



22. Konferencja

TERMICZNE PRZEKSZTAŁCANIE ODPADÓW. ODZYSK ENERGII

5-7 listopada 2025 r. / Łochów, Warszawa

INSTALACJE SPALANIA ODPADÓW KOMUNALNYCH JAKO ZRÓWNOWAŻONE TECHNOLOGIE

Tadeusz Pająk

Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

Katedra Systemów Energetycznych i Urządzeń Ochrony Środowiska

AGENDA REFERATU

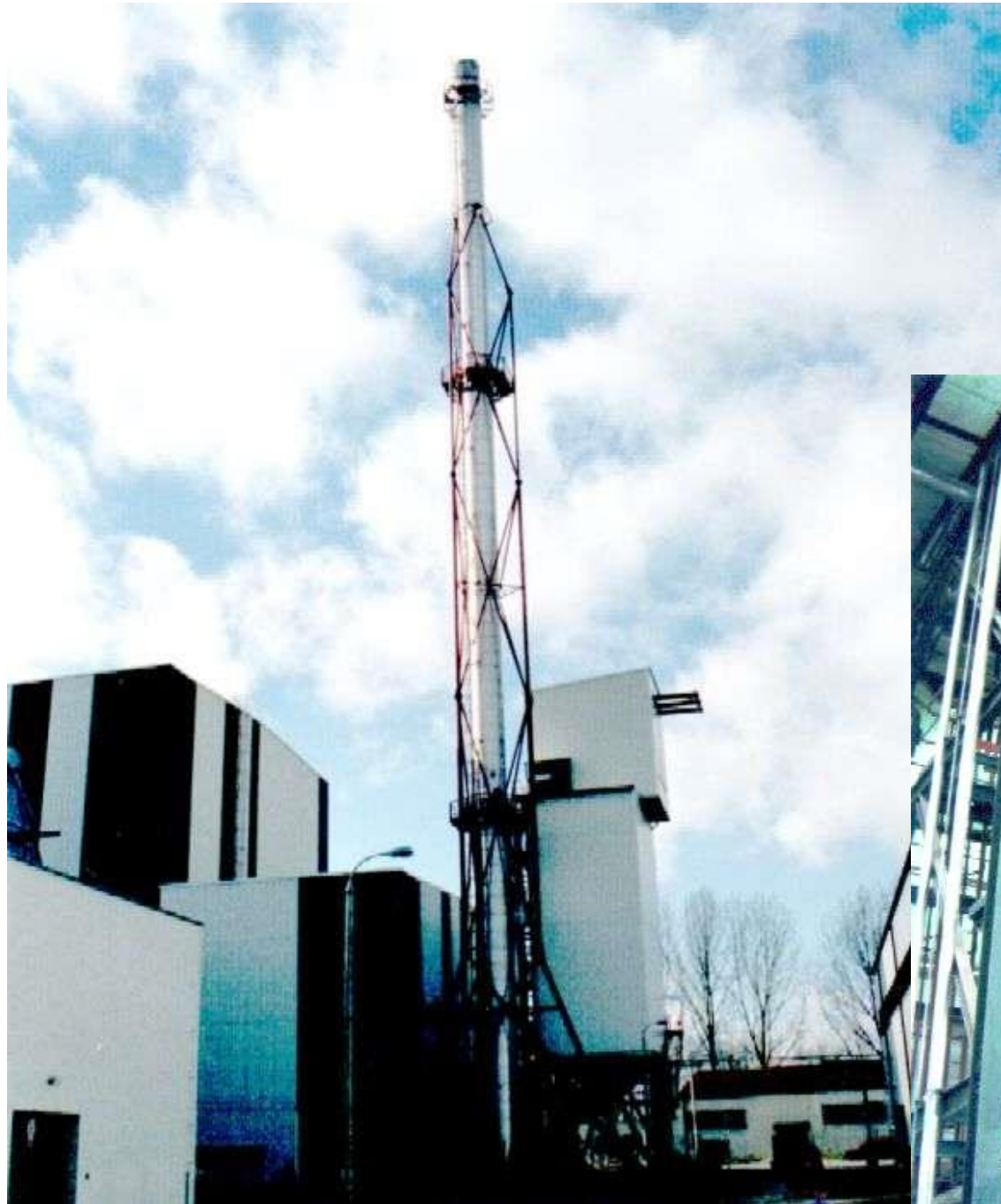


- ☐ **Od ZUSOK (2000) do WWE (2025). 25 lat w pięć minut. Wspomnienia konsultanta budowy ZUSOK.**
- ☐ **Podstawowe tezy referatu.**
- ☐ **Instalacje odzysku energii z odpadów komunalnych (IOE) w Polsce i na świecie.**
- ☐ **Filary zrównoważonych technologii spalania odpadów komunalnych.**
- ☐ **Instalacje spalania odpadów komunalnych jako OZE.**
- ☐ **Energy efficiency first. Formuła R1.**
- ☐ **Czynniki wzrostu efektywności energetycznej.**
- ☐ **Wyniki i konkluzje przeprowadzonych badań wartości współczynnika R1 2020 – 2025.**
- ☐ **Wartość wsp. R1 a limit składowania odpadów.**
- ☐ **Ujemna emisja z instalacji spalania odpadów. CCS i CCUS w ofensywie.**
- ☐ **Podsumowanie.**



ZUSOK 2000 do WWE 2025

ZUSOK (1996 –2000)



31.05.1996 Wydział Architektury Gminy Warszawa - Targówek wydaje decyzję (nr 217/96) dotyczącą zatwierdzenia projektów budowlanych i pozwolenia na budowę ZUSOK, Oraz ostateczną decyzję nr 327/96 (lipiec 1996) Burmistrza Gminy Targówek o pozwoleniu na budowę ZUSOK 1996. Eksploatacja 2001.



