



POLITECHNIKA WROCŁAWSKA

Matematyczna analiza konfliktów zbrojnych

Dyplomant: Yana Negulescu

Matematyka stosowana, W13

Promotor: dr Tomasz Stroiński

Motywacja

- ✓ Rosnące znaczenie analizy konfliktów zbrojnych dla globalnego bezpieczeństwa
- ✓ Potrzeba obiektywnego podejścia zamiast intuicyjnych ocen
- ✓ Możliwość wykorzystania metod matematycznych do prognozowania konfliktów

Cele

- Zastosowanie modelowania matematycznego do identyfikacji kluczowych czynników wpływających na przebieg wojen
- Opracowanie modelu zaproponowanego przez J. Davida Singera w projekcie Correlates of War [1][9]
- Modyfikacja modelu Singera w celu dostosowania go do nowszych danych

Teoretyczne podstawy modelu Singera: Moc państwa w systemie

Elementy zdolności [8]:

- całkowita populacja państwa,
- populacja miejska,
- konsumpcja energii przemysłowej,
- produkcja żelaza i stali,
- liczba personelu wojskowego,
- wydatki wojskowe.

Sumowanie wartości każdego elementu
w całym systemie



Obliczanie udziału państwa w systemie



Wyznaczenie mocy państwa S_i

Teoretyczne podstawy modelu Singera: Zmienna zależna

Zmienna odzwierciedla intensywność prowadzenia wojen, mierzona jako średni roczny czas trwania wojen międzynarodowych w miesiącach prowadzonych w badanym okresie [10]

$$WAR_{t_1 \rightarrow t_2} = \frac{1}{t} \sum_w \sum_p m_{w,p}$$

gdzie:

w – liczba wojen w okresie $t = t_2 - t_1$,

p – liczba uczestników wojen,

$m_{w,p}$ – liczba miesięcy udziału uczestnika p w wojnie w .

Teoretyczne podstawy modelu Singera: Zmienne niezależne

Koncentracja mocy w systemie	Zmiana koncentracji mocy w systemie	Ilość mocy przesunięta między państwami
$CON_{t_0} = \sqrt{\frac{\sum_{N_{t_0}} S_{it_0}^2 - \frac{1}{N_{t_0}}}{1 - \frac{1}{N_{t_0}}}}$	$\Delta CON_{t_0 \rightarrow t_1} = \frac{CON_{t_1} - CON_{t_0}}{t_1 - t_0}$	$MOVE_{t_0 \rightarrow t_1} = \frac{\sum_{N_t} S_{it_1} - S_{it_0} }{2(1 - S_{mt})}$

gdzie:

S_{it_0} – moc państwa i w czasie t_0 ,

S_{it_1} – moc państwa i w czasie t_1 ,

N_t – liczba państw w systemie w okresie t .

S_{mt} – państwo z najmniejszą mocą w czasie $t = t_1 - t_0$.

Teoretyczne podstawy modelu Singera: Model regresji wielokrotnej

$$WAR_{t_1 \rightarrow t_2} = \alpha + \beta_1 CON_{t_0} + \beta_2 \Delta CON_{t_0 \rightarrow t_1} + \beta_3 MOVE_{t_0 \rightarrow t_1} + \epsilon$$

gdzie:

$WAR_{t_1 \rightarrow t_2}$ – zmienna zależna, reprezentująca wystąpienie wojny w przedziale czasu pomiędzy t_1 a t_2 ;

CON_{t_0} – poziom koncentracji mocy w czasie t_0 ;

$\Delta CON_{t_0 \rightarrow t_1}$ – zmiana koncentracji mocy między t_0 a t_1 ;

$MOVE_{t_0 \rightarrow t_1}$ – ilość przesuniętej mocy między t_0 a t_1 ;

α – stała;

β_i – współczynnik regresji, odzwierciedlający wpływ poszczególnych zmiennych niezależnych na wystąpienie wojny;

ϵ – składnik losowy.

$$t_1 - t_0 = t_2 - t_1 = \dots = t_n - t_{n-1} = t$$

Teoretyczne podstawy modelu Singera: Wersje modelu

Wersje z
wskaźnikiem
koncentracji mocy
liczonym na
początku okresu t

Wersja addytywna
ADD/CON LEADS

$$WAR_{t_1 \rightarrow t_2} = \alpha + \beta_1 CON_{t_0} + \beta_2 \Delta CON_{t_0 \rightarrow t_1} + \beta_3 MOV E_{t_0 \rightarrow t_1} + \epsilon$$

Wersja
mnożykowa
MULT/CON LEADS

$$WAR_{t_1 \rightarrow t_2} = \alpha \cdot \beta_1^{CON_{t_0}} \cdot \beta_2^{\Delta CON_{t_0 \rightarrow t_1}} \cdot \beta_3^{MOV E_{t_0 \rightarrow t_1}} \cdot \epsilon$$

