

Model VAR, przyczynowość Grangera

Jakub Augustynek

4 01 2020

Celem tego projektu jest zbudowanie modelu wektorowej autoregresji - **VAR**.

Do modelu wybrany zostanie odpowiedni rząd opóźnień, zbudowany model zostanie zweryfikowany, czyli **sprawdzone zostanie występowanie autokorelacji reszt**, następnie **zbadana zostanie przyczynowość w sensie Grangera**.

Model zbudowany będzie dla stóp zwrotu podanych indeksów giełdowych:

DAX - niemiecki indeks akcji

FTSE - brytyjski indeks akcji

SHC - chiński indeks giełdowy

SPX - amerykański indeks giełdowy

WIG20 - polski indeks giełdowy

Przygotowanie danych

Dane pobrane zostały ze strony (<https://stooq.pl>). Pobrano dzienne dane historyczne indeksów od stycznia 2010 roku do grudnia 2019.

```
library(readr)
dax <- read_csv("data/~dax_d.csv")
dax<-dax[,c(1,5)]
ftse <- read_csv("data/~ftm_d.csv")
ftse<-ftse[,c(1,5)]
shc <- read_csv("data/~shc_d.csv")
shc<-shc[,c(1,5)]
spx <- read_csv("data/~spx_d.csv")
spx<-spx[,c(1,5)]
wig20 <- read_csv("data/wig20_d.csv")
wig20<-wig20[,c(1,5)]
```

Dane uporządkowano połączono w jeden data frame według daty.

```
#utworzenie jednego data frame, NA w miejscu braku obserwacji
library(dplyr)
daxFTSE<-full_join(dax, ftse, by="Data")
dfs<-full_join(daxFTSE, shc, by="Data")
dfss<-full_join(dfs, spx, by="Data")
dfssw<-full_join(dfss, wig20, by="Data")

data<-dfssw
colnames(data)<-c("Data", "DAX", "FTSE", "SHC", "SPX", "WIG20")
sum(is.na(data))
```

```
## [1] 502
```

```
data<-arrange(data, Data)
```

Ponieważ występowały braki danych, zastosowano **interpolację liniową**. W interpolacji używana jest ostatnia ważna wartość przed brakiem danych oraz pierwsza ważna za brakiem. Jeśli braki danych występują w pierwszej lub ostatniej obserwacji w serii, nie są one zastępowane. Użyta do tego została funkcja *na.approx*.

```
library(zoo)
#interpolacja
DAX_no_NA<-na.approx(data$DAX, na.rm = FALSE)
FTSE_no_NA<-na.approx(data$FTSE, na.rm = FALSE)
SHC_no_NA<-na.approx(data$SHC, na.rm = FALSE)
SPX_no_NA<-na.approx(data$SPX, na.rm = FALSE)
WIG20_no_NA<-na.approx(data$WIG20, na.rm = FALSE)

daneN<-data.frame("Data"=data$Data, "DAX"=DAX_no_NA, "FTSE"=FTSE_no_NA,
                  "SHC"=SHC_no_NA, "SPX"=SPX_no_NA, "WIG20"=WIG20_no_NA)
#brak 4 ostatnich wartości w FTSE, usuwam te obserwacje
daneN<-daneN[1:2585,]
head(daneN)
```

```
##           Data      DAX    FTSE    SHC    SPX    WIG20
## 1 2010-01-04 6048.30 9510.11 3243.76 1132.99 2444.58
## 2 2010-01-05 6031.86 9557.09 3282.18 1136.52 2462.30
## 3 2010-01-06 6034.33 9589.53 3254.22 1137.14 2472.83
## 4 2010-01-07 6019.36 9630.38 3192.78 1141.69 2436.40
## 5 2010-01-08 6037.61 9689.05 3196.00 1144.98 2440.42
## 6 2010-01-11 6040.50 9726.44 3212.75 1146.98 2473.50
```