- ☐ 1996 – decyzją władz Miasta St. Warszawy ZUSOK ma zostać zlokalizowany na terenie Gminy Targówek (ok. 120 tys. mieszkańców), przy ul. Zabranieckiej,
- ☐ zakupiona technologia spalania odpadów okazuje się niekompletna, jej technologia jest z lat 80 –tych, ruszt nie jest zintegrowany z kotłem, prymitywna instalacja oczyszczania spalin,
- ☐ podstawowe wyzwanie, to zapewnienie bezpieczeństwa ekologicznego na miarę stanu techniki końca lat 90-tych, konieczność rozbudowy węzła oczyszczania spalin, a przede wszystkim przyjęcie standardów emisyjnych, których ówczesne polskie prawo nie przewidywało dla spalarni odpadów,
- ☐ zostają przyjęte standardy emisyjne oparte na 17 BImSchV, prekursora obecnych regulacji UE – dyrektywy 2000/76/EC,
- ☐ zostaje rozbudowana instalacja oczyszczania spalin, w tym o reaktor ze złożem węgla aktywnego,
- ☐ Polska wstępuje do UE (maj 2004), a ZUSOK nie wymaga modernizacji, płynnie wkracza w emisyjne prawo UE, w przeciwieństwie do spalarni w Budapeszcie.

