



AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE
WYDZIAŁ GEOLOGII, GEOFIZYKI I OCHRONY ŚRODOWISKA

KATEDRA GEOINFORMATYKI I INFORMATYKI STOSOWANEJ

Analiza chemizmu gleb ornych Polski w 2020 roku

Projekt Feature engineering i EDA

Autor: Maria Zalewska
Kierunek studiów: Inżynieria i Analiza Danych

Kraków, 2024

Contents

1	Przygotowanie do analizy	3
1.1	Seaborn	3
1.2	Strona dane.gov.pl	3
1.3	API na stronie dane.gov.pl	3
2	Dane	4
3	Przygotowanie danych	6
3.1	Brakujące wartości	6
3.2	Unikalne wartości	6
4	Cechy zbioru danych	7
4.1	Rozkład cech	7
4.2	Tablica korelacji	7
5	Teren a występowanie pierwiastków	10
6	Uczenie maszynowe	13
6.1	Zmienna TARGET	13
6.2	Zmienna FEATURES	13

1 Przygotowanie do analizy

1.1 Seaborn

Celem poniższego rozdziału jest zapoznanie się z biblioteką *Seaborn*, wykorzystywaną w języku *Python* do wizualizacji danych. Oparta na bibliotece *Matplotlib*, jest wsparciem dla analiz statystycznych i dokumentacji istniejących zależności.

Poniższe wykresy zostały stworzone z ogólnodostępnego zbioru danych o kwiatach *Iris*. Pierwszy histogram przedstawia rozkład długości płatków dla każdego gatunku, a drugi rozkład szerokości płatków. W histogramach włączona jest opcja pokazania estymowanej gęstości jądrowej rozkładów. Wykresy te są przejrzyste i łatwe w zrozumieniu, co jest jedną z głównych cech wizualizacji tworzonych za pomocą biblioteki *Seaborn*.

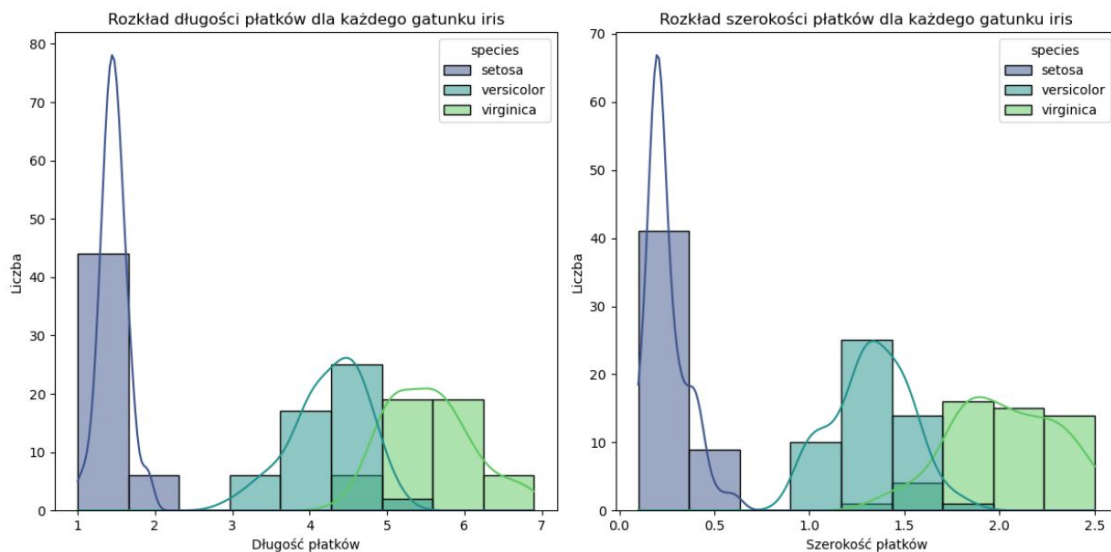


Figure 1: Wykresy stworzone za pomocą biblioteki *Seaborn*

1.2 Strona dane.gov.pl

Strona *dane.gov.pl* jest stroną rządową, która udostępnia bazy danych zbierane za pomocą krajowych funduszy. Dane są podzielone na kategorie, takie jak na przykład edukacja, zdrowie, gospodarka czy środowisko. Dostawców jest ponad czterystu, co wskazuje na wiele różnorodnych przeznaczeń dla baz danych. Można je wykorzystać do analizy trendów społecznych, ekonomicznych, opracowywania raportów, modelowania danych czy tworzenia aplikacji opartych na danych. Dane dostępne są w różnych formatach, takich jak CSV, XML czy JSON, lub do ich pobrania można wykorzystać interfejsy API, a do przeglądania danych służą interaktywne narzędzia online. Dostępne są różnorodne filtry do wyszukiwania, pomagające w szukaniu na przykład takich danych, które mogłyby zostać wykorzystane do predykcji. Należą do nich na przykład filtr pliku do pobrania (pliki .doc zazwyczaj są plikami z ogłoszeniami bądź wynikami przeprowadzonych analiz), poziom otwartości danych (im większy poziom, tym dane są lepszej jakości w rozumieniu dalszych analiz), ale również sposób wizualizacji danych ustawiony jako tabelaryczny, który pomaga w początkowej ocenie kolumn i informacji w nich zawartych.

1.3 API na stronie dane.gov.pl

API (*Application Programming Interface* - Interfejs Programowania Aplikacji) umożliwia automatyczne pobieranie danych z serwera, co eliminuje konieczność ręcznego pobierania i aktualizowania danych.

