



# AGH

**AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA  
IM. STANISŁAWA STASZICA  
W KRAKOWIE**

## SPRAWOZDANIE

**TEMAT: Analiza średnich przyrostów rocznych  
sosny syberyjskiej w kontekście zmian  
klimatycznych na terenie Mongolii**

Autorzy: Filip Hałys, Bartosz Staroń

Kierunek: Geoinformatyka

Wydział: Wydział Geologii, Geofizyki i ochrony środowiska

## 1. Wstęp

Celem projektu jest obróbka danych dendrochronologicznych i meteorologicznych i wykorzystanie ich do analizy zmian klimatu. Istotnym punktem analizy było wyznaczenie korelacji r-Pearsona dla każdego z miesięcy pomiędzy przyrostem szerokości pnia drzew, a średnią temperaturą powietrza. Ponadto po wyznaczeniu korelacji obliczono jej istotność statystyczną (parametr „*p-value*”). Powyższe badania zmian klimatu zostały wykonane dla danych pochodzących z obserwatoriów i stanowisk w Mongolii.

## 2. Opis danych

W projekcie wykorzystano kilka serii danych pochodzących ze strony *National Centers for Environmental Information*. Pomiarów wykonano na terenie Mongolii. Pierwsze z nich, zapisane do pliku z rozszerzeniem „.crs”, to dane dendrochronologiczne, prezentujące roczne przyrosty drzew, drugie natomiast to dane meteorologiczne zapisane do pliku o rozszerzeniu „.nc”.

Dane dendrochronologiczne pochodzą z dwóch różnych obserwatoriów. Pierwsze (mong002r.crn) zlokalizowane jest w okolicach stolicy Ułan Bator 47°77'N 107°01'E. Położone jest one na wysokości bezwzględnej 1775 m n.p.m. Nosi nazwę „Manzshir Hiid”. Dane z tego stanowiska pochodzą z lat 1505 do 1994. Druga seria danych dendrochronologicznych (mong008r.crn) pochodzi ze stacji „Horin Bugatyin Davaa”. Jest to stacja położona na północnym zachodzie Mongolii o współrzędnych geograficznych; 49°37'N 94°88'E. Położona jest na wysokości 2229 m n.p.m. Czasowy zakres danych to lata 1641-1998. Obie serie danych są chronologiami sosny syberyjskiej (*Pinus*). Dane te są w postaci rezydualnej (stąd końcówka „r”).

W projekcie wykorzystano również dane meteorologiczne w celu znalezienia istotnej korelacji pomiędzy średnimi przyrostami stojów sosny syberyjskiej, a czynnikami klimatotwórczymi. Dane te są średnimi temperaturami każdego z miesiąca od 1901 do 2022 roku. Do wykonania projektu ograniczono się do danych meteorologicznych zebranych ze stacji, które są umiejscowione najbliżej ww. stanowisk z danymi dendrochronologicznymi.

## 3. Sposób opracowania danych

W celu otrzymania wyników analizy dokonano wczytania danych dendrochronologicznych dla obu badanych obszarów oraz danych temperaturowych (rys. 1).

```

# wczytanie danych dendrochronologicznych dla stacji nr2 i nr8
mong008_chron<-read.crn("mong008r.crn")
head(mong008_chron)
mong002_chron<-read.crn("mong002r.crn")
head(mong002_chron)

# wczytanie danych temperaturowych
ncin<-nc_open("cru_ts4.07.1901.2022.tmp.dat.nc")

