

UNIVERSITY OF LJUBLJANA  
FACULTY OF COMPUTER AND INFORMATION SCIENCE

Romana Grilj

**Performance comparison of open  
source and commercial information  
extraction tools**

MASTER'S THESIS  
THE 2<sup>ND</sup> CYCLE MASTER'S STUDY PROGRAMME  
COMPUTER AND INFORMATION SCIENCE

SUPERVISOR: doc. dr. Slavko Žitnik

Ljubljana, 2023



UNIVERZA V LJUBLJANI  
FAKULTETA ZA RAČUNALNIŠTVO IN INFORMATIKO

Romana Grilj

**Primerjava uspešnosti odprtokodnih  
in komercialnih orodij za luščenje  
podatkov**

MAGISTRSKO DELO  
MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM DRUGE STOPNJE  
RAČUNALNIŠTVO IN INFORMATIKA

MENTOR: doc. dr. Slavko Žitnik

Ljubljana, 2023



To delo je ponujeno pod licenco *Creative Commons Priznanje avtorstva-Deljenje pod enakimi pogoji 2.5 Slovenija* (ali novejšo različico). To pomeni, da se tako besedilo, slike, grafi in druge sestavine dela kot tudi rezultati diplomskega dela lahko prosto distribuirajo, reproducirajo, uporabljajo, priobčujejo javnosti in predelujejo, pod pogojem, da se jasno in vidno navede avtorja in naslov tega dela in da se v primeru spremembe, preoblikovanja ali uporabe tega dela v svojem delu, lahko distribuira predelava le pod licenco, ki je enaka tej. Podrobnosti licence so dostopne na spletni strani [creativecommons.si](http://creativecommons.si) ali na Inštitutu za intelektualno lastnino, Streliška 1, 1000 Ljubljana.



Izvorna koda diplomskega dela, njeni rezultati in v ta namen razvita programska oprema je ponujena pod licenco GNU General Public License, različica 3 (ali novejša). To pomeni, da se lahko prosto distribuira in/ali predeluje pod njenimi pogoji. Podrobnosti licence so dostopne na spletni strani <http://www.gnu.org/licenses/>.



## ACKNOWLEDGMENTS

*Worth mentioning in the acknowledgment is everyone who contributed to your thesis.*

*Romana Grilj, 2023*





To all the flowers of this world.

*"The only reason for time is so that  
everything doesn't happen at once."*

— Albert Einstein



# Contents

**Abstract**

**Povzetek**

<b>1</b>	<b>Uvod</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Kaj pa literatura?</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Opis ponudnikov in storitev</b>	<b>5</b>
3.1	Hugging Face . . . . .	5
3.2	Google Cloud . . . . .	6
3.3	Amazon Web Services . . . . .	7
3.4	Azure . . . . .	7
<b>4</b>	<b>Izbrana področja uporabe</b>	<b>9</b>
4.1	Prepoznavanje imenskih entitet . . . . .	9
4.2	Analiza sentimenta . . . . .	10
4.3	Povzemanje besedila . . . . .	11
4.4	Izvleček besedne zveze . . . . .	11
4.5	Klasifikacija besedila . . . . .	11
4.6	Zaznava objektov . . . . .	12
<b>5</b>	<b>Dataseti</b>	<b>15</b>
5.1	Kaj je dataset? . . . . .	15
5.2	Uporabljeni dataseti . . . . .	16

## CONTENTS

<b>6</b>	<b>Metrike</b>	<b>23</b>
6.1	Opis spemenljivk za izračun metrik . . . . .	23
6.2	Precision . . . . .	24
6.3	Recall . . . . .	25
6.4	F1 . . . . .	26
6.5	Accuracy . . . . .	26
6.6	ROUGE . . . . .	27
<b>7</b>	<b>Analiza raziskave</b>	<b>29</b>
7.1	Prepoznavanje imenskih entitet (Named Entity Recognition) .	29
7.2	Analiza sentimenta (Sentiment Analysis) . . . . .	31
7.3	Povzetek (Summarisation) . . . . .	32
7.4	Izvlaček besedne zveze (Key Phrases) . . . . .	33
7.5	Klasifikacija besedila (Text Classification) . . . . .	34
7.6	Zaznava objektov (Object Detection) . . . . .	35
<b>8</b>	<b>Sklepne ugotovitve</b>	<b>37</b>

# List of used acronmys

acronym	meaning
CA	classification accuracy
DBMS	database management system
SVM	support vector machine
...	...



# Abstract

**Title:** Performance comparison of open source and commercial information extraction tools

This sample document presents an approach to typesetting your BSc thesis using L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X. A proper abstract should contain around 100 words which makes this one way too short. A good abstract contains: (1) a short description of the tackled problem, (2) a short description of your approach to solving the problem, and (3) (the most successful) result or contribution in your thesis.

## Keywords

*Data analysis, Information Retrieval, structural data, Web Mining*





# Povzetek

**Naslov:** Primerjava uspešnosti odprtokodnih in komercialnih orodij za luščenje podatkov

V vzorcu je predstavljen postopek priprave magistrskega dela z uporabo okolja L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X. Vaš povzetek mora sicer vsebovati približno 100 besed, ta tukaj je odločno prekratek. Dober povzetek vključuje: (1) kratek opis obravnavanega problema, (2) kratek opis vašega pristopa za reševanje tega problema in (3) (najbolj uspešen) rezultat ali prispevek magistrske naloge.

## Ključne besede

*analiza podatkov, ekstrakcija podatkov, strukturni podatki, spletno rudarjenje*



# Chapter 1

## Uvod

Naravnojezikovno procesiranje (NLP) je eno izmed najhitreje razvijajočih se področij v umetni inteligenci, ki se ukvarja z obdelavo, razumevanjem in generiranjem naravnega jezika, kot ga uporabljajo ljudje za komunikacijo. Napredne NLP tehnike in modeli so v zadnjem desetletju privedli do prebojev v številnih aplikacijah, ki segajo od avtomatskega prevajanja in analize čustev do odgovarjanja na vprašanja in samodejnega povzemanja besedil.

Cilj te magistrske naloge je raziskati in analizirati različne pristope k NLP modelom, razpoložljive datase, uporabljene metrike za evaluacijo modelov ter številna področja uporabe.

V nadaljevanju se bomo osredotočili na pomembnost kakovostnih datasetov za uspešno učenje modelov. Pregledali bomo obstoječe in priljubljene datase, ki se uporabljajo za različne naloge. Kot kljušen element bomo preučili metrike za ocenjevanje učinkovitosti modelov, kot so natančnost, F1-score, ROUGE in druge. Razložili bomo, kako se uporabljajo za različne naloge in kako lahko ocenimo zmogljivost modelov.

Nato se bomo posvetili raznolikim področjem uporabe NLP tehnologij. Raziskali bomo, kako se tehnologije uporabljajo v avtomatskem prevajanju, analizi čustev, odgovarjanju na vprašanja, generiranju besedil, iskanju informacij in še več. Preučili bomo tudi izzive in omejitve, s katerimi se srečujejo modeli pri uporabi na različnih področjih.