Zaoszczędzony czas oraz bezpieczeństwo są zaletami takiego dostępu do danych. Strona *dane.gov.pl* chwali się aż 553 różnymi API.

2 Dane

Pobrane dane przedstawiają strukturę chemiczną gleby rolnej w Polsce, dostarczoną przez **Główny Inspektorat Ochrony Środowiska**. Dane te są częścią większego państwowego projektu *"Monitoring chemizmu gleb ornych Polski"*, sprawdzającego stan ziem ze względu na zanieczyszczenia, ale też na zwykłe zmiany chemiczne zachodzące pod wpływem lat.

Tabela ta zawiera informacje o położeniu badanych ziem (*Województwo, Gmina, Powiat* oraz *szerokość i długość geograficzną* w dwóch sposobach zapisu). Następnie kilka kolumn dotyczy grubości kolejnych podłoży gleby, wyrażonych w milimetrach, oraz właściwości chemicznych, sprawdzających między innymi uziarnienie, odczyn, właściwości sorpcyjne czy zawartość pierwiastków.

Informację o sposobie pobierania danych podał dostawca: *"Próbki do analiz laboratoryjnych były pobierane z głębokości 0-20 cm i powierzchni ok. 100 m², a następnie mieszane w celu uzyskania próbki średniej."* [6]

Dane te, zebrane w 2020 roku, stanowią dobrą bazę pod kolejne badania naukowe na temat szybkości zmian zachodzących w naturze, ale też w predykcji, jakie ziemie posiada kraj Rzeczpospolita Polska i do czego mogą one służyć w przyszłości. Poprzez stworzenie punktów pomiarowych w całej Polsce możliwe jest dokładne sprawdzenie obszarów z podobnymi glebami, ale również różnic oddalonych od siebie terenów tych samych województw.

Poniższy kod przedstawia jedną z możliwości pobrania danych ze strony za pomocą API do plików z rozszerzeniem CSV, korzystając z modułu **requests**. Plik z danymi zapisuje lokalnie pod nazwą *"Wyniki_pomiarow_2020.csv"*. Następnie wczytuje ten plik do ramki danych. Jeśli pobranie pliku się nie powiedzie, zostanie wyświetlony komunikat o błędzie.

Dla dodatkowej przejrzystości poniżej znajduje się również mapa z punktami pobrań gleby w układzie odniesienia **EPSG:4326 (WGS 84)**.

```
1 import requests
2 import pandas as pd
3
4 url = "https://api.dane.gov.pl/media/resources/20221215/Wyniki_pomiar%C3%B3w_dot._monitoringu_chemizmu_gleb_ornych_Polski_w_2020_roku.csv"
5 response = requests.get(url)
6
7 if response.status_code == 200:
8     with open("Wyniki_pomiarow_2020.csv", 'wb') as f:
9         f.write(response.content)
10    df = pd.read_csv("Wyniki_pomiarow_2020.csv")
11    print(df.head())
12 else:
13    print("Bład pobierania pliku.")
```

