ANALIZA ENVIRONMENTAL DATA: CLUSTERING

- PROJEKAT IZ PREDMETA „TEHNIKE I METODE ANALIZE PODATAKA“ U SARADNJI SA FIRMOM NISSATECH-

Student: Ivana Milivojević, 1699

Mentori: prof. dr Suzana Stojković,

Bratislav Trojić (Nissatech)

Niš, april 2024.

Izveštaj

Zadatak: Tema projekta obuhvata primenu klasterizacije nad „environmental“ podacima (prikupljenim iz realnog industrijskog pogona) i analizu dobijenih rezultata.

Implementacija: Projekat je realizovan u okviru Jupyter Notebook-a kroz pet glavnih koraka: istraživanje podataka, preprocesiranje podataka, upoznavanje sa algoritmom hijerarhijske klasterizacije, određivanje optimalnog broja klastera, i na kraju primena klasterizacije sa odabranim brojem klastera.

1. Istraživanje podataka

Na početku su učitani podaci iz CSV fajla sa 10 kolona, od kojih prva predstavlja vremenski trenutak očitavanja odgovarajućih parametara sa senzora, a preostalih 9 numeričke vrednosti (float64) tih parametara. Dostupno je ukupno 345 151 instanci podataka za period od 07.11.2022. do 10.11.2022. Takođe, može se primetiti da za atribut *CO2* ima manje vrednosti nego za ostale (344 264), kao i da nisu snimljene vrednosti svih parametara za ukupno 448 sekundi (skup sadrži podatke za 4 dana, tako da bi trebalo da ima 345 599 podataka). Na slici br. 1 je prikazano kako izgleda prvih pet podataka iz skupa, pri čemu se *timestamp* kolona koristi za indeksiranje.

timestamp	sound	pressure	temp	humidity	voc	pm1.0	pm2.5	pm10	CO2
2022-11-07 00:00:01	0.881076	1012.037290	24.777757	35.996349	29466.0	26.0	36.0	45.0	421.0
2022-11-07 00:00:02	0.863325	1012.025698	24.762371	36.002125	29467.0	26.0	36.0	45.0	419.0
2022-11-07 00:00:03	0.908509	1012.083523	24.767500	36.013384	29459.0	26.0	36.0	45.0	418.0
2022-11-07 00:00:04	0.924645	1012.091207	24.767500	36.013384	29454.0	26.0	36.0	44.0	418.0
2022-11-07 00:00:05	0.896406	1012.091207	24.764935	36.013405	29458.5	26.0	36.0	44.0	416.0

Slika 1: Prvih pet uzoraka iz skupa podataka

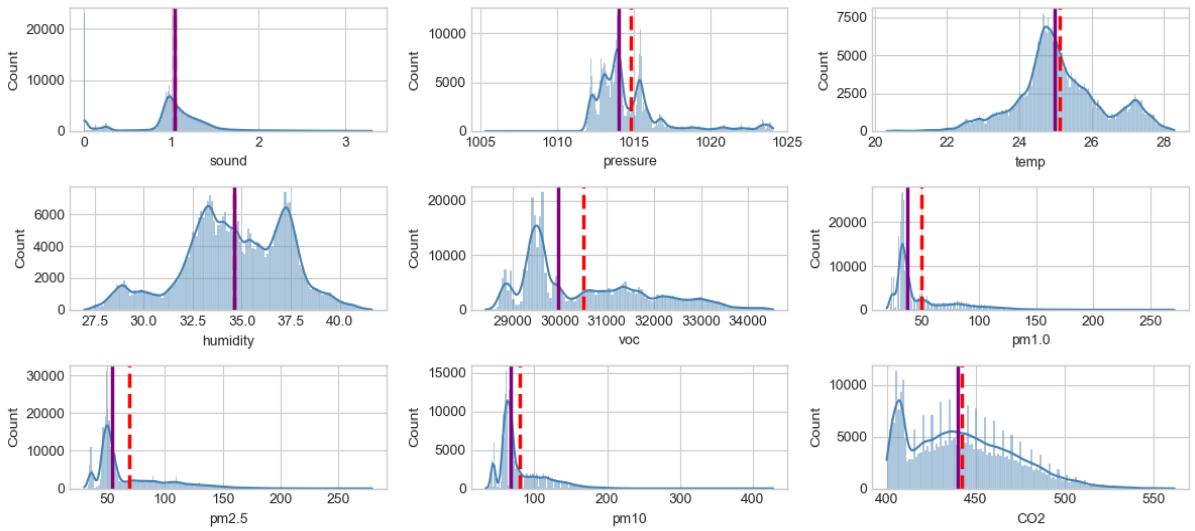
Atributi u skupu podataka su:

