org/pdf/1706.03762.pdf> (pristup: 22.04.2021.)

⁴¹ Kovaleva, Olga; Romanov, Alexey; Rogers, Anna; Rumshisky, Anna (November 2019). "Revealing the Dark Secrets of BERT". *Proceedings of the 2019 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing and the 9th International Joint Conference on Natural Language Processing (EMNLP-IJCNLP)*. pp. 4364–4373. doi:10.18653/v1/D19-1445. S2CID 201645145

⁴² Clark, Kevin; Khandelwal, Urvashi; Levy, Omer; Manning, Christopher D. (2019). "What Does BERT Look at? An Analysis of BERT's Attention". *Proceedings of the 2019 ACL Workshop BlackboxNLP: Analyzing and Interpreting Neural Networks for NLP*. Stroudsburg, PA, USA: Association for Computational Linguistics: 276–286. doi:10.18653/v1/w19-4828

5. Načelo kontekstualnosti i Google BERT

Iako stručna literatura i kreator BERT-a inzistiraju na nazivima poput *bidirekcionalnosti* ili *nedirekcionalnosti*⁴³, ono na što oba ova pojma sugeriraju jest važnost postojanja konteksta za razumijevanje riječi, pojmova, sintagmi, pa dalje rečenica, poglavlja i eseja. Srž ove tehnologije su *transformeri*, a oba ova pojma, i bidirekcionalnost i transformeri, sadržana su u nazivu tehnologije (*Bidirectional Encoder Representations from Transformers*). BERT nije niti ništa drugo nego model reprezentacije jezika⁴⁴, njegov fokus je na jeziku i napravljen je ciljano za bolje razumijevanje prirodnog jezika. Kreator BERT-a, Jacob Devlin, ističe važnost konteksta za ovu tehnologiju: „[...] BERT je dizajniran za učenje bidirekcionalnih prikaza iz neoznačenog teksta uvjetujući se kontekstom riječi s lijeva i desna.“⁴⁵ Važnost konteksta za BERT istaknut će i Pandu Nayak, potpredsjednik Googlea zaposlen u odjelu *search-a* u tekstu „*Understanding searches better than ever before*“. U ovom tekstu Nayak predstavlja postignuća BERT-a, naglašavajući važnost tehnologije za Google-ovu tražilicu. U tekstu, Nayak spominje riječ kontekst tri puta ističući kako će tražilica: „[...] moći prepoznati kontekst u pretrazi korisnika.“⁴⁶ ili kako „BERT-ovi modeli mogu uzeti u obzir potpuni kontekst riječi gledajući riječi koje dolaze prije i nakon [...]“⁴⁷ Ukratko, kontekst je neizostavan dio BERT-a.

Koliko je kontekst bitan za Fregea dovoljno govori činjenica da se načelo kontekstualnosti (barem u filozofskim krugovima⁴⁸) često naziva i *Fregeovim načelom*. Koliko su se Fregeove teorije slijedile, koliko se o njima raspravljalo i koliko su čak bile odbacivane tijekom povijesti pisali su Janssen⁴⁹ i Pelletier⁵⁰, a u kojoj su mjeri Fregeove teorije aktualne i danas, možda najbolje može posvjedočiti ovaj rad. Dožudić je u svojem radu iznio kako se Fregeovo shvaćanje načela kontekstualnosti može podijeliti na

⁴³ Jacob Devlin et al., „BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding“.

⁴⁴ Isto

⁴⁵ Isto

⁴⁶ Pandu Nayak, „Understanding searches better than ever before“, <https://blog.google/products/search/search-language-understanding-bert/> (pristup: 15.05.2021.)