V Poglavlju Izbrana področja uporabe bomo podrobneje spoznali izbrane funkcionalnosti, ki jih omogočajo AI/NLP modeli, ki temeljijo na umetni inteligenci in strojnem učenju ter so zasnovane za obdelavo, razumevanje in generiranje naravnega jezika. Različni modeli se uporabljajo za reševanje različnih nalog, povezanih z obdelavo jezika, kot so avtomatsko prevajanje, analiza čustev, razumevanje besedil, odgovarjanje na vprašanja, izluščevanje informacij iz besedil, klasifikacija besedil in še več.

V Poglavlju Dataseti bomo podrobneje spoznali uporabljene datasete, ki so ključnega pomena za uspešen razvoj, učenje in evalvacijo modelov. Dataseti so zbirke podatkov, ki so ročno označeni ali označeni s pomočjo algoritmov za različne naloge.

V poglavju Metrike bomo temeljito raziskali različne metrike, ki omogočajo oceno učinkovitosti modelov glede na njihove specifične naloge. Raznolikost nalog v področju obdelave naravnega jezika (NLP) zahteva prilagodljivost pri izbiri primernih meril. V nadaljevanju so navedene ključne metrike, ki se redno uporabljajo pri evalvaciji modelov.

V predznanjem poglavju Analiza raziskave so predstavljeni rezultati različnih ponudnikov ter njihovih storitev.

Sledijo še Sklepne ugotovitve.

Z predstavitvijo ključnih elementov v magistrski nalogi bomo pridobili celovit pregled nad uporabo modelov ter njihovo uporabo na različnih področjih. Cilj je prispevati k razumevanju NLP tehnologij ter predstaviti rezultate različnih storitev.

## Chapter 2

### Kaj pa literatura?

Kot smo omenili že v uvodu, je pravi način za citiranje literature uporaba `BIBTEX`a [4]. Programski paket `LATEX` je prvotno predstavljen v priročniku [3] in je v resnici nadgradnja sistema `TEX` avtorja Donalda Knutha, znanega po denimo, če izpustim njegovo umetnost programiranja, Knuth-Bendixovem algoritmu [2].

Vsem raziskovalcem s področja računalništva pa svetujem v branje mnenje L. Fortnowa [1].



# Chapter 3

## Opis ponudnikov in storitev

### 3.1 Hugging Face

Hugging Face je platforma na področju obdelave naravnega jezika in strojnega učenja. Njihova inovativna rešitev je postala sinonim za napredne dosežke in izjemno uporabnost na področju raziskav, razvoja in uporabe strojnega učenja.

Njihova glavna odprtokodna knjižnica "Transformers" je postala temelj NLP raziskav, saj ponuja obsežen nabor naprednih modelov, kot so GPT, BERT, RoBERTa in drugih, ki so ključni za različne naloge, vključno z razumevanjem jezika, strojnim prevajanjem, analizo čustev in generiranjem besedila.

Hugging Face Hub je dinamična platforma, ki spodbuja sodelovanje in izmenjavo med raziskovalci, razvijalci in navdušenci nad strojnim učenjem. Ta platforma omogoča enostavno deljenje in odkrivanje modelov, kar olajša razvoj novih aplikacij in omogoča dostop do že pripravljenih modelov.

#### 3.1.1 Hugging Face Transformers

Hugging Face Transformers je odprtokodna knjižnica, ki je postala ena najpomembnejših orodij za obdelavo naravnega jezika in strojnega učenja. Njen cilj je ponuditi razvijalcem enostaven dostop do najnovejših arhitektur in

modelov. Zgrajena je na osnovi Pythona in je postala ključno orodje za reševanje izzivov na področju NLP in razvoja aplikacij ter storitev.

Ena od ključnih prednosti Hugging Face Transformers je enostavnost uporabe. Razvijalci lahko z nekaj vrsticami kode dostopajo do pred-treniranih modelov in jih takoj uporabljajo. Poleg tega knjižnica omogoča tudi prilagajanje modelov in ponuja odprtokodno skupnost, ki nenehno prispeva z novimi modeli, izboljšavami in rešitvami.

Knjižnica ponuja tudi funkcionalnosti za preprosto prenosljivost modelov med različnimi platformami in orodji za povečanje učinkovitosti uporabe modelov na stvarnih sistemih. Poleg tega Hugging Face Transformers omogoča tudi preprosto združevanje z drugimi knjižnicami za strojno učenje in obdelavo podatkov.

## 3.2 Google Cloud

Google Cloud je celovita platforma za računalništvo v oblaku, ki jo zagotavlja Google. Ponuja različne storitve, shranjevanjem, bazami podatkov, strojnem učenjem in omrežjem, kar omogoča podjetjem, da gradijo in uvajajo aplikacije ter storitve v globalnem obsegu. Google Cloud zagotavlja prilagodljivo in razširljivo infrastrukturo, ki organizacijam omogoča inovacije ter optimizacijo operacij prek rešitev v oblaku. S svojimi podatkovnimi centri po vsem svetu Google Cloud zagotavlja zanesljivo zmogljivost, varnost in dostopnost za podjetja vseh velikosti.

### 3.2.1 Vertex AI

Vertex AI je napredna platforma za umetno inteligenco v oblaku, ki jo ponuja Google Cloud. S podporo za številne priljubljena ogrodja (framework) za strojno učenje, kot so TensorFlow ter PyTorch je Vertex AI odlična izbira za razvijalce z različnimi potrebami in izkušnjami. Platforma Vertex AI ponuja tudi številne napredne storitve in orodja za razvoj in optimizacijo modelov. Vključuje integrirano orodje, ki omogoča hitro in enostavno oceno



uspešnosti modelov na različnih primerih rabe. Prav tako ponuja samodejno prilagajanje hiperparametrov, kar omogoča avtomatsko iskanje najboljših hiperparametrov za izboljšanje zmogljivosti modelov.

Ena od ključnih funkcij Vertex AI je tudi funkcija Vertex Data Labeling, ki omogoča enostavno označevanje podatkov za učenje modelov.

## 3.3 Amazon Web Services

Amazon Web Services (AWS) je ponudnik storitev v oblaku, ki jih ponuja Amazon. Uporabnikom omogoča najem računalniških virov, kot so strežniki in shramba, preko interneta. To omogoča organizacijam, da prilagodljivo in učinkovito gradijo, upravljajo ter skalirajo svoje aplikacije in storitve brez potrebe po fizični strojni opremi. AWS je mednarodno priznan za svojo zanesljivost in širok nabor storitev za obdelavo podatkov, analitiko, umetno inteligenco ter druge poslovne potrebe.

### 3.3.1 Amazon SageMaker

Amazon SageMaker je storitev za strojno učenje, ki jo ponuja Amazon Web Services (AWS). Omogoča hitro in enostavno izgradnjo, usposabljanje in razporejanje zmogljivih modelov, kar omogoča razvoj naprednih rešitev in izboljšanje procesov. Ponuja intuitiven uporabniški vmesnik in API-je, ki omogočajo hitro postavitve in upravljanje. SageMaker ponuja tudi integrirano okolje Jupyter, ki omogoča uporabo interaktivnih beležnic za raziskovanje in analizo podatkov.