Obliczanie logarytmicznych stóp zwrotu

Dla danych zamknięcia obliczono logarytmiczne stopy zwrotu.

```
stopy<-data.frame(0)

for(i in 1:(nrow(daneN)-1))
{
  stopy[i,1]=log(daneN[i+1,2]/daneN[i,2])
  stopy[i,2]=log(daneN[i+1,3]/daneN[i,3])
  stopy[i,3]=log(daneN[i+1,4]/daneN[i,4])
  stopy[i,4]=log(daneN[i+1,5]/daneN[i,5])
  stopy[i,5]=log(daneN[i+1,6]/daneN[i,6])
}
colnames(stopy)<-c("DAX", "FTSE", "SHC", "SPX", "WIG20")
head(stopy)
```

```
##           DAX      FTSE      SHC      SPX      WIG20
## 1 -0.0027218199 0.004927844 0.011774685 0.0031108062 0.007222543
## 2 0.0004094084 0.003388591 -0.008555220 0.0005453762 0.004267371
## 3 -0.0024838880 0.004250807 -0.019060605 0.0039932826 -0.014841704
## 4 0.0030272969 0.006073697 0.001008017 0.0028775488 0.001648616
## 5 0.0004785517 0.003851569 0.005227240 0.0017452316 0.013463996
## 6 -0.0162727336 -0.012723459 0.018876048 -0.0094254377 -0.010072796
```

Badanie stacjonarności stóp zwrotu

Zmienne w modelu VAR muszą być stacjonarne, szeregi muszą więc spełniać warunek stałej średniej, stałej wariancji, a funkcja autokowariancji powinna zależeć wyłącznie od opóźnienia. W celu sprawdzenia czy stopy zwrotu indeksów giełdowych są stacjonarne przeprowadzony zostanie test adf, jego hipotezy są następujące:

H0: Niestacjonarność stóp zwrotu

H1: Stacjonarność stóp zwrotu

```
library(tseries)
adf.test(stopy[,1],alternative = c("stationary"))

##
## Augmented Dickey-Fuller Test
##
## data:  stopy[, 1]
## Dickey-Fuller = -14.043, Lag order = 13, p-value = 0.01
## alternative hypothesis: stationary
adf.test(stopy[,2],alternative = c("stationary"))

##
## Augmented Dickey-Fuller Test
##
## data:  stopy[, 2]
## Dickey-Fuller = -13.85, Lag order = 13, p-value = 0.01
## alternative hypothesis: stationary
adf.test(stopy[,3],alternative = c("stationary"))

##
## Augmented Dickey-Fuller Test
##
## data:  stopy[, 3]
## Dickey-Fuller = -12.586, Lag order = 13, p-value = 0.01
## alternative hypothesis: stationary
adf.test(stopy[,4],alternative = c("stationary"))

##
## Augmented Dickey-Fuller Test
##
## data:  stopy[, 4]
## Dickey-Fuller = -14.542, Lag order = 13, p-value = 0.01
## alternative hypothesis: stationary
adf.test(stopy[,5],alternative = c("stationary"))

##
## Augmented Dickey-Fuller Test
##
## data:  stopy[, 5]
## Dickey-Fuller = -13.931, Lag order = 13, p-value = 0.01
## alternative hypothesis: stationary
```

Testy przeprowadzono dla stóp zwrotu każdego z badanych indeksów giełdowych.

Dla każdego z testów wartość p jest mniejsza od poziomu istotności, odrzucam hipotezę zerową mówiącą, o niestacjonarności, **stopy zwrotu są stacjonarne**. Będą mogły zostać użyte do budowy modelu VAR.

Wybór rzędu opóźnień

Wybór rzędu opóźnień zmiennych w modelu VAR jest bardzo ważnym elementem modelowania. Zbyt duża liczba opóźnień powoduje nadmierną komplikację modelu, z kolei zbyt mała może spowodować wystąpienie autokorelacji składników losowych.

Przy pomocy funkcji VARselect wybrany zostanie odpowiedni rząd opóźnień. Oblicza ona cztery kryteria informacyjne: Akaike'a **AIC**, Hannana i Quinna **HQ**, Schwartz **SC** oraz Final Prediction Error **FPE**.

```
library(vars)
```

```
VARselect(stopy)
```

```
## $selection
## AIC(n)  HQ(n)  SC(n) FPE(n)
##      5      1      1      5
##
## $criteria
##              1              2              3              4              5
## AIC(n) -4.762300e+01 -4.763148e+01 -4.762879e+01 -4.763361e+01 -4.764058e+01
## HQ(n)  -4.759827e+01 -4.758614e+01 -4.756284e+01 -4.754705e+01 -4.753341e+01
## SC(n)  -4.755478e+01 -4.750641e+01 -4.744687e+01 -4.739484e+01 -4.734496e+01
## FPE(n)  2.077757e-21  2.060213e-21  2.065767e-21  2.055838e-21  2.041558e-21
##              6              7              8              9             10
## AIC(n) -4.763342e+01 -4.762494e+01 -4.761690e+01 -4.760960e+01 -4.760482e+01
## HQ(n)  -4.750565e+01 -4.747656e+01 -4.744791e+01 -4.742001e+01 -4.739461e+01
## SC(n)  -4.728095e+01 -4.721563e+01 -4.715074e+01 -4.708659e+01 -4.702496e+01
## FPE(n)  2.056231e-21  2.073736e-21  2.090490e-21  2.105815e-21  2.115927e-21
```