Listing 1: Pobranie danych w języku Python

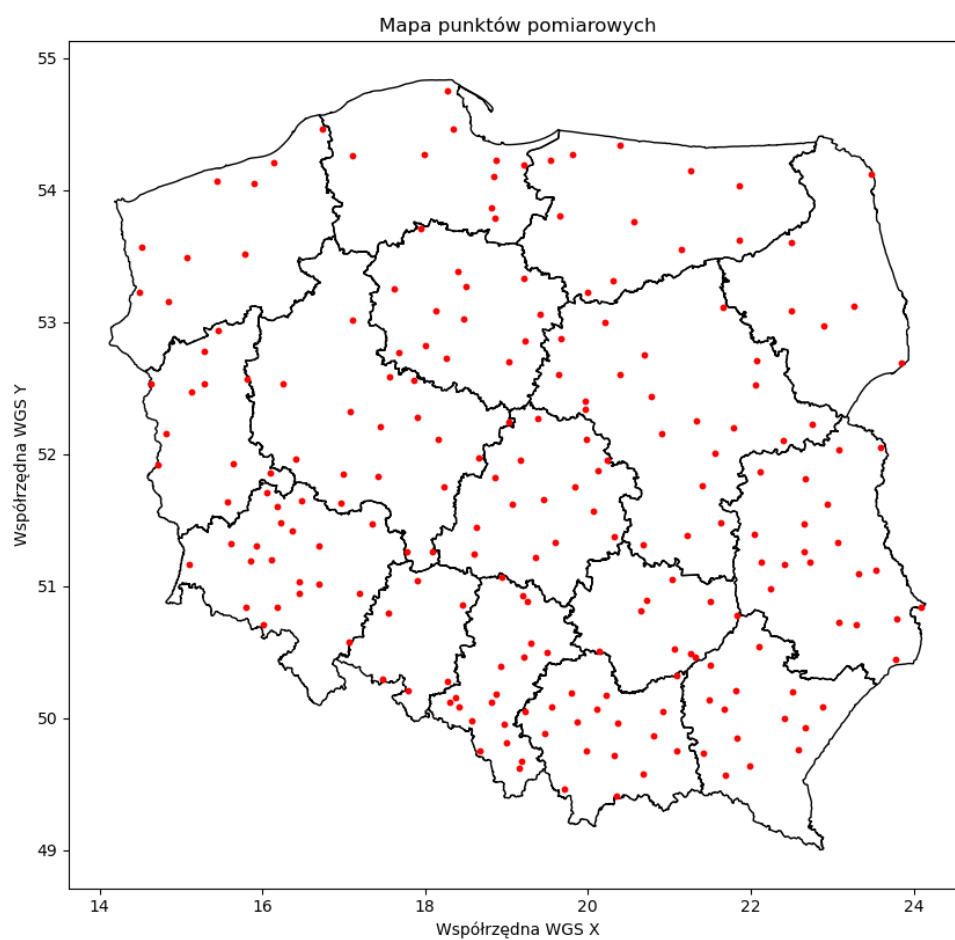


Figure 2: Mapa punktów poboru próbek gleby

3 Przygotowanie danych

3.1 Brakujące wartości

Brakujące wartości występują w większości kolumn, jednak nie ma potrzeby ich usuwać. Gdy brakujących wartości jest dużo (nawet 95%), dzieje się tak jedynie w przypadku właściwości chemicznych gleby, co oznacza, że brakujące wartości to sytuacja, w której pewnego związku bądź właściwości nie udało się znaleźć w ziemi, lub jej udział był tak niewielki, że mógłby być właściwie niewykrywalny. Ostatecznie wszystkie brakujące wartości zostały zamienione na zera, ponieważ taka wartość będzie najbardziej odpowiadała sytuacji praktycznej.

3.2 Unikalne wartości

Większość danych w zbiorze stanowią wartości liczbowe, przez co dla dominującej liczby kolumn liczba wartości unikalnych jest bardzo duża, choć często powtarzająca się z powodu średniego (posiadającego 216 wierszy) zbioru danych. Choć dałoby się zamienić wartości liczbowe na przedziały, dane straciłyby na ostrości i przejrzystości. Bardziej zaskakujące są kolumny, w których unikalnych wartości jest niewiele, co może oznaczać, że jest to rzadko występująca w naturze właściwość. Poniżej przedstawiony jest spis kolumn, dla których liczba unikalnych wartości nie przekroczyła nawet dziesięciu. Jak można zauważyć, jednym z najrzadziej występujących pierwiastków jest *Na* (sód). Sód jest jednym z podstawowych pierwiastków chemicznych, więc jego obecność w glebie może być naturalnym zjawiskiem, szczególnie jeśli gleba jest bogata w minerały. Mogło to również nastąpić poprzez zanieczyszczenia, na przykład stosowanie nawozów lub środków ochrony roślin, bądź podlewanie zasoloną wodą.

Zawartość *fluorenu* znajduje się w obszarze tylko jednego punktu obserwacyjnego w województwie mazowieckim, w gminie Małkinia Górna. Wartość $31 \text{ } \mu\text{g/kg}$, która nie wydaje się być wielkością zagrażającą życiu człowieka, jest jednak większa niż w roku 2015 w ostatnich badaniach, co może budzić pewien niepokój u mieszkańców tej gminy. W podobnych ilościach $\mu\text{g/kg}$ znaleziono *dibenzoantracen* w obszarach dwóch gmin województw małopolskiego i zachodniopomorskiego. Choć wartości te również wydają się być nieszkodliwe, istnieją informacje sugerujące, że przy nawet krótkim kontakcie z tym związkiem mogą wystąpić niepożądane reakcje. [3]

Dla pierwiastka *Be* (beryl) oraz dla struktury chemicznej *benzopirenu* jedynymi danymi są dane o wartości *NaN* (0), co jest pozytywną informacją, ponieważ obie te chemiczne właściwości gleby mogłyby wskazywać na poważne zatrucia ziemi w obszarach ich występowania.

Table 1: Tabela przedstawiająca najmniejsze zliczenia unikalnych wartości w danych

Nazwa zmiennej	Liczba unikalnych wartości (z uwzględnieniem wartości NaN)
Na (cmol/kg)	7
fluoren ($\mu\text{g/kg}$)	2
dibenzo(a,h)antracen ($\mu\text{g/kg}$)	3
benzo(g,h,i)perylen ($\mu\text{g/kg}$)	1
Be (mg/kg)	1

4 Cechy zbioru danych

4.1 Rozkład cech

Do sprawdzenia występowania pierwiastków w glebach poprzez pokazanie ich rozkładu na histogramach wykorzystano większość kolumn, którym nie brakowało żadnych wartości. Do obliczenia ilości przedziałów w histogramach wykorzystano wzór z reguły Sturge'a:

$$\text{szerokosc_przedzialow} = 1 + 3.3 * \log_{10}(N)$$

gdzie N to długość danych (wielkość).

