

Ocena efektywności energetycznej krajów UE z wykorzystaniem metody DEA

Katarzyna Frodyma

Uniwersytet Ekonomiczny w Krakowie, Katedra Statystyki

Michał Pietrzak

Politechnika Gdańska, Katedra Statystyki i Ekonometrii

V Kongres Statystyki Polskiej
1-3 lipca 2025 roku, Warszawa

Praca finansowana ze środków NCN; grant: 2019/35/B/HS4/01185

1. Motywacja podjęcia tematu
2. Przegląd literatury
3. Metodyka badań
4. Wyniki badań
5. Wnioski

- redukcja emisji dwutlenku węgla
- zrównoważony wzrost gospodarczy

BADANIE EFEKTYWNOŚCI ENERGETYCZNEJ

- ✓ Efektywność energetyczna definiowana jest jako zużycie energii na jednostkę produkcji (zazwyczaj produkt krajowy brutto). To podejście jest krytykowane za pominięcie struktury gospodarki lub klimatu (Filippini i Hunt, 2015), zakładając, że produktywność zależy wyłącznie od wyników ekonomicznych. Z tego powodu to podejście jest pomijane w niniejszym przeglądzie.
- ✓ Analiza obwiedni danych (Data Envelopment Analysis - DEA) jest nieparametryczną metodą programowania liniowego dedykowaną do pomiaru efektywności wielu jednostek podejmujących decyzje. Wiele badań wykorzystuje DEA do analizy efektywności energetycznej w przypadku różnych krajów (regiony są jednostkami podejmującymi decyzje).
- ✓ Analiza granicy stochastycznej (Stochastic Frontier Analysis - SFA).

Jako wejścia w modelu DEA rozważano
zmienne opisujące:

PKB



Energia ze źródeł
odnawialnych



Powierzchnia
kraju



Liczba ludności



Jako wejścia w modelu DEA uwzględniono także determinanty uzyskane w modelu LMDI:

Intensywność
energetyczna



Struktura
energetyczna



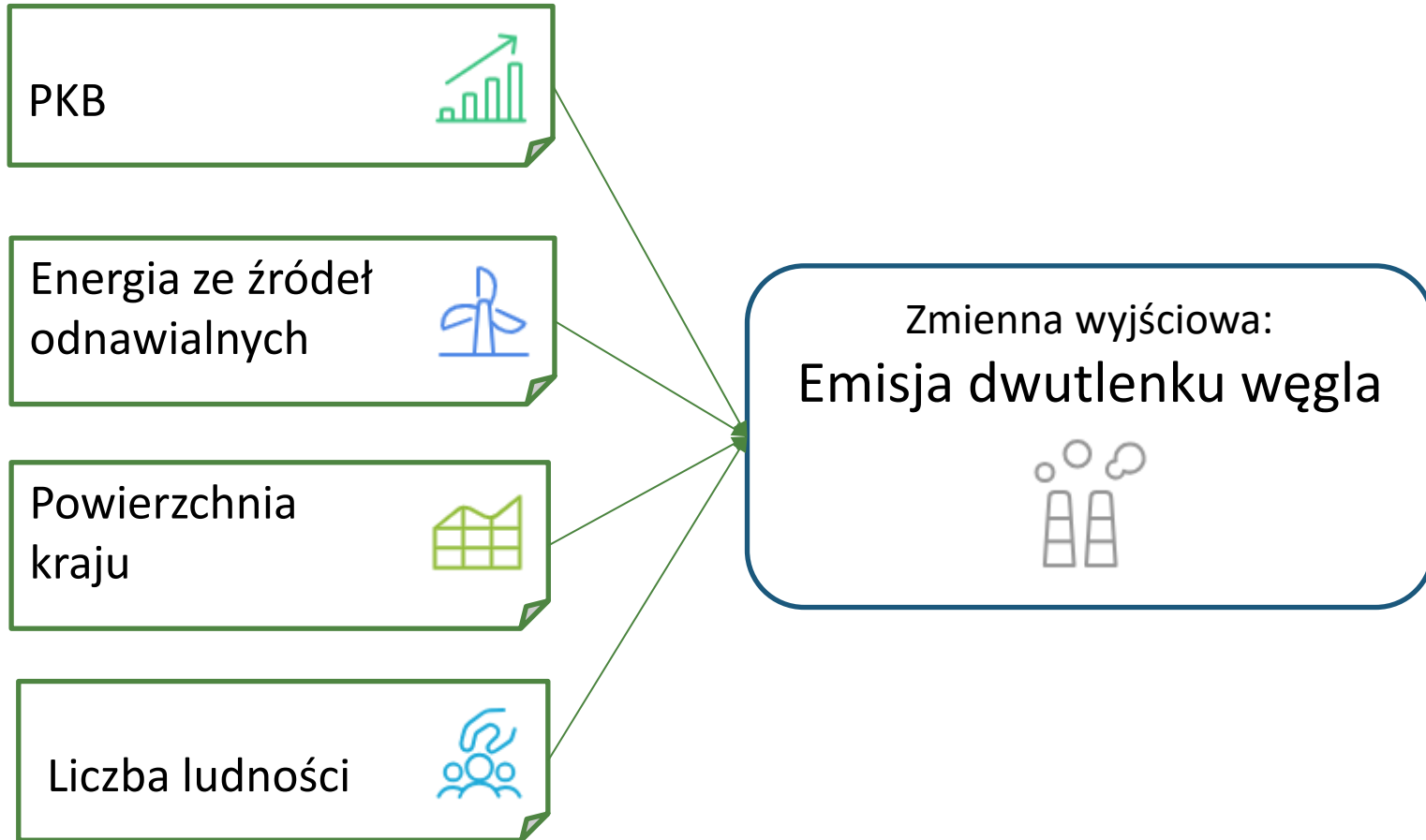
Intensywność
węgla



Aktywność
gospodarcza



Jako wejścia w modelu DEA rozważano zmienne opisujące:



Jako wejścia w modelu DEA uwzględniono także determinanty uzyskane w modelu LMDI:



- Dobór obiektów badanych: kraje Unii Europejskiej podlegające wspólnej polityce energetycznej w zakresie odnawialnych źródeł energii
- Pomiar emisji CO₂:
 - rachunkowość oparta na produkcji (PBA)
 - rachunkowość oparta na konsumpcji (CBA)
- Dane wejściowe oparte na LMDI
- Aktualne dane

Ocena efektywności energetycznej w krajach UE w celu uzyskania dostępu do potencjału poszczególnych krajów w zakresie redukcji emisji

DEA - Data Envelopment Analysis (Charnes A., Cooper W. W., Rhodes E.)

➤ Założenia metody DEA:

- jest n obiektów (DMU – jednostek decyzyjnych), z których
- każdy wykorzystuje m różnych nakładów w celu otrzymania s różnych efektów
- wielkości nakładów i efektów są większe lub równe zero
- dla każdej jednostki decyzyjnej istnieje przynajmniej jeden nakład i jeden efekt większy od zera

DEA - Data Envelopment Analysis (Charnes A., Cooper W. W., Rhodes E.)