Wersje z
wskaźnikiem
koncentracji mocy
liczonym na końcu
okresu t

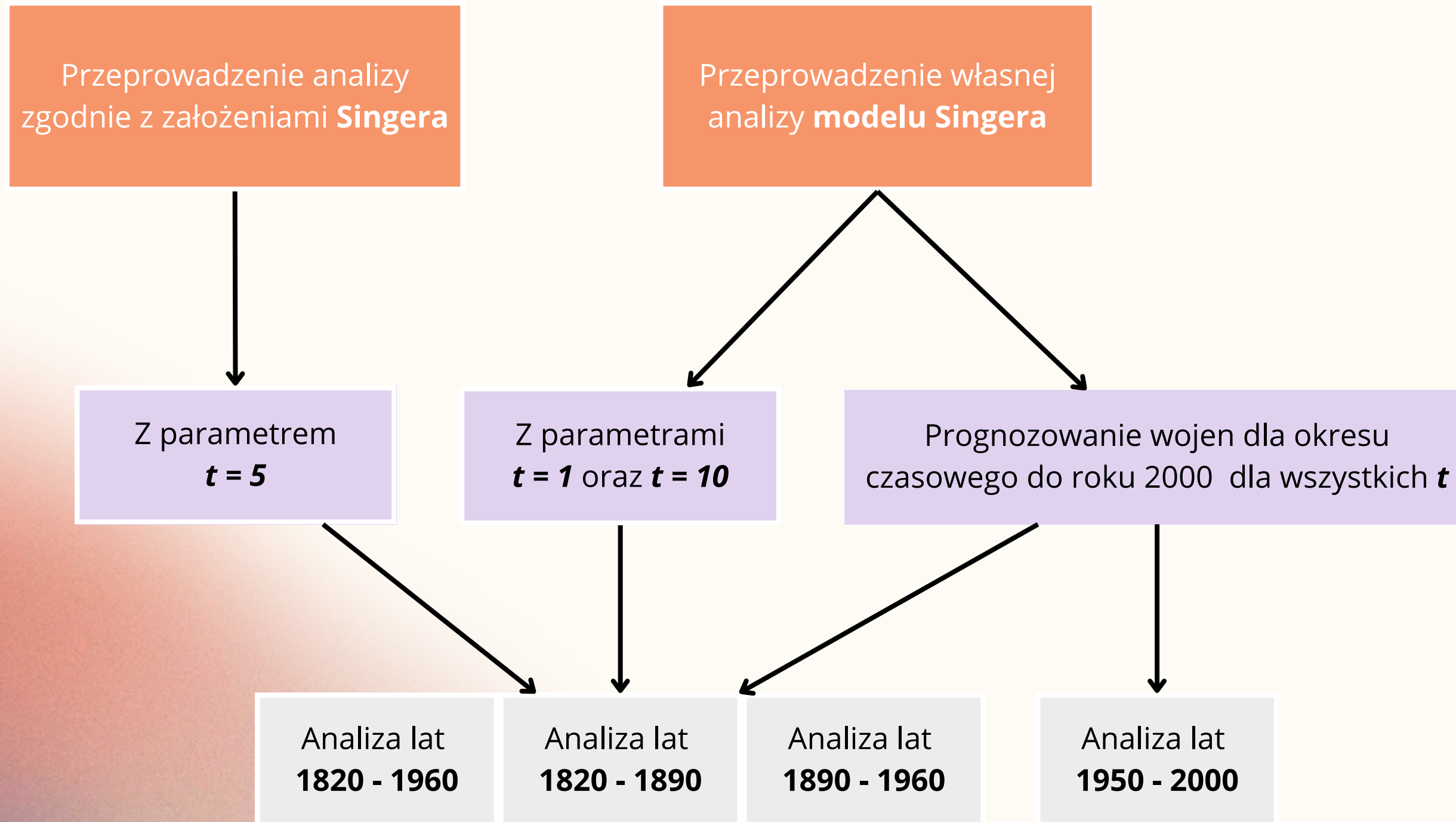
Wersja addytywna
MULT/CON LAGS

$$WAR_{t_1 \rightarrow t_2} = \alpha + \beta_1 CON_{t_1} + \beta_2 \Delta CON_{t_0 \rightarrow t_1} + \beta_3 MOV E_{t_0 \rightarrow t_1} + \epsilon$$

Wersja
mnożykowa
MULT/CON LAGS

$$WAR_{t_1 \rightarrow t_2} = \alpha \cdot \beta_1^{CON_{t_1}} \cdot \beta_2^{\Delta CON_{t_0 \rightarrow t_1}} \cdot \beta_3^{MOV E_{t_0 \rightarrow t_1}} \cdot \epsilon$$

Empiryczna analiza modelu Singera



Analiza dwuwymiarowa

- Współczynnik korelacji Pearsona (R)
- Współczynnik determinacji (R^2)

Analiza wielowymiarowa

- Estymacja parametrów regresji wielokrotnej
- Współczynnik korelacji Pearsona (R)
- Współczynniki determinacji (R^2)
- Standaryzowane współczynniki regresji (b)
- Współczynniki korelacji cząstkowe (r^2)
- Wykres dopasowania i reszt
- MAE, MSE, Test Shapiro-Wilka

Analiza dwuwymiarowa wpływu pojedynczych zmiennych niezależnych na zmienną zależną dla lat 1950 – 2000 z $t = 10$