## 3.4 Azure

Azure je oblachna platforma, ki jo ponuja Microsoft, namenjena podjetjem za razvoj, upravljanje in gostovanje njihovih aplikacij in storitev prek interneta v oblaku. Ponuja širok nabor storitev, vključno s spletnim gostovanjem,

shranjevanjem podatkov, analitiko, umetno inteligenco in spletnimi storitvami. Uporabniki lahko ustvarjajo virtualne strežnike in omrežja ter jih prilagajajo glede na svoje potrebe. Azure zagotavlja visoko stopnjo varnosti in skladnosti, kar je ključno za zaščito podatkov in zagotavljanje zasebnosti strank.

### **3.4.1 Azure Cognitive Services**

Azure Cognitive Services je celovita in napredna platforma za umetno inteligenco (AI), ki jo ponuja Microsoftova platforma Azure. Te storitve omogočajo analizo in razumevanje naravnega jezika v besedilu, kar omogoča razvoj aplikacij za avtomatsko razvrščanje besedil, odgovarjanje na vprašanja, prevajanje besedil in analizo sentimenta. Ponuja širok nabor naprednih storitev in API-jev, ki omogočajo prepoznavanje, razumevanje in generiranje naravnega jezika, prepoznavanje obrazov, prepoznavanje govora, analizo besedil, prevajanje med jeziki in še veliko več. Te storitve omogočajo razvoj pametnih aplikacij, ki temeljijo na umetni inteligenci, in reševanje različnih izzivov na področju razumevanja in analize podatkov.

# Chapter 4

## Izbrana področja uporabe

### 4.1 Prepoznavanje imenskih entitet

Prepoznavanje imenskih entitet je tehnika na področju obdelave naravnega jezika, ki se uporablja za prepoznavanje in klasifikacijo besed v besedilu. Te posebne vrste so imenovane entitete, kot so imena oseb, organizacij, lokacij, datumov, števil, denarnih zneskov in drugih specifičnih poimenovanj.

Cilj je prepoznati in določiti začetek in konec posameznih entitet v besedilu ter jim pripisati ustrezno kategorijo.

Primer:

V stavku "Janez Novak je rojen 10. avgusta 1985 v Ljubljani" bi sistem prepoznal "Janez Novak" kot ime osebe, "10. avgust 1985" kot datum in "Ljubljana" kot lokacijo.

Številne praktične uporabe:

1. Avtomatsko označevanje imenskih entitet v novicah, člankih in drugih besedilnih vsebinah.
2. Razumevanje strukture in vsebine dokumentov za informacijsko iskanje in kategorizacijo.
3. Pomoč pri analizi sentimenta, kjer želimo razumeti, kako se osebe, organizacije ali druge entitete omenjene v besedilu nanašajo na določeno

temo ali izdelek.

## 4.2 Analiza sentimenta

Analiza sentimenta je proces določanja čustvenega odziva, nagnjenosti ali stališča zapisanega besedila. Cilj analize sentimenta je ugotoviti, ali je določeno besedilo pozitivno, negativno ali nevtrarno. To je lahko koristno pri analizi mnenj strank, razumevanju čustvenega odziva na izdelke, blagovne znamke, dogodke in druge.

Primer:

Če imamo naslednji stavek: "Ta film je fantastičen, vreden ogleda!", bi analiza sentimenta prepoznala, da je izraz pozitiven. Ta analiza temelji na uporabi naravnojezikovnega procesiranja in strojnega učenja.

Obstaja več pristopov k analizi sentimenta:

1. Pravilni pristopi: Uporabljajo se predvsem pravila in vzorci za identifikacijo pozitivnih in negativnih izrazov v besedilu. Na primer, besede, kot so "dobro", "fantastično", "radostno" itd., bi bile označene kot pozitivne, medtem ko bi bile besede, kot so "slabo", "žalostno", "neznosno" in tako dalje označene kot negativne.
2. Strojno učenje na podlagi besedila: Ta pristop vključuje uporabo algoritmov strojnega učenja, ki so naučeni prepoznati čustveni naboj besed v besedilu na podlagi velikega števila označenih podatkov (besedil s čustvenimi oznakami).
3. Analiza sentimenta s čustvenimi slovarji: Ta pristop vključuje uporabo slovarjev z besedami in izrazoslovjem, ki so povezani z določenimi čustvi. Besedilo se nato preveri in oceni glede na prisotnost pozitivnih ali negativnih besed iz čustvenih slovarjev.
4. Algoritmi globokega učenja.

## 4.3 Povzemanje besedila

Pri povzemanju besedila gre za postopek ustvarjanja krajšega in jedrnatega povzetka iz daljšega besedila, kot je članek ali dokument. Namen povzemanja je izluščiti ključne informacije in ideje iz izvirnega besedila ter jih predstaviti na bolj pregleden in krajši način. To je zelo koristno pri velikih količinah podatkov, ko želimo hitro pridobiti bistvo informacij, ne da bi brali celotno besedilo.

Tehnike za povzemanje uporabljajo različne algoritme in metode, ki vključujejo strojno učenje in obdelavo naravnega jezika, da bi učinkovito izluščile ključne besede, stavke ali odstavke, ki predstavljajo osrednje ideje v izvirnem besedilu. Rezultat je običajno kratek povzetek, ki ohranja pomembne informacije iz izvirnega besedila. Ta tehnologija ima širok spekter uporab, kot so samodejno povzemanje novic, generiranje opisov izdelkov, izdelava povzetkov raziskovalnih člankov in še veliko več.

## 4.4 Izvleček besedne zveze

Nanaša se na besede ali izraze, ki so najpomembnejši ali najbolj značilni za določeno besedilo ali dokument. Te besede so običajno tiste, ki nosijo ključne informacije ali so bistvene za razumevanje vsebine.

Identifikacija ključnih besed je pomembna naloga, saj nam omogoča, da hitro ugotovimo, o čem govori določeno besedilo. Te besede so lahko uporabne tudi za avtomatsko indeksiranje dokumentov, iskanje relevantnih informacij in razumevanje teme besedila brez potrebe po branju celotnega besedila.

## 4.5 Klasifikacija besedila

Klasifikacija besedil je tehnika, pri kateri avtomatizirano določimo kategorijo ali razred določenega besedila na podlagi vsebine besedila. To je lahko zelo

uporabno, saj nam omogoča razvrščanje besedil v različne skupine glede na njihovo vsebino.

Primer:

Lahko klasificiramo e-poštna sporočila kot "spam" ali "ne-spam", novice glede na tematiko, uporabniške komentarje glede na ton (pozitiven, negativen, nevtralen), itd.

Postopek klasifikacije besedil se običajno začne s pripravo in čiščenjem besedil. To vključuje odstranjevanje nepotrebnih znakov, šumnikov, posebnih znakov, pretvorbo vseh črk v male črke, lahko pa tudi odstranjevanje pogostih besed, ki nimajo velikega pomena za klasifikacijo (npr. "in", "ali", "je", "na", "s", itd.).