❖ korzyści skali

- stałe - model CCR
- zmienne - model BCC

❖ model zorientowany na:

- nakłady
- efekty

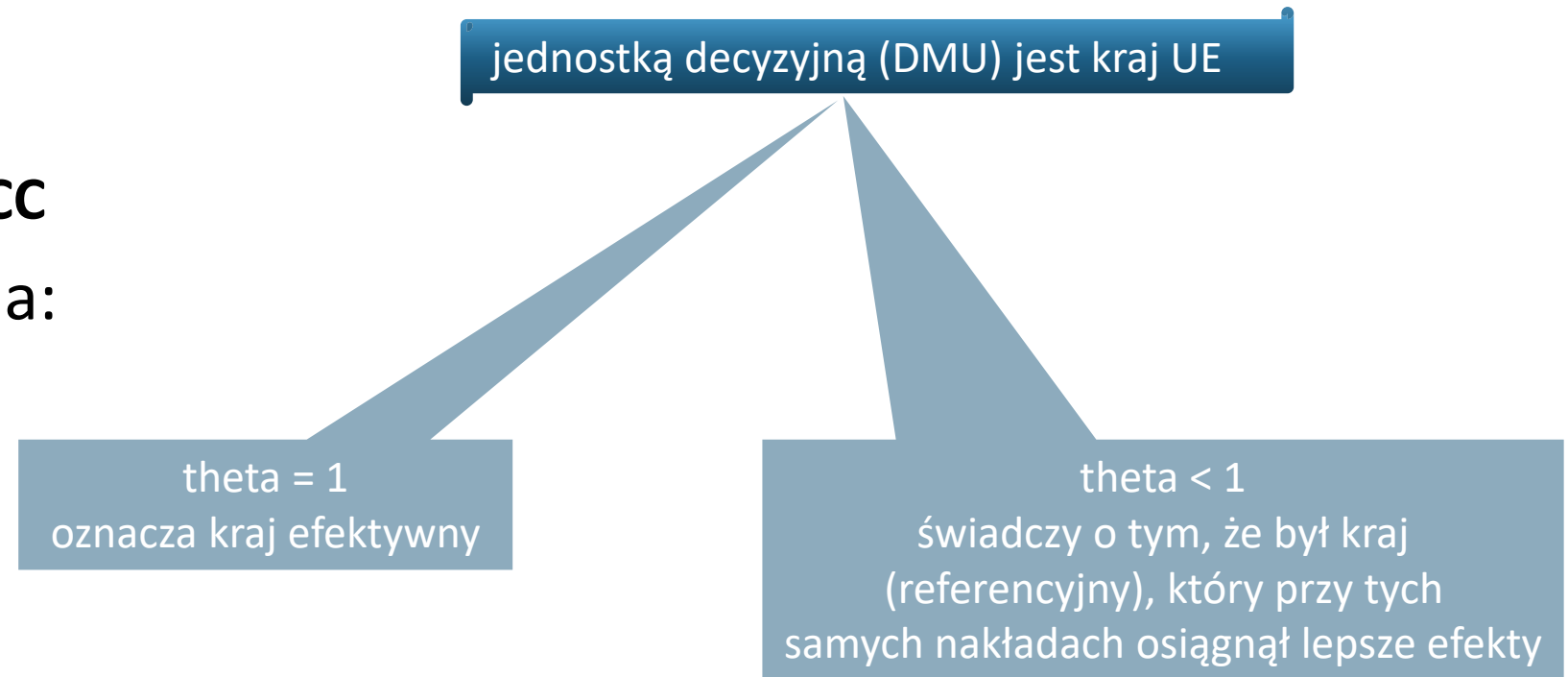
DEA - Data Envelopment Analysis (Charnes A., Cooper W. W., Rhodes E.)

❖ korzyści skali

- stałe - model CCR
- **zmienne - model BCC**

❖ model zorientowany na:

- nakłady
- **efekty**



Zalety metody DEA:

- ✓ metoda ta nie wymaga uprzedniej znajomości wag, dla każdego bowiem obiektu wyszukiwane są wagi, które maksymalizują jego efektywność
- ✓ jest to metoda nieparametryczna, nie wymaga znajomości zależności funkcyjnej pomiędzy nakładami a efektami, krzywa efektywności jest estymowana na podstawie danych empirycznych wielkościach nakładów i efektów
- ✓ zmienne opisujące nakłady i efekty mogą posiadać różne miana
- ✓ metoda nie uśrednia wartości tylko wychwytuje wartości skrajne

Wady metody DEA:

- ✓ zadanie maksymalizacyjne należy rozwiązać dla każdej jednostki decyzyjnej osobno
- ✓ fakt, iż metoda ta jest zbyt mało „krytyczna”, tzn. często jest tak, że niemal połowa badanych jednostek decyzyjnych okazuje się efektywna

Zmienne wejściowe:

➤ Model 1:

- ☐ GDP - produkt krajowy brutto
- ☐ OZE - udział energii odnawialnej w końcowym zużyciu energii
- ☐ POP - liczba ludności
- ☐ POW - powierzchnia kraju

➤ Model 2:

- ☐ EG - intensywność energetyczna = E (zużycie energii ogółem) / GDP
- ☐ FE - struktura energetyczna = F (zużycie energii kopalnej) / E (zużycie energii ogółem)
- ☐ CF - intensywność węgla = C (emisja CO_2) / F (zużycie energii kopalnej)
- ☐ GP - aktywność gospodarcza = GDP / POP

Zmienna wyjściowa: redukcja emisji CO₂

- Model PBA - pomiaru emisji CO₂ opierający się na produkcji
- Model CBA - pomiaru emisji CO₂ opierające się na konsumpcji

Dane dotyczą 27 krajów Unii Europejskiej i pochodzą ze strony internetowej EUROSTATU

PBA

Pomiar oparty na produkcji mierzy emisje CO₂ spowodowane krajową produkcją, w tym eksportem. To podejście jest szeroko stosowane w międzynarodowych porozumieniach dotyczących zmian klimatu, takich jak Ramowa Konwencja Narodów Zjednoczonych w sprawie Zmian Klimatu (UNFCCC) i Protokół z Kioto (patrz Mi et al., 2016)

CBA

Pomiar oparty na konsumpcji mierzy emisje CO₂ spowodowane towarami i usługami na poziomie ich konsumpcji, przydzielając emisje do ostatecznych konsumentów (Steininger et al., 2014). W tym podejściu uwzględniane są emisje spowodowane międzynarodowym handlem, głównie importem z rynków wschodzących (szczególnie Chiny)

PBA

Pomiar oparty na produkcji mierzy emisje CO₂ spowodowane krajową produkcją, w tym eksportem. To podejście jest szeroko stosowane w międzynarodowych porozumieniach dotyczących zmian klimatu, takich jak Ramowa Konwencja Narodów Zjednoczonych w sprawie Zmian Klimatu (UNFCCC) i Protokół z Kioto (patrz Mi et al., 2016)

CBA

Pomiar oparty na konsumpcji mierzy emisje CO₂ spowodowane towarami i usługami na poziomie ich konsumpcji, przydzielając emisje do ostatecznych konsumentów (Steininger et al., 2014). W tym podejściu uwzględniane są emisje spowodowane międzynarodowym handlem, głównie importem z rynków wschodzących (szczególnie Chiny)

Te dwa podejścia różnią się istotnie, import i eksport towarów i usług związanych z emisjami CO₂ pokazują potencjał międzynarodowej utraty emisji CO₂ (Davis i Caldeira, 2010).

Barrett et al. (2013) twierdzą, że emisje CO₂ oparte na konsumpcji mogą odgrywać rolę w monitorowaniu postępów w redukcji emisji i mogą wskazywać strategie ograniczania zmian klimatu.

MODEL 1 PBA

Kraj	ranga	theta	kraj referencyjny	CRS	VRS
BE – Belgium	25	0,44	AT DK LT	0,41	0,44
BG – Bulgaria	6	0,98	AT	0,89	0,98
CZ – Czechia	14	0,72	AT LT	1,00	0,72
DK – Denmark	1	1,00		0,78	1,00
DE – Germany	13	0,74	AT LT	0,72	0,74
EE - Estonia	16	0,63	AT	0,53	0,63
IE – Ireland	26	0,33	AT DK	0,29	0,33
EL – Greece	5	1,00	AT	0,52	1,00
ES – Spain	17	0,60	AT	0,57	0,60
FR – France	19	0,60	AT LT	0,58	0,60
HR – Croatia	27	0,29	AT	0,29	0,29
IT – Italy	15	0,64	AT LT	0,60	0,64
CY – Cyprus	23	0,49	AT	0,49	0,49
LV - Latvia	9	0,91	AT DK LT	0,90	0,91
LT – Lithuania	1	1,00		1,00	1,00
LU – Luxembourg	11	0,85	AT DK LT	0,69	0,85
HU – Hungary	22	0,53	AT DK LT	0,48	0,53
MT – Malta	7	0,98	AT	0,82	0,98
NL – Netherlands	21	0,57	AT LT	0,45	0,57
AT – Austria	1	1,00		1,00	1,00
PL – Poland	8	0,95	AT DK LT	0,91	0,95
PT – Portugal	12	0,79	AT LT	0,71	0,79
RO – Romania	24	0,46	AT DK LT	0,41	0,46
SI – Slovenia	18	0,60	AT DK LT	0,56	0,60
SK – Slovakia	1	1,00		0,23	1,00
FI - Finland	20	0,59	AT DK LT	0,56	0,59
SE - Sweden	10	0,85	AT DK LT	0,80	0,85