Zmienna niezależna	R	R^2
CON	- 0.56	0.31
Δ CON	0.59	0.34
MOVE	- 0.62	0.38

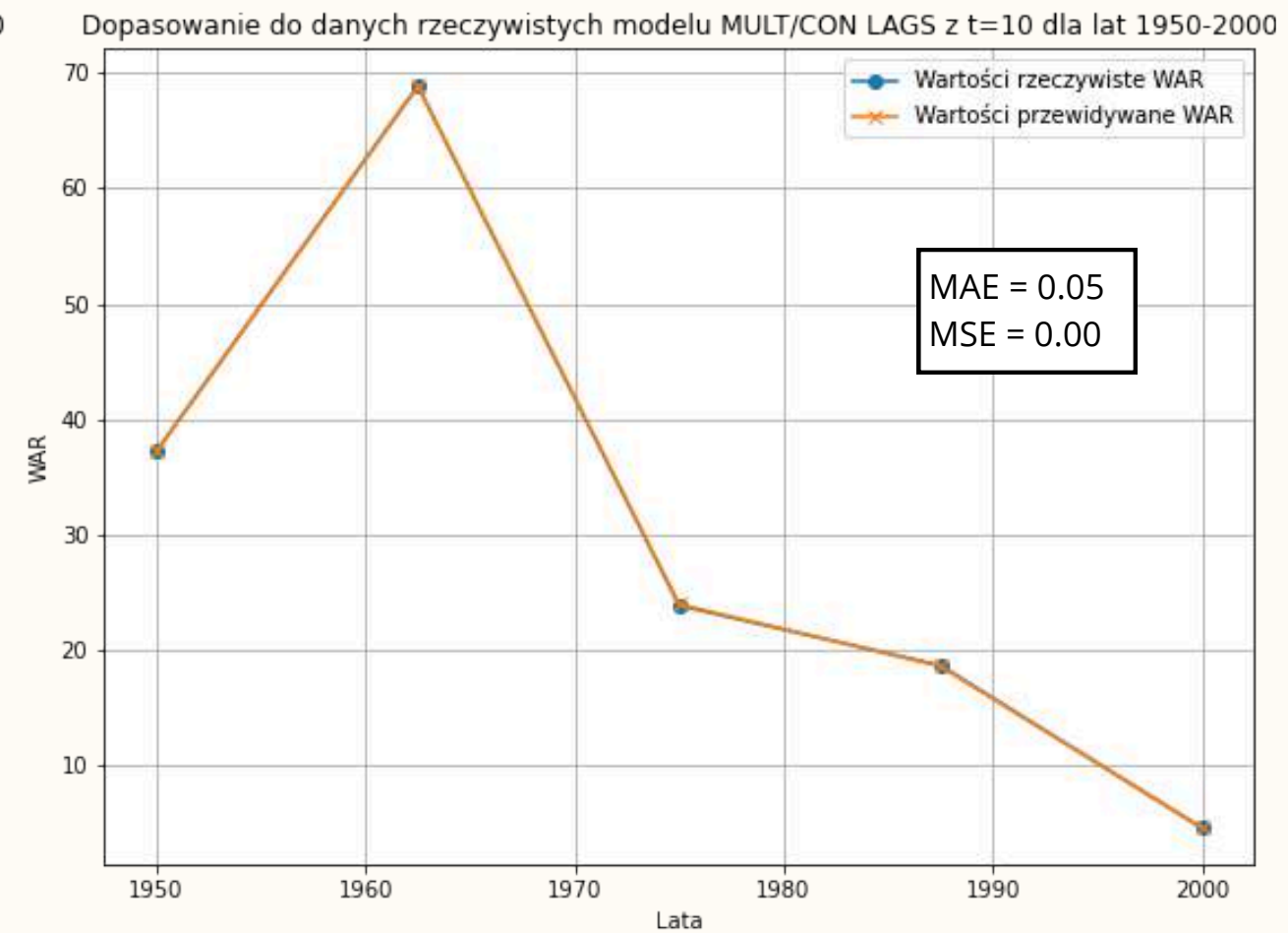
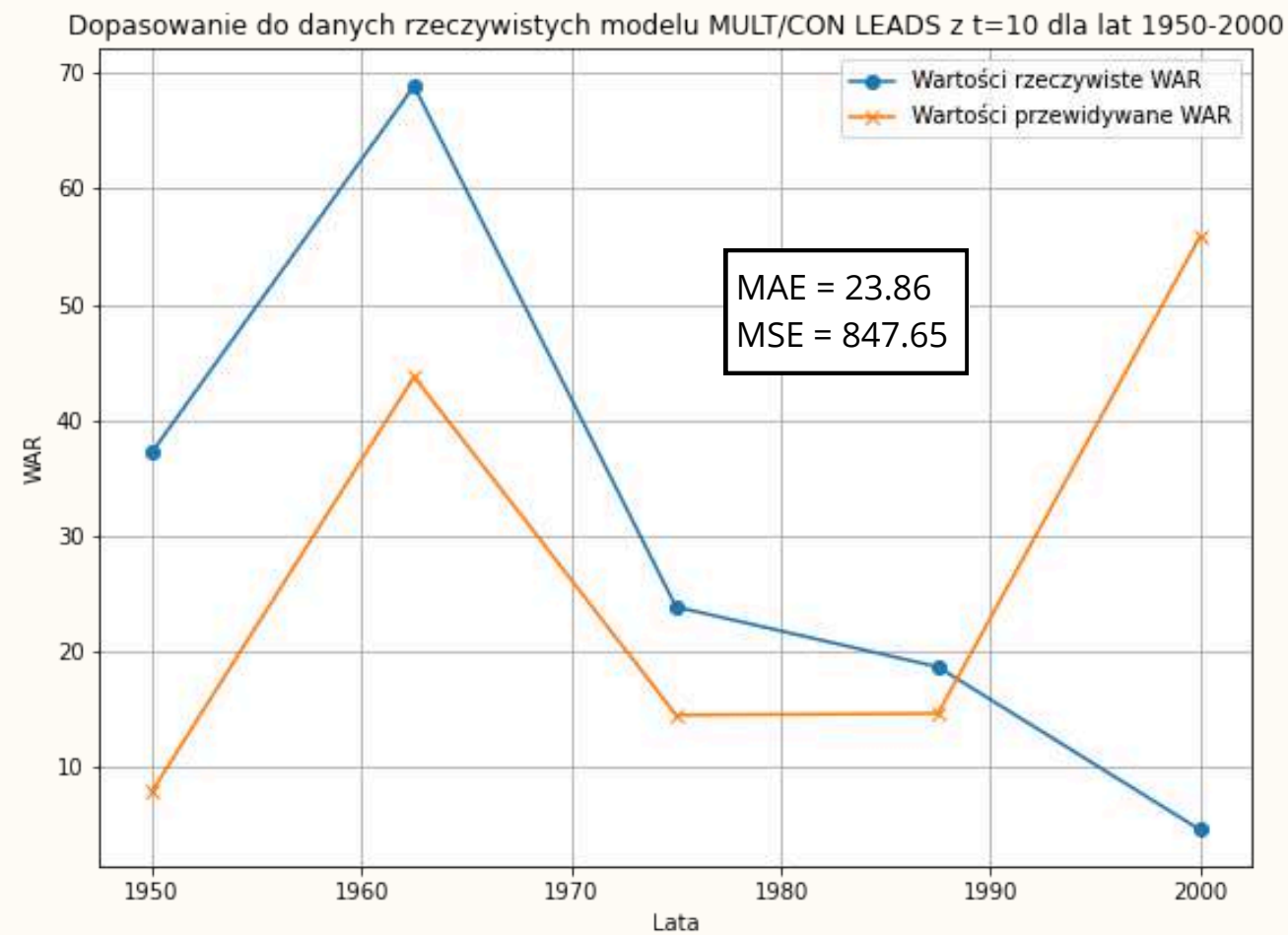