1. sound – nivo buke [V]
2. pressure – vazdušni pritisak [mb]
3. temp – temperatura vazduha [°C]
4. humidity – vlažnost vazduha [%]
5. voc – koncentracija isparljivih organskih jedinjenja (*Volatile Organic Compounds*) [ppm]
6. pm1.0 – koncentracija PM (*Particulate Matter*) 1.0 čestica, koje imaju prečnik manji od 1 μm [μg/m³]
7. pm2.5 – koncentracija PM 2.5 čestica, koje imaju prečnik manji od 2.5 μm [μg/m³]
8. pm10 – koncentracija PM 10 čestica, koje imaju prečnik manji od 10 μm [μg/m³]
9. CO2 – koncentracija ugljen-dioksida [ppm]

U okviru deskriptivne analize je primećeno da parametri *pm1.0*, *pm2.5* i *pm10* imaju veliku standardnu devijaciju i „repove“ na desnoj strani raspodele, odnosno da kod njih postoje vrednosti koje su značajno veće od ostalih. Takođe, za parametar *pressure* se može primetiti da je većina vrednosti bliska središnjoj, ali da postoje vrednosti koje su povišene, kao i da minimalna vrednost (1005 mb) značajno odstupa od proseka. Na slici br. 2 prikazan je rezultat poziva funkcije *describe* nad svim parametrima, a na slici br. 3 prikazane su raspodele (histogrami) njihovih vrednosti.