```

Rys. 1 – Fragment kodu

Następnie z danych temperaturowych wyodrębniono dane opowiadające konkretnym stanowiskom pomiarowym (rys. 2).

```

# przygotowanie danych
lon <- nvar_get(ncin,"lon")
lat <- nvar_get(ncin,"lat")

# mong002 lat=47.77 lon=107.01
lon_2<-which(lon==107.25)
lat_2<-which(lat==47.75)
lon_2
lat_2

# mong008 lat=49.37 lon=94.88
lon_8<-which(lon==94.75)
lat_8<-which(lat==49.25)
lon_8
lat_8

tmp_mong002 <- nvar_get(ncin,"tmp",start=c(lon_2,lat_2,1),count=c(1,1,1464))
tmp_mong008 <- nvar_get(ncin,"tmp",start=c(lon_8,lat_8,1),count=c(1,1,1464))

```

Rys. 2 – Fragment kodu

Po otrzymaniu temperatur na odpowiednich stanowiskach, zaokrąglono dane dla poszczególnych miesięcy – od stycznia do września (rys. 3).

```

# dane dla stycznia
tmp1_mong002 <- round(tmp_mong002[seq(1, 1464,12)], digits=2)
tmp1_mong008 <- round(tmp_mong008[seq(1, 1464,12)], digits=2)

# dane dla lutego
tmp2_mong002 <- round(tmp_mong002[seq(2, 1464,12)], digits=2)
tmp2_mong008 <- round(tmp_mong008[seq(2, 1464,12)], digits=2)

# dane dla marca
tmp3_mong002 <- round(tmp_mong002[seq(3, 1464,12)], digits=2)
tmp3_mong008 <- round(tmp_mong008[seq(3, 1464,12)], digits=2)

# dane dla kwietnia
tmp4_mong002 <- round(tmp_mong002[seq(4, 1464,12)], digits=2)
tmp4_mong008 <- round(tmp_mong008[seq(4, 1464,12)], digits=2)

# dane dla maja
tmp5_mong002 <- round(tmp_mong002[seq(5, 1464,12)], digits=2)
tmp5_mong008 <- round(tmp_mong008[seq(5, 1464,12)], digits=2)

# dane dla czerwca
tmp6_mong002 <- round(tmp_mong002[seq(6, 1464,12)], digits=2)
tmp6_mong008 <- round(tmp_mong008[seq(6, 1464,12)], digits=2)

# dane dla lipca
tmp7_mong002 <- round(tmp_mong002[seq(7, 1464,12)], digits=2)
tmp7_mong008 <- round(tmp_mong008[seq(7, 1464,12)], digits=2)

# dane dla sierpnia
tmp8_mong002 <- round(tmp_mong002[seq(8, 1464,12)], digits=2)
tmp8_mong008 <- round(tmp_mong008[seq(8, 1464,12)], digits=2)

# dane dla września
tmp9_mong002 <- round(tmp_mong002[seq(9, 1464,12)], digits=2)
tmp9_mong008 <- round(tmp_mong008[seq(9, 1464,12)], digits=2)

```

Rys. 3 – Fragment kodu

Zostały one wykorzystane do utworzenia ramek danych dla tych samych okresów obu chronologii. Najpierw otrzymano wspólny zakres czasowy (lata 1901-1994 dla pierwszego stanowiska oraz lata 1901-1998 dla drugiego stanowiska, rys. 4), a następnie wyodrębniono temperatury dla poszczególnych lat (rys. 5), co pozwoliło na stworzenie ramek danych, dla których obliczono korelację dla każdego z 9 miesięcy (rys. 6).

```
# korelacja, okres wspólny dla wszystkich danych: (2):1901-1994 (8):1901-1998
# wyciąganie tytułów wierszy (lata kalendarzowe) i przypisanie do wektora
years_chron_2 <- as.numeric(row.names(mong002_chron))
years_chron_8 <- as.numeric(row.names(mong008_chron))

# definicja początków i końców wspólnych okresów
start_chron_2 <- which(years_chron_2==1901) # 397
end_chron_2 <- length(mong002_chron[,1]) # 490
start_chron_8 <- which(years_chron_8==1901) # 261
end_chron_8 <- length(mong008_chron[,1]) # 358

# ucinamy niepotrzebne dane dendro (wybieramy tylko te ze wspólnego okresu)
comm_chron_2 <- mong002_chron[start_chron_2:end_chron_2,1]
comm_chron_8 <- mong008_chron[start_chron_8:end_chron_8,1]
```