Nato se besedila predstavijo v obliki, ki jo lahko uporabimo za učenje modela. Pogosto se uporablja metoda imenovana vreča besed ("Bag-of-Words"), kjer se besedilo pretvori v nabor besed, ki se pojavljajo v njem, in število pojavitev teh besed. Ta postopek lahko ponazorimo s pomočjo vektorja.

## 4.6 Zaznava objektov

Je tehnika, ki se uporablja za avtomatsko zaznavanje in identifikacijo objektov na digitalnih slikah ali video posnetkih. Namen te tehnike je, da prepozna in označi različne objekte v podobi ter jih loči od ozadja ali drugih objektov.

Postopek objektnega zaznavanja običajno vključuje naslednje korake:

1. Zaznavanje: Model preučuje sliko ali video posnetek in identificira regije, kjer bi se lahko nahajali objekti.
2. Zaznava lokacije: Po tem, ko so bile regije prepoznane, algoritem določi omejitveno okvirje (bounding boxes), ki natančno označujejo položaje in mejne točke objektov na sliki.
3. Klasifikacija: Ko so objekti omejeni z omejitvenimi okviri, analizira vsebino znotraj teh okvirov in jih razvrsti v različne kategorije (npr.

avto, pes, zgradba, itd.).

4. Sledenje: V video posnetkih je lahko zaželeno, da algoritem sledi objektom skozi različne kadre in tako beleži njihovo gibanje.

Zaznava objektov se uporablja v številnih aplikacijah, kot tudi v samovozečih vozilih za zaznavanje drugih vozil in pešcev, identifikacija prometnih znakov, nadzorne kamere, prepoznavanje obrazov, analiza medicinskih slik in še veliko drugega. Gre za enega ključnih elementov umetne inteligence.





# Chapter 5

## Dataseti

### 5.1 Kaj je dataset?

Dataset je zbirka podatkov, ki so organizirani in shranjeni v strukturirani ali ne-strukturirani obliki ter označeni za namen analize, raziskav, učenja modelov ali drugih postopkov obdelave podatkov. Dataseti vsebujejo različne vrste podatkov, od števil, besedil, slik, zvokov, videoposnetkov do drugih tipov informacij. V kontekstu računalniškega znanstvenega modeliranja in strojnega učenja so dataseti ključnega pomena, saj služijo kot osnova za razvoj, treniranje in evalvacijo modelov. Modeli se učijo na teh podatkih, tako da prepoznajo vzorce in povezave med vhodnimi podatki in ciljnim izhodi. Na primer, v naravnojezikovni obdelavi dataset vsebuje besedilne podatke, ki so lahko članki, knjige, novinarski članki ali socialni mediji.

Nekatere ključne točke o uporabi datasetov:

Učenje modelov: Dataseti se uporabljajo za učenje modelov, pri čemer modeli na osnovi teh podatkov pridobivajo razumevanje jezika in njegove strukture. Čeprav obstajajo tudi nespremljani pristopi, večina uspešnih modelov zahteva velike, kakovostne in označene datase za doseganje najboljših rezultatov.

Razvoj in optimizacija: Razvijalci modelov uporabljajo različne datase za optimizacijo modelov in prilagajanje hiperparametrov. Z vzorci podatkov

iz datasetov se preizkušajo različne arhitekture modelov in strategije učenja.

Evaluacija: Dataseti se uporabljajo za evalvacijo modelov. Preizkušajo se na ločenem testnem datasetu, ki modelom omogoča, da se oceni, kako dobro delujejo na novih, nevidenih podatkih.

Nadzor kakovosti: Kvaliteta datasetov je ključnega pomena za uspešno delovanje modelov. Zato je pomembno, da so dataseti natančno označeni in urejeni. Nadzor kakovosti pomaga prepoznati morebitne napake ali pristranskosti v datasetih.

Prilagajanje specifičnim aplikacijam: Včasih so potrebni specializirani modeli za določene aplikacije ali domene. V takih primerih je morda potrebno ustvariti ali prilagoditi datasete, ki se bolje prilegajo ciljni uporabi.

Razvoj modelov za redke jezike: Razvoj NLP modelov za redke jezike zahteva ustrezne datasete v ciljnem jeziku, kar je lahko izziv, saj so ti dataseti pogosto omejeni ali pa jih sploh ni na voljo.

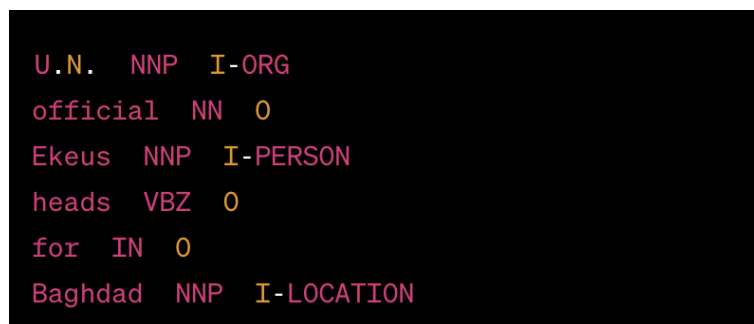
Pomembno je, da so dataseti pravilno pripravljeni, imajo ustrezne metapodatke in so primerni za ciljno nalogo, da bi omogočili kakovostno analizo in doseganje uporabnih rezultatov.

## 5.2 Uporabljeni dataseti

### 5.2.1 CoNLL 2003

Je zbirka podatkov, ki se uporablja za razvoj in evalvacijo sistemov za obdelavo naravnega jezika, prevsem za nalogo imenskih entitet. Imenuje se po konferenci CoNLL (Conference on Computational Natural Language Learning) leta 2003, kjer je bil ta nabor podatkov predstavljen v okviru tekmovanja za prepoznavanje imenovanih entitet. Dataset CoNLL 2003 je priljubljen referenčni dataset za prepoznavanje poimenovanih entitet naravnega jezika v obdelavi naravnega jezika. Uporabljen je bil v skupni nalogi na konferenci o računalniškem učenju naravnega jezika (CoNLL) leta 2003.

Poimenovane entitete so razdeljene v štiri glavne kategorije:



```
U.N.  NNP  I-ORG
official NN  O
Ekeus  NNP  I-PERSON
heads  VBZ  O
for    IN  O
Baghdad NNP  I-LOCATION
```

**Figure 5.1:** CoNLL2003 dataset

1. Oseba (PER): Posamezna imena ljudi.
2. Organizacija (ORG): Imena podjetij, ustanov ali organizacij.
3. Lokacija (LOC): Imena geografskih lokacij, kot so mesta, države ali regije.
4. Razno (MISC): Druge poimenovane entitete, ki ne spadajo v zgoraj navedene kategorije, na primer datumi, odstotki ali denar.

Podatki v datasetu so predstavljeni v obliki ene besede na vrstico, kjer vsaka vrstica predstavlja besedo in pripadajočo oznako v stavku. Besede in oznake so ločene z presledkom. Dataset CoNLL 2003 se pogosto uporablja za evalvacijo zmogljivosti modelov za prepoznavanje poimenovanih entitet in že več let je standardni "benchmark" za raziskovalce in strokovnjake v skupnosti obdelave naravnega jezika. Ostaja dragocen vir za razvoj in preizkušanje novih algoritmov in sistemov za NER.