Wyniki dwóch kryteriów informacyjnych (HQ, SC) wskazują na wybranie modelu z opóźnieniem rzędu 1 **VAR(1)**, jednak dwa inne kryteria (AIC, FPE) wskazują za odpowiednie opóźnienia rzędu 2 **VAR(2)**. Różnice te, mogą być spowodowane wrażliwością kryteriów informacyjnych, ze względu na występujące różnice czasowe (np. pomiędzy Chinami, a USA).

Dlatego rozsądniejsze wydaje się utworzenie modelu VAR z opóźnieniami rzędu 2 **VAR(2)**.

Tworzę model z opóźnieniami rzędu 2 **VAR(2)**.

```
var2 <- VAR(stopy, p=2)
var2
```

```
##
## VAR Estimation Results:
## =====
##
## Estimated coefficients for equation DAX:
## =====
## Call:
## DAX = DAX.l1 + FTSE.l1 + SHC.l1 + SPX.l1 + WIG20.l1 + DAX.l2 + FTSE.l2 + SHC.l2 + SPX.l2 + WIG20.l2 +
##
##      DAX.l1      FTSE.l1      SHC.l1      SPX.l1      WIG20.l1      DAX.l2
## -0.073386610 -0.070298146 -0.039730519  0.356599892 -0.027155394 -0.095201027
##      FTSE.l2      SHC.l2      SPX.l2      WIG20.l2      const
##  0.070870505 -0.011506757  0.105007436 -0.023121728  0.000163599
##
##
## Estimated coefficients for equation FTSE:
```

```

## =====
## Call:
## FTSE = DAX.l1 + FTSE.l1 + SHC.l1 + SPX.l1 + WIG20.l1 + DAX.l2 + FTSE.l2 + SHC.l2 + SPX.l2 + WIG20.l2
##
##      DAX.l1      FTSE.l1      SHC.l1      SPX.l1      WIG20.l1
## -0.0478850186 -0.0588086461 -0.0339211192  0.3450987163 -0.0108207804
##      DAX.l2      FTSE.l2      SHC.l2      SPX.l2      WIG20.l2
## -0.0941640934  0.0397880970  0.0007027231  0.1157419527 -0.0233386518
##      const
##  0.0001654363
##
##
## Estimated coefficients for equation SHC:
## =====
## Call:
## SHC = DAX.l1 + FTSE.l1 + SHC.l1 + SPX.l1 + WIG20.l1 + DAX.l2 + FTSE.l2 + SHC.l2 + SPX.l2 + WIG20.l2
##
##      DAX.l1      FTSE.l1      SHC.l1      SPX.l1      WIG20.l1
##  0.0387039790  0.0019925149  0.0079580730  0.2416088178  0.0039363003
##      DAX.l2      FTSE.l2      SHC.l2      SPX.l2      WIG20.l2
## -0.0085156302  0.0161071869 -0.0302472047  0.0481015754 -0.0148167530
##      const
## -0.0001730308
##
##
## Estimated coefficients for equation SPX:
## =====
## Call:
## SPX = DAX.l1 + FTSE.l1 + SHC.l1 + SPX.l1 + WIG20.l1 + DAX.l2 + FTSE.l2 + SHC.l2 + SPX.l2 + WIG20.l2
##
##      DAX.l1      FTSE.l1      SHC.l1      SPX.l1      WIG20.l1
##  0.0296249788  0.0242994674 -0.0011979963 -0.0632482576 -0.0092150061
##      DAX.l2      FTSE.l2      SHC.l2      SPX.l2      WIG20.l2
## -0.0510118061  0.0955121427 -0.0062134924 -0.0027023123 -0.0258184560
##      const
##  0.0003864647
##
##
## Estimated coefficients for equation WIG20:
## =====
## Call:
## WIG20 = DAX.l1 + FTSE.l1 + SHC.l1 + SPX.l1 + WIG20.l1 + DAX.l2 + FTSE.l2 + SHC.l2 + SPX.l2 + WIG20.l2
##
##      DAX.l1      FTSE.l1      SHC.l1      SPX.l1      WIG20.l1
## -0.0316685440 -0.0961492987 -0.0030144387  0.2987407642 -0.0159239571
##      DAX.l2      FTSE.l2      SHC.l2      SPX.l2      WIG20.l2
## -0.0637021780  0.0412620869  0.0016680917  0.1516719419 -0.0780106005
##      const
## -0.0002072826