⁴⁷ Isto

⁴⁸ Theo M.V Janssen, „Frege, Contextuality and Compositionality“, *Journal of Logic, Language, and Information*, 2001. (10), 2001., str. 115 – 136, ovdje 115

⁴⁹ Theo M.V Janssen, „Foundations and Applications of Montague Grammar; Part 1: Philosophy, Framework, Computer Science“, *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 1988. (3), 1986., str. N3 – N4, ovdje N3

⁵⁰ Francis Jeffrey Pelletier, „Did Frege Believe Frege's Principle?“, *Journal of Logic, Language, and Information*, 2001. (10), 2001., str. 87 – 114

semantičko i epistemološko⁵¹ ovisno temelji li se ono na analizi riječi/jezika i utvrđivanju srodnosti pojma ili se odnosi na istinitost i objektivnost. Dožudić prepoznaje i četiri formulacije načela kontekstualnosti od kojih njih 3 (f1, f3 i f4) vrlo jednoznačno govore kako se značenje riječi može dobivati tek iz rečenica i konteksta u kojima se riječi koriste i u koji su riječi stavljene. Posljednja formulacija (f2) iskorištena je da se riješi problem pojmova koji se ne ograničavaju samo na matematiku i koji možda niti u kontekstu rečenice neće dobiti svoj *jednoznačan smisao*, već se naglašava važnost smisla cijele rečenice unutar kojega i takvi pojmovi mogu dobiti svoj smisao. Primjer ovoga pojma je *beskonačno malo* što se ne može vizualizirati ili na drugi način jednoznačno označiti, nego samo u kontekstu rečenice ovakvi pojmovi mogu dobiti svoju vrstu *privremenog smisla* koju potom mogu prenositi dalje. Uvjet toga je da su rečenice u kojima nastupaju ovakvi pojmovi, opet, smisljeni.⁵² Frege je u *Grundlagenu* bio veoma strog s kontekstualnošću tako da čak niti brojeve 1 i 2 nije promatrao izolirano. Bio je prilično doslovan kada je u pitanju bila kontekstualnost. Iako nakon toga nije spominjao kontekstualnost (u objavljenim radovima), od kontekstualnosti nije odustao, već je o kontekstualnosti nastavio pričati u neobjavljenim radovima. Ipak, u periodu od 1883. – 1913. dolazi do promjene i Frege više ne govori o kontekstualnosti na isti način. Prvo prihvaća značenje u izolacije znakova za brojeve. Nakon toga govori da je značenje povezano sa svakom riječi u rečenici, ali upozorava da takva značenja ne postoje u izolaciji. Tako da je Frege ostao vjeran kontekstualnosti tijekom cijelog svog znanstvenog života, samo je prešao s *ekstremne kontekstualnosti* na *doslovnu kontekstualnost*.⁵³

Budući da oboje, i Google BERT i načelo kontekstualnosti u svojoj srži ističu važnost konteksta, među njima postoji jako puno onoga što ih veže, no kontekst je ono što ih čini neraskidivo povezanima. Ono što je u tolikoj mjeri unaprijedilo tehnologiju razumijevanja prirodnog jezika je isto ono što je činilo Fregeovu početnu i središnju misao filozofije jezika. Riječi se ne mogu promatrati bez konteksta. Tek u rečenicama, riječi dobivaju svoj smisao i bez konteksta rečenica, one neće biti shvaćene. Tehnologija koja je prethodila BERT-u isprobala je učiniti drugačije, prevoditi riječi linearno ne obazirući se na kontekst u kojima se riječi pojavljuju. Iz toga su proizašli mnogobrojni popularni zabavni prijevodi koji u većini slučajeva nisu sličili ljudskome, prirodnom

⁵¹ D. Dožudić, *Fregeovo načelo kontekstualnosti*, str. 40

⁵² Opaska autora

⁵³ Theo M. V. Janssen, „Frege, Contextuality and Compositionality“, str. 133 - 134

jeziku. Najveći uspjeh BERT-a je, stoga, upravo ovaj kontekst; uzimanje konteksta u obzir. BERT bismo po svemu mogli nazvati uspjehom upravo poradi konteksta. Njegova bidirekcionalnost zapravo niti nije ništa doli kontekstualnost. BERT je u obzir uključio sve riječi u rečenicu, riječi s lijeva i s desna prilikom prevođenja pojedine riječi i pomoću toga je uspio ispravno primjenjivati rod, broj, padež i druge gramatičke odrednice pojedine riječi u kontekstu pojedine rečenice. Ono što je najveća razlika BERT-a i RNN-a je to što je Google BERT pomaknuo nositelja značenja s riječi na rečenicu. A ovo je upravo ono na čemu je Frege inzistirao i što je tijekom cijele svoje znanstvene karijere i zagovarao, i iako je tijekom vremena ublažio svoj stav⁵⁴, bilo bi pogrešno reći kako je Frege od svojeg mišljenja odustao. Upravo zato, filozofi i danas pod pojmom Fregeova načela prepoznaju baš načelo kontekstualnosti.