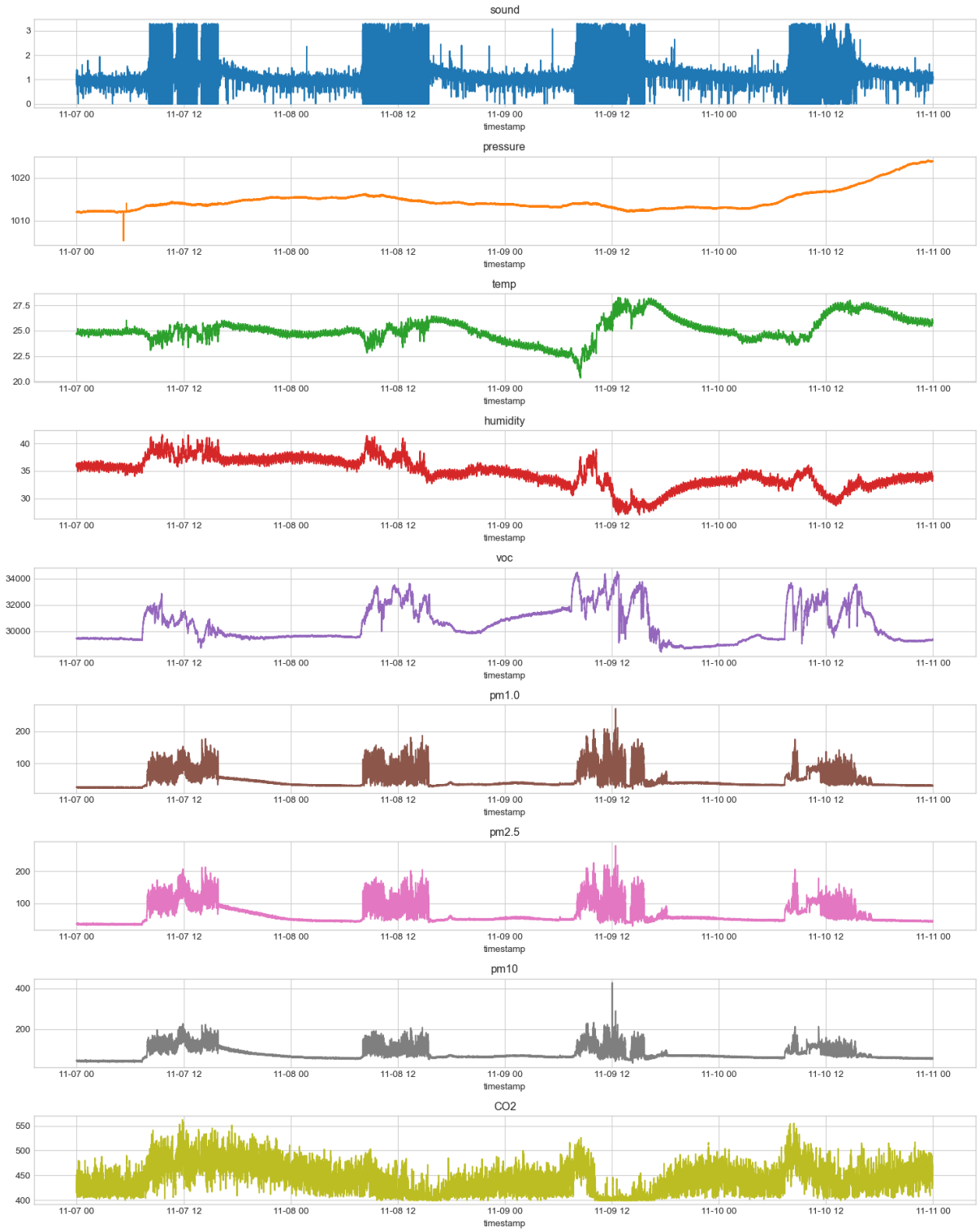
	sound	pressure	temp	humidity	voc	pm1.0	pm2.5	pm10	CO2
count	345151.000000	345151.000000	345151.000000	345151.000000	345151.000000	345151.000000	345151.000000	345151.000000	344264.000000
mean	1.035109	1014.807431	25.123033	34.636160	30512.354483	49.980410	68.674444	79.883421	442.465660
std	0.493434	2.517912	1.210600	2.652997	1329.625356	27.035828	31.107893	30.668957	28.831611
min	0.000000	1005.339453	20.326285	26.962989	28427.000000	20.000000	30.000000	33.000000	400.000000
25%	0.931100	1013.215952	24.470044	32.984199	29458.000000	33.000000	48.000000	61.000000	418.000000
50%	1.035990	1014.020586	24.972642	34.628268	29964.500000	38.000000	54.000000	68.000000	440.000000
75%	1.229633	1015.415069	25.782958	36.830740	31443.000000	59.000000	85.000000	93.000000	462.000000
max	3.303227	1024.071917	28.293446	41.651724	34535.000000	270.500000	279.500000	428.000000	562.000000

Slika 2: Statističke mere parametara



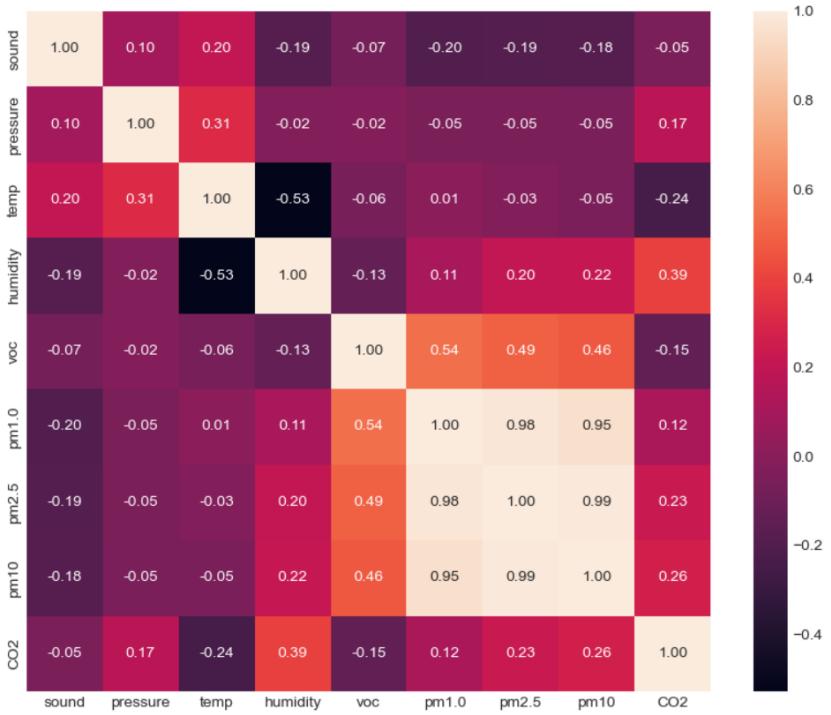
Slika 3: Dijagrami raspodele vrednosti parametara