```

Weryfikacja modelu

W celu weryfikacji wyestymowanego modelu VAR należy przede wszystkim sprawdzić, czy nie zachodzi autokorelacja składników losowych nie tylko pierwszego stopnia, ale także wyższych stopni aż do stopnia

równego liczbie opóźnień. W celu weryfikacji autokorelacji składników losowych użyty zostanie test **Ljunga-Boxa** o następujących hipotezach:

H0: Autokorelacja reszt nie występuje

H1: Autokorelacja reszt jest istotna statystycznie

```
Box.test(var2$varresult$DAX$residuals, lag =2, type=c("Ljung-Box"))
```

```
##
## Box-Ljung test
##
## data: var2$varresult$DAX$residuals
## X-squared = 0.00043604, df = 2, p-value = 0.9998
```

```
Box.test(var2$varresult$FTSE$residuals, lag =2, type=c("Ljung-Box"))
```

```
##
## Box-Ljung test
##
## data: var2$varresult$FTSE$residuals
## X-squared = 0.012456, df = 2, p-value = 0.9938
```

```
Box.test(var2$varresult$SHC$residuals, lag =2, type=c("Ljung-Box"))
```

```
##
## Box-Ljung test
##
## data: var2$varresult$SHC$residuals
## X-squared = 0.053289, df = 2, p-value = 0.9737
```

```
Box.test(var2$varresult$SPX$residuals, lag =2, type=c("Ljung-Box"))
```

```
##
## Box-Ljung test
##
## data: var2$varresult$SPX$residuals
## X-squared = 0.0057935, df = 2, p-value = 0.9971
```

```
Box.test(var2$varresult$WIG20$residuals, lag =2, type=c("Ljung-Box"))
```

```
##
## Box-Ljung test
##
## data: var2$varresult$WIG20$residuals
## X-squared = 0.033798, df = 2, p-value = 0.9832
```

W przypadku każdego z testów wartość p jest większa niż poziom istotności, brak podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej. **Autokorelacja reszt nie występuje.**

Weryfikacja istotności zmiennych.

W przypadku pierwszego równania, wyjaśniana jest zmienna **DAX**, istotnymi zmiennymi są zmienna **DAX** o opóźnieniu 1, **SHC** o opóźnieniu 1, **SPX** o opóźnieniu 1, a także **DAX** o opóźnieniu 2 i **FTSE** o opóźnieniu 2.

W drugim równaniu, wyjaśniana jest zmienna **FTSE**, istotnymi zmiennymi są zmienna **FTSE** o opóźnieniu 1, **SPX** o opóźnieniu 1, a także **DAX** o opóźnieniu 2.

W następnym równaniu wyjaśniana jest zmienna **SHC**, istotną zmienną jest tylko zmienna **SPX** o opóźnieniu 1.

W następnym równaniu wyjaśniana jest zmienna **SPX**, istotnymi zmiennymi jest zmienna **FTSE** o opóźnieniu 2 oraz stała.

