



Instytut Badań Stosowanych
Politechniki Warszawskiej Sp. z o.o.



ITC

Potencjał kogeneracji w Polsce

Wojciech Bujalski, Janusz Lewandowski

Seminarium Komitetu Problemów Energetyki PAN

Warszawa, 22listopada 2016

Ocena potencjału technicznego

Główne źródła danych do oszacowania potencjału ogrzewania



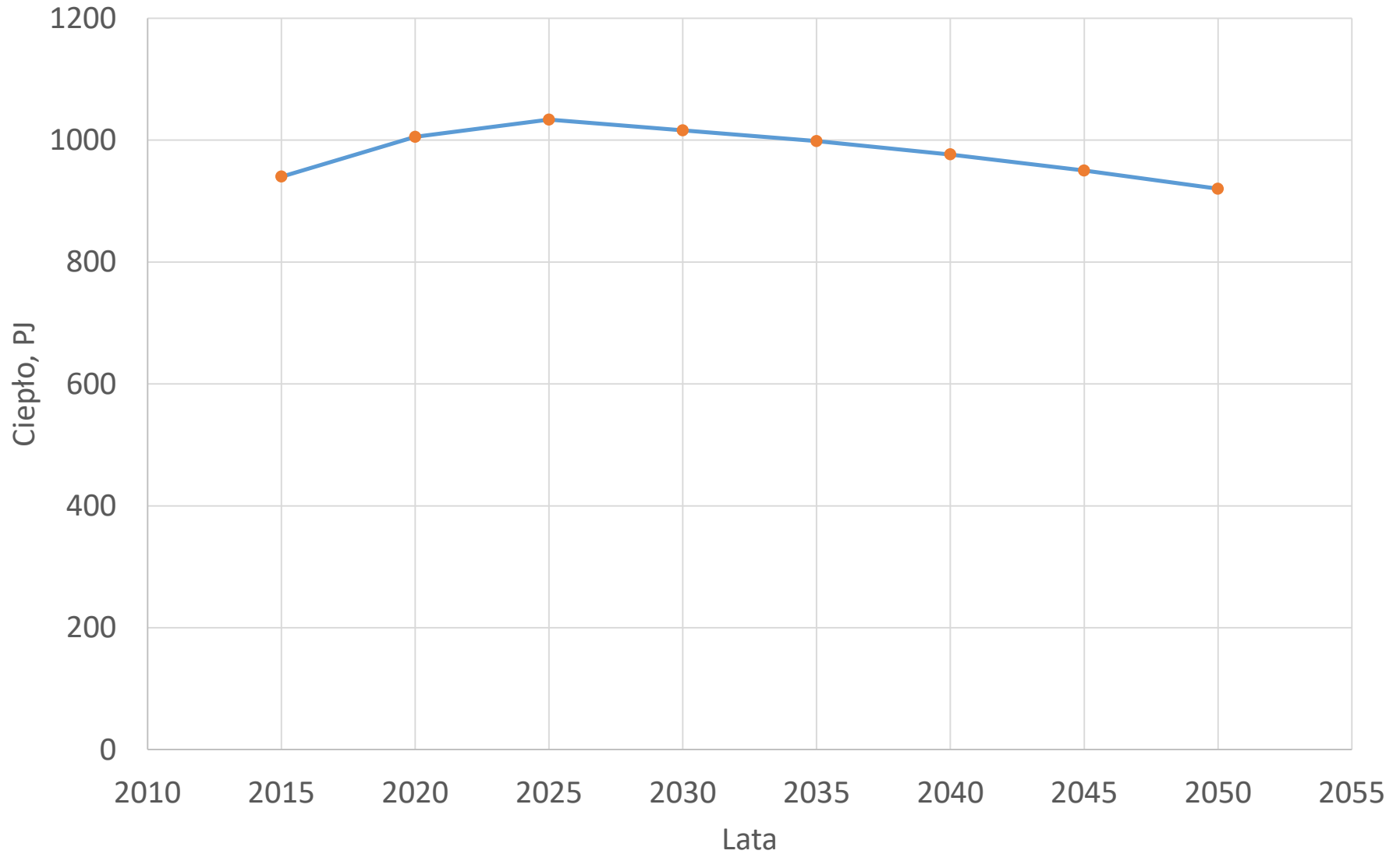
- Dane KOBIZE
 - dane obejmujące cały zakres wytwarzania ciepła na podstawie paliw kopalnych (brak np. danych o ogrzewaniu elektrycznym)
 - Brak wyodrębnienia danych dotyczących wytwarzania ciepła – konieczność wielu szacunków
- Dane ARE
 - Nie obejmują sektora gospodarstw domowych
 - Nie obejmują wszystkich podmiotów
- Wybrano do analizy
 - Dane KOBIZE – sektor gospodarstw domowych
 - Dane ARE – pozostałe wytwarzanie ciepła