Na dijagramima vremenske raspodele vrednosti parametara (prikazanim na slici br. 4) može se primetiti da svi parametri sem *pressure* i *CO2* imaju jasnu periodičnost. Svakog dana je u periodu od 08:00 do 16:00h bilo neke aktivnosti, pri čemu se za parametar *pressure* primećuju varijacije vrednosti 07.11. oko 05:00 h (nagli pad na 1005 mb), kao i porast tokom 10.11, dok je u ostalim slučajevima vrednost pritiska približno konstantna. Takođe, za dan 09.11. se primećuju nešto veće vrednosti parametara *temp*, *voc*, *pm1.0*, *pm2.5* i *pm10*, i manje vrednosti za parametar *humidity*.



Slika 4: Vremenska raspodela vrednosti parametara

Na osnovu matrice korelacije (slika br. 5) može se primetiti da postoji jaka korelacija između atributa *pm1.0*, *pm2.5* i *pm10*, tako da bi se potencijalno mogla odraditi redukcija dimenzionalnosti izbacivanjem suvišnih atributa (zadržati npr. samo atribut *pm2.5*).



Slika 5: Matrica korelacije

2. Preprocesiranje podataka

Utvrđeno je da za atribut CO2 postoji 887 nedostajućih (NaN) vrednosti i da u skupu podataka postoje 24 duplikata kada je u pitanju *timestamp*. Nedostajuće vrednosti su zamenjene primenom linearne interpolacije za taj parametar, a duplikati su uklonjeni.

Nakon toga je pozvana *resample* funkcija kako bi skup podataka imao vrednosti za svaku sekundu posmatranog intervala, a zatim je izvršena standardizacija podataka. S obzirom na to da su se javili problemi sa memorijom prilikom izvršavanja hijerarhijskog klasterovanja nad celim skupom podataka odmeravanim na 1s, proces je nastavljen sa skupom odmeravanim na 30s (slika br. 6), nakon čega ostalo 11 519 instanci.

timestamp	sound	pressure	temp	humidity	voc	pm1.0	pm2.5	pm10	CO2
2022-11-07 00:00:30	0.956112	1012.062426	24.739293	36.041862	29462.5	25.0	36.0	45.0	421.5
2022-11-07 00:01:00	0.964988	1011.991563	24.623900	36.195291	29463.0	26.0	38.0	47.0	440.0
2022-11-07 00:01:30	0.995648	1012.033767	24.670057	36.177992	29451.0	27.0	38.0	45.0	419.0
2022-11-07 00:02:00	0.914963	1012.072187	24.711086	36.149430	29450.0	26.0	37.0	47.0	435.0
2022-11-07 00:02:30	0.935941	1012.041327	24.741857	36.115291	29450.0	25.0	37.0	44.0	408.0

Slika 6: Podaci nakon odmeravanja na 30s

U ovom slučaju nije bilo potrebe za redukcijom dimenzionalnosti, s obzirom na to da skup sadrži svega 9 atributa, ali zbog postojanja jake korelacije ustanovljene u prethodnom koraku, izbačeni su parametri *pm1.0* i *pm10*.

3. Primena hijerarhijskog klasterovanja

Klasterizacija je tehnika nenadgledanog učenja kojom se podaci dele u grupe (klastere) na osnovu njihove sličnosti, pri čemu objekti treba da budu sličniji objektima iz istog klastera, nego objektima iz drugih klastera. Hijerarhijska klasterizacija je metoda kojom se kreira hijerarhija klastera tako što se rekurzivno vrši podela/udruživanje entiteta po top-down (*divisive hierarchical clustering*) ili bottom-up (*agglomerative hierarchical clustering*) principu.