⁵⁴ Isto

Zaključak

Direktno uspoređivati Fregeovo načelo kontekstualnosti i najnovije dosege tehnologije u procesiranju prirodnog jezika bilo bi nezahvalno. Prije svega jer se niti na jednom mjestu u stručnoj literaturi izumitelji BERT-a ne referiraju na Fregea niti na njegovo načelo kontekstualnosti. Činjenica je da je Google BERT nastao bez direktnog utjecaja Fregeova načela kontekstualnosti. Razlog ovomu vidim u tome što su Google BERT razvili, prije svega, *razvojni programeri*⁵⁵, a ne lingvisti, filozofi ili osobe bliže ili direktnije povezane s istraživanjima jezika i Fregeovim teorijskim postavkama. Zapravo, razvijajući Google BERT i istražujući procesiranje prirodnog jezika od strane tehnologije razvojni programeri stigli su do sličnog zaključka kao i Frege u 19. stoljeću i ustanovili, s potpuno drugačijeg stajališta, koliko je kontekst nedvojbeno važan za jezik – za shvaćanje prirodnog jezika, za mogućnosti prevođenja prirodnog jezika i za sve teme koje se tiču tehnologije i jezika uopće. Iako je Fregeovo načelo kontekstualnosti i Google BERT teško promatrati u direktnoj korelaciji, možda ovaj manjak direktne povezanosti može najbolje i poslužiti kao potvrda Fregeovih teorija napose načela kontekstualnosti. Također, tehnologija vektora koja je sastavni dio tehnologije BERT, upravo funkcionira tako da svaku pojedinačnu riječ prikazuje drugačijim vektorom ovisno o njenom kontekstu što možda i najbolje spaja ovo dvoje.

Fregeovo načelo kontekstualnosti zbilja se i s razlogom može zvati Fregeovim načelom. Theo M.V. Janssen u svom radu *Frege, Contextuality and Compositionality* raspravlja kako se dva načela iz Fregeovih radova nazivaju *Fregeovim načelima* – načelo kontekstualnosti i načelo kompozicionalnosti te zaključuje kako se jedino načelo kontekstualnosti može nazvati Fregeovim jer je ovo načelo tijekom svojeg znanstvenog rada Frege samo malo izmijenio dok se s načelom kompozicionalnosti Frege nikada ne bi složio.⁵⁶ Prema ovome zaključku, načelo kontekstualnosti svakako možemo smatrati temeljnom Fregeovom postavkom od koje nije odustao tijekom cijele svoje znanstvene karijere. Uvidjevši važnost konteksta, Frege je na ovoj postavci pokušao sagraditi cijelu svoju filozofiju i zato je načelo kontekstualnosti od neizmjerne važnosti i neodvojivo od Fregea kao filozofa, logičara i matematičara. Stoga, mogućnost promatranja Fregeovih teorija kroz prizmu novih tehnologija možda obasja neko novo svjetlo na rad ovog

⁵⁵ Developers

⁵⁶ Theo M. V. Janssen, „Frege, Contextuality and Compositionality“, str. 133 - 134

iznimnog znanstvenika.

Popis literature

Atkinson, Geoff, „History of Google Algorithm Updates“, <https://huckabuy.com/2021/01/13/google-algorithm-updates-history/> (pristup: 22.05.2021.).

Baroni, Marco; Bernardi, Raffaella; Zamparelli, Roberto, „Frege in Space: A Program for Compositional Distributional Semantics“, <https://www.aclweb.org/anthology/2014.lilt-9.5.pdf> (pristup: 25.05.2021.).

Clark, Kevin; Khandelwal, Urvashi; Levy, Omer; Manning, Christopher D. (2019). "What Does BERT Look at? An Analysis of BERT's Attention". *Proceedings of the 2019 ACL Workshop BlackboxNLP: Analyzing and Interpreting Neural Networks for NLP*. Stroudsburg, PA, USA: Association for Computational Linguistics.