MODEL 1 PBA

Kraj	ranga	theta	kraj referencyjny	CRS	VRS
BE – Belgium	25	0,44	AT DK LT	0,41	0,44
BG – Bulgaria	6	0,98	AT	0,89	0,98
CZ – Czechia	14	0,72	AT LT	1,00	0,72
DK – Denmark	1	1,00		0,78	1,00
DE – Germany	13	0,74	AT LT	0,72	0,74
EE - Estonia	16	0,63	AT	0,53	0,63
IE – Ireland	26	0,33	AT DK	0,29	0,33
EL – Greece	5	1,00	AT	0,52	1,00
ES – Spain	17	0,60	AT	0,57	0,60
FR – France	19	0,60	AT LT	0,58	0,60
HR – Croatia	27	0,29	AT	0,29	0,29
IT – Italy	15	0,64	AT LT	0,60	0,64
CY – Cyprus	23	0,49	AT	0,49	0,49
LV - Latvia	9	0,91	AT DK LT	0,90	0,91
LT – Lithuania	1	1,00		1,00	1,00
LU – Luxembourg	11	0,85	AT DK LT	0,69	0,85
HU – Hungary	22	0,53	AT DK LT	0,48	0,53
MT – Malta	7	0,98	AT	0,82	0,98
NL – Netherlands	21	0,57	AT LT	0,45	0,57
AT – Austria	1	1,00		1,00	1,00
PL – Poland	8	0,95	AT DK LT	0,91	0,95
PT – Portugal	12	0,79	AT LT	0,71	0,79
RO – Romania	24	0,46	AT DK LT	0,41	0,46
SI – Slovenia	18	0,60	AT DK LT	0,56	0,60
SK – Slovakia	1	1,00		0,23	1,00
FI - Finland	20	0,59	AT DK LT	0,56	0,59
SE - Sweden	10	0,85	AT DK LT	0,80	0,85

MODEL 1 PBA

Kraj	ranga	theta	kraj referencyjny	CRS	VRS
BE – Belgium	25	0,44	AT DK LT	0,41	0,44
BG – Bulgaria	6	0,98	AT	0,89	0,98
CZ – Czechia	14	0,72	AT LT	1,00	0,72
DK – Denmark	1	1,00		0,78	1,00
DE – Germany	13	0,74	AT LT	0,72	0,74
EE - Estonia	16	0,63	AT	0,53	0,63
IE – Ireland	26	0,33	AT DK	0,29	0,33
EL – Greece	5	1,00	AT	0,52	1,00
ES – Spain	17	0,60	AT	0,57	0,60
FR – France	19	0,60	AT LT	0,58	0,60
HR – Croatia	27	0,29	AT	0,29	0,29
IT – Italy	15	0,64	AT LT	0,60	0,64
CY – Cyprus	23	0,49	AT	0,49	0,49
LV - Latvia	9	0,91	AT DK LT	0,90	0,91
LT – Lithuania	1	1,00		1,00	1,00
LU – Luxembourg	11	0,85	AT DK LT	0,69	0,85
HU – Hungary	22	0,53	AT DK LT	0,48	0,53
MT – Malta	7	0,98	AT	0,82	0,98
NL – Netherlands	21	0,57	AT LT	0,45	0,57
AT – Austria	1	1,00		1,00	1,00
PL – Poland	8	0,95	AT DK LT	0,91	0,95
PT – Portugal	12	0,79	AT LT	0,71	0,79
RO – Romania	24	0,46	AT DK LT	0,41	0,46
SI – Slovenia	18	0,60	AT DK LT	0,56	0,60
SK – Slovakia	1	1,00		0,23	1,00
FI - Finland	20	0,59	AT DK LT	0,56	0,59
SE - Sweden	10	0,85	AT DK LT	0,80	0,85

MODEL 1 CBA

Kraj	ranga	theta	kraj referencyjny	CRS	VRS
BE – Belgium	23	0,40	AT	0,40	0,40
BG – Bulgaria	5	0,98	AT	0,84	0,98
CZ – Czechia	12	0,72	AT	0,69	0,72
DK – Denmark	1	1,00		0,73	1,00
DE – Germany	11	0,74	AT	0,73	0,74
EE - Estonia	14	0,63	AT	0,63	0,63
IE – Ireland	25	0,33	AT	0,32	0,33
EL – Greece	19	0,50	AT	0,44	0,50
ES – Spain	16	0,60	AT	0,56	0,60
FR – France	15	0,61	AT	0,61	0,61
HR – Croatia	26	0,29	AT	0,25	0,29
IT – Italy	13	0,64	AT	0,62	0,64
CY – Cyprus	20	0,49	AT	0,47	0,49
LV - Latvia	8	0,91	AT	0,91	0,91
LT – Lithuania	3	1,00	AT	0,99	1,00
LU – Luxembourg	4	1,00	AT DK	0,75	1,00
HU – Hungary	21	0,47		0,43	0,47
MT – Malta	6	0,98	AT	0,82	0,98
NL – Netherlands	22	0,46	AT DK	0,42	0,46
AT – Austria	1	1,00		1,00	1,00
PL – Poland	7	0,92	AT	0,91	0,92
PT – Portugal	10	0,79	AT	0,76	0,79
RO – Romania	24	0,40	AT	0,37	0,40
SI – Slovenia	18	0,55	AT	0,55	0,55
SK – Slovakia	27	0,21	AT	0,20	0,21
FI - Finland	17	0,56	AT DK	0,56	0,56
SE - Sweden	9	0,79	AT	0,78	0,79

MODEL 1 CBA

Kraj	ranga	theta	kraj referencyjny	CRS	VRS
BE – Belgium	23	0,40	AT	0,40	0,40
BG – Bulgaria	5	0,98	AT	0,84	0,98
CZ – Czechia	12	0,72	AT	0,69	0,72
DK – Denmark	1	1,00		0,73	1,00
DE – Germany	11	0,74	AT	0,73	0,74
EE - Estonia	14	0,63	AT	0,63	0,63
IE – Ireland	25	0,33	AT	0,32	0,33
EL – Greece	19	0,50	AT	0,44	0,50
ES – Spain	16	0,60	AT	0,56	0,60
FR – France	15	0,61	AT	0,61	0,61
HR – Croatia	26	0,29	AT	0,25	0,29
IT – Italy	13	0,64	AT	0,62	0,64
CY – Cyprus	20	0,49	AT	0,47	0,49
LV - Latvia	8	0,91	AT	0,91	0,91
LT – Lithuania	3	1,00	AT	0,99	1,00
LU – Luxembourg	4	1,00	AT DK	0,75	1,00
HU – Hungary	21	0,47		0,43	0,47
MT – Malta	6	0,98	AT	0,82	0,98
NL – Netherlands	22	0,46	AT DK	0,42	0,46
AT – Austria	1	1,00		1,00	1,00
PL – Poland	7	0,92	AT	0,91	0,92
PT – Portugal	10	0,79	AT	0,76	0,79
RO – Romania	24	0,40	AT	0,37	0,40
SI – Slovenia	18	0,55	AT	0,55	0,55
SK – Slovakia	27	0,21	AT	0,20	0,21
FI - Finland	17	0,56	AT DK	0,56	0,56
SE - Sweden	9	0,79	AT	0,78	0,79