05.10.2022 podpisanie i wmurowanie aktu erekcyjnego



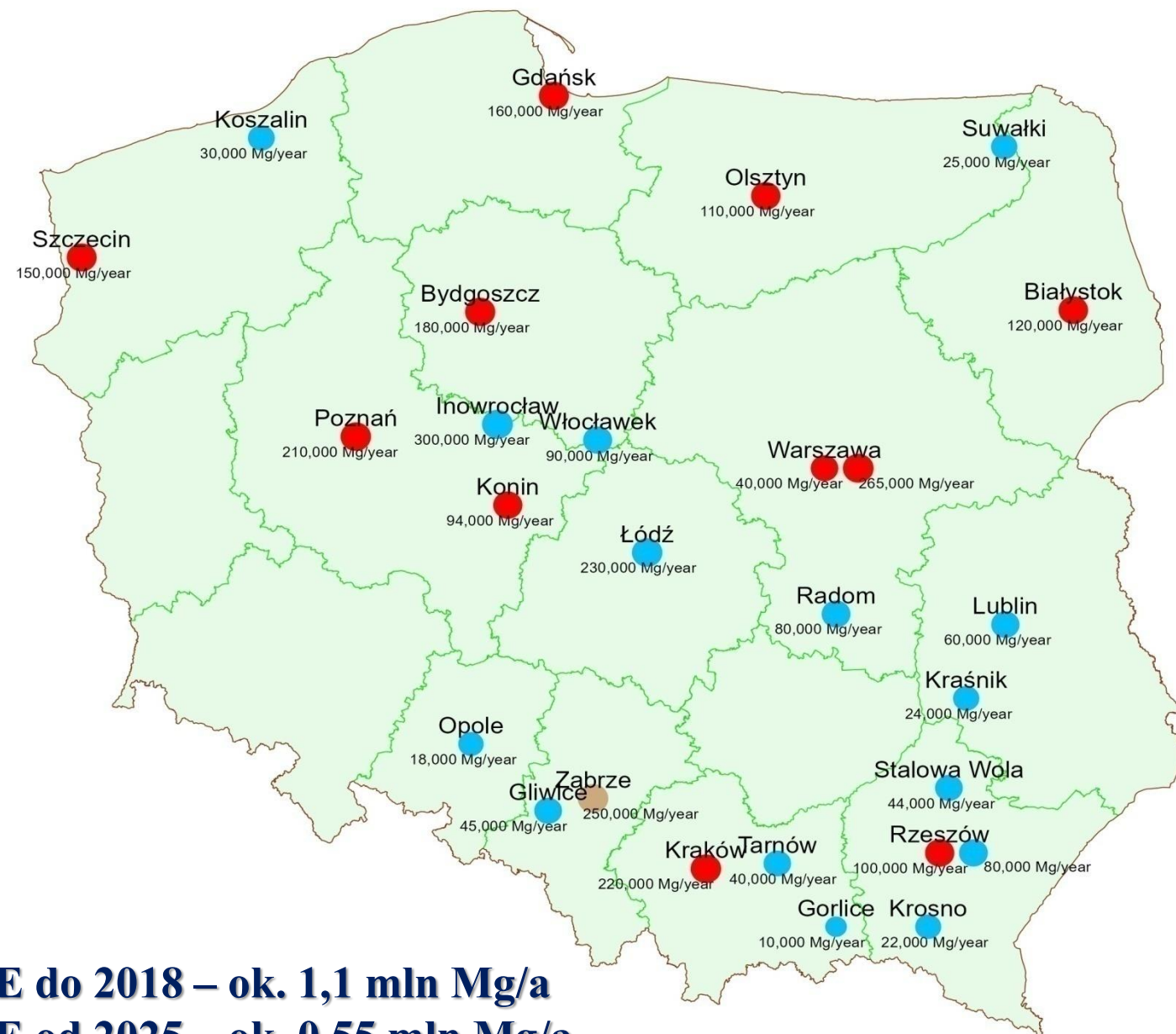


PODSTAWOWE TEZY REFERATU

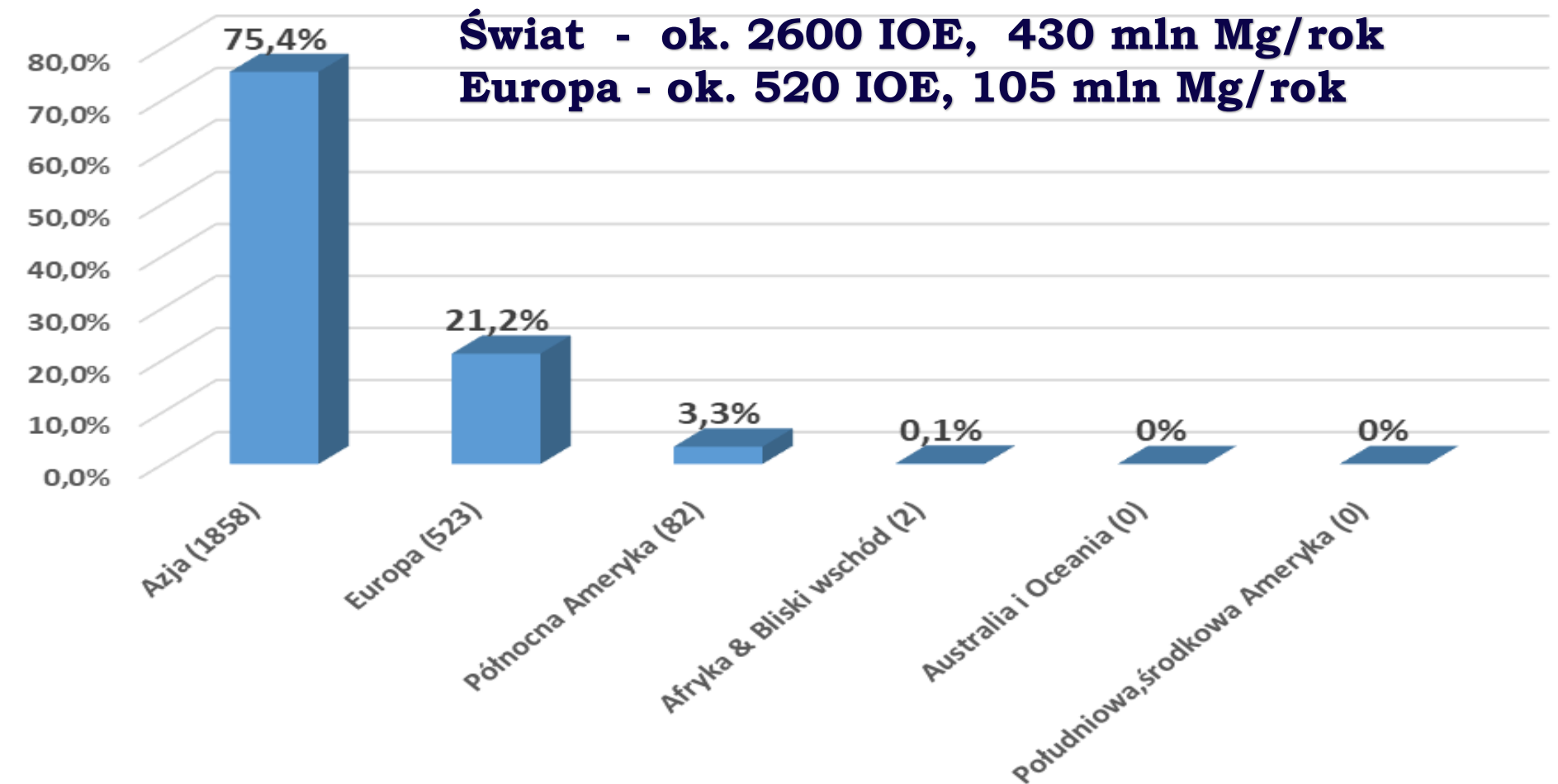
- ❑ Aktualne regulacje UE, jak; RED III, Circular Economy (GOZ), Fit for 55 kształtują nowy image i nową rolę IOE w aspekcie zrównoważonego rozwoju oraz realizacji celów 2030/2035/2050, a instalacje spalania odpadów komunalnych można uważać za zrównoważone technologie energetyczne, w żaden sposób nie ograniczające możliwości życia przyszłych pokoleń w czystym środowisku naturalnym.
- ❑ Podstawowymi wyznacznikami zrównoważonych technologii spalania odpadów są; charakter procesu spalania odpadów o cechach źródeł odnawialnych, wysoka efektywność energetyczna oraz minimalizacja negatywnego wpływu na klimat, a wręcz ujemna emisja CO₂.
- ❑ Powyższe zalety IOE, to kamienie milowe zrównoważonych technologii spalania odpadów na drodze do dekarbonizacji tego sektora wytwarzania energii elektrycznej i ciepła.



IOE W POLSCE I NA ŚWIECIE



IOE do 2018 – ok. 1,1 mln Mg/a
 IOE od 2025 – ok. 0,55 mln Mg/a
 IOE planowane – ok. 1,1 mln Mg/a



Świat - ok. 2600 IOE, 430 mln Mg/rok
 Europa - ok. 520 IOE, 105 mln Mg/rok

FILARY ZRÓWNOWAŻONYCH TECHNOLOGII IOE

FILARY ZRÓWNOWAŻONYCH
TECHNOLOGII SPALANIA I ODPADÓW

EFEKTYWNOŚĆ
ODZYSKU
ENERGII

ENERGIA
ELEKTR.
CIEPŁO,
CHŁÓD
JAKO OZE

UJEMNA
EMISJA
 CO_2

GOZ



INSTALACJA ODZYSKU ENERGII Z ODPADÓW JAKO ODNAWIALNE ŹRÓDŁO ENERGII



wg Ustawy o Odpadach (Dz.U. 2023 poz. 1587 i jej wybranych artykułów z rozdz. 2,
dotyczących t.p.o.:

Art. 159.1. i 2. Energia odzyskana z termicznego przekształcania odpadów zawierających frakcje biodegradowalne

1. Część energii odzyskanej z termicznego przekształcania odpadów zawierających frakcje biodegradowalne może stanowić energię z odnawialnego źródła energii, jeżeli są spełnione warunki techniczne zakwalifikowania części energii odzyskanej z termicznego przekształcenia odpadów jako energii z odnawialnego źródła energii, o których mowa w przepisach wydanych na podstawie ust. 2.

2. Minister właściwy do spraw klimatu w porozumieniu z ministrem właściwym do spraw energii określi, **w drodze rozporządzenia**, warunki techniczne kwalifikowania części energii odzyskanej z termicznego przekształcania odpadów jako energii z odnawialnego źródła energii, kierując się możliwościami technicznymi, frakcjami biodegradowalnymi zawartymi w określonych rodzajach odpadów oraz ochroną środowiska.