Rys. 4 – Fragment kodu

```
# ucinamy niepotrzebne dane temperaturowe (wybieramy tylko te ze wspólnego okresu)
comm_tmp1_2 <- tmp1_mong002[1:(max(years_chron_2)-1900)]
comm_tmp2_2 <- tmp2_mong002[1:(max(years_chron_2)-1900)]
comm_tmp3_2 <- tmp3_mong002[1:(max(years_chron_2)-1900)]
comm_tmp4_2 <- tmp4_mong002[1:(max(years_chron_2)-1900)]
comm_tmp5_2 <- tmp5_mong002[1:(max(years_chron_2)-1900)]
comm_tmp6_2 <- tmp6_mong002[1:(max(years_chron_2)-1900)]
comm_tmp7_2 <- tmp7_mong002[1:(max(years_chron_2)-1900)]
comm_tmp8_2 <- tmp8_mong002[1:(max(years_chron_2)-1900)]
comm_tmp9_2 <- tmp9_mong002[1:(max(years_chron_2)-1900)]

comm_tmp1_8 <- tmp1_mong008[1:(max(years_chron_8)-1900)]
comm_tmp2_8 <- tmp2_mong008[1:(max(years_chron_8)-1900)]
comm_tmp3_8 <- tmp3_mong008[1:(max(years_chron_8)-1900)]
comm_tmp4_8 <- tmp4_mong008[1:(max(years_chron_8)-1900)]
comm_tmp5_8 <- tmp5_mong008[1:(max(years_chron_8)-1900)]
comm_tmp6_8 <- tmp6_mong008[1:(max(years_chron_8)-1900)]
comm_tmp7_8 <- tmp7_mong008[1:(max(years_chron_8)-1900)]
comm_tmp8_8 <- tmp8_mong008[1:(max(years_chron_8)-1900)]
comm_tmp9_8 <- tmp9_mong008[1:(max(years_chron_8)-1900)]
```

Rys. 5 – Fragment kodu

```
# Tworzenie ramek danych # data{miesiac}
# 1argument: przyrost, 2argument: tmp stycznia, 3argument: tmp lutego...
data_2 <- data.frame(comm_chron_2, comm_tmp1_2, comm_tmp2_2, comm_tmp3_2, comm_tmp4_2,
  comm_tmp5_2, comm_tmp6_2, comm_tmp7_2, comm_tmp8_2, comm_tmp9_2)
data_8 <- data.frame(comm_chron_8, comm_tmp1_8, comm_tmp2_8, comm_tmp3_8, comm_tmp4_8,
  comm_tmp5_8, comm_tmp6_8, comm_tmp7_8, comm_tmp8_8, comm_tmp9_8)

cor.test(data_2$comm_chron_2, data_2$comm_tmp1_2)
cor.test(data_2$comm_chron_2, data_2$comm_tmp2_2)
cor.test(data_2$comm_chron_2, data_2$comm_tmp3_2)
cor.test(data_2$comm_chron_2, data_2$comm_tmp4_2)
cor.test(data_2$comm_chron_2, data_2$comm_tmp5_2)
cor.test(data_2$comm_chron_2, data_2$comm_tmp6_2)
cor.test(data_2$comm_chron_2, data_2$comm_tmp7_2)
cor.test(data_2$comm_chron_2, data_2$comm_tmp8_2)
cor.test(data_2$comm_chron_2, data_2$comm_tmp9_2)

cor.test(data_8$comm_chron_8, data_8$comm_tmp1_8)
cor.test(data_8$comm_chron_8, data_8$comm_tmp2_8)
cor.test(data_8$comm_chron_8, data_8$comm_tmp3_8)
cor.test(data_8$comm_chron_8, data_8$comm_tmp4_8)
cor.test(data_8$comm_chron_8, data_8$comm_tmp5_8)
cor.test(data_8$comm_chron_8, data_8$comm_tmp6_8)
cor.test(data_8$comm_chron_8, data_8$comm_tmp7_8)
cor.test(data_8$comm_chron_8, data_8$comm_tmp8_8)
cor.test(data_8$comm_chron_8, data_8$comm_tmp9_8)
```