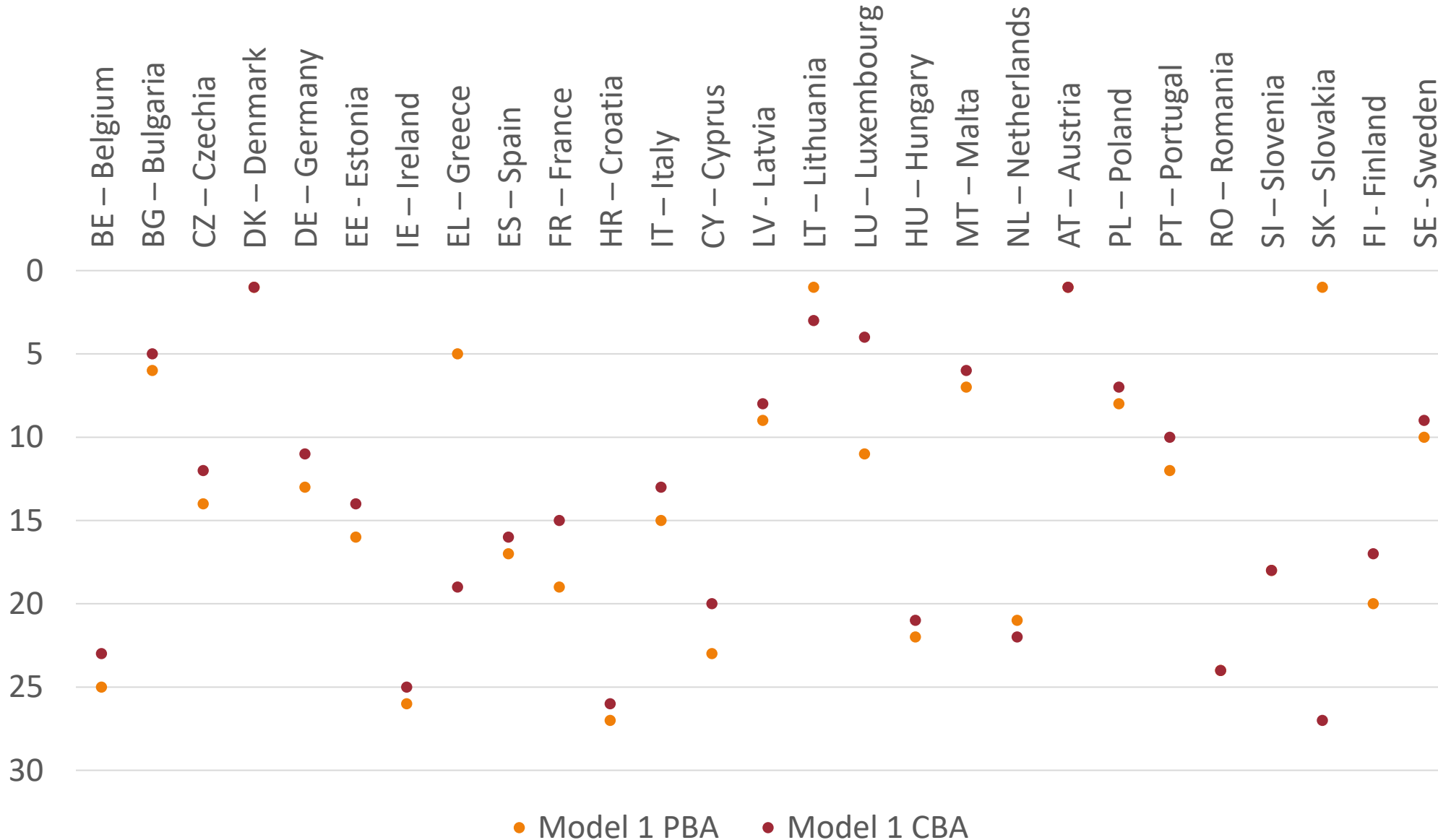
MODEL 1 PBA

Kraj	ranga	theta	kraj referencyjny	CRS	VRS
BE – Belgium	25	0,44	AT DK LT	0,41	0,44
BG – Bulgaria	6	0,98	AT	0,89	0,98
CZ – Czechia	14	0,72	AT LT	1,00	0,72
DK – Denmark	1	1,00		0,78	1,00
DE – Germany	13	0,74	AT LT	0,72	0,74
EE - Estonia	16	0,63	AT	0,53	0,63
IE – Ireland	26	0,33	AT DK	0,29	0,33
EL – Greece	5	1,00	AT	0,52	1,00
ES – Spain	17	0,60	AT	0,57	0,60
FR – France	19	0,60	AT LT	0,58	0,60
HR – Croatia	27	0,29	AT	0,29	0,29
IT – Italy	15	0,64	AT LT	0,60	0,64
CY – Cyprus	23	0,49	AT	0,49	0,49
LV - Latvia	9	0,91	AT DK LT	0,90	0,91
LT – Lithuania	1	1,00		1,00	1,00
LU – Luxembourg	11	0,85	AT DK LT	0,69	0,85
HU – Hungary	22	0,53	AT DK LT	0,48	0,53
MT – Malta	7	0,98	AT	0,82	0,98
NL – Netherlands	21	0,57	AT LT	0,45	0,57
AT – Austria	1	1,00		1,00	1,00
PL – Poland	8	0,95	AT DK LT	0,91	0,95
PT – Portugal	12	0,79	AT LT	0,71	0,79
RO – Romania	24	0,46	AT DK LT	0,41	0,46
SI – Slovenia	18	0,60	AT DK LT	0,56	0,60
SK – Slovakia	1	1,00		0,23	1,00
FI - Finland	20	0,59	AT DK LT	0,56	0,59
SE - Sweden	10	0,85	AT DK LT	0,80	0,85