INSTALACJA ODZYSKU ENERGII Z ODPADÓW JAKO ODNAWIALNE ŹRÓDŁO ENERGII



wg Ustawy o Odpadach (Dz. U. 2023 poz. 1587 i jej wybranych artykułów z rozdz. 2,
dotyczących t.p.o.:

Art. 159.1. i 2. Energia odzyskana z termicznego przekształcania odpadów zawierających
frakcje biodegradowalne

Właściwe rozporządzenie, o którym mowa w art. 159.2.:

Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 8 czerwca 2016 r. w sprawie warunków
technicznych kwalifikowania części energii odzyskanej z termicznego przekształcania
odpadów (Dz. U. 2016 poz. 847)

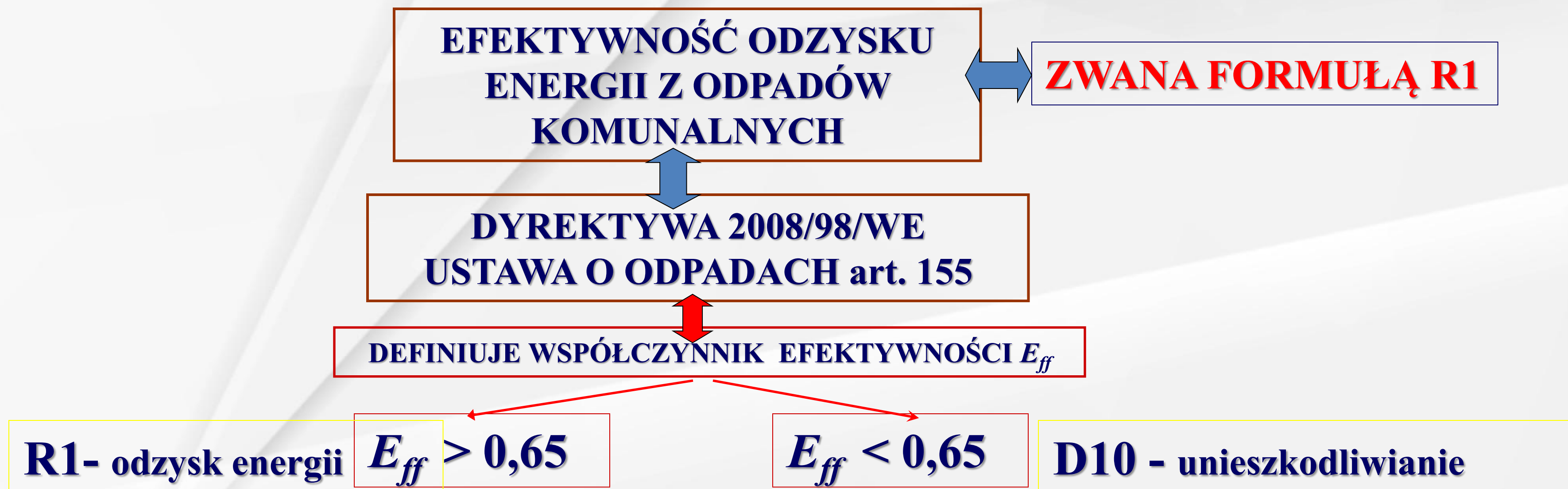
- ☐ nieco skomplikowana procedura wyznaczania części energii pochodzenia OZE, jednak
„wynagradzana” zielonymi certyfikatami OZE,
- ☐ możliwy ryczałt w wysokości 42%,
- ☐ przykłady Ekospalarni ZTPO Kraków i innych krajowych IOE.





"ENERGY EFFICIENCY FIRST" wskazuje, że pierwszeństwo w unijnej polityce energetycznej i klimatycznej ma poprawa efektywności energetycznej, czyli dążenie do zużywania mniejszej ilości energii dla osiągnięcia tych samych rezultatów. Jest to priorytetowa zasada UE podczas podejmowania decyzji o inwestycjach i działaniach, które mają na celu transformację energetyczną.

W odniesieniu do IOE efektywność odzysku energii z spalania odpadów wynika z:



EFEKTYWNOŚĆ ODZYSKU ENERGII – FORMUŁA R1



WSPÓŁCZYNNIK EFEKTYWNOŚCI ODZYSKU ENERGII Z ODPADÓW DEFINICJA:

$$E_{ff} = \frac{E_p - (E_f + E_i)}{0,97 (E_w + E_f)}$$

E_p – oznacza ilość energii produkowanej rocznie, jako energia cieplna lub elektryczna. Oblicza się ją przez pomnożenie wytworzonej ilości energii elektrycznej przez współczynnik 2,6, a energii cieplnej wyprodukowanej w celach komercyjnych przez 1,1 (GJ/rok);

E_F – oznacza ilość energii wprowadzanej rocznie do systemu, pochodzącej ze spalania paliw biorących udział w wytwarzaniu pary (GJ/rok);

E_w – oznacza roczną ilość energii zawartej w przetwarzanych odpadach, obliczanej przy zastosowaniu dolnej wartości opałowej odpadów (GJ/rok);

E_i – oznacza roczną ilość energii wprowadzanej z zewnątrz z wyłączeniem E_w i E_f (GJ/rok). 0,97 jest współczynnikiem uwzględniającym straty energii przez popiół denny i promieniowanie.