Rys. 6 – Fragment kodu

W kolejnym kroku dane zostały podzielone na dwa okresy. Dla młodsze z nich sprawdzono korelację (rys. 7).

```
# rekonstrukcja
# dzielimy wektor na pół i bierzemy okres młodszy
data2 = data_wiosna_mong002[48:94,]
mod_2 <- lm(comm_tmp_wiosna_mong002 ~ comm_chron_wiosna_mong002, data2)
summary(mod_2)
# narysowanie danych na wykresie
plot(data2, xlab="Przyrost [mm]", ylab="Temperatura [°C]", main="wykres rozrzutu z modelem liniowym dla stacji nr 2")
abline(mod_2, data2)
# p-value = 0.3898 > 0.05, zatem model nieistotny statystycznie
cor.test(data2$comm_tmp_wiosna_mong002, data2$comm_chron_wiosna_mong002)
# korelacja = -0.1283687
```

Rys. 7 – Fragment kodu

Ze względu na brak istotności statystycznej dokonano korelacji w oknach czasowych (rys. 8).

```
# korelacja w oknie czasowym

library(treeclim)
library(chron)
library(zoo)
library(lubridate)

# tworzenie zmiennej z datami
time <- nvar_get(ncin,"time")
tunits <- ncatt_get(ncin,"time","units")
tustr <- strsplit(tunits$value, " ")
tdstr <- strsplit(unlist(tustr)[3], "-")
tmonth <- as.integer(unlist(tdstr)[2])
tday <- as.integer(unlist(tdstr)[3])
tyear <- as.integer(unlist(tdstr)[1])
time_ch<-chron(time,origin=c(tmonth, tday, tyear))
time_m_y<-as.yearmon(time_ch)
Sys.setlocale("LC_TIME", "C")
time_m_y<-as.yearmon(time_ch)
time_m_y

year<-year(time_m_y)
month<-rep(seq(1,12),length(unique(year)))

clim_tmp_mong002 <- data.frame(year,month,tmp_mong002) # tworzenie ramki
View(clim_tmp_mong002)

# gdy ramka jest gotowa robimy korelacje z danymi dendro w ruchomym oknie
mong002_moving <- dcc(mong002_chron, clim_tmp_mong002, selection = 1:9, method = "correlation",
                      dynamic = "moving", win_size = 34, timespan=c(1901,1994))
#dev.off() # czyszczenie (nie obowiązkowy fragment, jeśli wyskakuje błąd bez, należy uzyc)
plot(mong002_moving)
# koniec analiz dla stacji 2
```

Rys. 8 – Fragment kodu

Powyższy kod przedstawia działania wykonane dla pierwszego z badanych obszarów, jednak dla drugiego stanowiska wykonano odpowiadające działania (rys. 9).

```
# STACJA NUMER 8
# w przypadku stacji 8 zauważono, że dla miesiąca kwiecień korelacja odstaje od reszty.
# Próba Rekonstrukcji
data_8_kwiecien <- data.frame(comm_chron_8, comm_tmp4_8)
# Kalibracja
data8 <- data_8_kwiecien[50:98,]
mod_8 <- lm(comm_tmp4_8~comm_chron_8,data8)
summary(mod_8)
plot(data8, xlab="Przyrost [mm]", ylab="Temperatura [°C]", main="Wykres rozrzutu z modelem liniowym dla stacji nr 8")
abline(mod_8, data8)
# p_value = 0.11 > 0.05, zatem model nieistotny statystycznie

clim_tmp_mong008 <- data.frame(year,month,tmp_mong008)
View(clim_tmp_mong008)

# korelacja w oknach czasowych
mong008_moving<-dcc(mong008_chron, clim_tmp_mong008, selection = 1:9, method = "correlation",
                    dynamic = "moving", win_size = 34, timespan=c(1950,1998))
plot(mong008_moving)
mong008_static<-dcc(mong008_chron, clim_tmp_mong008, selection = 1:9, method = "correlation")
plot(mong008_static)
```