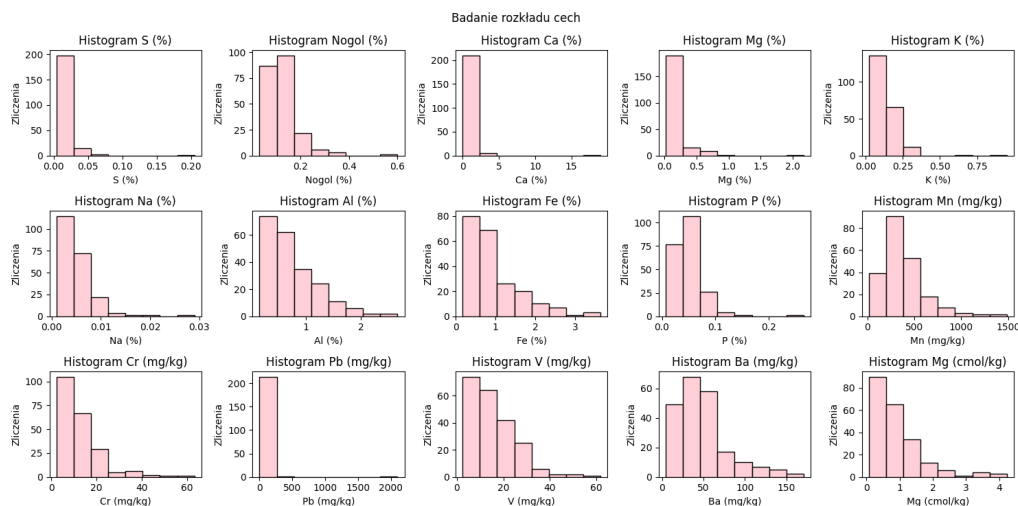


Figure 3: Rozkład cech w zbiorze

Widać, że żadna z przedstawionych zmiennych nie posiada rozkładu normalnego, a o wiele bardziej przypominają one rozkłady Poissona o najczęstszej wartości będącej bliskiej zeru. Natomiast dla przypadków, w których własności chemiczne liczone były w, na przykład mg/kg bądź $cmol/kg$, wartości odbiegają od zera choć rozkład pozostaje podobny.

4.2 Tablica korelacji

Choć tablica korelacji jest duża, można zauważyć niektóre zależności. Dodatkowo, usunięte zostały z niej kolumny zawierające wartości opisujące (w tym przypadku nazwy gmin, województw czy zmienne szerokości i długości geograficznej). Tablica jest dodana również jako załącznik ze względu na jej problematyczną wielkość. Pierwszą zależnością może być związek odpowiednio kolumn od zmiennej *fenantren* ($\mu g/kg$) do *suma WWA-13* ($\mu g/kg$), z wyłączeniem kolumn *dibenzo(a,h)antracen* ($\mu g/kg$) oraz *fluoren* ($\mu g/kg$). Zgodnie z informacjami podanymi przez dostawcę danych [6], są to **wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne**. Związki te powstają podczas spalania w środowisku naturalnym, na przykład w czasie pożarów lasów, ale również tworzone są przez człowieka i związane z nim zanieczyszczenie środowiska, jak na przykład produkcja spalin pojazdów [11].

Łatwą do zrozumienia korelacją są również wartości korelacji znajdujące się w lewym górnym rogu tabeli, dotyczące typów gleby, gdzie *piasek na głębokości 1-0,1 mm* jest skorelowany z *piaskiem na głębokości (2-0,05 mm)*. Za to ujemnie skorelowane są podłoża z *piasków* i *pyłów*.