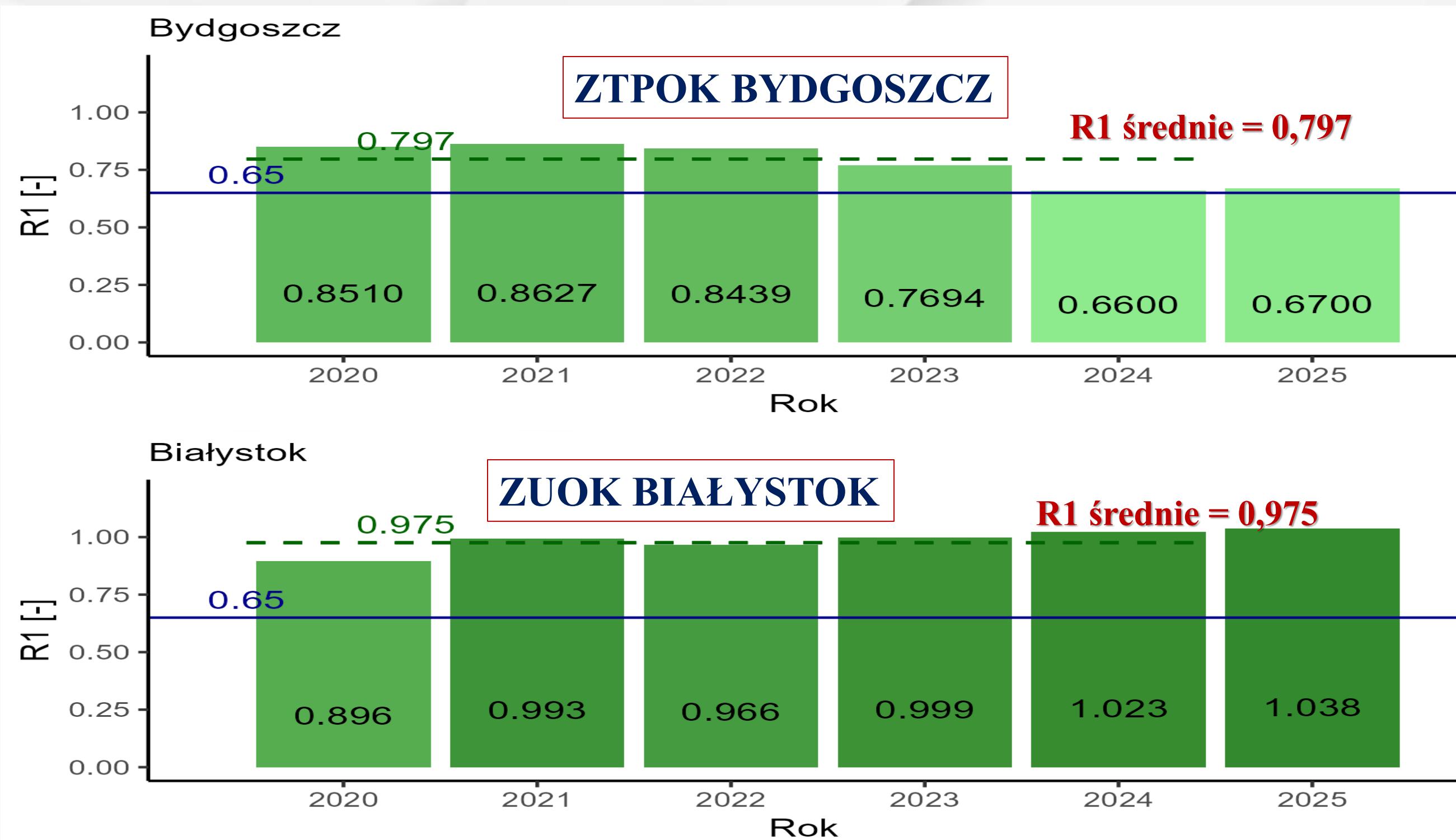
CZYNNIKI WZROSTU EFEKTYWNOŚCI ENERGETYCZNEJ



- ❑ praca IOE w skojarzeniu (CHP), z optymalnym dla danych warunków współczynnikiem skojarzenia. A przede wszystkim integracja z siecią ciepłowniczą. Jest to podstawowy warunek wzrostu efektywności energetycznej, wykorzystywany we wszystkich krajowych IOE. Poza Polską stosowane są również systemy chłodnicze (np. IOE Madryt, IOE Brescia).
- ❑ wykorzystanie procesu kondensacji spalin, opartego na odzysku utajonego ciepła parowania, realizowane poprzez zabudowę odpowiednich instalacji w końcowym odcinku ciągu spalin,
- ❑ wykorzystanie pomp ciepła współpracujących z systemami kondensacji spalin, czy np. ciepła zrzutu ścieków z mokrych systemów oczyszczania spalin,
- ❑ zaawansowane systemy automatyki DSC/APC wykorzystujące AI, zapewniające optymalizację O_2 , prędkości rusztu, recyrkulację spalin, stabilizację wartości opałowej paliwa odpadowego. A ponadto współczesne, inteligentne systemy automatyki oparte o logikę rozmytą, modele predykcyjne i sztuczną inteligencję.
- ❑ spalanie lub współspalanie odpadów RDF, zwiększanie sprawności wytwarzania energii elektrycznej i inne sposoby.