CoNLL2003 podatkovna zbirka je običajno razdeljena na tri sklope:

1. učni (train) z 14.000 vrsticami primerov
2. validacijski (validation) z 3.250 vrsticami primerov
3. preizkusni (test) z 3.450 vrsticami primerov

### 5.2.2 IMDb Reviews dataset

IMDb podatkovna zbirka, znana tudi kot IMDb Movie Reviews Dataset. Sestavljen iz pregledov filmov, ki so jih prispevali uporabniki na spletni strani IMDb (Internet Movie Database).

Podatki vsebujejo ocene in besedilne komentarje, ki jih je ustvarila skupnost uporabnikov IMDb. Vsak pregled vsebuje besedilni komentar in oceno filma, ki se giblje med 1 (najslabša) in 10 (najboljša). Cilj te podatkovne zbirke v naravnem jeziku je razviti modele, ki lahko avtomatsko analizirajo besedilne komentarje in napovedo, ali je pregled pozitiven ali negativen glede na oceno in besedilo.

IMDb podatkovna zbirka je običajno razdeljena na dva sklopa:

1. učni (train) z 25.000 vrsticami primerov
2. preizkusni (test) z 25.000 vrsticami primerov

Vsak sklop vsebuje tisoče pregledov filmov. To je idealna podatkovna zbirka za naloge analize čustvenega tona besedil (sentiment analysis), kjer modeli ocenjujejo, ali je mnenje v besedilu pozitivno, negativno ali nevtralno.

### 5.2.3 COCO dataset

COCO (Common Objects in Context) je široko uporabljen nabor podatkov v področju računalniškega vida in zaznave objektov. Namenjen je zagotavljanju celovite in raznolike zbirke slik za različne naloge, vključno z zaznavo objektov, segmentacijo in podnaslavljanjem. Nabor podatkov naj bi odražal scenarije iz resničnega sveta in vsebuje slike, ki so kompleksne ter vključujejo več objektov v različnih kontekstih.

Nabor podatkov COCO je obsežen in vsebuje deset tisoč slik z milijoni označenih posameznih objektov. Slike prihajajo iz različnih virov, zajemajo raznolike prizore, ozadja, svetlobne pogoje in velikosti objektov.

Tukaj je nekaj ključnih značilnosti nabora podatkov COCO:

1. Kategorije slik: Nabor podatkov COCO vsebuje slike, ki zajemajo 80 različnih kategorij objektov, od splošnih objektov, kot so "oseba," "avto" in "pes," do bolj specifičnih objektov, kot so "mobilni telefon," "zobna ščetka" in "zmaj."
2. Anotacije: Vsaka slika v naboru podatkov COCO je opremljena z oznakami na ravni objekta in koordinatami okvirja. To pomeni, da je vsak posamezen objekt določene kategorije znotraj slike označen, okoli njega pa je narisano območje z okvirjem, ki označuje njegovo lokacijo. Informacije o anotacijah so ključnega pomena za usposabljanje modelov za detekcijo objektov in segmentacijo.
3. Segmentacija objektov: Poleg anotacij območja z okviri nabor podatkov COCO prav tako zagotavlja maske segmentacije na ravni slikovnih pik za vsak posamezen objekt. To pomeni, da so objekti ne le lokalizirani z okviri, ampak so natančno določene tudi meje objektov na ravni slikovnih pik.

COCO podatkovna zbirka je običajno razdeljena na dva sklopa:

1. učni (train) z 117.000 primeri
2. preizkusni (test) z 4.950 primeri

#### 5.2.4 CNN/Daily Mail Dataset

CNN/Daily Mail je zbirka novičarskih člankov skupaj s povzetki, ki se uporablja za usposabljanje in preizkušanje modelov za povzemanje besedil. Ta nabor podatkov vsebuje različne novičarske članke in njihove povzetke, zaradi česar je primeren za naloge abstraktivnega povzemanja, kjer se ustvarijo povzetki v lastnih besedah, ne le izbirajo stavke iz izvirnega besedila. Nabor podatkov vsebuje na tisoče člankov s pripadajočimi povzetki, kar omogoča raziskovalcem obsežno treniranje in evaluiranje modelov.

Tukaj je nekaj ključnih značilnosti nabora podatkov CNN/Daily Mail:

1. Novičarski Članki in Povzetki: Nabor podatkov vsebuje novičarske članke iz medijskih virov, kot sta CNN (Cable News Network) in Daily Mail, skupaj s pripadajočimi povzetki. Ti članki pokrivajo različne teme in dogodke ter so različnih dolžin.
2. Abstraktno Povzemanje: Vključuje ustvarjanje povzetka v povsem novih besedah.

CNN/Daily Mail podatkovna zbirka je običajno razdeljena na tri sklope:

1. učni (train) z 287.000 vrsticami primerov
2. validacijski (validation) z 13.400 vrsticami primerov
3. preizkusni (test) z 11.500 vrsticami primerov

### 5.2.5 semeval-2017 dataset

SemEval podatkovna zbirka je zbirka besedilnih podatkov, ki je anotirana za različne naloge na področju obdelave naravnega jezika.

Tukaj je nekaj ključnih značilnosti SemEval podatkovnih zbirk:

1. Anotacije: Podatki v SemEval podatkovnih zbirkah so običajno anotirani, kar pomeni, da so označeni z dodatnimi informacijami. Na primer, v podatkovni zbirki za naloge razreševanja sentimenta bi bili vzorci besedil označeni s pozitivnimi, negativnimi ali nevtralnimi sentimenti.
2. Raznolikost: SemEval podatkovne zbirke zajemajo širok spekter nalog, jezikov in domen. To omogoča raziskovalcem primerjavo modelov in pristopov na različnih področjih.

Raziskovalna skupnost: SemEval podatkovne zbirke so postale pomemben del naravnega jezika raziskovalne skupnosti, saj omogočajo primerjavo najnovejših pristopov in tehnologij na enotnem naboru podatkov.

SemEval podatkovna zbirka je običajno razdeljena na tri sklope:

1. učni (train) z 49.547 vrsticami primerov
2. validacijski (dev) z 12.285 vrsticami primerov
3. preizkusni (test) z 12.285 vrsticami primerov





# Chapter 6

## Metrike

### 6.1 Opis spemenljivk za izračun metrik

#### Pravilno pozitivni (True Positive)

Je izraz, ki se uporablja v statistiki in strojnem učenju za opis primerov, kjer je model pravilno napovedal pozitiven rezultat za določeno skupino. To pomeni, da je model prepoznal pozitiven pojav, ko je bil dejansko prisoten.

*Primer:*

Predpostavimo, da razvijamo model za prepoznavanje spam sporočil v elektronski pošti. Model pravilno prepozna 25 sporočil kot nezaželeno (spam), ki dejansko vsebujejo nezaželeno vsebino. To pomeni, da imamo 25 primerov "pravih pozitivnih". Te primere model pravilno prepozna kot spam, ker resnično vsebujejo neželeno vsebino.