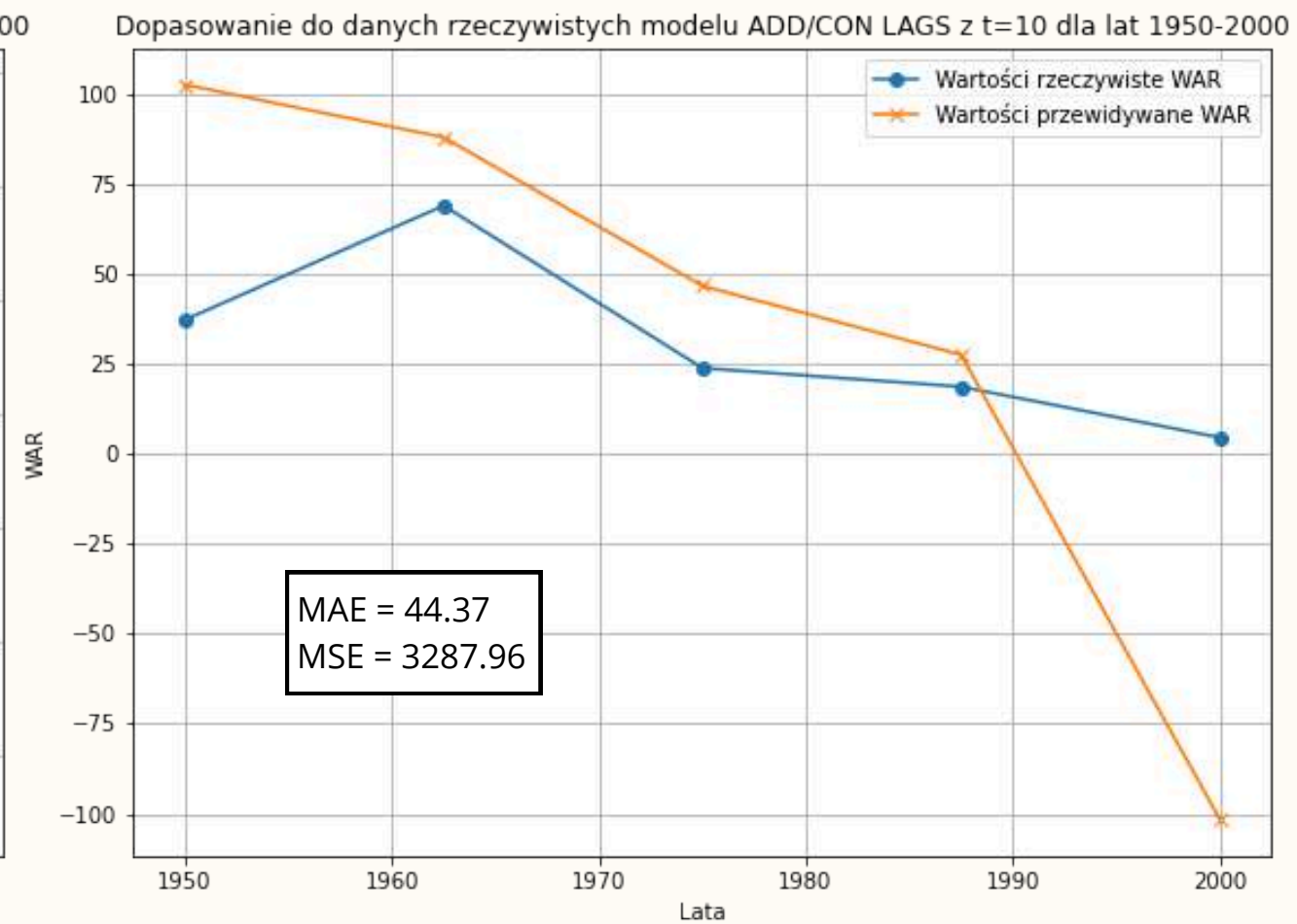
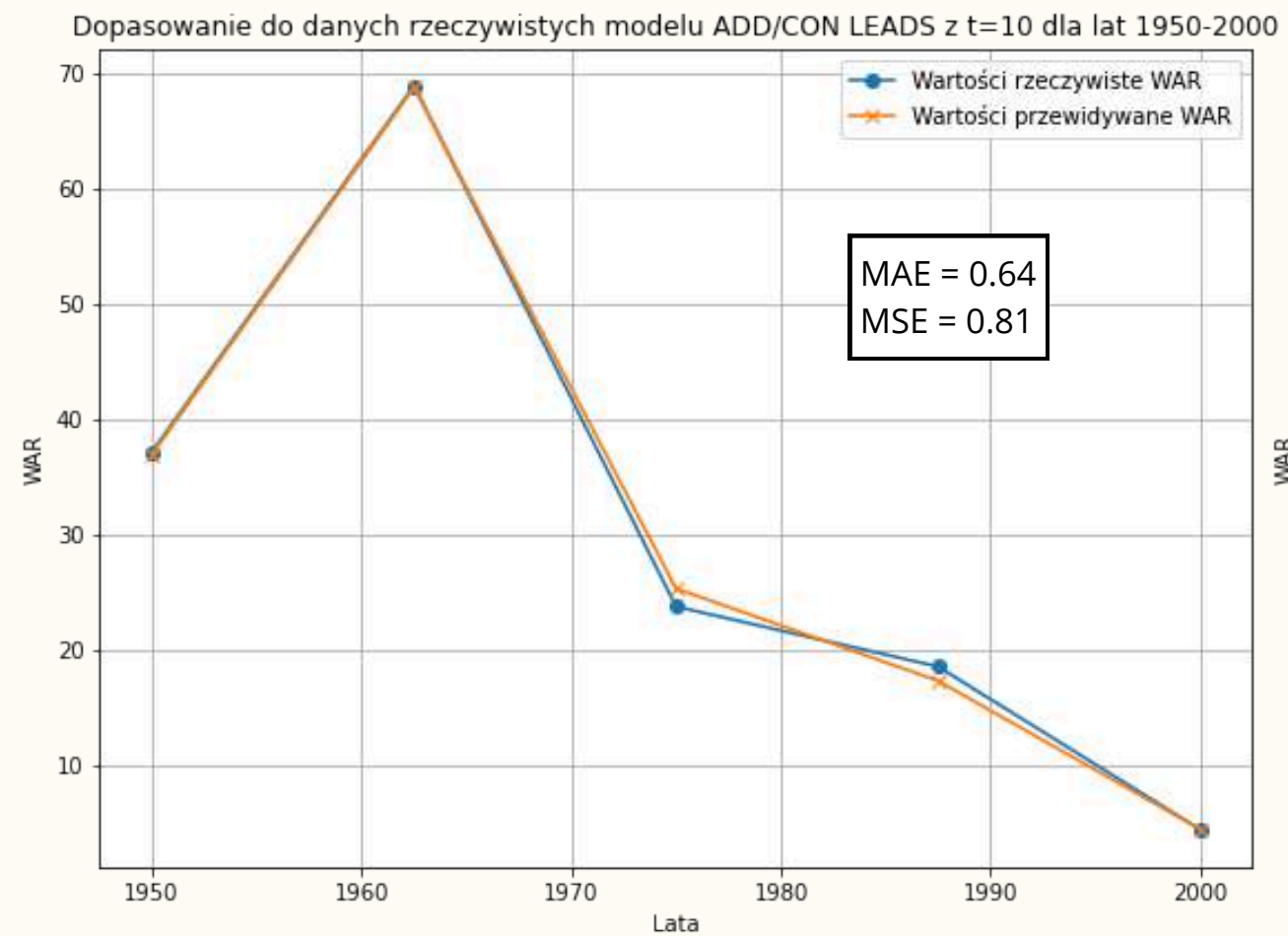
Analiza wielowymiarowa: Estymacja parametrów modeli dla lat 1950 – 2000 z $t = 10$