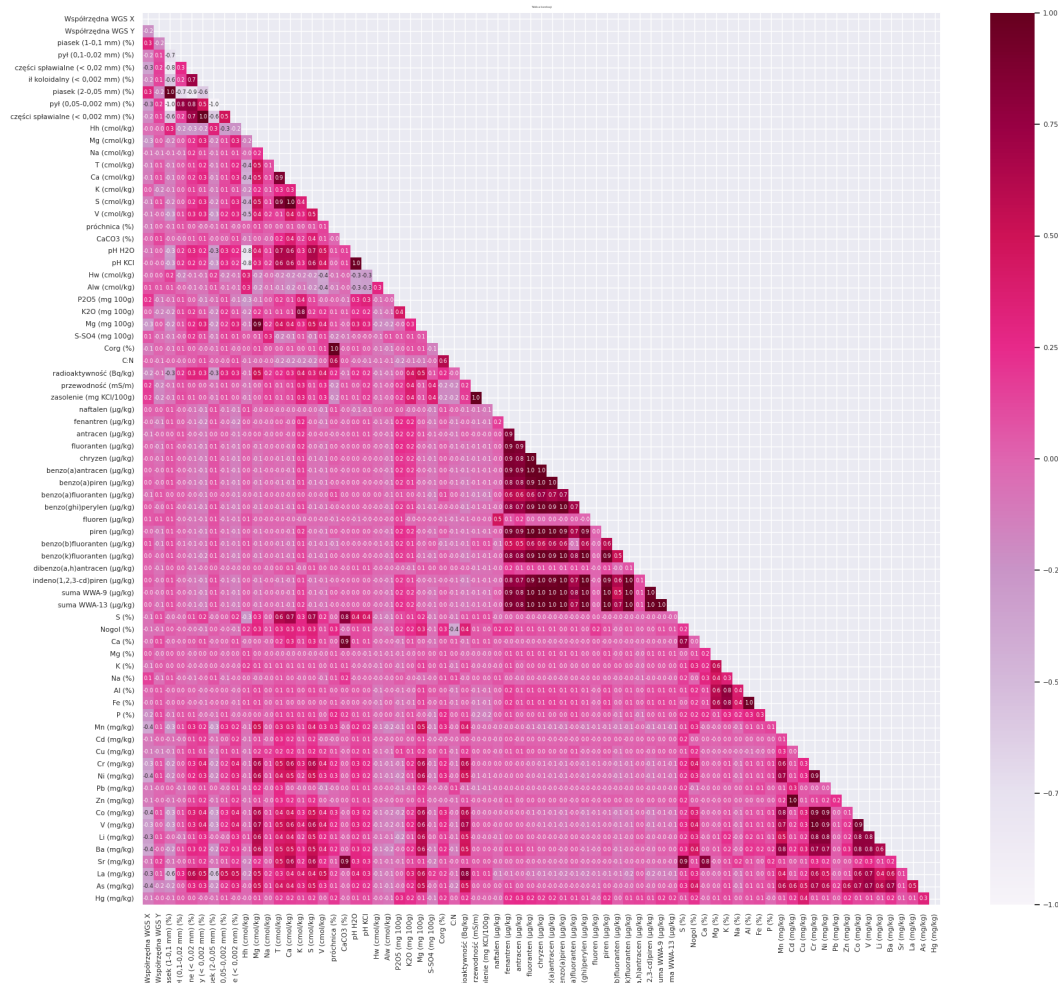


Figure 4: Korelacja w zbiorze

Poniżej przedstawione zostały pary zmiennych, dla których wartość korelacji wynosiła nie mniej niż 0.9:

- ('Mg (mg 100g)', 'Mg (cmol/kg)') – korelacja prosta do zrozumienia, jako że są to wartości magnezu przyswajalnego (bezpośrednio dostępny dla roślin do pobrania i wykorzystania) i magnezu wymiennego (nie jest bezpośrednio dostępny dla roślin, ale może być uwalniany do roztworu glebowego jeśli na przykład pH gleby na to pozwala),
- ('Ca (cmol/kg)', 'S (cmol/kg)') – zmienna *S* będąca sumą kationów wymiennych jest zależna od wapnia (*Ca*), który jest jednym z kationów wymiennych,
- ('próchnica (%)', 'Corg (%)') – węgiel organiczny (*Corg*) jest ważnym, choć niejedynym, elementem *próchnicy*,
- ('CaCO3 (%)', 'Ca (%)') – w miejscach, gdzie jest wapń, będzie występował również węglan wapnia, ze względu na występujące w przyrodzie przemiany chemiczne,
- ('pH H2O', 'pH KCl') – pierwsza zmienna to wartość *pH* odczytana z zawiesiny wodnej, a druga to wartość *pH* tej samej gleby odczytana z zawiesiny chlorku potasu,

- ('przewodność (mS/m)', 'zasolenie (mg KCl/100g)') – sól w roztworze wodnym rozpada się na jony, które są nośnikami ładunku elektrycznego, a wysokie stężenia jonów w roztworze glebowym zwiększają zdolność gleby do przewodzenia prądu. ,
- ('Al (%)', 'Fe (%)') – powodem tej korelacji może być fakt, że tworzenie się gleby pod wpływem lateryzacji (proces wietrzenia chemicznego) powoduje powstawanie gleb z akumulacją uwodnionych tlenków Fe i Al [5], nie jest jednak pewne czy badane gleby były poddane temu procesowi i czy korelacja ta nie jest korelacją sztuczną,
- ('Cd(mg/kg)', 'Zn (mg/kg)') – Kadm (*Cd*) i Cynk (*Zn*) mogą mieć te same źródła zanieczyszczeń na przykład używanie nawozów mineralnych, odpady komunalne, czy zwykłe emisje przemysłowe, które w połączeniu z podobnymi zachowaniami tych dwóch pierwiastków mogą doprowadzić do wspólnego pojawienia się na jednym obszarze,
- ('Cr (mg/kg)', 'V (mg/kg)') – czynniki środowiskowe, takie jak pH gleby, rodzaj minerałów glebowych, wilgotność, tekstura gleby i tym podobne, mogą wpływać zarówno na dostępność chromu (*Cr*), jak i na wysycenie kompleksu sorpcyjnego kationami zasadowymi (*V*)
- ('Ni (mg/kg)', 'Co (mg/kg)') – pierwiastki te są podobne do siebie ze względu na masę atomową (w układzie okresowym pierwiastków), mogły tworzyć się w podobnym czasie i podobnych miejscach,
- ('Co (mg/kg)', 'Cr (mg/kg)') – podobieństwa mogą pochodzić z podobnego rozkładu i obecności skał macierzystych (ultrazasadowych), a także znaczącym zanieczyszczeniem antropogenicznym, pochodzącym głównie z przemysłu [9]

5 Teren a występowanie pierwiastków

Aby sprawdzić, na jakich terenach występują większe ogniska różnych zmiennych, potrzebna była mapa Polski z punktami pobrań. Wielkość punktów zależy od wielkości istniejącego w glebie materiału (im większa ilość znalezionego pierwiastka w glebie, tym większy będzie punkt). Dane zostały dodatkowo znormalizowane, tak aby punkty były widoczne i dobrze zeskalowane. Zmienne podzielono również na sposób zmierzenia: procentowe wartości i wagowe.

Dla wapnia (Ca) oraz magnezu (Mg) punkty są w większości podobnych rozmiarów, co sugeruje, że pierwiastki te znajdują się w glebie w każdym obszarze Polski, ale również w podobnych wielkościach. Wyjątkami są dla wapnia województwo lubelskie, gmina Kamień, oraz dla magnezu województwo kujawsko-pomorskie, gmina Zławieś Wielka. Nie znaleziono jednak żadnego powiązania dla tych miejsc z tak wysokimi wartościami.