#### Napačno pozitivni (False Positive)

Označuje situacijo, ko model napačno napove, da je nekaj pozitivno, medtem ko je v resnici negativno. Gre za vrsto napake, kjer model napačno identificira primer kot pripadajoč pozitivnemu razredu, čeprav dejansko pripada negativnemu razredu.

*Primer:*

Predpostavimo, da imamo model za prepoznavanje spam sporočil v elektronski pošti. Če model označi sporočilo kot "spam", čeprav ni dejansko

spam, imamo situacijo lažno pozitivnega primera. Drugače povedano, model je napačno napovedal pozitiven primer (spam), ko je dejansko negativen primer (ni spam).

### **Napačno negativni (False Negatives)**

Označuje napako, ki se pojavi v kontekstu klasifikacije ali analize besedila, ko model napačno napove, da je nekaj negativno, čeprav je v resnici pozitivno. To je vrsta napake, kjer model spregleda ali ne prepozna pozitivnih primerov.

V primeru analize besedila v naravni jezikovni obdelavi (NLP), false negative se zgodi, ko model ne uspe zaznati pozitivnega elementa v besedilu, ki bi ga moral prepoznati. Na primer, če imamo model za prepoznavanje pozitivnih izjav v komentarjih in model spregleda pozitivno izjavo, to bi bil primer false negative.

*Primer:*

Predpostavimo, da imamo napreden sistem za filtriranje neželenih sporočil (spam), ki ga uporabljamo za preverjanje prihajajočih e-poštnih sporočil. Sistem je zasnovan tako, da prepoznavata in premika neželena sporočila v mapo za neželeno pošto.

Vendar pa se pojavi napačno negativen rezultat, ko sistem napačno presodi e-poštno sporočilo kot varno (ne-spam), čeprav vsebuje vse znake neželene vsebine. Na primer, če e-poštno sporočilo vsebuje povezave do nerealnih ponudb ali oglasev za sumljive izdelke, bi bila takšna sporočila številčno gledano ena od "False Negatives".

V tem primeru je sistem spregledal prepoznavo neželene vsebine, kar je povzročilo, da je sporočilo pristalo v glavnem predalu prejete pošte namesto v mapi za neželeno pošto. To lahko predstavlja težavo, saj se takšni neželeni vsebini lahko izognemo le, če sistem zanesljivo prepozna vse takšne primere.

## **6.2 Precision**

Precision je pomembna metrika za ocenjevanje uspešnosti modelov v različnih nalogah. Povdarja natančnost pozitivnih napovedi, torej tistih primerov, ki

jih model prepozna kot pozitivne. Visoka preciznost pomeni, da so pozitivne napovedi modela zanesljive in imajo malo lažno pozitivnih napak.

V kontekstu naravne jezikovne obdelave, precision igra ključno vlogo pri razumevanju besedila. Na primer, pri analizi sentimenta želimo natančno ugotoviti, ali je izraz pozitiven ali negativen. Visoka preciznost v tem primeru pomeni, da so napovedi modela o sentimentu točne in se malo zmotijo.

Formula za izračun:

$$\text{Precision} = \frac{\text{TruePositive}}{\text{TruePositive} + \text{FalseNegatives}}$$

Povzeto po: <https://www.analyticsvidhya.com/blog/2021/07/metrics-to-evaluate-your-classification-model-to-take-the-right-decisions/>

## 6.3 Recall

Nanaša se na eno od metrik uspešnosti pri vrednotenju modelov za obdelavo naravnega jezika. Meri kot razmerje med številom pravilno prepoznanih relevantnih primerov in celotnim številom dejansko obstoječih relevantnih primerov. Višji recall pomeni, da je model boljše usposobljen za iskanje in pridobivanje vseh relevantnih informacij, vendar to lahko vodi tudi v več lažno pozitivnih rezultatov. Zato je pomembno doseči uravnoteženost med recallom in natančnostjo (precision) pri oceni uspešnosti modelov. Primer uporabe recalla je v iskalnih sistemih, kjer želimo zagotoviti, da se relevantni dokumenti ali informacije ne izpustijo pri iskanju. S pravilno optimizacijo modelov lahko dosežemo visoko kakovostno izluščevanje informacij iz besedil, kar je ključno za številne aplikacije, kot so avtomatizirano odzivanje na povratne informacije strank, analiza sentimenta in razumevanje besedil v različnih jezikih.

Formula za izračun:

$$\text{Recall} = \frac{\text{TruePositive}}{\text{TruePositive} + \text{FalsePositive}}$$

## 6.4 F1

F1 je pomembna metrika za ocenjevanje uspešnosti modelov v obdelavi besedil. Združuje "precision" in "recall" v eno metriko, ki odraža ravnotežje med tema dvema metrikama. Pri nalogah, kot so klasifikacija besedil, luščenje informacij ali identifikacija entitet, sta tako "precision" kot "recall" ključni. Visoka natančnost pomeni pravilno identifikacijo relevantnih elementov, medtem ko visok recall zagotavlja prepoznavanje vseh resnično pozitivnih primerov. Izračuna se kot povprečje med "precision" in "recall", dajeta pa ji enako težo. To omogoča, da ocenimo, kako dobro model obvladuje oba cilja hkrati. Visoka vrednost F1 metrike kaže, da je model uspešno uskladił identifikacijo pravih pozitivnih primerov z izogibanjem napačno pozitivnim rezultatom. Uporaba metrike je zlasti smiselna, ko sta metriki "precision" in "recall" pomembni za končni rezultat in ko želimo doseči optimalno uravnoteženost med tema dvema vidikoma.

Formula za izračun:

$$F1 = 2 \times \frac{Precision \times Recall}{Precision + Recall}$$

## 6.5 Accuracy

Accuracy je metrika, ki se pogosto uporablja za ocenjevanje uspešnosti modelov v strojnem učenju, vključno z modeli uporabljenimi v obdelavi naravnega jezika. Ta metrika meri, kako pravilno model napove razrede ali kategorije za vhodne podatke v primerjavi z dejanskimi vrednostmi.

V kontekstu NLP se natančnost uporablja, na primer, pri nalogah klasifikacije besedil. Predpostavimo, da imamo model, ki se uči razvrščati besedila v določene kategorije, kot so "pozitivno", "negativno" ali "neutralno." Za vsako besedilo ima model svojo napoved, kateri kategoriji pripada.

Formula za izračun:

$$Accuracy = \frac{TruePositive + TrueNegative}{TruePositive + TrueNegative + FalsePositive + FalseNegative}$$

## 6.6 ROUGE

ROUGE je metrika, ki se uporablja za ocenjevanje kakovosti generiranih besedil v primerjavi z referenčnimi besedili. Gre za kratico, ki označuje "Recall-Oriented Understudy for Gisting Evaluation". Metrika ROUGE je pogosto uporabljena v področju obdelave naravnega jezika, še posebej v nalogah avtomatskega povzemanja besedil.

Primerja generirano besedilo z referenčnim besedilom (običajno človeško ustvarjenim besedilom) in oceni, kako dobro so se ujemale. Metrika upošteva različne vidike, kot so prekrivanje besed, besedni nizi in skupna dolžina besedil. Glavni cilj metrike je merjenje stopnje, do katere je generirano besedilo sposobno pravilno povzeti pomembne informacije iz referenčnega besedila.