Zapotrzebowanie Polski na ciepło użytkowe (produkcja netto) w średnich warunkach klimatycznych

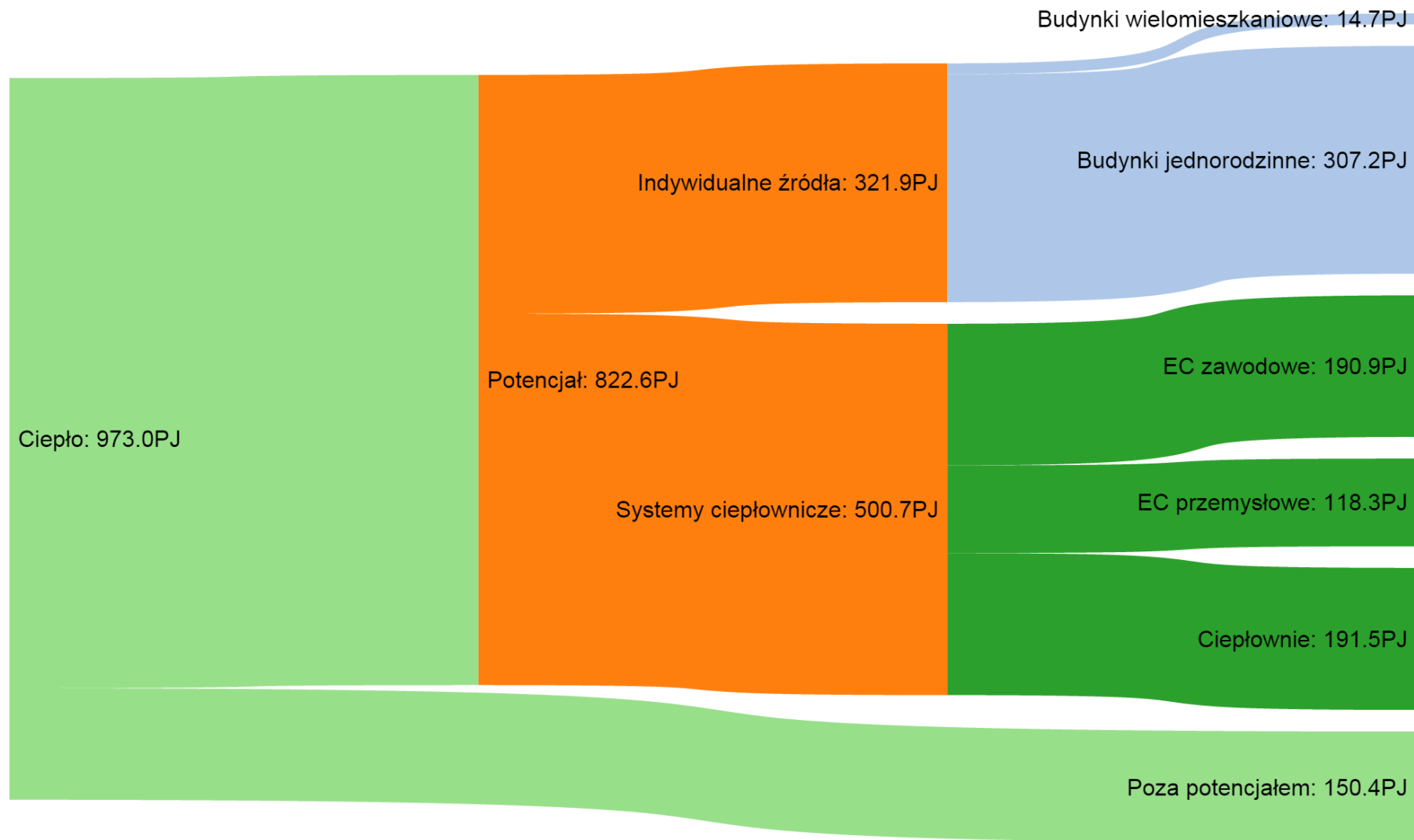
Wyszczególnienie	PJ	GWh
Gospodarstwa domowe ^{*)}	401	111
Rolnictwo	55	15
Sieci ciepłownicze	256	71
Przemysł	240	67
Usługi	21	6
Razem	972	270