Dla potasu (K) największe jego skupisko znajduje się w dolnej części Polski, a dokładnie w punkcie pomiarowym w województwie śląskim, w gminie Żywiec. W próbce badanej gleby znalazło się 0,95% potasu, co jest jego największą wartością w zbiorze danych. W gminie Żywiec znajdują się Beskidy, które mogą zawierać skały bogate w minerały, a w tym potas, co z kolei może wpływać na zawartość tego pierwiastka w glebie i wodach znajdujących się w otoczeniu.

Dla pierwiastków glinu (Al) oraz żelaza (Fe) zauważyć można, że punkty na mapach właściwie się pokrywają, co potwierdza też wcześniej sprawdzona korelacja. Ich największe ogniska rozmieszczone są właściwie po całej Polsce, choć na Śląsku wydaje się ich być najwięcej, co jednak może być spowodowane zwiększeniem w tamtym obszarze punktów pobrań. Można to tłumaczyć występowaniem w tamtych obszarach również węgla kamiennego, któremu często towarzyszą skały zawierające glin i żelazo. Śląsk był też tradycyjnie regionem o dużym znaczeniu dla przemysłu metalurgicznego. Działalność tych zakładów mogła przyczynić się do zanieczyszczenia środowiska przez metale ciężkie, takie jak właśnie żelazo.

Fosfor posiada podobnie rozłożone punkty co żelazo i glin, jednak jego największym skupiskiem jest gmina Bochnia w województwie śląskim. Na podstawie przeprowadzonej analizy stwierdza się, że obecnie brak jest jednoznacznej identyfikacji głównego źródła wysokiego stężenia fosforu w okolicy Bochni. Tak samo nie znaleziono połączenia pomiędzy dużym występowaniem sodu (Na) w okolicach Tucholi zamiast w okolicach gminy Wielickiej, gdzie, w gminach obok, ilość sodu w glebie wynosi nie więcej niż 0,006%. W tamtych obszarach występuje dużo węgla organicznego, który służy jako pożywka dla mikroorganizmów glebowych, co przyczynia się do zwiększenia aktywności biologicznej w glebie.

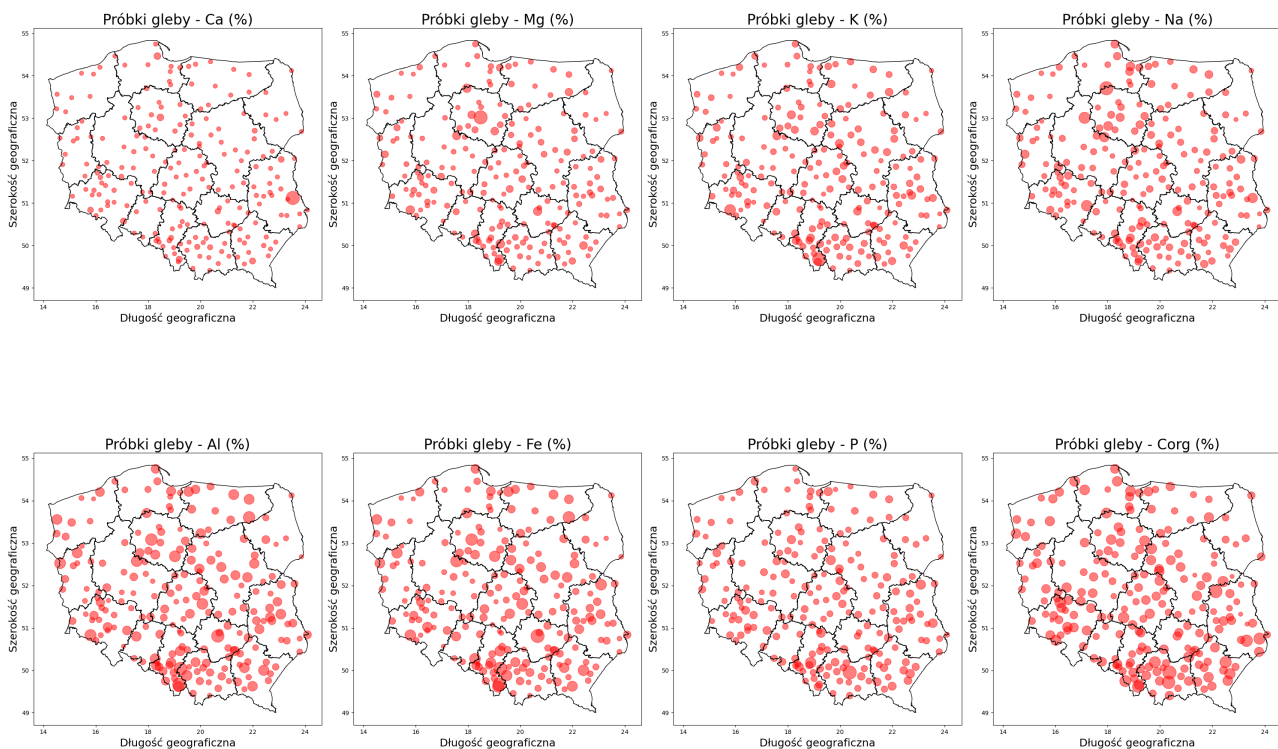


Figure 5: Podział na mapie ze względu na procentowy udział zmierzonego materiału w glebie w punkcie pomiaru

Duże złoża manganu (*Mn*), kobaltu (*Co*), chromu (*Cr*) oraz baru (*Ba*) znajdują się w województwie małopolskim, świętokrzyskim i w centralnej części województwa mazowieckiego. Powodem tego mogą być zbyt wysokie stężenia tych pierwiastków w wodzie w okolicach złóż rudy, ale jak wynika z badań, największe ilości tych pierwiastków występują na skałach fliszu karpackiego. Na pojawianie się zbyt wysokich stężeń mogą mieć wpływ zanieczyszczenia gleb ze źródeł energetycznych czy przemysłowych, a nawet intensywne rolnictwo. [1]