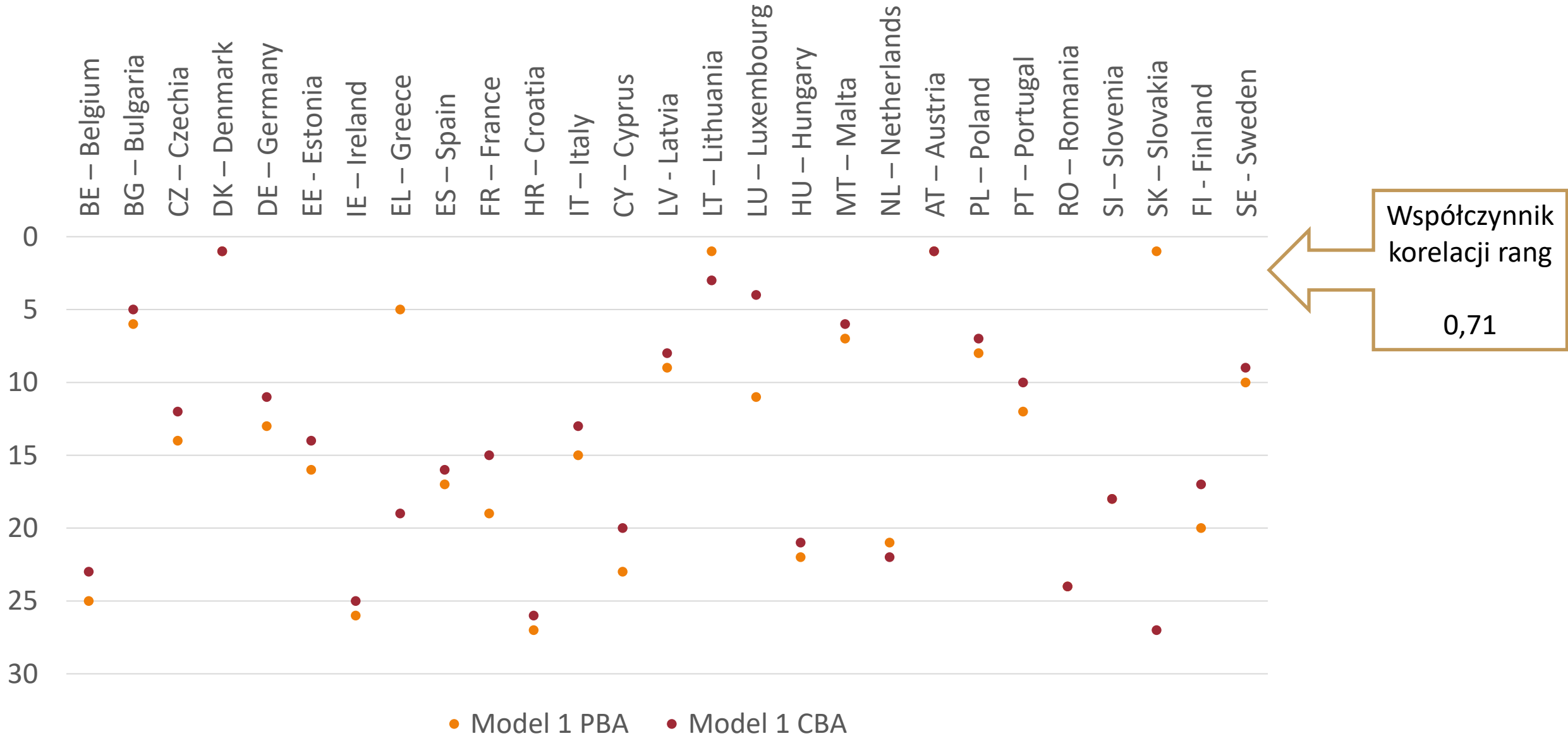
MODEL 1 CBA

Kraj	ranga	theta	kraj referencyjny	CRS	VRS
BE – Belgium	23	0,40	AT	0,40	0,40
BG – Bulgaria	5	0,98	AT	0,84	0,98
CZ – Czechia	12	0,72	AT	0,69	0,72
DK – Denmark	1	1,00		0,73	1,00
DE – Germany	11	0,74	AT	0,73	0,74
EE - Estonia	14	0,63	AT	0,63	0,63
IE – Ireland	25	0,33	AT	0,32	0,33
EL – Greece	19	0,50	AT	0,44	0,50
ES – Spain	16	0,60	AT	0,56	0,60
FR – France	15	0,61	AT	0,61	0,61
HR – Croatia	26	0,29	AT	0,25	0,29
IT – Italy	13	0,64	AT	0,62	0,64
CY – Cyprus	20	0,49	AT	0,47	0,49
LV - Latvia	8	0,91	AT	0,91	0,91
LT – Lithuania	3	1,00	AT	0,99	1,00
LU – Luxembourg	4	1,00	AT DK	0,75	1,00
HU – Hungary	21	0,47		0,43	0,47
MT – Malta	6	0,98	AT	0,82	0,98
NL – Netherlands	22	0,46	AT DK	0,42	0,46
AT – Austria	1	1,00		1,00	1,00
PL – Poland	7	0,92	AT	0,91	0,92
PT – Portugal	10	0,79	AT	0,76	0,79
RO – Romania	24	0,40	AT	0,37	0,40
SI – Slovenia	18	0,55	AT	0,55	0,55
SK – Slovakia	27	0,21	AT	0,20	0,21
FI - Finland	17	0,56	AT DK	0,56	0,56
SE - Sweden	9	0,79	AT	0,78	0,79

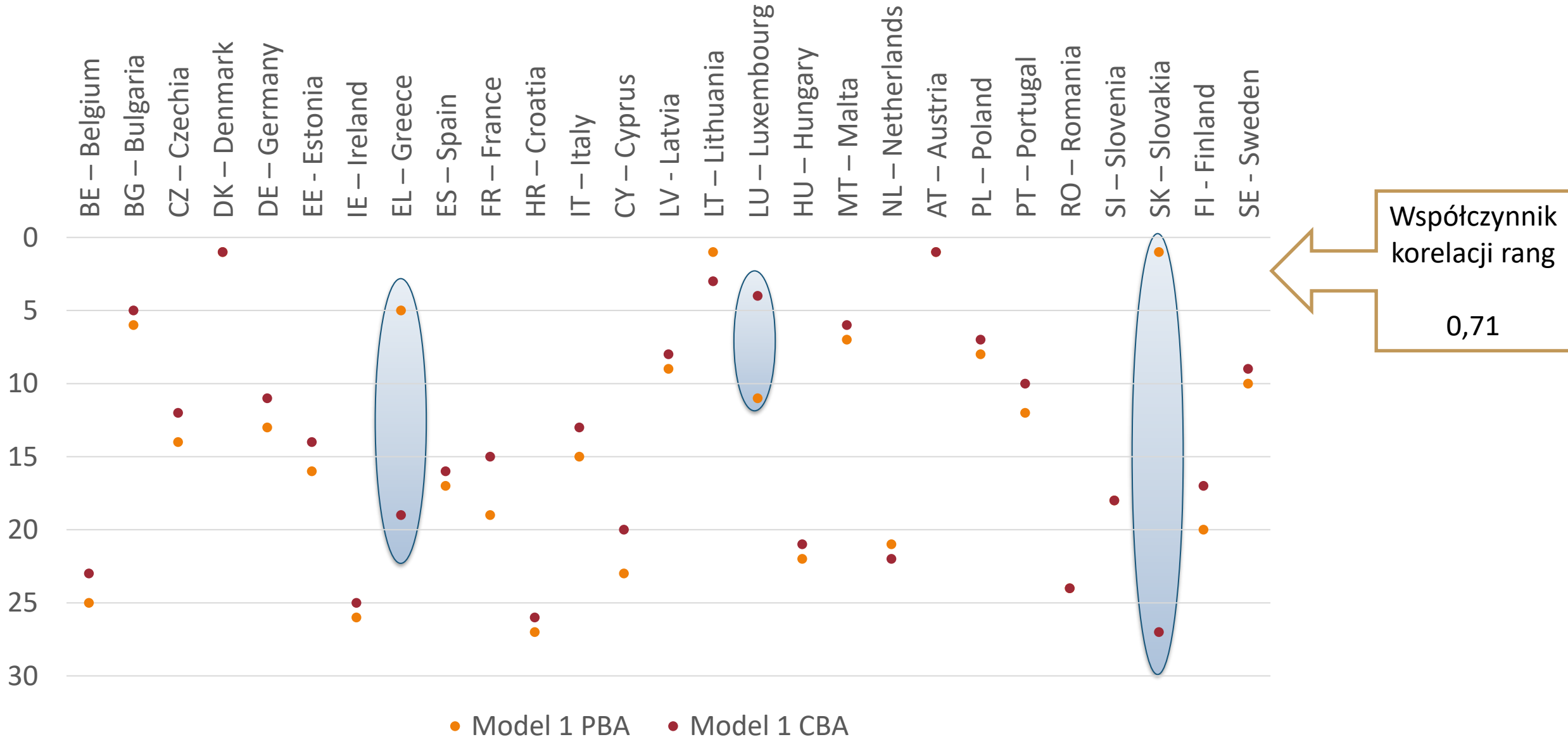
Wyniki – MODEL 1 (GDP, OZE, POP, POW)