WYNIKI BADAŃ WARTOŚCI WSPÓŁCZYNNIKA R1

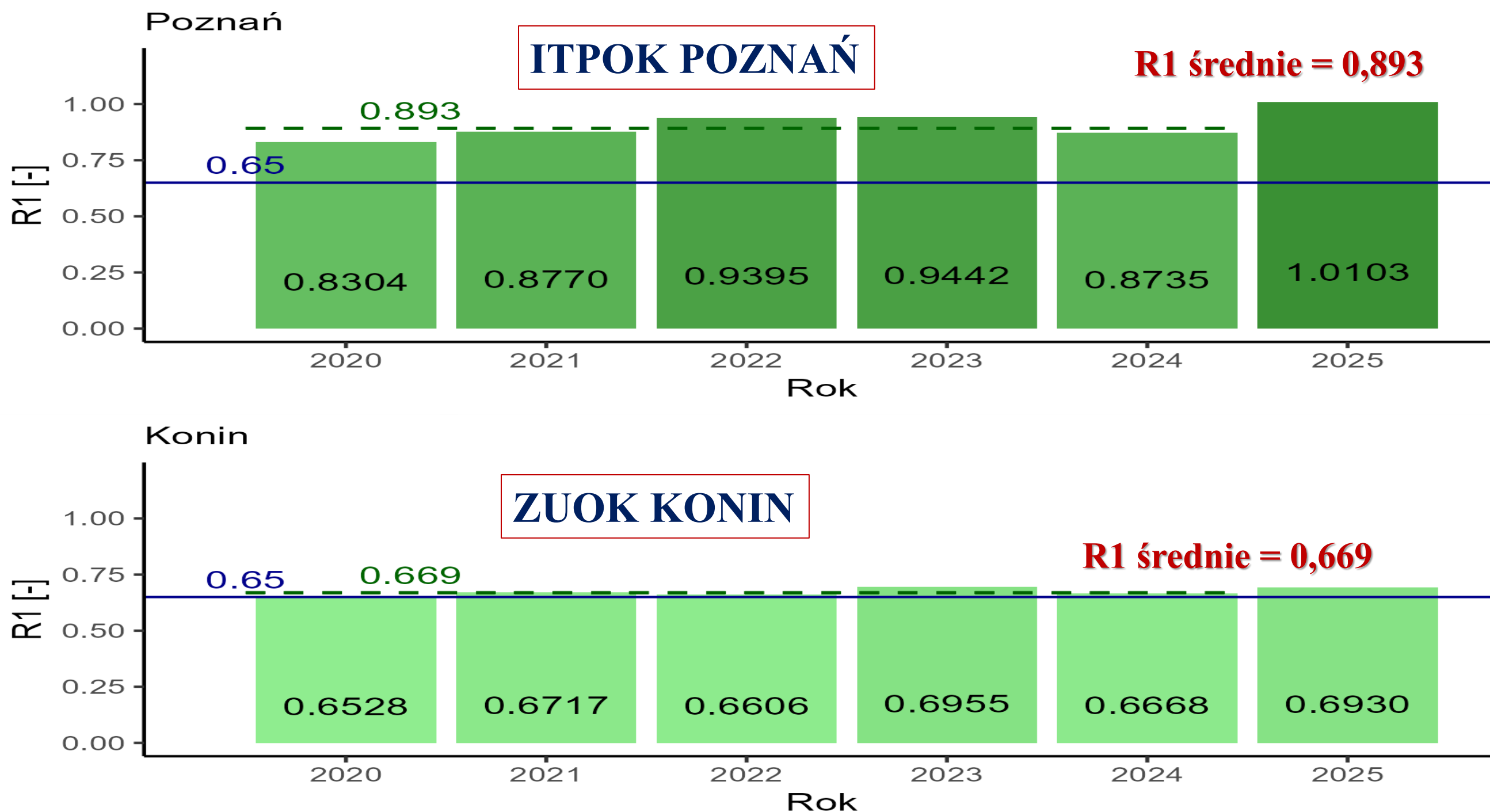
2020 – 2025



Wartość średnia R1 liczona za lata 2020 – 2024

WYNIKI BADAŃ WARTOŚCI WSPÓŁCZYNNIKA R1

2020 – 2025

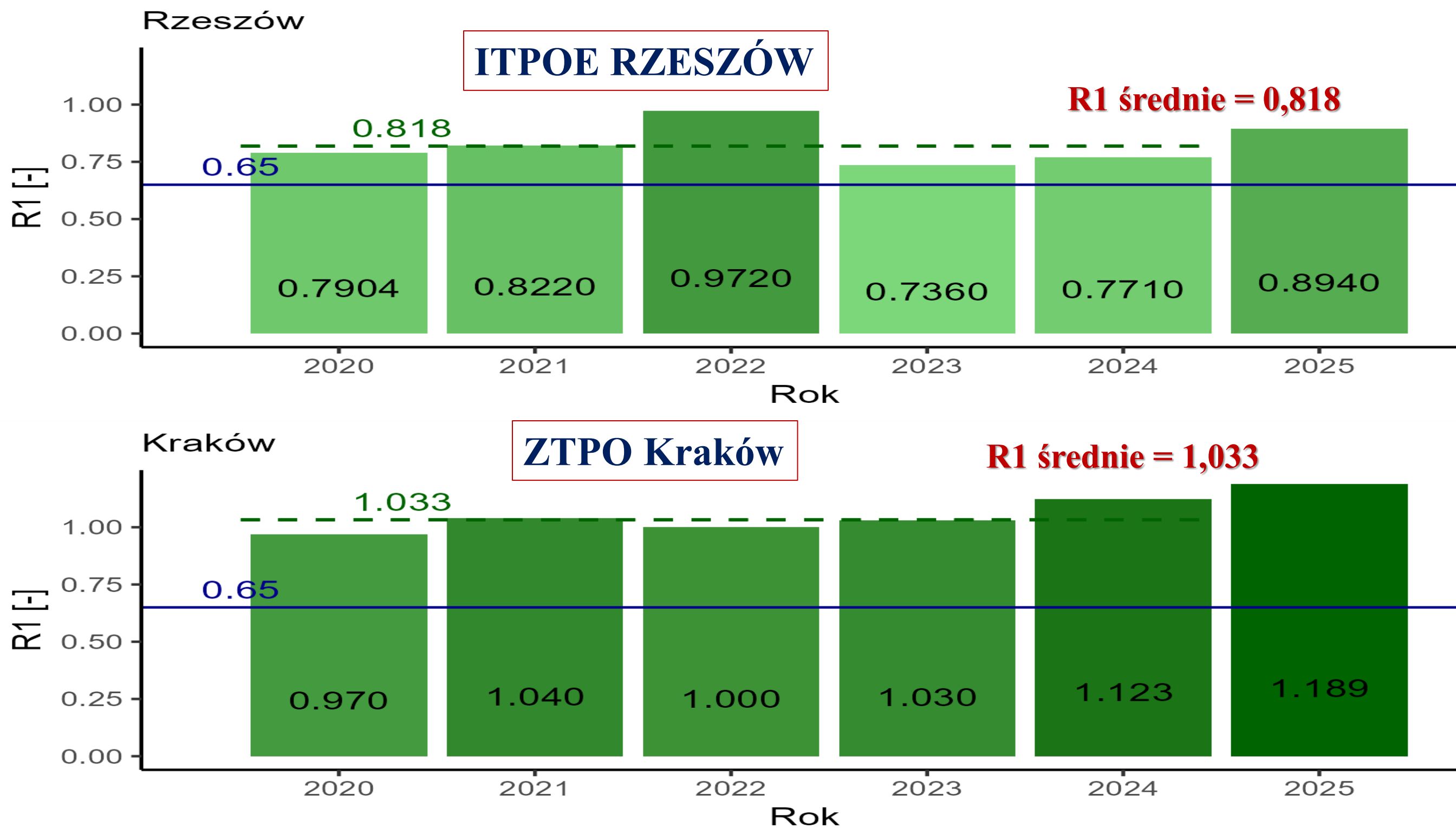


Wartość średnia R1 liczona za lata 2020 – 2024

WYNIKI BADAŃ WARTOŚCI WSPÓŁCZYNNIKA R1

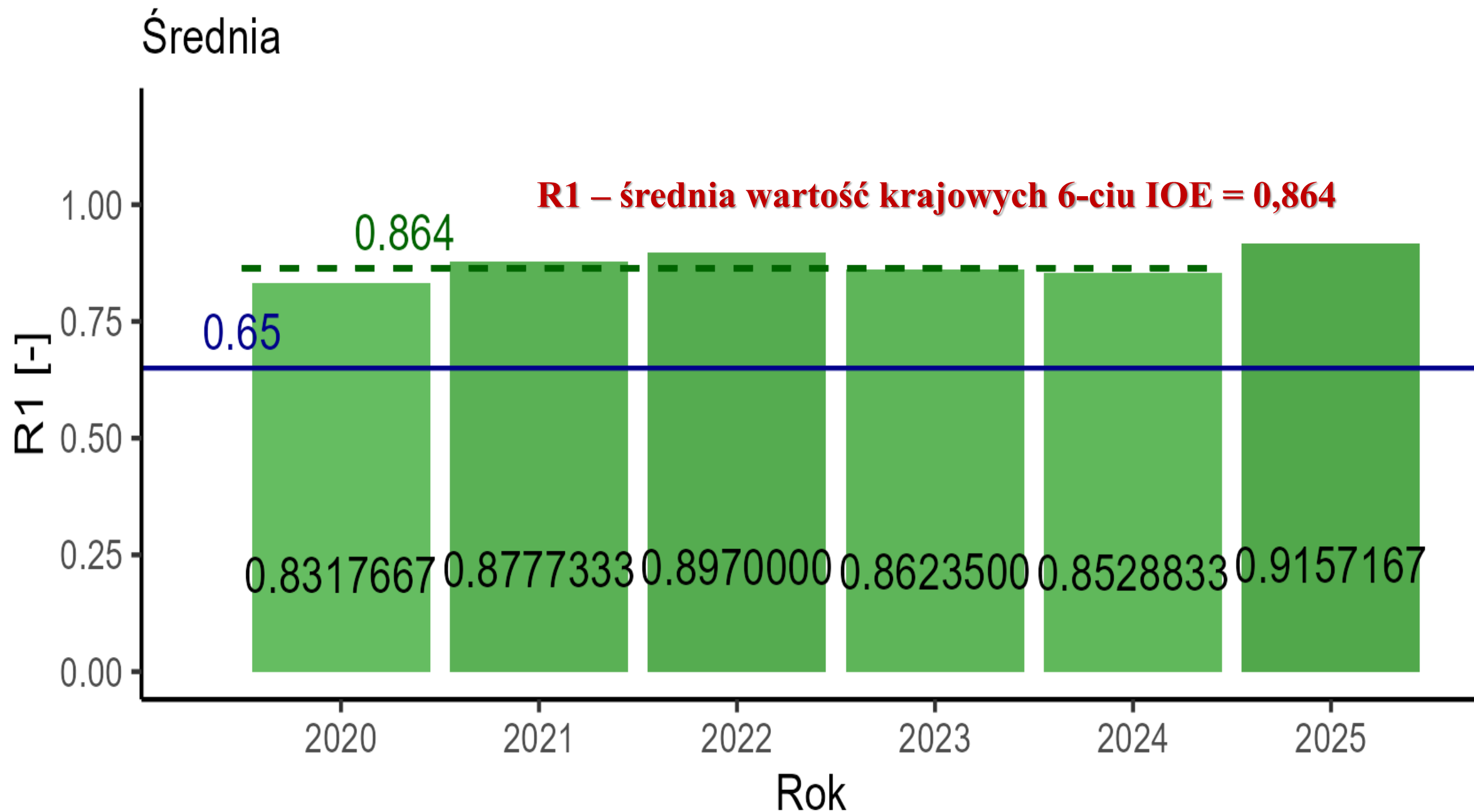
22. Konferencja

2020 – 2025



Wartość średnia R1 liczona za lata 2020 – 2024

WYNIKI BADAŃ WARTOŚCI WSPÓŁCZYNNIKA R1 ŚREDNIA KRAJOWA 2020 – 2024



Wartość średnia R1 liczona za lata 2020 – 2024



- ☐ wszystkie badane krajowe IOE potwierdzają integrację z regulowanym rynkiem ciepłownictwa, co gwarantuje relatywnie wysokie wartości wsp. R1, gdyż produkcja ciepła przez IOE jest parametrem decydującym o wartości R1. Bardzo dobrym przykładem optymalnej integracji z siecią ciepłowniczą jest ITPOK Poznań – wiodący dostawca ciepła dla miasta Poznania (60% udziału). Krajowa średnia R1 dla 6-ciu IOE jest wysoka, na poziomie krajów skandynawskich.
- ☐ powyższą regułę nie potwierdza ZUOK Konin – sieć ciepłowniczą zasila tam (wg priorytetów URE) ciepłownia opalana biomasą. Również jak na razie nie potwierdza ZTPOK Bydgoszcz – zasadnicze problemy techniczne z turbiną i upustem pary do wymienników podturbinowych.
- ☐ najwyższe wartości wsp. $R1 > 1,0$, są możliwe dzięki wykorzystaniu opisanych czynników wzrostu R1. W ZTPO Kraków wykorzystany jest odzysk ciepła z kondensacji spalin oraz zaawansowany inteligentny system sterowania i kontroli procesu spalania odpadów.
- ☐ układ kondensacji spalin, jako pierwszy wśród krajowych IOE został zainstalowany w ITPOE Rzeszów. Jednak wartości wsp. R1 nie potwierdzają bonusu stąd wynikającego, poza rokiem 2022.