Rys. 9 – Fragment kodu

## 4. Wyniki

Dla pierwszego z wybranych stanowisk nie istniał jeden miesiąc z wyróżniającą się korelacją (tab. 1). Z tego powodu dokonano jej dla średniej temperatury z miesięcy marca i kwietnia. Korelacja ta była istotna statystycznie ze względu na wartość *p-value* równą 0.003252 (tab. 2).

	styczeń	luty	marzec	kwiecień	maj	czerwiec	lipiec	sierpień	wrzesień
korelacja	0.0106501	0.0875122	-0.262459	-0.207263	0.104951	-0.231802	0.005542	-0.049010	-0.099808
p_value	0.9189	0.4016	0.0106	0.04502	0.3141	0.02457	0.9577	0.6390	0.3385

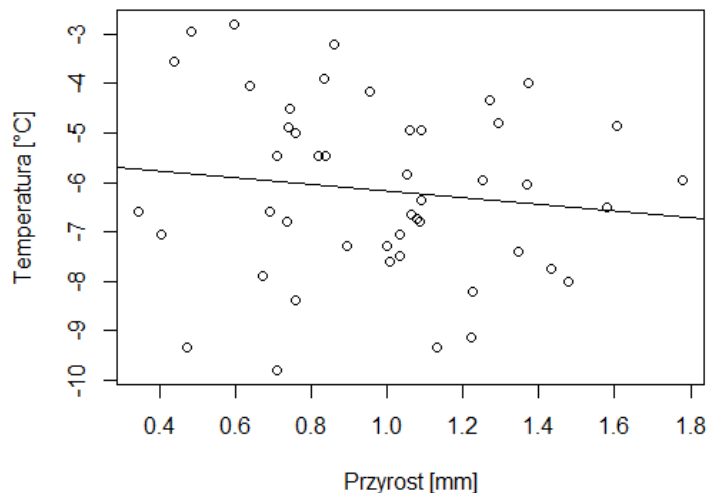
Tab. 1 – Tabela przedstawiająca wartości korelacji i p-value dla pierwszego stanowiska

korelacja	-0.3005034
p-value	0.003252

Tab. 2 – Tabela przedstawiająca wartość korelacji i p-value dla średniej z temperatur