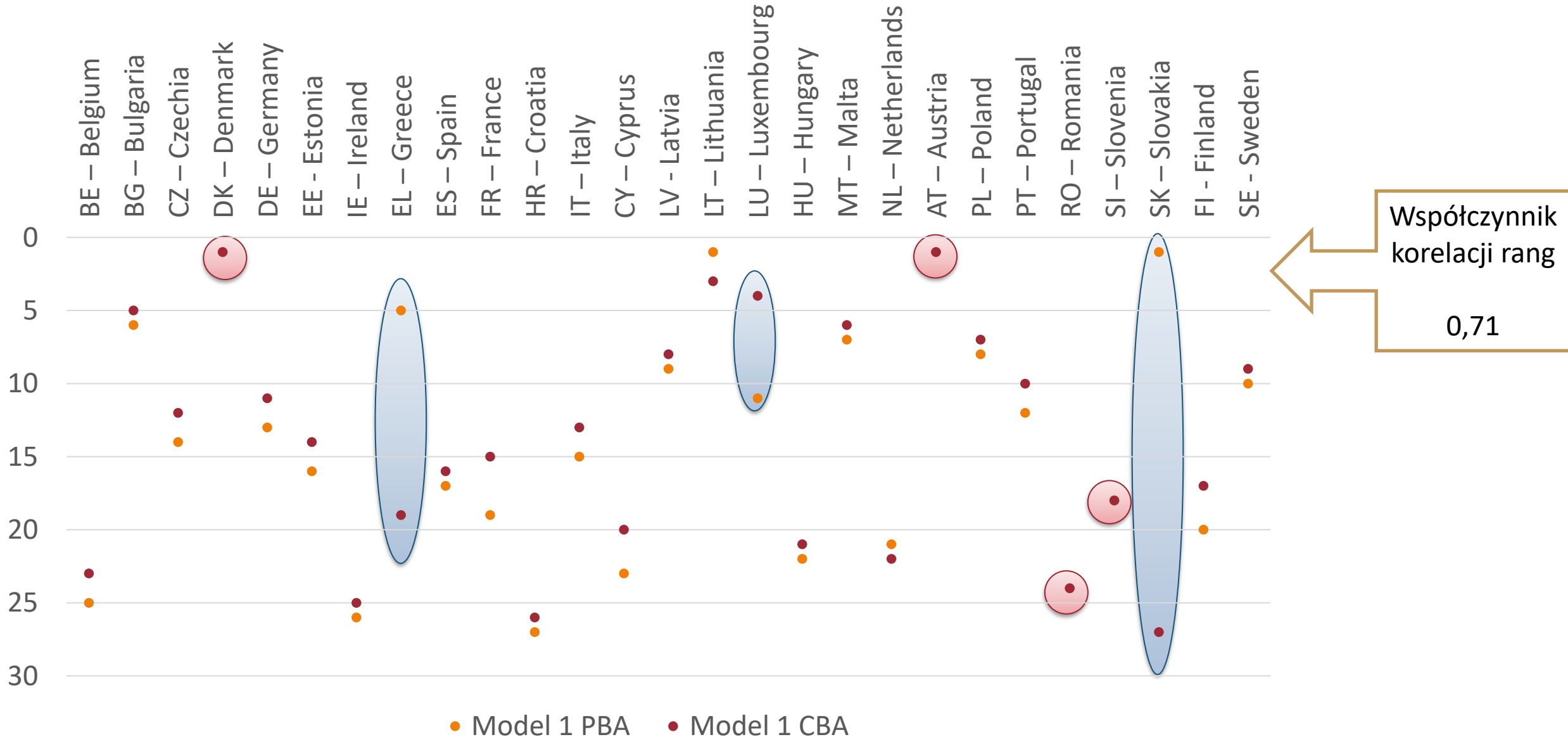
Wyniki – MODEL 1 (GDP, OZE, POP, POW)



Wyniki – MODEL 1 (GDP, OZE, POP, POW)



Wyniki – MODEL 1 (GDP, OZE, POP, POW)



MODEL 2 PBA

Kraj	ranga	theta	kraj referencyjny	CRS	VRS
BE – Belgium	23	0,88	LU PT SI LT	0,86	0,88
BG – Bulgaria	20	0,90	PT SI	0,82	0,90
CZ – Czechia	1	1,00		1,00	1,00
DK – Denmark	1	1,00		1,00	1,00
DE – Germany	24	0,86	DK LU PT SI	0,82	0,86
EE - Estonia	12	1,00		0,97	1,00
IE – Ireland	13	1,00		0,91	1,00
EL – Greece	25	0,85	DK PT SI ES	0,84	0,85
ES – Spain	1	1,00		0,97	1,00
FR – France	17	0,95	LU PT SI	0,93	0,95
HR – Croatia	27	0,75	SI SK	0,70	0,75
IT – Italy	22	0,90	SI SK	0,85	0,90
CY – Cyprus	1	1,00		0,98	1,00
LV - Latvia	15	0,99	LU PT SI	0,97	0,99
LT – Lithuania	1	1,00		1,00	1,00
LU – Luxembourg	1	1,00		1,00	1,00
HU – Hungary	18	0,92	LU PT SI	0,90	0,92
MT – Malta	21	0,90	SI SK	0,71	0,90
NL – Netherlands	14	1,00	SI CZ IT	1,00	1,00
AT – Austria	1	1,00		1,00	1,00
PL – Poland	1	1,00		1,00	1,00
PT – Portugal	1	1,00		1,00	1,00
RO – Romania	16	0,96	DK LU PT SI	0,95	0,96
SI – Slovenia	1	1,00		1,00	1,00
SK – Slovakia	1	1,00		1,00	1,00
FI - Finland	26	0,83	SI SK	0,79	0,83
SE - Sweden	19	0,91	SI CZ IT	0,91	0,91

MODEL 2 CBA

Kraj	ranga	theta	kraj referencyjny	CRS	VRS
BE – Belgium	24	0,88	IE LT LU AT SI	0,88	0,88
BG – Bulgaria	21	0,90	PT SI	0,77	0,90
CZ – Czechia	1	1,00		1,00	1,00
DK – Denmark	1	1,00		1,00	1,00
DE – Germany	25	0,85	DK LU PT SI	0,78	0,85
EE - Estonia	15	1,00		0,98	1,00
IE – Ireland	1	1,00		1,00	1,00
EL – Greece	26	0,83	CZ PT SI	0,71	0,83
ES – Spain	14	1,00		0,93	1,00
FR – France	18	0,95	LU PT SI	0,91	0,95
HR – Croatia	27	0,75	SI	0,69	0,75
IT – Italy	22	0,90	SI SK	0,86	0,90
CY – Cyprus	1	1,00		1,00	1,00
LV - Latvia	1	1,00		1,00	1,00
LT – Lithuania	1	1,00		1,00	1,00
LU – Luxembourg	1	1,00		1,00	1,00
HU – Hungary	19	0,93	PT SI	0,88	0,93
MT – Malta	23	0,88	LU PT SI	0,77	0,88
NL – Netherlands	1	1,00		1,00	1,00
AT – Austria	1	1,00		1,00	1,00
PL – Poland	1	1,00		1,00	1,00
PT – Portugal	1	1,00		1,00	1,00
RO – Romania	17	0,96	CZ	0,90	0,96
SI – Slovenia	1	1,00		1,00	1,00
SK – Slovakia	1	1,00		1,00	1,00
FI - Finland	20	0,93	DK LU NL SI	0,87	0,93
SE - Sweden	16	0,97	CZ DK SI	0,94	0,97