W ostatnim równaniu, wyjaśniana jest zmienna **WIG20**, istotnymi zmiennymi są zmienna **DAX** o opóźnieniu 1, **SPX** o opóźnieniu 1, a także **SPX** o opóźnieniu 2 i **WIG20** o opóźnieniu 2.

```
summary(var2)
```

```
##
## VAR Estimation Results:
## =====
## Endogenous variables: DAX, FTSE, SHC, SPX, WIG20
## Deterministic variables: const
## Sample size: 2582
## Log Likelihood: 43233.131
## Roots of the characteristic polynomial:
## 0.3122 0.3122 0.24 0.24 0.2094 0.2094 0.2073 0.2073 0.1238 0.1238
## Call:
## VAR(y = stopy, p = 2)
##
## Estimation results for equation DAX:
## =====
## DAX = DAX.l1 + FTSE.l1 + SHC.l1 + SPX.l1 + WIG20.l1 + DAX.l2 + FTSE.l2 + SHC.l2 + SPX.l2 + WIG20.l2
##
##           Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## DAX.l1    -0.0733866  0.0347430  -2.112  0.03476 *
## FTSE.l1    -0.0702981  0.0443937  -1.584  0.11343
## SHC.l1     -0.0397305  0.0179682  -2.211  0.02711 *
## SPX.l1      0.3565999  0.0330959  10.775 < 2e-16 ***
## WIG20.l1   -0.0271554  0.0257234  -1.056  0.29122
## DAX.l2     -0.0952010  0.0346850  -2.745  0.00610 **
## FTSE.l2     0.0708705  0.0433573   1.635  0.10226
## SHC.l2     -0.0115068  0.0177844  -0.647  0.51768
## SPX.l2      0.1050074  0.0342953   3.062  0.00222 **
## WIG20.l2   -0.0231217  0.0256963  -0.900  0.36831
## const      0.0001636  0.0002255   0.726  0.46815
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Residual standard error: 0.01142 on 2571 degrees of freedom
## Multiple R-Squared: 0.04918, Adjusted R-squared: 0.04548
## F-statistic: 13.3 on 10 and 2571 DF, p-value: < 2.2e-16
##
## Estimation results for equation FTSE:
## =====
## FTSE = DAX.l1 + FTSE.l1 + SHC.l1 + SPX.l1 + WIG20.l1 + DAX.l2 + FTSE.l2 + SHC.l2 + SPX.l2 + WIG20.l2
##
##           Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## DAX.l1    -0.0478850  0.0257627  -1.859 0.063184 .
## FTSE.l1   -0.0588086  0.0329189  -1.786 0.074141 .
```

```
## SHC.11    -0.0339211  0.0133238  -2.546  0.010958  *
## SPX.11     0.3450987  0.0245413  14.062  < 2e-16  ***
## WIG20.11  -0.0108208  0.0190745  -0.567  0.570566
## DAX.12    -0.0941641  0.0257197  -3.661  0.000256  ***
## FTSE.12    0.0397881  0.0321504   1.238  0.215992
## SHC.12     0.0007027  0.0131875   0.053  0.957507
## SPX.12     0.1157420  0.0254308   4.551  5.58e-06  ***
## WIG20.12  -0.0233387  0.0190544  -1.225  0.220747
## const      0.0001654  0.0001672   0.990  0.322502
```

```
## ---
```

```
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

```
##
```

```
##
```

```
## Residual standard error: 0.008466 on 2571 degrees of freedom
```

```
## Multiple R-Squared: 0.08892, Adjusted R-squared: 0.08538
```

```
## F-statistic: 25.09 on 10 and 2571 DF, p-value: < 2.2e-16
```

```
##
```

```
##
```

```
## Estimation results for equation SHC:
```

```
## =====
```

```
## SHC = DAX.11 + FTSE.11 + SHC.11 + SPX.11 + WIG20.11 + DAX.12 + FTSE.12 + SHC.12 + SPX.12 + WIG20.12
```

```
##
```

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
DAX.11	0.0387040	0.0388538	0.996	0.319
FTSE.11	0.0019925	0.0496465	0.040	0.968
SHC.11	0.0079581	0.0200942	0.396	0.692
SPX.11	0.2416088	0.0370119	6.528	8.01e-11 ***
WIG20.11	0.0039363	0.0287671	0.137	0.891
DAX.12	-0.0085156	0.0387891	-0.220	0.826
FTSE.12	0.0161072	0.0484875	0.332	0.740
SHC.12	-0.0302472	0.0198887	-1.521	0.128
SPX.12	0.0481016	0.0383533	1.254	0.210
WIG20.12	-0.0148168	0.0287368	-0.516	0.606
const	-0.0001730	0.0002521	-0.686	0.493