Obstajajo različne različice metrike ROUGE, kot so ROUGE-1, ROUGE-2, ROUGE-L itd. Vsaka različica meri različne vidike podobnosti med generiranim besedilom in referenčnim besedilom. Na primer, ROUGE-1 meri prekrivanje eno-besednih nizov med generiranim in referenčnim besedilom, medtem ko ROUGE-2 meri prekrivanje dvo-besednih nizov.

Metrika ima širok nabor uporabe v raziskavah in nalogah NLP, ki vključujejo avtomatsko povzemanje besedil, strojno prevajanje in druge naloge, kjer je pomembno oceniti kakovost generiranih besedil v primerjavi z referenčnimi besedili. Metrika ROUGE lahko pomaga raziskovalcem in razvijalcem oceniti učinkovitost svojih modelov in tehnik ter izboljšati rezultate pri generiranju besedil.



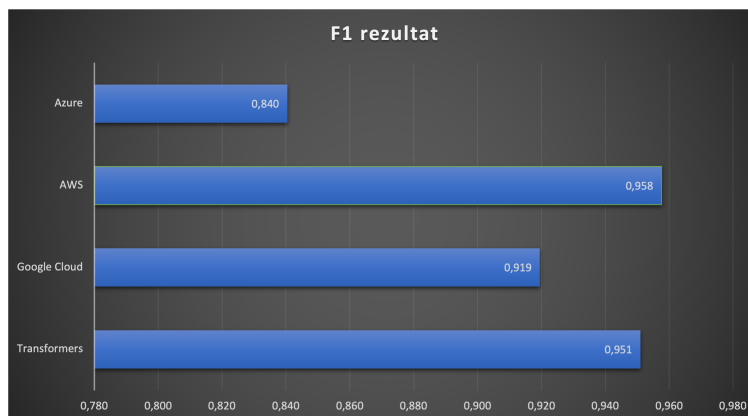
# Chapter 7

## Analiza raziskave

### 7.1 Prepoznavanje imenskih entitet (Named Entity Recognition)

Table 7.1: Prepoznavanje imenskih entitet

	Precision	Recall	F1
Transformers	0.949	0.953	0.951
Vertex AI	0.920	0.919	0.919
AWS SageMaker	<b>0.954</b>	<b>0.961</b>	<b>0.958</b>
Azure Cognitive Services	0.858	0.824	0.840



**Figure 7.1:** Prepoznavanje imenskih entitet F1 rezultat

Pri analizi imenskih entitet je bil uporabljen CONLL-2003 dataset.

Za prepoznavanje oseb (PER) in organizacij (ORG) se je najbolje izkazal Vertex AI storitev. Na splošno pa je bil v vseh področjih najboljši AWS SageMaker storitev.



## 7.2 Analiza sentimenta (Sentiment Analysis)

Table 7.2: Analiza sentimenta

	Precision	Recall	F1
Transformers	0.800	0.799	0.799
Vertex AI	<b>0.924</b>	<b>0.924</b>	<b>0.924</b>
AWS SageMaker	0.862	0.891	0.876
Azure Cognitive Services	0.862	0.891	0.877



Figure 7.2: Analiza sentimenta F1 rezultat

Pri analizi imenskih entitet je bil uporabljen IMDb Reviews dataset. Za analizo sentimenta je bila najboljša Vertex AI storitev.

### 7.3 Povzetek (Summarisation)

Table 7.3: Povzetek

	ROUGE-1	ROUGE-2	ROUGE-L
Transformers	0.209	0.190	0.192
Vertex AI	<b>0.429</b>	<b>0.208</b>	<b>0.306</b>
AWS SageMaker	0.226	0.021	0.201
Azure Cognitive Services	0.426	0.220	0.330

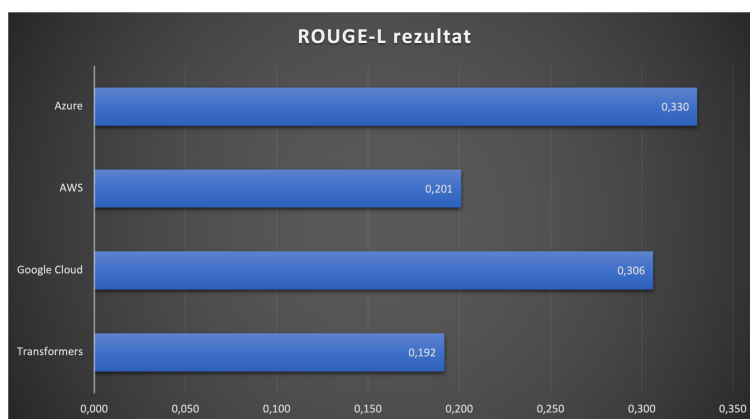


Figure 7.3: Povzetek F1 rezultat

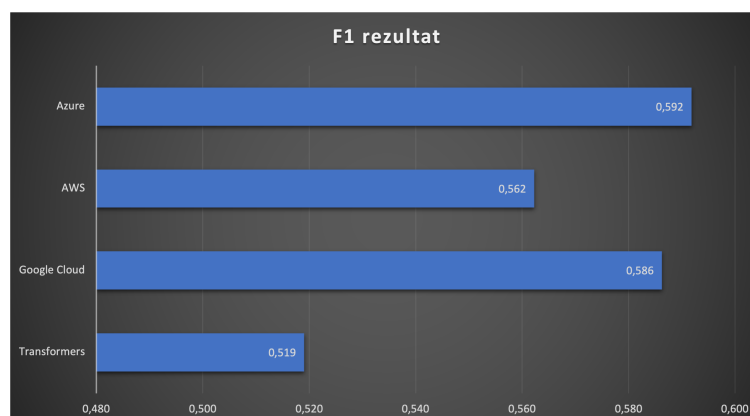
Pri izdelavi povzetka je bil uporabljen dataset CNN/Daily Mail.

Kot vrhunska izbira za ustvarjanje povzetkov pa se je izkazala storitev Vertex AI.

## 7.4 Izvleček besedne zveze (Key Phrases)

**Table 7.4:** Izvleček besedne zveze

	Precision	Recall	F1
Transformers	0.475	0.573	0.519
Vertex AI	0.637	0.543	0.586
AWS SageMaker	0.513	0.622	0.562
Azure Cognitive Services	<b>0.530</b>	<b>0.670</b>	<b>0.592</b>



**Figure 7.4:** Izvleček besedne zveze F1 rezultat

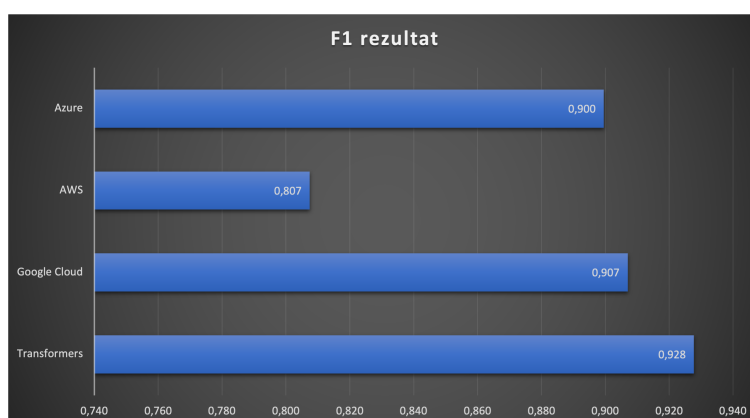
Pri izvajanju naloge zvlečka besedne zveze je bil uporabljen podatkovni niz [semeval-2017](#).