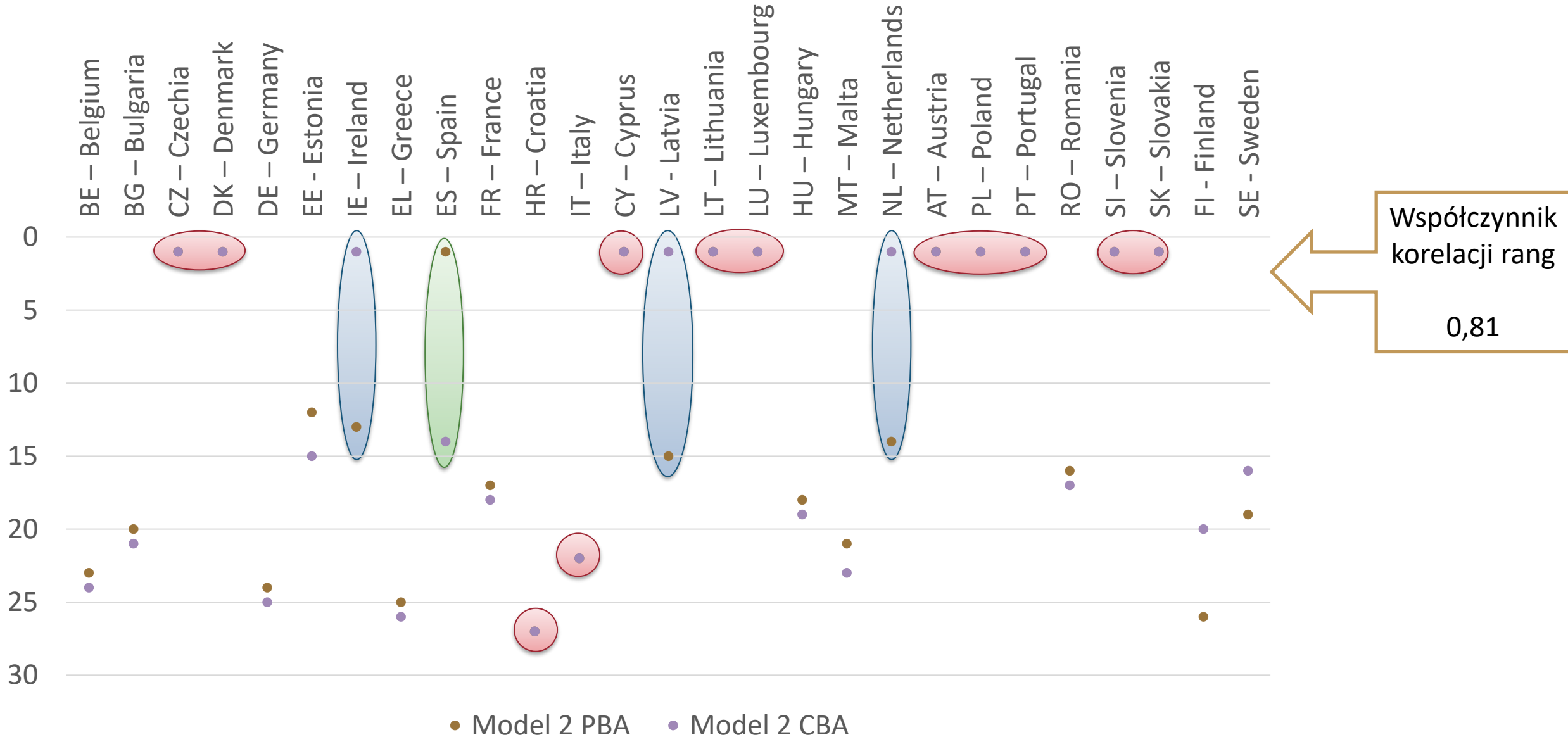
MODEL 2 PBA

Kraj	ranga	theta	kraj referencyjny	CRS	VRS
BE – Belgium	23	0,88	LU PT SI LT	0,86	0,88
BG – Bulgaria	20	0,90	PT SI	0,82	0,90
CZ – Czechia	1	1,00		1,00	1,00
DK – Denmark	1	1,00		1,00	1,00
DE – Germany	24	0,86	DK LU PT SI	0,82	0,86
EE - Estonia	12	1,00		0,97	1,00
IE – Ireland	13	1,00		0,91	1,00
EL – Greece	25	0,85	DK PT SI ES	0,84	0,85
ES – Spain	1	1,00		0,97	1,00
FR – France	17	0,95	LU PT SI	0,93	0,95
HR – Croatia	27	0,75	SI SK	0,70	0,75
IT – Italy	22	0,90	SI SK	0,85	0,90
CY – Cyprus	1	1,00		0,98	1,00
LV - Latvia	15	0,99	LU PT SI	0,97	0,99
LT – Lithuania	1	1,00		1,00	1,00
LU – Luxembourg	1	1,00		1,00	1,00
HU – Hungary	18	0,92	LU PT SI	0,90	0,92
MT – Malta	21	0,90	SI SK	0,71	0,90
NL – Netherlands	14	1,00	SI CZ IT	1,00	1,00
AT – Austria	1	1,00		1,00	1,00
PL – Poland	1	1,00		1,00	1,00
PT – Portugal	1	1,00		1,00	1,00
RO – Romania	16	0,96	DK LU PT SI	0,95	0,96
SI – Slovenia	1	1,00		1,00	1,00
SK – Slovakia	1	1,00		1,00	1,00
FI - Finland	26	0,83	SI SK	0,79	0,83
SE - Sweden	19	0,91	SI CZ IT	0,91	0,91

MODEL 2 CBA

Kraj	ranga	theta	kraj referencyjny	CRS	VRS
BE – Belgium	24	0,88	IE LT LU AT SI	0,88	0,88
BG – Bulgaria	21	0,90	PT SI	0,77	0,90
CZ – Czechia	1	1,00		1,00	1,00
DK – Denmark	1	1,00		1,00	1,00
DE – Germany	25	0,85	DK LU PT SI	0,78	0,85
EE - Estonia	15	1,00		0,98	1,00
IE – Ireland	1	1,00		1,00	1,00
EL – Greece	26	0,83	CZ PT SI	0,71	0,83
ES – Spain	14	1,00		0,93	1,00
FR – France	18	0,95	LU PT SI	0,91	0,95
HR – Croatia	27	0,75	SI	0,69	0,75
IT – Italy	22	0,90	SI SK	0,86	0,90
CY – Cyprus	1	1,00		1,00	1,00
LV - Latvia	1	1,00		1,00	1,00
LT – Lithuania	1	1,00		1,00	1,00
LU – Luxembourg	1	1,00		1,00	1,00
HU – Hungary	19	0,93	PT SI	0,88	0,93
MT – Malta	23	0,88	LU PT SI	0,77	0,88
NL – Netherlands	1	1,00		1,00	1,00
AT – Austria	1	1,00		1,00	1,00
PL – Poland	1	1,00		1,00	1,00
PT – Portugal	1	1,00		1,00	1,00
RO – Romania	17	0,96	CZ	0,90	0,96
SI – Slovenia	1	1,00		1,00	1,00
SK – Slovakia	1	1,00		1,00	1,00
FI - Finland	20	0,93	DK LU NL SI	0,87	0,93
SE - Sweden	16	0,97	CZ DK SI	0,94	0,97

Wyniki – MODEL 2 (EG, FE, CF, GP)