```
## ---
```

```
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

```
##
```

```
##
```

```
## Residual standard error: 0.01277 on 2571 degrees of freedom
```

```
## Multiple R-Squared: 0.04065, Adjusted R-squared: 0.03692
```

```
## F-statistic: 10.89 on 10 and 2571 DF, p-value: < 2.2e-16
```

```
##
```

```
##
```

```
## Estimation results for equation SPX:
```

```
## =====
```

```
## SPX = DAX.11 + FTSE.11 + SHC.11 + SPX.11 + WIG20.11 + DAX.12 + FTSE.12 + SHC.12 + SPX.12 + WIG20.12
```

```
##
```

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
DAX.11	0.0296250	0.0276916	1.070	0.28480
FTSE.11	0.0242995	0.0353836	0.687	0.49231
SHC.11	-0.0011980	0.0143214	-0.084	0.93334
SPX.11	-0.0632483	0.0263788	-2.398	0.01657 *
WIG20.11	-0.0092150	0.0205026	-0.449	0.65314
DAX.12	-0.0510118	0.0276454	-1.845	0.06512 .


```

## FTSE.12    0.0955121  0.0345576   2.764  0.00575 **
## SHC.12    -0.0062135  0.0141749  -0.438  0.66117
## SPX.12    -0.0027023  0.0273348  -0.099  0.92126
## WIG20.12  -0.0258185  0.0204810  -1.261  0.20757
## const     0.0003865  0.0001797   2.151  0.03161 *
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
##
## Residual standard error: 0.0091 on 2571 degrees of freedom
## Multiple R-Squared:  0.006038,    Adjusted R-squared:  0.002172
## F-statistic: 1.562 on 10 and 2571 DF,  p-value: 0.1118
##
##
## Estimation results for equation WIG20:
## =====
## WIG20 = DAX.11 + FTSE.11 + SHC.11 + SPX.11 + WIG20.11 + DAX.12 + FTSE.12 + SHC.12 + SPX.12 + WIG20.12
##
##           Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## DAX.11    -0.0316685  0.0331907  -0.954   0.3401
## FTSE.11   -0.0961493  0.0424103  -2.267   0.0235 *
## SHC.11    -0.0030144  0.0171654  -0.176   0.8606
## SPX.11     0.2987408  0.0316172   9.449 < 2e-16 ***
## WIG20.11  -0.0159240  0.0245741  -0.648   0.5170
## DAX.12    -0.0637022  0.0331353  -1.922   0.0547 .
## FTSE.12    0.0412621  0.0414202   0.996   0.3193
## SHC.12     0.0016681  0.0169898   0.098   0.9218
## SPX.12     0.1516719  0.0327631   4.629 3.85e-06 ***
## WIG20.12  -0.0780106  0.0245482  -3.178   0.0015 **
## const    -0.0002073  0.0002154  -0.962   0.3360
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
##
## Residual standard error: 0.01091 on 2571 degrees of freedom
## Multiple R-Squared:  0.04393, Adjusted R-squared:  0.04021
## F-statistic: 11.81 on 10 and 2571 DF,  p-value: < 2.2e-16
##
##
##
## Covariance matrix of residuals:
##           DAX      FTSE      SHC      SPX      WIG20
## DAX    1.303e-04  7.572e-05  2.038e-05  6.653e-05  7.163e-05
## FTSE    7.572e-05  7.167e-05  1.856e-05  4.690e-05  4.982e-05
## SHC     2.038e-05  1.856e-05  1.630e-04  1.639e-05  2.266e-05
## SPX     6.653e-05  4.690e-05  1.639e-05  8.281e-05  4.421e-05
## WIG20   7.163e-05  4.982e-05  2.266e-05  4.421e-05  1.190e-04
##
## Correlation matrix of residuals:
##           DAX      FTSE      SHC      SPX      WIG20
## DAX    1.0000  0.7834  0.1398  0.6404  0.5753
## FTSE    0.7834  1.0000  0.1717  0.6088  0.5396
## SHC     0.1398  0.1717  1.0000  0.1410  0.1627
## SPX     0.6404  0.6088  0.1410  1.0000  0.4454

```

```
## WIG20 0.5753 0.5396 0.1627 0.4454 1.0000
```

Badanie przyczynowości w sensie Grangera

Koncepcja przyczynowości Grangera polega na tym, że zmienna X jest przyczyną zmiennej Y, jeśli bieżące wartości Y można prognozować z większą dokładnością, wykorzystując przeszłe wartości X niż bez nich (przy niezmienionej pozostałej informacji), czyli gdy współczynniki przy opóźnionych zmiennych X są statystycznie istotne. Jeśli nawet wszystkie parametry dla jakiejś zmiennej z rozłożonymi opóźnieniami są nieistotne, to nie oznacza, że nie będą istotne w sposób łączny.

