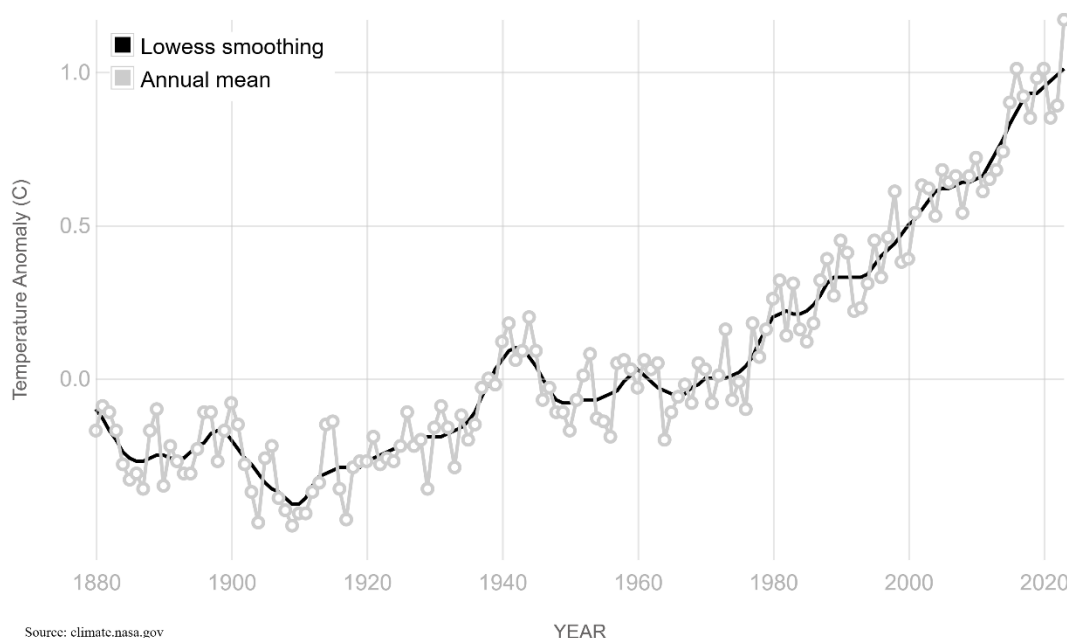


KLIMATICKÉ ZMĚNY V JEDNOTLIVÝCH ZEMÍCH SVĚTA

V posledních desetiletích se povrch Země neustále otepluje, což vyvolává závažné otázky o budoucnosti naší planety. Od roku 1850 se teplota na Zemi zvyšuje v průměru o 0,06 °C za desetiletí, přičemž tempo oteplování se neustále zrychluje. V období od roku 1982 byl růst teplot více než třikrát rychlejší – 0,2 °C za desetiletí (viz obrázek 1). Toto globální oteplování jednoznačně způsobila lidská činnost, zejména emise skleníkových plynů. V letech 2011 – 2020 se globální povrchová teplota zvýšila o 1,1 °C nad úroveň před průmyslovou revolucí. Pravděpodobné rozmezí celkového nárůstu globální povrchové teploty způsobeného lidskou činností od roku 1850-1900 do roku 2010-2019 je 0,8 °C až 1,3 °C. Uplynulý rok 2023 si pak připsal smutné prvenství jako nejteplejší rok v historii měření (Lindsey & Dahlman, 2024; NOAA National Centers for Environmental Information, 2024).

Obrázek 1: Globální index teploty pevniny a oceánu



Zdroj: NASA Global Climate Change, 2024

Trend globálního oteplování se projevuje v různých regionech odlišně. V tomto dokumentu se proto budu věnovat analýze teplotních změn napříč různými zeměmi a jejich vývojem v průběhu času.

Data

Pro analýzu jsem využil volně dostupná data o ročních změnách povrchových teplot v 213 státech světa. Tento ukazatel představuje změnu průměrné povrchové teploty ve stupních Celsia v jednotlivých zemích v období roků 1961 až 2022, přičemž jako výchozí bod se používají teploty v letech 1951 až 1980. Tyto údaje pravidelně aktualizuje Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database (FAOSTAT) a jsou založeny na veřejně dostupných údajích GISTEMP z Goddardova institutu pro vesmírné studie NASA (International Monetary Fund, 2024).