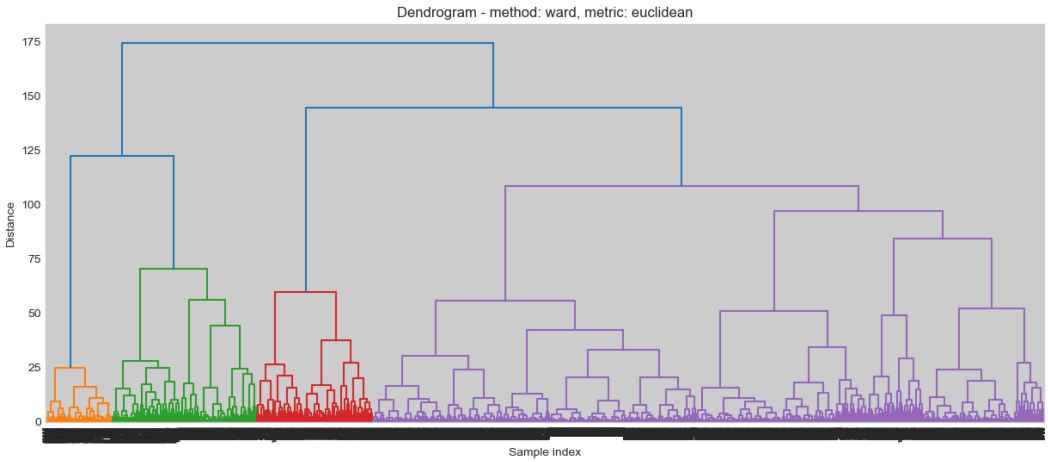
Najčešće se primenjuje *agglomerative hierarchical clustering*, koji je iskorišćen i u ovom projektu. Algoritam funkcioniše tako što se na početku svaki objekat posmatra kao pojedinačni klaster (list stabla), a zatim se u svakom koraku udružuju parovi najsličnijih klastera dok se ne dostigne jedinstveni klaster koji obuhvata sve objekte (koren stabla). Kao rezultat tog procesa se dobija stablo, poznato kao dendrogram. Najvažniji parametri koje treba zadati pre primene ovog algoritma su mera udaljenosti između objekata i način udruživanja klastera (odnosi se na odabir udaljenosti koju parovi klastera treba da minimizuju da bi bili odabrani za udruživanje). Takođe, potrebno je odrediti na kom mestu treba preseći stablo, tj. u koliko klastera treba podeliti podatke.

U ovom koraku je algoritam primenjen bez specificiranja broja klastera, jer je fokus bio na kreiranju dendrograma i razmatranju različitih metrika. Dendrogram je kreiran uz pomoć odgovarajućeg modula SciPy biblioteke (scipy.cluster.hierarchy). SciPy nudi dosta opcija za parametar *metric*: „braycurtis“, „canberra“, „chebyshev“, „cityblock“, „correlation“, „cosine“, „dice“, „euclidean“, „hamming“, „jaccard“, „jensenshannon“, „kulczynski1“, „mahalanobis“, „matching“, „minkowski“, „rogerstanimoto“, „russellrao“, „seuclidean“, „sokalmichener“, „sokalsneath“, „sqeuclidean“ i „yule“, od kojih je isprobano nekoliko vrednosti koje najčešće daju dobre rezultate („cityblock“, „euclidean“, „cosine“ i „mahalanobis“). Dostupne su različite vrednosti i za parametar *method*: „single“, „complete“, „average“, „weighted“, „centroid“, „median“ i „ward“ (pri čemu su „centroid“, „median“ i „ward“ ispravno definisane samo ako se koristi euklidsko rastojanje), a u ovom projektu su isprobane sve navedene mogućnosti.

Povezanost klastera je evaluirana korišćenjem *cophenet correlation* tehnike i vizuelnom analizom dendrograma. Za svaku razmatranu kombinaciju je računata *cophenet* mera korelacije između udaljenosti tačaka u prostoru atributa i udaljenosti na dendrogramu, pri čemu je klasterovanje bolje što je ona bliža jedinici (slika br. 7). Na početku su eliminisane kombinacije kod kojih gotovo svi entiteti na dendrogramu pripadaju jednom klasteru iako su imale visoke vrednosti za *cophenet* koeficijent (preko 0.7) – jer to ne donosi novu informaciju o sistemu. Kao najbolja kombinacija odabran je slučaj kada se koriste „euclidean“ rastojanje i „ward“ metod (slika br. 8), gde *cophenet* korelacija iznosi 0,68 (ova kombinacija daje „jasne“ klastere na dendrogramu).