Kot najboljša rešitev za naloge izvlečka besedne zveze pa se je izkazala storitev Azure Cognitive Services.

## 7.5 Klasifikacija besedila (Text Classification)

**Table 7.5:** Klasifikacija besedila

	Precision	Recall	F1
Transformers	<b>0.930</b>	<b>0.926</b>	<b>0.928</b>
Vertex AI	0.957	0.862	0.907
AWS SageMaker	0.858	0.763	0. 807
Azure Cognitive Services	0.880	0.920	0.900



**Figure 7.5:** Klasifikacija besedila F1 rezultat

Pri izvajanju naloge klasifikacije besedila je bil uporabljen podatkovni niz IMDb Reviews.

Kot najboljša rešitev za naloge klasifikacije besedila pa se je izkazala storitev Transformers.

## 7.6 Zaznava objektov (Object Detection)

Table 7.6: Klasifikacija besedila

	Accuracy
Transformers	0.968
Vertex AI	0.977
AWS SageMaker	<b>0.980</b>
Azure Cognitive Services	0.965

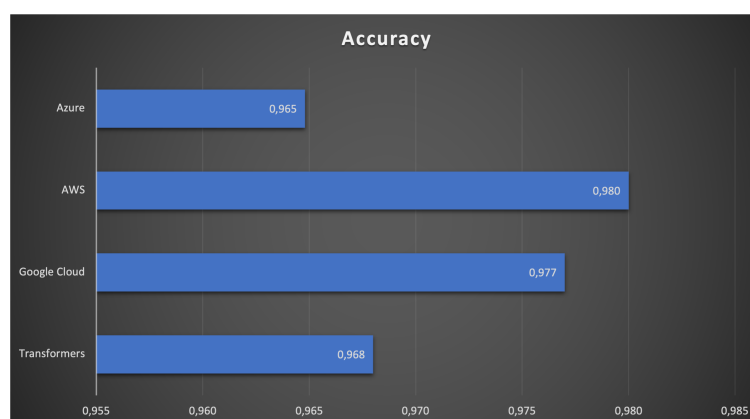


Figure 7.6: Zaznava objektov Accuracy rezultat

Pri zaznavi objektov je bil uporabljen COCO dataset.

Kot najboljša izbira za zaznavanje objektov pa se je izkazala storitev AWS SageMaker.



## Chapter 8

### Sklepne ugotovitve

Pri analizi raziskave so bili izbrani trije največji ponudniki storitev v oblaku: Google Cloud, Amazon Web Services ter Microsoft Azure. Pri izbiri odprtokodne rešitve je bilo težko izbrati najboljšega, saj so v tem času tri najboljše odprtokodne rešitve zelo tesno skupaj kakor tudi povezane. Na podlagi pregledanih funkcionalnosti ter uporabe je bil izbran Hugging Face - Transformers. Pomembno je omeniti, da so vse oblačne storitve po rezultatih tesno skupaj v nekaterih primerih, kot je razvidno iz tabele analize je za klasifikacijo besedila odprtokodna rešitev Transformers je imela najboljši rezultat.

		Transformers	Google Cloud	AWS	Azure
Named Entity Recognition	Precision	0,949	0,920	0,954	0,858
	Recall	0,953	0,919	0,961	0,824
	F1	0,951	0,919	0,958	0,840
Sentiment Analysis	Precision	0,800	0,924	0,862	0,862
	Recall	0,799	0,924	0,891	0,891
	F1	0,799	0,924	0,876	0,877
Summarization	ROUGE-1	0,209	0,429	0,226	0,426
	ROUGE-2	0,190	0,208	0,021	0,220
	ROUGE-L	0,192	0,306	0,201	0,330
Key Phrases	Precision	0,475	0,637	0,513	0,530
	Recall	0,573	0,543	0,622	0,670
	F1	0,519	0,586	0,562	0,592
Text Classification	Precision	0,930	0,957	0,858	0,880
	Recall	0,926	0,862	0,763	0,920
	F1	0,928	0,907	0,807	0,900
Object Detection	Accuracy	0,968	0,977	0,980	0,965

Figure 8.1: Tabela analize (Rezultati so zaokroženi na 3 decimalna mesta)

Pri testitranju imenovanje imenskih entitet je najvišjo uspešnost dosegla storitev AWS Sage Maker. Na drugem mestu se je uvrstila odprtokodna storitev Hugging Face Transformers, medtem ko je tretje mesto zasedla storitev Vertex AI ponudnika Google Cloud.

Pri testiranju sentimentalne analize je najboljše rezultate dosegla storitev AWS SageMaker. Na drugem mestu se je uvrstila odprtokodna rešitev Hugging Face Transformers, medtem ko je tretje mesto zasedla storitev Vertex AI podjetja Google Cloud.

Najboljši rezultati so bili doseženi pri povzemanju z uporabo storitve Azure Cognitive Services. Na drugem mestu se je uvrstil Vertex AI, medtem ko je tretje mesto pripadlo AWS SageMaker.

V ocenjevanju izvlečka besednih zvez je najvišje mesto osvojila storitev Azure Cognitive Services. Na drugem mestu se je uvrstil Vertex AI, medtem ko je tretje mesto zasedel AWS SageMaker.

Pri klasifikaciji besedila se je najboljša učinkovitost pokazala pri odprtokodni platformi Transformers. Na drugem mestu je bila storitev Vertex AI, medtem ko je tretje mesto pripadlo storitvi Azure Cognitive Services.

V zaznavanju objektov je najvišje mesto zasedla storitev AWS Cognitive Services, takoj za njo je sledil Vertex AI, medtem ko je tretje mesto pripadlo odprtokodni rešitvi Transformers.

Zaključimo lahko, da so trije največji ponudniki v oblaku po rezultatih zelo tesno skupaj, kakor pa lahko razberemo iz rezultatov pa je tudi odprtokodna rešitev zasedla prvo mesto.



# Bibliography

- [1] L. Fortnow, “Viewpoint: Time for computer science to grow up”, *Communications of the ACM*, št. 52, zv. 8, str. 33–35, 2009.
- [2] D. E. Knuth, P. Bendix. “Simple word problems in universal algebras”, v zborniku: Computational Problems in Abstract Algebra (ur. J. Leech), 1970, str. 263–297.
- [3] L. Lamport. *LaTEX: A Document Preparation System*. Addison-Wesley, 1986.
- [4] O. Patashnik (1998) BiBT<sub>E</sub>Xing. Dostopno na: <http://ftp.univie.ac.at/packages/tex/biblio/bibtex/contrib/doc/btxdoc.pdf>
- [5] licence-cc.pdf. Dostopno na: <https://ucilnica.fri.uni-lj.si/course/view.php?id=274>