Analýza dat

Pravděpodobně bychom si vystačili s jednoduchým deskriptivním popisem získaných dat, nicméně já jsem se rozhodl použít pro analýzu jednu z metod vícerozměrné statistiky – konkrétně **shlukovou analýzu**. Rád bych pomocí ní vytvořil skupiny států, jež jsou si na základě vývoje změny teploty jejich povrchu podobné. V našem případě jsem zvolil užití k-means algoritmu a hledám taková pozorování (země), která jsou si nejbližší v rámci euklidovského prostoru, tzn. sdílejí vzdálenost k určitému bodu v geometrickém prostoru.

Vzhledem k mnoha odlehlým hodnotám, jejich velkému rozptylu a snadnější interpretovatelnosti výsledků jsem pro analýzu zvolil 4 milníkové roky. Jako počáteční rok byl zvolen rok vzniku samostatné České republiky, tedy rok 1993 (od tohoto roku jsou také logicky pro ČR dostupná data), a jako další milníky byly zvoleny roky 2004, 2013 a 2022 (tedy vždy po desetiletích až do posledního roku, kdy jsou údaje dostupné). Data jsem převedl do formátu .csv a dále již zpracovával ve statistickém programu R (pro zájemce je skript k dispozici na konci této zprávy jako příloha).

V prvé řadě nás určitě zajímají popisné statistiky jednotlivých let. Ty shrnuje tabulka 1.

Tabulka 1 - Popisná statistika změn teplot v jednotlivých letech

Rok	Průměr	Sm. odchylka	Minimum	Maximum
1993	0,25	0,43	-1,36	1,65
2004	0,79	0,36	-0,13	2,15
2013	0,93	0,32	0,12	1,64
2022	1,38	0,67	-1,31	3,24

Pozn.: údaje jsou ve stupních Celsia

Tabulka 1 názorně ukazuje na zrychlení tempa globálního oteplování a vzestup počtu extrémních jevů. Je rovněž důležité zjistit, kde dochází k těmto extrémním teplotním výkyvům. Tyto informace detailně rozkrývá tabulka 2.

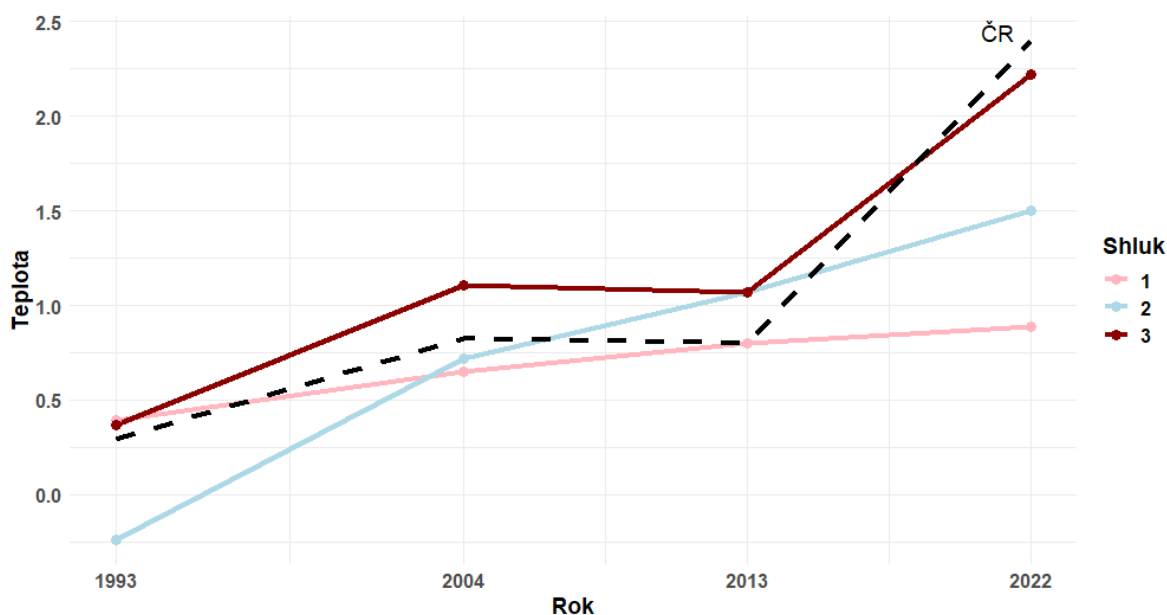
Tabulka 2 - Extrémy v jednotlivých letech