WARTOŚĆ WSP. R1 vs. OBOWIĄZEK REDUKCJI SKŁADOWANIA ODPADÓW

22. Konferencja



Nowelizacja dyrektywy składowiska (1999/31/WE), dokonana w 2018 r. w ramach pakietu gospodarki o obiegu zamkniętym, ma na celu istotne ograniczenie składowania odpadów komunalnych, wyznaczając cel 10% składowania do 2035 roku.

10-procentowy limit składowania dotyczy udziału wagowego składowanych odpadów komunalnych w całkowitej masie wytworzonych odpadów komunalnych.

W dyrektywie określono ponadto jednolite zasady obliczania realizacji tego celu.

W ramach tych zasad UE wprowadziła m.in.:

Uwzględnianie do dopuszczalnego limitu 10% składowania tych odpadów po termicznym przekształceniu w danej spalarni odpadów, która nie reprezentuje procesu odzysku energii (dla $R1 > 0,65$) a proces unieszkodliwiania D10 ($R1 < 0,65$). W ten sposób strumień tak przekształcanych odpadów komunalnych wlicza się do dopuszczalnego limitu składowania odpadów wynoszącego 10% masy wszystkich wytwarzanych odpadów komunalnych.

KONKLUZJA:

A zatem skoro jedna z krajowych spalarni nie prowadzi jak dotąd ewidencji danych i nie wyznacza wartości R1, to potencjalnie masa odpadów przekształconych w tej spalarni zostanie zaliczona do limitu 10%. Nie ma obaw w tym względzie dla pozostałych badanych IOE.

**III FILAR ZRÓWNOWAŻONYCH
TECHNOLOGII IOE.
CCS, CCUS W OFENSYWIE.
UJEMNA EMISJA CO₂**

PODSTAWOWE ARGUMENTY UZASADNIAJĄCE BUDOWĘ INSTALACJI CCUS/CCS

22. Konferencja



- ☐ W dniu 27 czerwca 2022 Parlament Europejski idąc w duchu regulacji Fit for 55 włącza swoją decyzją sektor WtE do systemu ETS (>20 MW). Wiele głosów krytycznych pojawia się w parlamentach krajów UE. Do dyskusji na poziomie KE włącza się ponadto projekt ETS2.
- ☐ Sektor WtE ma znaczący potencjał przejścia od neutralnej pod względem emisji dwutlenku węgla do negatywnej emisji CO₂ dzięki technicznie dojrzałym instalacjom (CCUS/CCS) wychwytu oraz wykorzystania/magazynowania dwutlenku węgla.
- ☐ Poprzez zastosowanie technologii CCUS/CCS tylko dla 50% aktualnej mocy europejskich instalacji WtE, wychytujących 50% całkowitej emisji CO₂ z sektora WtE, można by zaoszczędzić 20 milionów ton ekwiwalentu CO₂ rocznie. A gdy technologie CCS/CCUS osiągną pełną dojrzałość komercyjną, można oczekiwać znacznie większego wzrostu potencjału redukcji CO₂ w sektorze WtE.

ROZWÓJ RYNKU CCUS W SEKTORZE IOE W EUROPIE



HALFSLUND Oslo, wcześniej Fortum Oslo Varme, obecnie pilotowa eksploatacja w dużej skali i planowana rozbudowa do projektowej wydajności



AVR Duiven – NL w eksploatacji



Aker Carbon Capture ready to start **CCUS** project at Twence's **waste-to-energy** plant in the Netherlands



TWENCE– NL, w eksploatacji, ok. 15 mln € rządowej dotacji. Rekompensuje roczną emisję CO₂ z ponad 12,5 tys. gospodarstw domowych

AMAGER Resource Centre, Kopenhaga, Start instalacji CCUS 2025

ROZWÓJ RYNKU CCUS W SEKTORZE WtE W EUROPIE



**RENOVA, Göteborg Szwecja,
zaawansowany projekt**



**Teesside SUEZ GB plus
VIRIDOR – 5 projektów CCUS**



**Szwajcaria – wszystkie
29 WtE Plants zgłoszone,
jako projekty CCUS/CCU**



AGH

PODSUMOWANIE

- ☐ W referacie dokonano analizy 3 zasadniczych filarów zrównoważonych technologii odzysku energii z odpadów komunalnych.
- ☐ Filar I – podstawy prawne i komentarze wykazały, że technologie IOE wytwarzają w znacznym udziale energię elektryczną i ciepło o charakterze OZE.
- ☐ Filar II przedstawia fundamentalne podstawy idei zrównoważonych technologii, czyli energy efficiency first, ilustrując ten bardzo dobrze spełniony przez krajowe IOE wynik, o średniej wartości $R1 = 0,864$, potwierdzonej badaniami 6-ciu krajowych IOE, podczas ich eksploatacji w latach 2020 do 2024 .
- ☐ III filar to dynamiczny rozwój instalacji wychwytu CO_2 pozwalających osiągnąć ujemną emisję CO_2 i ochronę klimatu ze strony IOE.
- ☐ Tym samym nie ulega wątpliwości, że krajowe IOE oparte są na zrównoważonych technologiach procesu spalania odpadów komunalnych.



22. Konferencja

TERMICZNE PRZEKSZTAŁCANIE ODPADÓW. ODZYSK ENERGII

5-7 listopada 2025 r. / Łochów, Warszawa

Dziękuję za uwagę!

Tadeusz Pająk, prof. AGH
Katedra Systemów
Energetycznych i Urządzeń
Ochrony Środowiska

Email:

pajak@agh.edu.pl