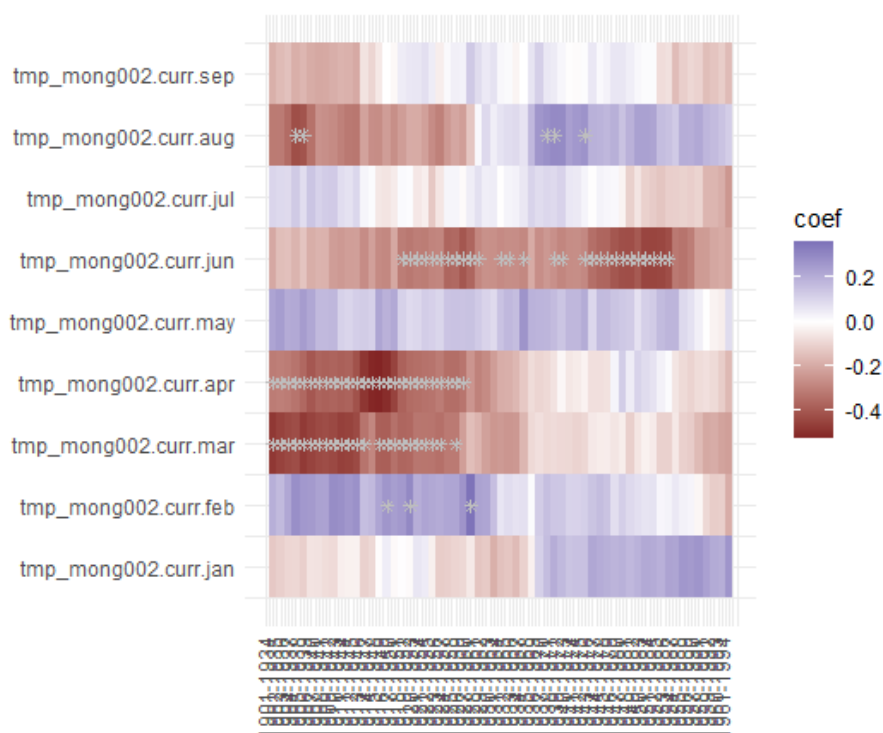
Ze względu na istotność korelacji temperatur dla danego okresu narysowano wykres rozrzutu wraz z modelem liniowym (wyk. 1). Jednak sam model nie jest istotny statystycznie, ponieważ jego  $p$ -value jest równe 0.2208.

**Wykres rozrzutu z modelem liniowym dla stacji nr 2**



Wyk. 1

Ze względu na brak istotności modelu dokonano analizy korelacji w oknie czasowym (wyk. 2).



Wyk. 2 – korelacja w oknach czasowych

Dla drugiego stanowiska przeprowadzono analogiczne operacje sprawdzając jednakże korelację dla kwietnia (zamiast okresu marzec-kwiecień) ze względu na

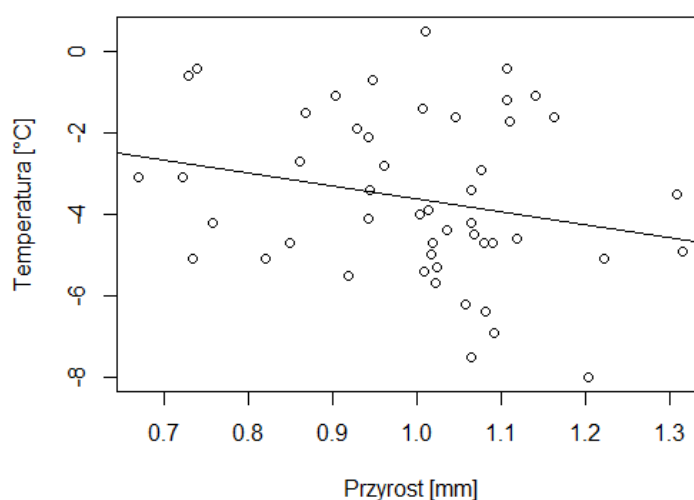
ewidentnie wyróżniającą się jej wartość, a także współczynnik  $p$ -value zbliżony do 0.05 (tab. 3).

	styczeń	luty	marzec	kwiecień	maj	czerwiec	lipiec	sierpień	wrzesień
korelacja	0.117783	-0.013803	0.061016	-0.193694	0.085433	0.041139	0.141590	0.048760	-0.108816
p_value	0.2481	0.8927	0.5506	0.0560	0.4029	0.6875	0.1643	0.6335	0.2862