Metric/Method	single	complete	average	weighted	centroid	median	ward
euclidean	0.604	0.612	0.794	0.66	0.801	0.58	0.676
cityblock	0.56	0.687	0.748	0.604	nan	nan	nan
cosine	0.35	0.568	0.664	0.608	nan	nan	nan
mahalanobis	0.624	0.575	0.761	0.598	nan	nan	nan

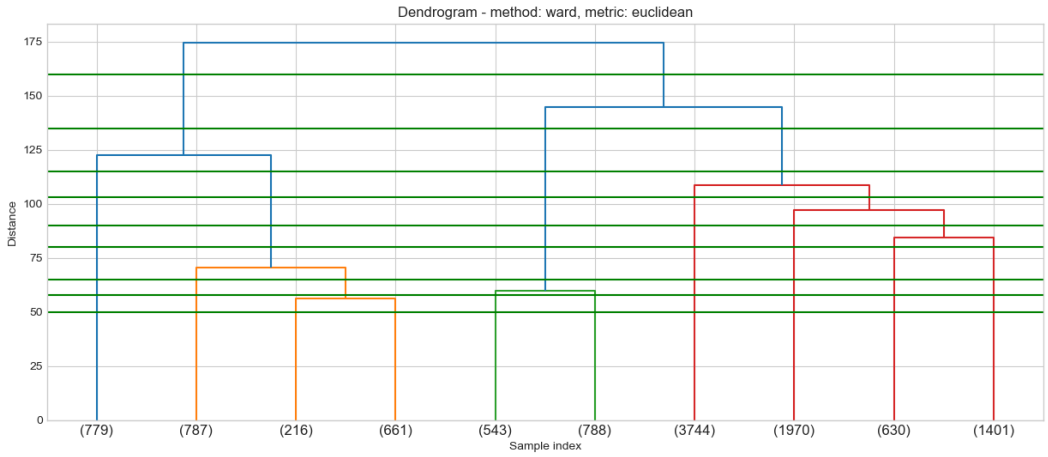
Slika 7: Vrednosti *cophenet* mere



Slika 8: Dendrogram koji odgovara odabranim parametrima

4. Određivanje optimalnog broja klastera

Dendrogram je ponovo vizuelizovan, sa izdvojenih „najviših“ 10 klastera (slika br. 9). U okviru ovog koraka primenjene su dve različite metrike za određivanje optimalnog broja klastera: Silhouette score i Calinski-Harabasz score (njihove vrednosti za opseg od 2 do 10 klastera prikazane su na slici br. 10). Odabrana je podela na 4 klastera, pri čemu je prvenstveno uzeta u obzir vrednost za Silhouette score – koja je najbolja za 4 klastera, dok Calinski-Harabasz score ima najbolju vrednost za 6 klastera, ali i vrednost dobijena za 4 klastera se ne razlikuje značajno od najbolje.



Slika 9: Visine odsecanja dendrograma za 2-10 klastera

Score/Clusters	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Silhouette	0.3	0.301	0.322	0.217	0.242	0.269	0.279	0.28	0.284
Calinski-Harabasz	2683.01	2693.54	2689.2	2711.8	2743.91	2737.05	2667.84	2567.95	2489.36

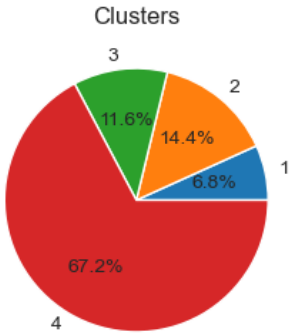
Slika 10: Evaluacija broja klastera

5. Primena i evaluacija algoritma

Izvršena je hijerarhijska klasterizacija na 4 klastera, pri čemu su dobijene evaluacione metrike:

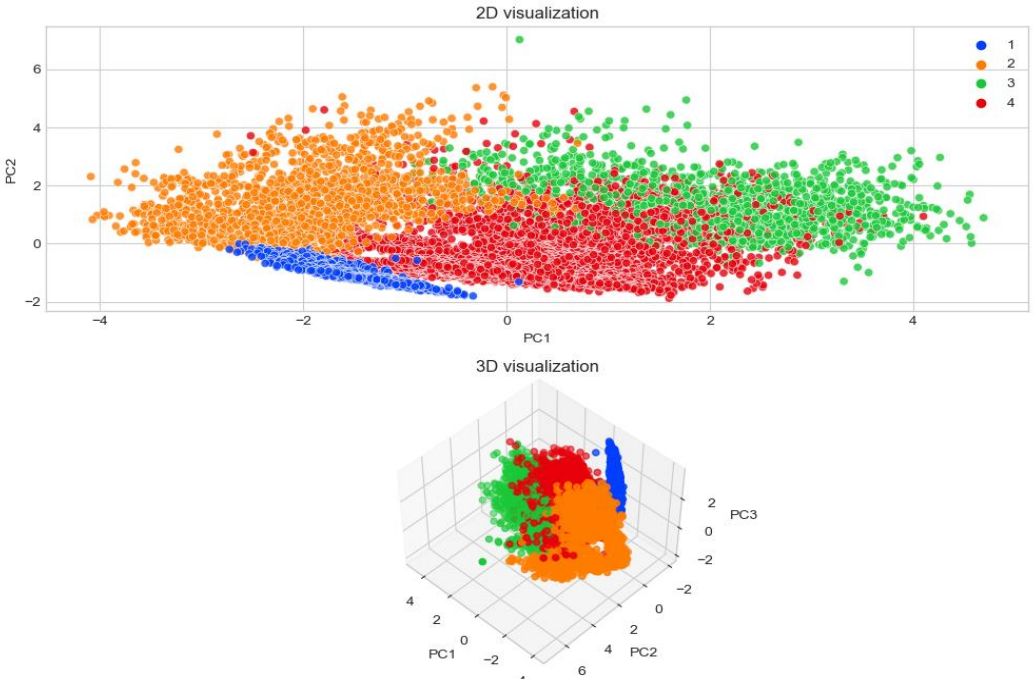
- Silhouette score: 0.32
- Calinski-Harabasz score: 2689.2
- Davies-Bouldin score: 1.27

Klasteru 1 pripada 779 entiteta, klasteru 2 pripada 1664, klasteru 3 pripada 1331, dok se u klasteru 4 nalazi 7745 entiteta (slika br. 11).



Slika 11: Raspodela podataka po klasterima

Za 2D i 3D vizuelizaciju je iskorišćena PCA metoda, kako bi se skup redukovao na 2, odnosno 3 dimenzije, što je prikazano na slici br. 12.



Slika 12: Vizuelizacija klastera

Nakon klasterizacije je primenjena Random Forest tehnika za određivanje značaja atributa, tj. uticaja parametara na pripadnost klasteru. Ustanovljeno je da najviše utiču buka, pritisak, temperatura, vlažnost, koncentracija PM čestica, koncentracija isparljivih organskih jedinjenja, pa koncentracija ugljen-dioksida.

- Klaster 1: Povećan pritisak, povišena temperatura, blago povećana koncentracija CO2
- Klaster 2: Povećana buka, povišena temperatura, smanjena vlažnost, blago povećana koncentracija PM čestica, blago povećana koncentracija isparljivih organskih jedinjenja
- Klaster 3: Značajno smanjena buka, povećana vlažnost, povećana koncentracija PM čestica, blago povećana koncntracija isparljivih organskih jedinjenja, blago povećana koncentracija CO2
- Klaster 4: Normalno stanje sistema bez značajnih promena parametara

Primećeno je da period povećanog pritiska i povišene temperature predstavlja posebno stanje sistema u kome je blago povećana koncentracija ugljen-dioksida (klaster 1), da posebno stanje sistema predstavlja period povišene temperature i smanjene vlažnosti u kome je povećana buka i blago su povećane koncentracije PM čestica i isparljivih organskih jedinjenja (klaster 2), kao i da postoji period povećane vlažnosti u kome je značajno smanjena buka, značajno je povećana koncentracija PM čestica i blago je povećana koncentracija isparljivih organskih jedinjenja i ugljen-dioksida (klaster 3).

Rezultat klasterizacije nalazi se u CSV fajlu „result.csv“, koji se sastoji od dve kolone: prva predstavlja *timestamp*, a druga redni broj klastera kome je odgovarajući podatak dodeljen.