Model	Const		CON		Δ CON		MOVE	
	α	p-wartość	β_1	p-wartość	β_2	p-wartość	β_3	p-wartość
ADD / CON LEADS	528.99	0.031	-992.28	0.034	-10270	0.041	-30490	0.033
ADD / CON LAGS	528.99	0.031	-992.28	0.034	-351.87	0.378	-30490	0.033
MULT / CON LEADS	15.27	0.003	-23.59	0.005	-178.36	0.007	-813.70	0.004
MULT / CON LAGS	15.27	0.003	-23.59	0.005	57.53	0.008	-813.70	0.004

Analiza wielowymiarowa: Dopasowanie standaryzowanych modeli dla lat 1950 – 2000 z $t = 10$

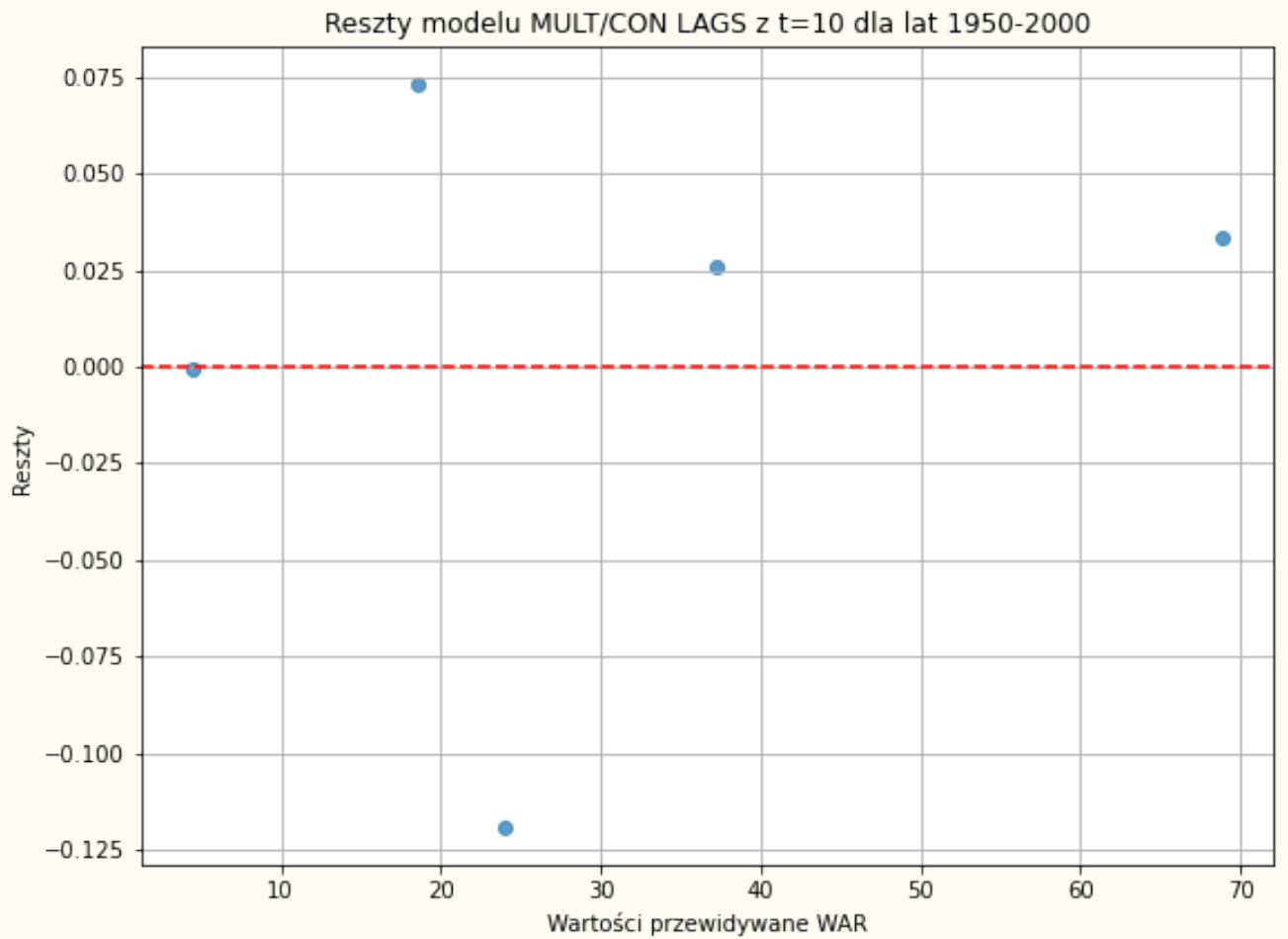
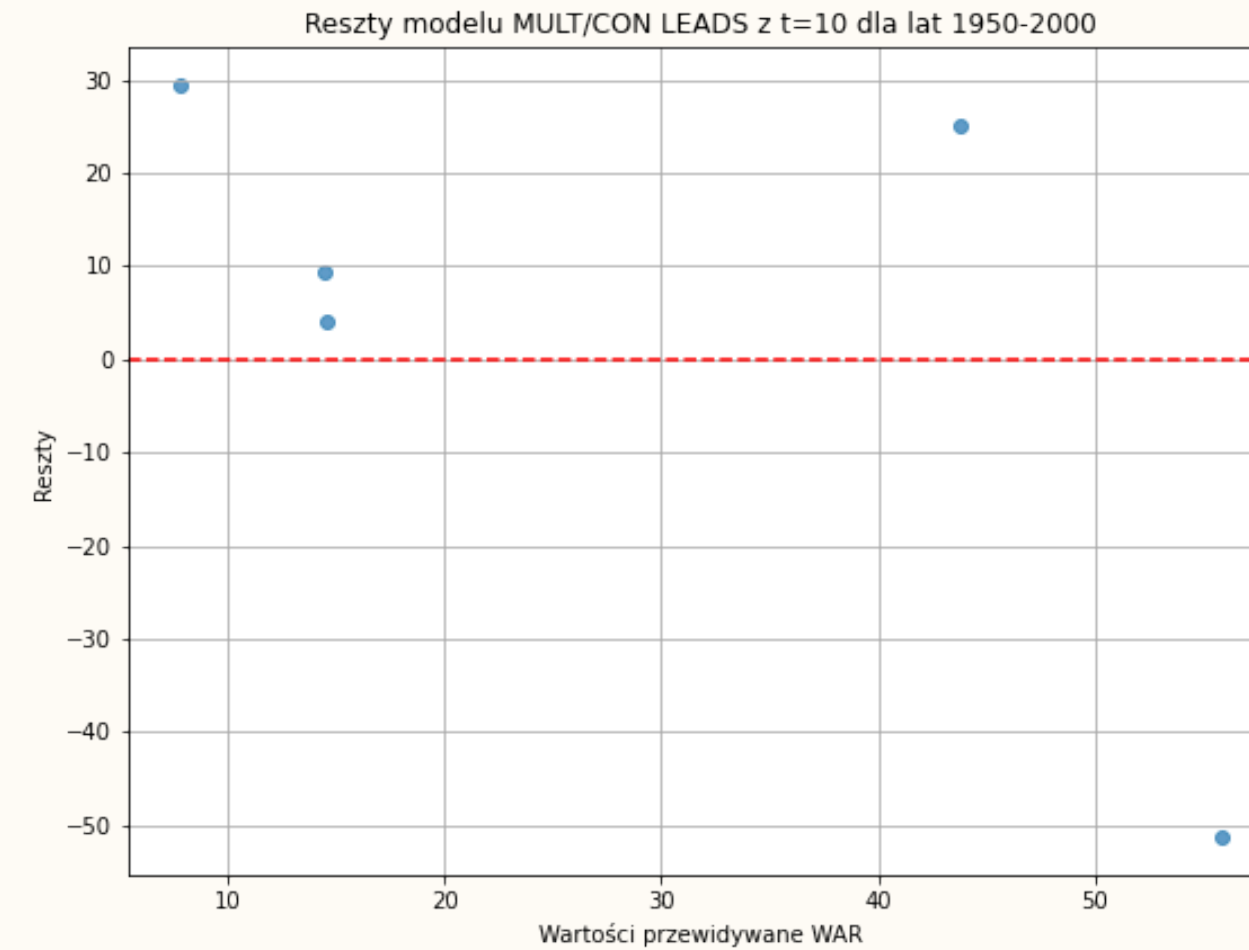
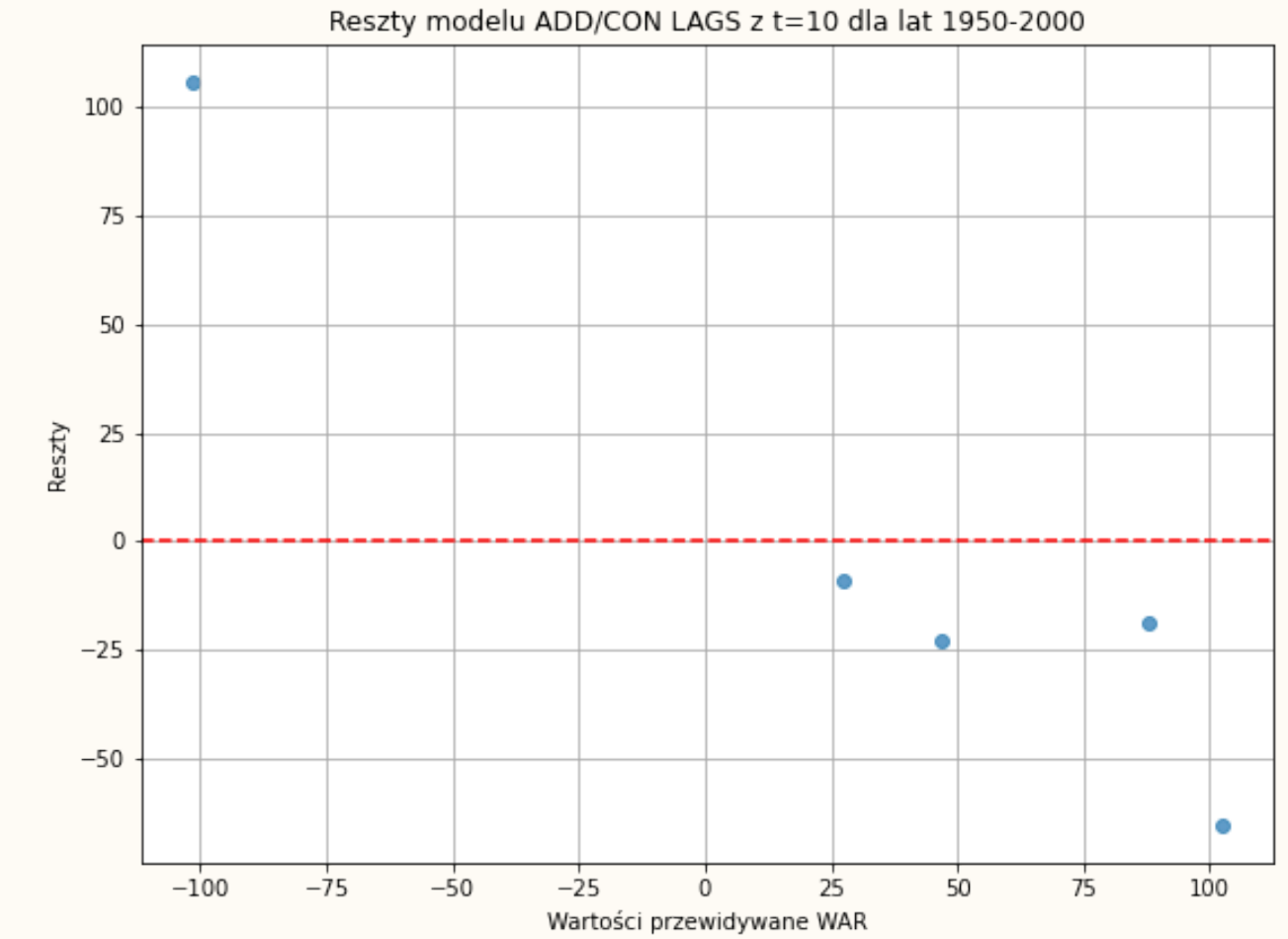
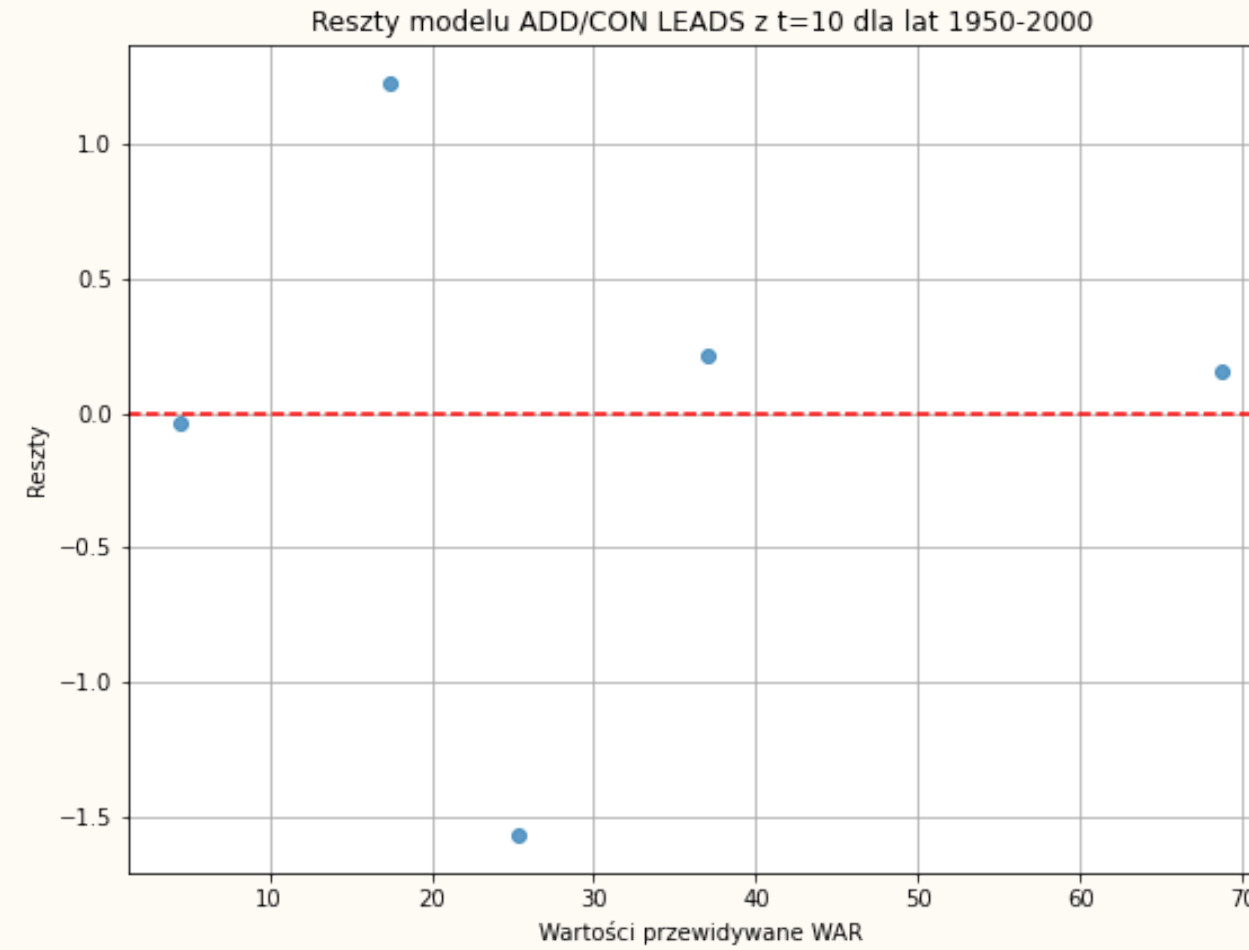
Model	R	R^2	\overline{R}^2	CON		Δ CON		MOVE	
				b	r^2	b	r^2	b	r^2
ADD / CON LEADS	0.999	0.998	0.993	-2.266	0.997	-2.718	0.996	-2.155	0.997
ADD / CON LAGS	0.999	0.998	0.993	-1.677	0.997	-0.093	0.687	-2.155	0.997
MULT / CON LEADS	1.000	1.000	1.000	-1.293	1.000	-1.133	1.000	-1.381	1.000
MULT / CON LAGS	1.000	1.000	1.000	-0.957	1.000	0.365	1.000	-1.381	1.000