W celu badania przyczynowości zastosowana zostanie liniowa wersja testu Grangera.

W pierwszym teście sprawdzone zostanie czy DAX jest przyczyną dla FTSE SHC SPX WIG20, czyli czy DAX może być pominięty w równaniach opisujących FTSE SHC SPX WIG20.

Hipoteza zerowa tego testu zakłada brak zależności przyczynowej w sensie Grangera zmiennej DAX do zmiennych FTSE SHC SPX WIG20.

Test ten przeprowadzony zostanie dla każdej występującej w modelu zmiennej.

H0: Brak przyczynowości w sensie Grangera

H1: Istnieje przyczynowość w sensie Grangera

```
causality(var2, cause = "DAX")$Granger
```

```
##
## Granger causality H0: DAX do not Granger-cause FTSE SHC SPX WIG20
##
## data:  VAR object var2
## F-Test = 3.2529, df1 = 8, df2 = 12855, p-value = 0.001049
```

```
causality(var2, cause = "FTSE")$Granger
```

```
##
## Granger causality H0: FTSE do not Granger-cause DAX SHC SPX WIG20
##
## data:  VAR object var2
## F-Test = 2.3649, df1 = 8, df2 = 12855, p-value = 0.01535
```

```
causality(var2, cause = "SHC")$Granger
```

```
##
## Granger causality H0: SHC do not Granger-cause DAX FTSE SPX WIG20
##
## data:  VAR object var2
## F-Test = 1.8063, df1 = 8, df2 = 12855, p-value = 0.07087
```

```
causality(var2, cause = "SPX")$Granger
```

```
##
## Granger causality H0: SPX do not Granger-cause DAX FTSE SHC WIG20
##
## data:  VAR object var2
## F-Test = 28.428, df1 = 8, df2 = 12855, p-value < 2.2e-16
```

```
causality(var2, cause = "WIG20")$Granger
```

```
##
## Granger causality H0: WIG20 do not Granger-cause DAX FTSE SHC SPX
##
```

```
## data:  VAR object var2
## F-Test = 0.43689, df1 = 8, df2 = 12855, p-value = 0.8995
```

Podsumowanie wyników

W testach tych otrzymano następujące wyniki:

- W teście przyczynowości Grangera stóp zwrotu indeksu **DAX** wartość p jest mniejsza od poziomu istotności, odrzucam hipotezę zerową, **zmienna DAX jest przyczyną w sensie Grangera** dla FTSE SHC SPX WIG20.
- Dla indeksu **FTSE** wartość p testu jest mniejsza od poziomu istotności, odrzucam hipotezę zerową, **zmienna FTSE jest przyczyną w sensie Grangera** dla DAX SHC SPX WIG20.
- Dla indeksu **SHC** wartość p testu przyczynowości Grangera jest większa od poziomu istotności, brak podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej. **Brak zależności przyczynowej w sensie Grangera zmiennej FTSE** dla DAX FTSE SPX WIG20.
- Dla indeksu **SPX** wartość p testu jest mniejsza od poziomu istotności, odrzucam hipotezę zerową, **zmienna SPX jest przyczyną w sensie Grangera** dla DAX FTSE SHC WIG20.
- Dla indeksu **WIG20** wartość p testu przyczynowości Grangera jest większa od poziomu istotności, brak podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej. **Brak zależności przyczynowej w sensie Grangera zmiennej WIG20** dla DAX FTSE SHC SPX.

Zmienna SHC nie jest przyczyną w sensie Grangera, a w przeprowadzonych testach istotności, jej 1. opóźnienie było istotne tylko w jednym równaniu.

Zmienna WIG20 nie jest przyczyną w sensie Grangera, a w przeprowadzonych testach istotności, jej 2. opóźnienie było istotne tylko w jednym równaniu, opisującym bieżące wartości WIG20.

Pozostałe zmienne, które są przyczynami w sensie Grangera, były istotne w równaniach modelu.