Najbogatsze złoża miedzi (złoża stratoidalne, występujące warstwowo) znajdują się w województwie dolnośląskim, pomiędzy Lubinem a Głogowem, i zostały stworzone głównie w wyniku procesów hydrotermalnych. Powstały one około 200 milionów lat temu, kiedy ciecz zawierająca miedź przepływała przez czerwone skały osadowe, takie jak piaskowce, łupki i dolomity. [7]

Ostatnią możliwą do zauważenia własnością jest występowanie złóż ołowiu na Śląsku, w gminie Siewierz, blisko Zawiercia. Są one związane z formacją skał węglanowych na obszarze między Śląskiem a Krakowem. Złoża te uformowały się poprzez krystalizację siarczków cynku i ołowiu z roztworów wodnych o średniej i niskiej temperaturze, które zawierały minerały. Migrując wzdłuż pęknięć i szczelin skał, powodowały zmiany chemiczne w istniejących minerałach oraz tworzyły nowe. Na początku wapnienie przekształcały się w dolomity (bogate w magnez), a te z kolei wzbogacały się głównie w minerały cynku i ołowiu, a także w mniejszym stopniu w srebro, kadm, german, tal, indu, baryt i siarkę. [8]

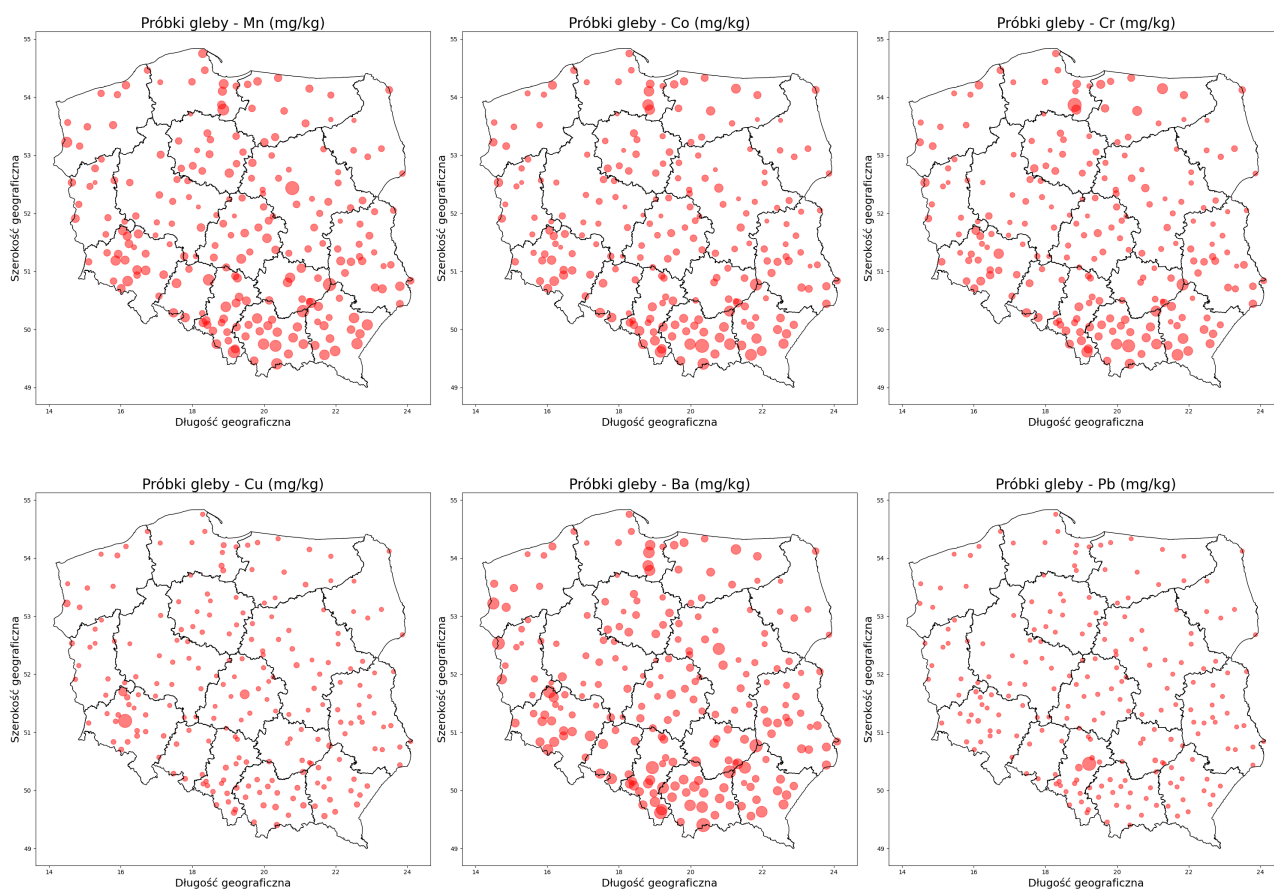


Figure 6: Podział na mapie ze względu na masowy udział zmierzzonego materiału w glebie w punkcie pomiaru