Csutoras, Brent, „BERT Explained: What You Need to Know About Google's New Algorithm“, <https://www.searchenginejournal.com/bert-explained-what-you-need-to-know-about-googles-new-algorithm> (pristup: 22.05.2021.).

Devlin, Jacob; Chang, Ming-Wei; Lee, Kenton; Toutanova, Kristina, „BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding“, <https://arxiv.org/pdf/1810.04805.pdf> (pristup: 22.05.2021.).

Dožudić, Dušan, „*Fregeovo načelo kontekstualnosti*“, Hrvatski studiji – Studia Croatica, Zagreb, 2004.

Dummett, Michael A.E., „Gottlob Frege“, <https://www.britannica.com/biography/Gottlob-Frege> (pristup: 20.02.2021.).

Gottlob Frege, „Boole's logical Calculus and the Concept-script“ [Booles rechnende Logik und die Begriffsschrift], u: H. Hermes, et al (ur.), *Gottlob Frege, Posthumous Writings*, Basil Blackwell, Oxford, str. 9-46.

Gottlob Frege, *Osnove aritmetike i drugi spisi*, Kruzak, Zagreb, 1995.

Hallebeek, Willemien, „A brief history of Google's algorithm updates“, <https://yoast.com/google-algorithm-updates/> (pristup: 22.05.2021.).

Horev, Rani, „BERT Explained: State of the art language model for NLP“, <https://towardsdatascience.com/bert-explained-state-of-the-art-language-model-for-nlp-f8b21a9b6270> (pristup: 21.04.2021.).

Janssen, Theo M.V., „Foundations and Applications of Montague Grammar; Part 1: Philosophy, Framework, Computer Science“, *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 1988. (3), 1986., str. N3 – N4

Janssen, Theo M.V., „Frege, Contextuality and Compositionality“, *Journal of Logic, Language, and Information*, 2001. (10), 2001., str. 115 – 136.

Kaal, H., „On a Geometrical Representation of the Imaginary Forms in the Plane“, u: B. McGuinness (ur.), *Collected Papers on Mathematics, Logic, and Philosophy*, Blackwell, Oxford, 1984., str. 1-55.

Klement, Kevin C., „Gottlob Frege (1848-1925)“, <https://iep.utm.edu/frege/> (pristup: 20.02.2021.).

Kovaleva, Olga; Romanov, Alexey; Rogers, Anna; Rumshisky, Anna (November 2019). "Revealing the Dark Secrets of BERT". *Proceedings of the 2019 Conference on Empirical*

Methods in Natural Language Processing and the 9th International Joint Conference on Natural Language Processing (EMNLP-IJCNLP).

Markowitz, Dale, „BERT Explained: State of the art language model for NLP“, <https://towardsdatascience.com/bert-explained-state-of-the-art-language-model-for-nlp-f8b21a9b6270> (pristup: 20.04.2021.).

Mendelsohn, Richard, *The Philosophy of Gottlob Frege*, Cambridge University Press, Cambridge, 2005.

Nayak, Pandu, „Understanding searches better than ever before“, <https://blog.google/products/search/search-language-understanding-bert/> (pristup: 21.04.2021.).

Pelletier, Francis Jeffry, „Did Frege Believe Frege's Principle?“, *Journal of Logic, Language, and Information*, 2001. (10), 2001., str. 87 – 114

Pilipiszyn, Ashley, „GPT-3 Powers the Next Generation of Apps“, <https://openai.com/blog/gpt-3-apps/> (pristup : 21.04.2021.).

Puryear, Stephen, „Frege on Vagueness and Ordinary Language“, *The Philosophical Quarterly*, 1950. (63), 2013., str. 120 – 140.

Search Engine Journal, „History of Google Algorithm Updates“, <https://www.searchenginejournal.com/google-algorithm-history/> (pristup: 22.05.2021.).

Vaswani, Ashish; Shazeer, Noam; Parmar, Niki; Uszkoreit, Jakob; Jones, Llion; Gomez, Aidan N.; Kaiser, Łukasz, „Attention Is All You Need“, <https://arxiv.org/pdf/1706.03762.pdf> (pristup: 22.04.2021.).