Wykresy dopasowania modeli w latach 1850 – 2000 dla $t = 10$



Analiza reszt modeli w latach 1950 – 2000 dla $t = 10$

Reszty mają rozkład normalny
we wszystkich modelach



Podsumowanie

Porównanie z analizą Singera

Analiza nie wykazała podobieństwa wyników, co może wynikać z wykorzystania w niniejszej pracy nowszego zbioru danych

Zmiana parametru t

Modele z $t = 5$ oraz $t = 10$, wykazali większą skuteczność w porównaniu do modeli z $t = 1$, to znaczy że taki krótki podział nie pozwala modeli na uchwycenie trendów

Prognozy na danych dla lat 1950 – 2000

Analiza wykaza, że modeli trenowane na nowszych danych lepiej przewidują konflikty zbrojne, niż modeli trenowane na lepsze prognozy

Co dalej?

Analiza zależności występowania konfliktów zbrojnych nie w całym systemie międzynarodowym, ale pomiędzy parami państw.

Literatura

- [1] Correlates of War Project. „State System Membership List, v2016”.
<http://correlatesofwar.org>, 2017. Accessed: 2025-01-10.
- [2] Humphreys, M. Natural resources, conflict, and conflict resolution: Uncovering the mechanisms. *Journal of conflict resolution* 49, 4 (2005), 508–537.
- [3] Lear, J. B., Macaulay, D., Sarkees, M. R. Escalation and control in international conflict: A simple feedback model 4. In *Advancing Peace Research*. Routledge, 2012, pp. 69–82.
- [4] Magiera, R. Modele i metody statystyki matematycznej: Wnioskowanie statystyczne. Oficyna Wydawnicza GiS, 2018.
- [5] Sarkees, M. R., Wayman, F. *Resort to War: 1816 – 2007*. CQ Press, Washington DC, 2010.

Literatura

- [6] Singer, J. D. Inter-nation influence: a formal model. *American Political Science Review* 57, 2 (1963), 420–430.
- [7] Singer, J. D. Variables, indicators, and data: The measurement problem in macropolitical research. *Social Science History* 6, 2 (1982), 181–217.
- [8] Singer, J. D. Reconstructing the correlates of war dataset on material capabilities of states, 1816–1985. *International Interactions* 14, 2 (1988), 115–132.
- [9] Singer, J. D. *Advancing Peace Research: Leaving Traces, Selected Articles*. Routledge, 2 Park Square, Milton Park, Abingdon, Oxon, OX14 4RN, 2012.
- [10] Singer, J. D., Bremer, S. A., Stuckey, J. Capability distribution, uncertainty, and major power war, 1820–1965 1. In *Peace, War and Numbers*. Sage Publ., 1972, pp. 19–48.

Dziękuję za uwagę!