6 Uczenie maszynowe

6.1 Zmienna TARGET

Jako zmienną typu Target do uczenia maszynowego można użyć kolumny $CaCO_3$. Od zmiennej tej zależy jakość gleby, czyli na przykład pH, struktura, jej możliwość pobierania wody czy inne wartości odżywcze, które są potrzebne roślinom do dalszego życia. Zmienna $CaCO_3$ jest uznawana za środek wapnujący; przy wystarczająco dużym natężeniu potrafi ustabilizować pH gleby, poprawiając środowisko dla rosnących tam roślin [10]. Dodatkowo węglan wapnia dobrze radzi sobie w zmianie struktury gleby, co pomaga w transporcie powietrza oraz wody, a także wspomaga wymywanie koloidów i fosforu [2], co jest przydatne w glebach zasolonych. Tworzy on również związki chemiczne z innymi pierwiastkami, takimi jak fosfor, magnez czy potas, które mogą okazać się przydatne w wyborze ziemi pod uprawę (fosfor jest kluczowy dla wzrostu, na przykład warzyw; magnez pobudza system korzeniowy i pomaga w procesach pobierania wartości odżywczych z ziemi; potas wspiera wzrost korzeni, co pomaga we wczesnych okresach rozwoju roślin) [4].

6.2 Zmienna FEATURES

Zgodnie z informacjami powyżej dobrym wyborem dla zmiennych typu Features do uczenia maszynowego mogłyby być na przykład odczyny gleby $pH\ H_2O$ i $pH\ KCl$, ze względu na ich związek z rozpuszczalnością węglanu wapnia, ale też innych pierwiastków. Zawartość $CaCO_3$ może być również związana ze zmienną Hh , która opisuje zawartość kationów w glebie, choć od tej zmiennej będą zależały również inne pierwiastki z zestawu danych. Możliwą opcją jest jeszcze wybranie zmiennej $Corg$, która jako materia organiczna wpływa na ogólne właściwości fizyczne i chemiczne gleby, a te z kolei mogą wpływać na zawartość węglanu wapnia.

References

- [1] Centralna Baza Danych Geologicznych, dostęp: maj 2024
OBJAŚNIENIA DO MAPY GEOŚRODOWISKOWEJ POLSKI (II) Województwo małopolskie – Małgorzata Sikorska-Maykowska (red.), Kamila Andrzejewska-Kubrak, Bogusław Bąk, Izabela Bojakowska, Dariusz Grabowski, Janusz Jureczka, Piotr Lenik, Anna Pasieczna, Sławomir Wilk, Antoni Wójcik
<https://baza.pgi.gov.pl>
https://bazadata.pgi.gov.pl/data/mgsp/2/txt/mgsp2_malopolskie.pdf
- [2] Effects of Biochar on Air and Water Permeability and Colloid and Phosphorus Leaching in Soils from a Natural Calcium Carbonate Gradient – K. G. I. D. Kumari, Per Moldrup, Marcos Paradelo, Lars Elsgaard, Henrik Hauggaard-Nielsen, Lis W. de Jonge
https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.2134/jeq2013.08.0334?casa_token=jkgvvKTyqhMAAAAA%3AH_TQUpujdnSbPHj2o9aTXr2who1a4270_doUwB4UU6lvDaCM7-JZVMTZKJfzFkk-FqNp-v4cDTV
- [3] Encyclopedia of Toxicology (Third Edition) – S. Bhattacharya, P. Chakraborty, S.S. Roy
<https://www.sciencedirect.com/topics/pharmacology-toxicology-and-pharmaceutical-science/dibenza-hanthracene>
- [4] Grupa Azoty Zakłady Chemiczne "Police" S.A., dostęp: maj 2024
<https://polifoska.pl/>
- [5] Iron or Aluminum Coatings in Relation to Sulfate Adsorption Characteristics of Soils† – T. T. Chao, M. E. Harward, S. C. Fang
<https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2136/sssaj1964.03615995002800050017x>
- [6] Monitoring Chemizmu Gleb Ornych Polski
http://www.gios.gov.pl/chemizm_gleb/index.php?mod=wyniki&cz=W
- [7] Muzeum Geologiczne, dostęp: maj 2024
<https://www.pgi.gov.pl/muzeum/kopalnia-wiedzy-1/12607-miedz.html>
- [8] Muzeum Geologiczne
Rudy cynku i ołowiu – Agnieszka Malon, Marcin Tymiński, Stanisław Z. Mikulski, dostęp: maj 2024
<https://www.pgi.gov.pl/surowce/metaliczne/rudy-zn-pb.html>
- [9] Natural and anthropogenic sources of chromium, nickel and cobalt in soils impacted by agricultural and industrial activity (Vojvodina, Serbia) – Maja M. Poznanović Spahić, Sanja M. Sakan, Bojan M. Glavaš-Trbić, Pavle I. Tančić, Sandra B. Škrivanj, Jovan R. Kovačević & Dragan D. Manojlović
<https://doi.org/10.1080/10934529.2018.1544802>
- [10] Optimization of soil ph by using calcium carbonate (CaCo3) obtained from seashell waste – Wan Noni Afida Ab Manan and Nur Aain Ab Aziz
<https://ir.uitm.edu.my/id/eprint/31354/>
- [11] Wojewódzka Stacja Sanitarno-Epidemiologiczna w Krakowie, dostęp: maj 2024
<https://wsse.krakow.pl/page/wielopierscieniowe-weglowodory-aromatyczne-wwa-jako-szczegolna->