Rok	Země s nejvyšší změnou teploty	Změna teploty	Země s nejnižší změnou teploty	Změna teploty
1993	Lucembursko	1,65	Grónsko	-1,36
2004	Kazachstán	2,15	Botswana	-0,13
2013	Turkmenistán	1,64	Zimbabwe	0,12
2022	Andorra	3,24	Botswana	-1,31

Pozn.: údaje jsou ve stupních Celsia

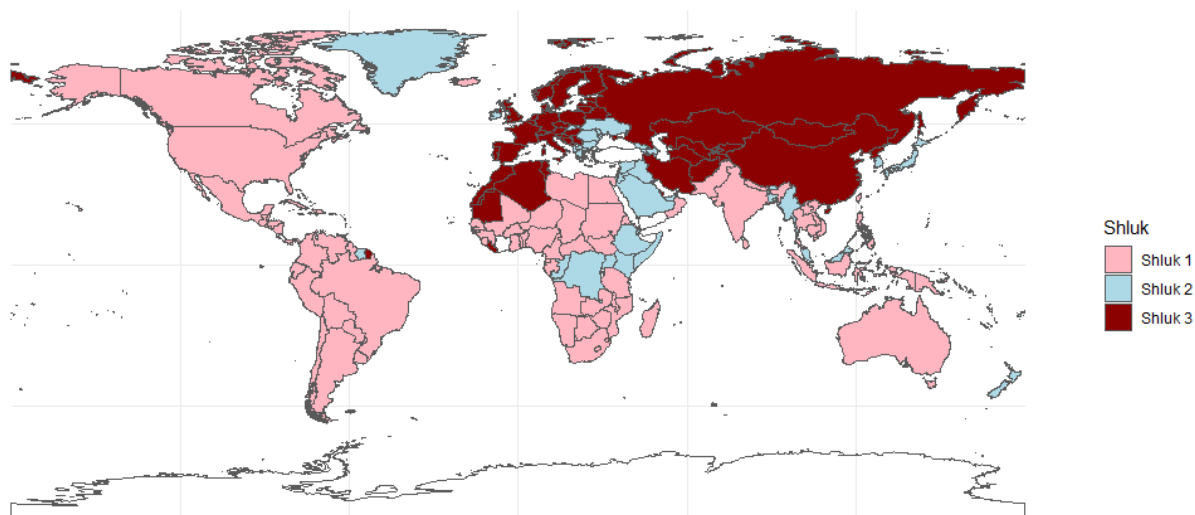
Dále již budeme pokračovat samotnou shlukovou analýzou. Při shlukové analýze je klíčové **stanovení optimálního počtu shluků**. Existují různé přístupy k vyřešení tohoto problému. Jedná se například o metodu „Elbow“, „Average silhouette“, „Gap statistics“ či na konsenzu založený algoritmus (ten používá 29 různých metod, o kterých jsem v životě neslyšel). Díky studiu psychologie na UPOL se ze mne stává mj. statistický mág a všechny uvedené techniky umím nakódovat v eRku. Počet navrhovaných shluků se pohyboval mezi jedním až čtyřmi. Jak to tak někdy bývá, ne vždy nás výpočty dovedou k rozumné interpretovatelnosti dat. Bez ohledu na výsledné hodnoty, jsem se rozhodl pro rozdělení států do tří shluků, protože 3 je mé šťastné číslo a 2 shluky, které vyšly z konsenzuálního posouzení, mi přišly dost málo. Protože tabulek již bylo dost, vizualizaci změn teploty v jednotlivých letech doplněná o Českou republiku zobrazuje graf 1.

Graf 1 – Změny teploty v jednotlivých letech dle shluků doplněná o ČR



Náš výsledek shlukové analýzy jsem pomocí kouzelného balíčku „naturalearth“ v eRku převedl do mapy světa, kde země patřící do některého ze 3 shluků mají různou barvu – viz obrázek 2.