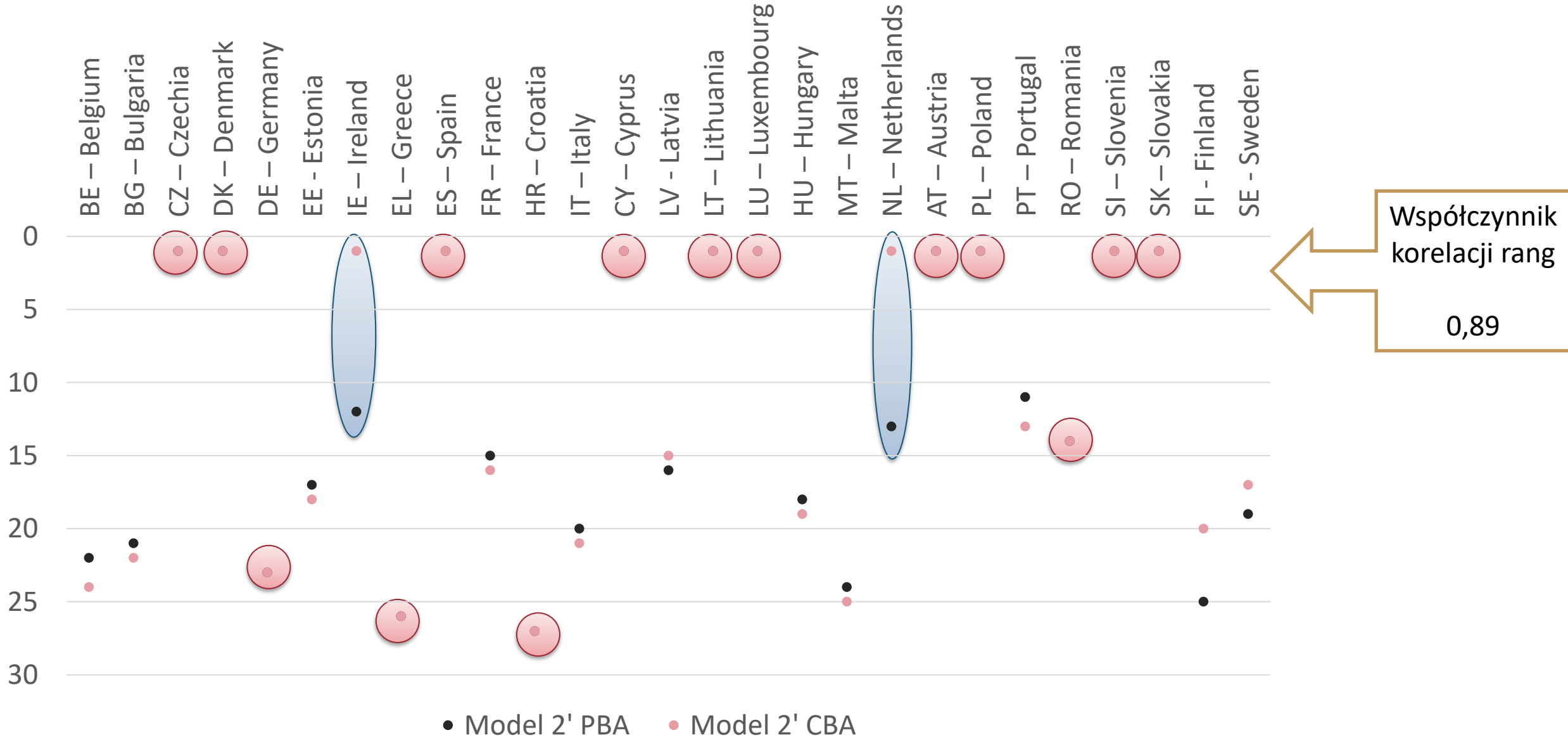
MODEL 2' PBA

Kraj	ranga	theta	kraj referencyjny	CRS	VRS
BE – Belgium	22	0,86	SI AT LT LU	0,85	0,86
BG – Bulgaria	21	0,86	DK SI	0,76	0,86
CZ – Czechia	1	1,00		1,00	1,00
DK – Denmark	1	1,00		1,00	1,00
DE – Germany	23	0,85	DK SI	0,79	0,85
EE - Estonia	17	0,92	DK SI	0,81	0,92
IE – Ireland	12	1,00	SI SK LT	0,91	1,00
EL – Greece	26	0,83	DK SI	0,80	0,83
ES – Spain	1	1,00		0,92	1,00
FR – France	15	0,93	DK SI	0,91	0,93
HR – Croatia	27	0,75	SI SK	0,70	0,75
IT – Italy	20	0,90	SI SK	0,85	0,90
CY – Cyprus	1	1,00		0,95	1,00
LV - Latvia	16	0,93	DK SI CZ ES	0,91	0,93
LT – Lithuania	1	1,00		1,00	1,00
LU – Luxembourg	1	1,00		0,99	1,00
HU – Hungary	18	0,91	DK SI AT	0,90	0,91
MT – Malta	24	0,84	DK SI	0,67	0,84
NL – Netherlands	13	1,00	SI CZ CY	1,00	1,00
AT – Austria	1	1,00		1,00	1,00
PL – Poland	1	1,00		1,00	1,00
PT – Portugal	11	1,00	DK	0,90	1,00
RO – Romania	14	0,95	DK SI	0,94	0,95
SI – Slovenia	1	1,00		1,00	1,00
SK – Slovakia	1	1,00		1,00	1,00
FI - Finland	25	0,83	DK SI	0,79	0,83
SE - Sweden	19	0,91	SI CZ	0,91	0,91

MODEL 2' CBA

Kraj	ranga	theta	kraj referencyjny	CRS	VRS
BE – Belgium	24	0,84	DK AT SI	0,83	0,84
BG – Bulgaria	22	0,86	DK SI	0,71	0,86
CZ – Czechia	1	1,00		1,00	1,00
DK – Denmark	1	1,00		1,00	1,00
DE – Germany	23	0,85	DK SI	0,78	0,85
EE - Estonia	18	0,92	DK AT SI	0,86	0,92
IE – Ireland	1	1,00		1,00	1,00
EL – Greece	26	0,83	DK SI	0,71	0,83
ES – Spain	1	1,00		0,93	1,00
FR – France	16	0,93	DK AT SI	0,91	0,93
HR – Croatia	27	0,75	SI	0,68	0,75
IT – Italy	21	0,90	SI SK IE	0,86	0,90
CY – Cyprus	1	1,00		0,96	1,00
LV - Latvia	15	0,94	DK SI CY NL	0,93	0,94
LT – Lithuania	1	1,00		1,00	1,00
LU – Luxembourg	1	1,00		0,99	1,00
HU – Hungary	19	0,91	DK SI	0,87	0,91
MT – Malta	25	0,84	DK AT SI	0,71	0,84
NL – Netherlands	1	1,00		1,00	1,00
AT – Austria	1	1,00		1,00	1,00
PL – Poland	1	1,00		1,00	1,00
PT – Portugal	13	1,00	DK	0,89	1,00
RO – Romania	14	0,95	DK SI	0,90	0,95
SI – Slovenia	1	1,00		1,00	1,00
SK – Slovakia	1	1,00		1,00	1,00
FI - Finland	20	0,90	DK SI NL LU	0,87	0,90
SE - Sweden	17	0,93	DK CY NL CZ	0,91	0,93

Wyniki – MODEL 2' (EG, FE, ~~CE~~, GP)



	MODEL 1 PBA	MODEL 1 CBA	MODEL 2 PBA	MODEL 2 CBA	MODEL 2' PBA	MODEL 2' CBA
MODEL 1 PBA	1	0,71	0,23	0,18	0,17	0,11
MODEL 1 CBA	0,71	1	0,21	0,18	0,16	0,11
MODEL 2 PBA	0,23	0,21	1	0,81	0,90	0,80
MODEL 2 CBA	0,18	0,18	0,81	1	0,78	0,85
MODEL 2' PBA	0,17	0,16	0,90	0,78	1	0,89
MODEL 2' CBA	0,11	0,11	0,80	0,85	0,89	1

Wyniki – korelacja rang

	Model 1 PBA	Model 1 CBA	Model 2 PBA	Model 2 CBA	Model 2' PBA	Model 2' CBA	Model 2 PBA (bez EG)	Model 2 CBA (bez EG)	Model 2 PBA (bez EF)	Model 2 CBA (bez EF)	Model 2 PBA (bez GP)	Model 2 CBA (bez GP)
Model 1 PBA	1											
Model 1 CBA	0,71	1										
Model 2 PBA	0,23	0,21	1									
Model 2 CBA	0,18	0,18	0,81	1								
Model 2' PBA	0,17	0,16	0,90	0,78	1							
Model 2' CBA	0,11	0,11	0,80	0,85	0,89	1						
Model 2PBA (bez EG)	0,32	0,25	0,74	0,63	0,66	0,60	1					
Model 2CBA (bez EG)	0,20	0,42	0,57	0,57	0,51	0,47	0,73	1				
Model 2PBA (bez EF)	-0,01	-0,07	0,49	0,52	0,48	0,51	0,46	0,35	1			
Model 2CBA (bez EF)	-0,01	-0,06	0,49	0,66	0,52	0,61	0,33	0,31	0,78	1		
Model 2PBA (bez GP)	0,32	0,28	0,55	0,42	0,45	0,38	0,47	0,30	0,14	0,13	1	
Model 2CBA (bez GP)	0,29	0,24	0,56	0,54	0,48	0,48	0,41	0,30	0,16	0,26	0,74	1

Sposób pomiaru CO₂

Dobór zmiennych
wejściowych

Literatura

PBA

Dania

Litwa

Austria

Słowacja

Czechy

Dania

Estonia

Irlandia

Hiszpania

Cypr

LMDI

Litwa

Luksemburg

Austria

Polska

Portugalia

Słowenia

Słowacja

CBA

Dania

Austria

Czechy

Dania

Estonia

Irlandia

Łotwa

Litwa

Luksemburg

Holandia

Austria

Polska

Portugalia

Słowenia

Słowacja

- Objęcie analizą wszystkich krajów
- Mimo że DEA jest szeroko stosowane w literaturze, brakuje w niej możliwości wnioskowania statystycznego, stąd trzecie podejście, tj. analiza funkcji stochastycznej (StochasticFrontier Analysis - SFA)

Ocena efektywności energetycznej krajów UE z wykorzystaniem metody DEA

Katarzyna Frodyma

Uniwersytet Ekonomiczny w Krakowie, Katedra Statystyki

Michał Pietrzak

Politechnika Gdańska, Katedra Statystyki i Ekonometrii

V Kongres Statystyki Polskiej
1-3 lipca 2025 roku, Warszawa

Dziękujemy za uwagę