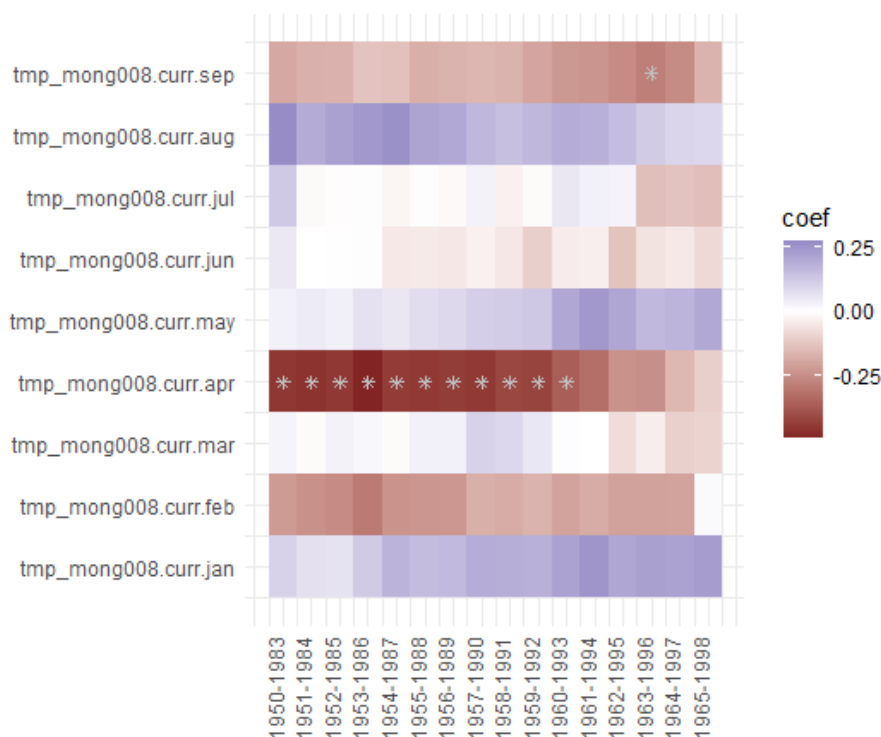
Tab. 3 – Tabela przedstawiająca wartości korelacji i  $p$ -value dla drugiego stanowiska

Dla wybranego miesiąca obliczono model, który został przedstawiony na wykresie rozrzutu (wyk. 3). Ze względu na wartość  $p$ -value równą 0.11 jest on jednak nieistotny statystycznie. Potrzebna, więc była analiza korelacji w oknach czasowych (wyk. 4).

### Wykres rozrzutu z modelem liniowym dla stacji nr 8



Wyk. 3



Wyk. 4 – korelacja w oknach czasowych.

## 5. Podsumowanie

Dla obu stanowisk korelacja pomiędzy temperaturą, a przyrostem jest w większości miesięcy ujemna, bądź w okolicach zerach (największe wartości powyżej 0 przekraczają nieznacznie 0.1). Oznacza to, że jeśli występuje zależność między tymi dwoma czynnikami to wskazuje ona na wzrost przyrostu drzewa w coraz niższych temperaturach. Wyciągnięcie takich wniosków na podstawie tych danych jest jednak niemożliwe ze względu na wysokie wartości *p-value* dla większości miesięcy, co oznacza, że te korelacje nie są statystycznie istotne. Natomiast otrzymane korelacje w oknach czasowych wskazują na dużą zmienność oraz niestabilność związku między temperaturą, a przyrostem.

Nie można, więc określić wpływu zmian klimatu na przyrost *Sosny Syberyjskiej* ze względu na brak istotności statystycznej danych. Może to wynikać z wpływu na przyrost większej liczby czynników nie ujętych w analizie takich jak nasłonecznienie, nawodnienie czy żyzność gleb. Natomiast same wartości korelacji między temperaturą, a przyrostem mimo, że nieistotne statystycznie, mogą wynikać ze specyficznego położenia Mongolii z dala od dużych zbiorników wodnych oraz specyficznego ukształtowania powierzchni terenu, co może powodować dostosowanie się roślin do rozwoju w niższych temperaturach.

## Bibliografia:

1. <https://www.ncei.noaa.gov/access/paleo-search/>
2. [http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora\\_id=2&taxon\\_id=200005356](http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora_id=2&taxon_id=200005356)