Obrázek 2 – Mapa států podle shluku



Shrnutí

Výsledkem shlukové analýzy je rozdělení jednotlivých států dle změny teploty v letech 1993, 2004, 2013 a 2022. Do shluku 1, jež je v grafu 1 a obrázku 2 označený růžovou barvou, patří země převážně jižní polokoule se severní Amerikou. Tyto země registrovaly vcelku průměrnou změnu teplot svého povrchu a v průběhu času u nich teplota roste pozvolna. Shluk 2 zahrnuje země, jejichž povrch se před třemi dekádami naopak ochlazoval, ale v průběhu let dalších se začaly velmi rychle oteplovat. Shluk 3 je doslova průšvih. Patří do něj v podstatě celá Evropa, severní Asie a severozápadní Afrika. Změny teplot v těchto zemích byly původně podobné jako na jižní polokouli, ale v průběhu času se tempo oteplování velmi zrychluje a aktuálně je alarmující. Do shluku 3 patří i Česká republika a v grafu 1 bohužel vidíme, že tempo oteplování jejího povrchu je dokonce vyšší než průměr shluku, do kterého patří.

Na základě všeho výše uvedeného lze jednoznačně doporučit emigraci do Botswany, kde dochází překvapivě spíše k ochlazování (viz tabulka 2). Mimoходом Botswana (poloha na kontinentě zobrazena na obrázku 3) je považována za jednu z nejstabilnějších zemí v Africe, je známá jako nejdéle trvající nepřetržitá demokracie na kontinentu a má jedny z největších zásob diamantů na světě (BBC, 2023).

Obrázek 3 – Geografické umístění státu Botswana



Zdroj: Google Inc., 2024

Seznam použitých zdrojů

- BBC. (2023). *Botswana country profile*. BBC News. Získáno 27. března 2024 z <https://www.bbc.com/news/world-africa-13040376>
- Google Inc. (2024). *Google Maps*. Získáno 27. března 2024 z <https://www.google.com/maps/@-11.7468306,21.174905,4.82z?entry=ttu>
- International Monetary Fund. (2024). *Climate Change Indicators Dashboard*. Získáno 27. března 2024 z https://climatedata.imf.org/datasets/4063314923d74187be9596f10d034914_0/about
- Lindsey, R., & Dahlman, L. (2024). *Climate Change: Global Temperature*. NOAA Climate.gov. Získáno 25. března 2024 z <http://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-global-temperature>
- NASA Global Climate Change. (2024). *Vital Signs*. Climate Change: Vital Signs of the Planet. Získáno 25. března 2024 z <https://climate.nasa.gov/vital-signs/global-temperature>
- NOAA National Centers for Environmental Information. (2024). *Annual 2023 Global Climate Report*. Získáno 25. března 2024 z <https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/monthly-report/global/202313>

Příloha č. 1 – Použitý kód v R

```
# Instalace potřebných balíčků
packages <- c("factoextra", "NbClust",
"parameters", "cluster", "ggplot2", "reshape2",
"rnatuarearth", "rnatuarearthdata", "dplyr")

installed_packages <- packages %in%
rownames(installed.packages())

if (any(!installed_packages)) {
  install.packages(packages[!installed_packages])
}

# Načtení balíčků
lapply(packages, library, character.only = TRUE)

# Načtení zdrojových dat
climate <- read.csv(
  file = "doplň cestu k souboru",
  sep = ";",
  dec = ",",
  header = TRUE,
  row.names = 1
)

# Elbow method
fviz_nbclust(climate[, -1], kmeans, method = "wss") +
  geom_vline(xintercept = 4, linetype = 2) +
  labs(subtitle = "Elbow method")

# Silhouette method
fviz_nbclust(climate[, -1], kmeans, method =
"silhouette") +
  labs(subtitle = "Silhouette method")

# Gap statistic
set.seed(42)
fviz_nbclust(climate[, -1], kmeans,
  nstart = 25,
  method = "gap_stat",
  nboot = 500
) +
  labs(subtitle = "Gap statistic method")

n_clust <- n_clusters(climate[, -1],
  package = c("easystats", "NbClust",
"mclust"),
  standardize = FALSE
)

n_clust
plot(n_clust)
set.seed(42)
km_res <- kmeans(climate[, -1], centers = 3, nstart =
20)
sil <- silhouette(km_res$cluster, dist(climate[, -1]))
fviz_silhouette(sil)
fviz_cluster(km_res, climate[, -1], ellipse.type =
"norm")

# Nalezení průměrů pro každý shluk
cluster_means <- aggregate(climate[, -1], by =
list(cluster = km_res$cluster), mean)

# Přidání přiřazení ke shlukům do původních dat
final_data <- cbind(climate, cluster =
km_res$cluster)
head(final_data)

# Převedení dat do dlouhého formátu
long_data <- melt(final_data[, -1], id.vars = 'cluster',
variable.name = 'year', value.name = 'temperature')

# Odstranění 'X' z názvů let
long_data$year <- gsub('X', "", long_data$year)

# Převod faktorů na číselné hodnoty
long_data$year <- as.numeric(long_data$year)

# Výpočet průměrné teploty pro každý shluk a rok
average_temps <- aggregate(temperature ~ year +
cluster, data = long_data, mean)

# Získání dat pro "Czech Rep." od druhého sloupce
czech_rep_data <- final_data[rownames(final_data)
== "Czech Rep.", 2:5]

# Převedení dat na formát vhodný pro ggplot
czech_rep_data_long <- data.frame(year =
as.numeric(gsub('X', "", names(czech_rep_data))),
  temperature =
as.numeric(czech_rep_data))

# Vytvoření grafu s průměrnými teplotami a daty pro
"Czech Rep."
ggplot() +
  geom_line(data = average_temps, aes(x = year, y =
temperature, group = cluster, color =
factor(cluster))) +
  geom_point(data = average_temps, aes(x = year, y =
temperature, group = cluster, color =
factor(cluster))) +
```



```

geom_line(data = czech_rep_data_long, aes(x =
year, y = temperature), color = "black", linetype =
"dashed") +
  annotate("text",
          x =
max(czech_rep_data_long$year),
          y =
max(czech_rep_data_long$temperature),
          label =
"ČR", hjust = 1, vjust = 0) +
  theme_minimal() +
  labs(title = 'Průměrná teplota pro každý shluk a
Českou republiku v závislosti na roce',
        x = 'Rok',
        y = 'Teplota',
        color = 'Shluk') +
  scale_color_manual(values = c('red', 'green',
'blue')) +
  scale_x_continuous(breaks =
unique(long_data$year))
# Výpočet statistik pro každý rok
stats <- sapply(final_data[, 2:5], function(x) {
  c(mean = mean(x, na.rm = TRUE),
    sd = sd(x, na.rm = TRUE),
    min = min(x, na.rm = TRUE),
    max = max(x, na.rm = TRUE))
})
# Převedení výsledků do data frame
stats_df <- data.frame(t(stats))
# Přidání názvů řádků
rownames(stats_df) <- c("X1993", "X2004",
"X2013", "X2022")
print(stats_df)
# Inicializace prázdného datového rámce pro
výsledky
extreme_temps <- data.frame(Year = integer(),
  Country_with_Max_Temp =
character(),
  Max_Temp = numeric(),
  Country_with_Min_Temp =
character(),
  Min_Temp = numeric(),
  stringsAsFactors = FALSE)
# Procházení každého roku a hledání státu s
maximální a minimální teplotou
for (year in c("X1993", "X2004", "X2013",
"X2022")) {

```

```

  max_temp <- max(final_data[[year]], na.rm =
TRUE)
  min_temp <- min(final_data[[year]], na.rm =
TRUE)
  country_max_temp <-
rownames(final_data)[which(final_data[[year]] ==
max_temp)]
  country_min_temp <-
rownames(final_data)[which(final_data[[year]] ==
min_temp)]
  # Přidání výsledků do datového rámce
extreme_temps <- rbind(extreme_temps,
data.frame(Year = gsub("X", "", year),
  Country_with_Max_Temp = country_max_temp,
  Max_Temp =
max_temp,
  Country_with_Min_Temp = country_min_temp,
  Min_Temp =
min_temp))
}
# Zobrazení výsledné tabulky
extreme_temps
# Načtení dat o státech
world <- ne_countries(scale = "medium", returnclass
= "sf")
# Připojení dat k datům o státech
world_data <- world %>%
  left_join(final_data, by = c("iso_a3_ah" = "ISO3"))
# Vytvoření mapy
ggplot(data = world_data) +
  geom_sf(aes(fill = factor(cluster))) +
  scale_fill_manual(values = c("1" = "lightpink", "2"
= "lightblue", "3" = "darkred"),
  na.value = NA,
  labels = c("Shluk 1", "Shluk 2", "Shluk
3")) +
  theme_minimal() +
  labs(fill = "Shluk", title = "Mapa států podle
shluku")
# Dost jsem se s tím kódem mazal, tak běda esli
dostanu méně jak 2 hvězdy!

```