^{*)} – bez ogrzewania z sieci ciepłowniczych

Prognoza zapotrzebowania na ciepło do 2050



Potencjał techniczny



Analiza ekonomiczna technologii

Analiza finansowa (FNPV)

- Przepływy uwzględniane w analizie
- K_i – koszty inwestycyjne
- K_s – koszty stałe
- K_z – koszty zmienne poza paliwowymi
- K_p – koszty paliwa
- K_e – koszty emisji CO₂
- P_{el} – przychody ze sprzedaży energii elektrycznej
- P_Q - przychody za ciepło
- D – wsparcie (CHP)

X^j – oznacz wielkość dla roku j

Analiza ekonomiczna

- Przepływy uwzględniane w analizie
- K_i – koszty inwestycyjne
- K_S – koszty stałe
- K_Z – koszty zmienne poza paliwowymi
- K_p – koszty paliwa
- K_z – koszty zewnętrzne
- P_{el} – przychody ze sprzedaży energii elektrycznej
- P_Q - przychody za ciepło

Dla poszczególnych podmiotów

$$ECV_C^j = \cancel{P_Q^j} - K_{i_C}^j - K_{s_C}^j - K_{z_C}^j - K_{p_C}^j - K_{z_C}^j$$

$$ECV_E^j = \cancel{P_{el_E}^j} - K_{s_E}^j - K_{z_E}^j - K_{i_E}^j - K_{p_E}^j - K_{z_E}^j$$

$$ECV_{EC}^j = \cancel{P_Q^j} + \cancel{P_{el_{EC}}^j} - K_{i_{EC}}^j - K_{s_{EC}}^j - K_{z_{EC}}^j - K_{p_{EC}}^j - K_{z_{EC}}^j$$

Dla poszczególnych lat analizy wyznaczane są przepływy finansowe

$$ECV^j = ECV_{EC}^j - ECV_C^j - ECV_E^j$$

Analiza ekonomiczna

Dla poszczególnych podmiotów

$$ECV_C^j = -K_{iC}^j - K_{sC}^j - K_{zC}^j - K_{pC}^j - K_{zC}^j$$

$$ECV_E^j = -K_{sE}^j - K_{zE}^j - K_{iE}^j - K_{pE}^j - K_{zE}^j$$

$$ECV_{EC}^j = -K_{iEC}^j - K_{sEC}^j - K_{zEC}^j - K_{pEC}^j - K_{zEC}^j$$

Dla poszczególnych lat analizy wyznaczane są przepływy finansowe

$$ECV^j = ECV_{EC}^j - ECV_C^j - ECV_E^j$$

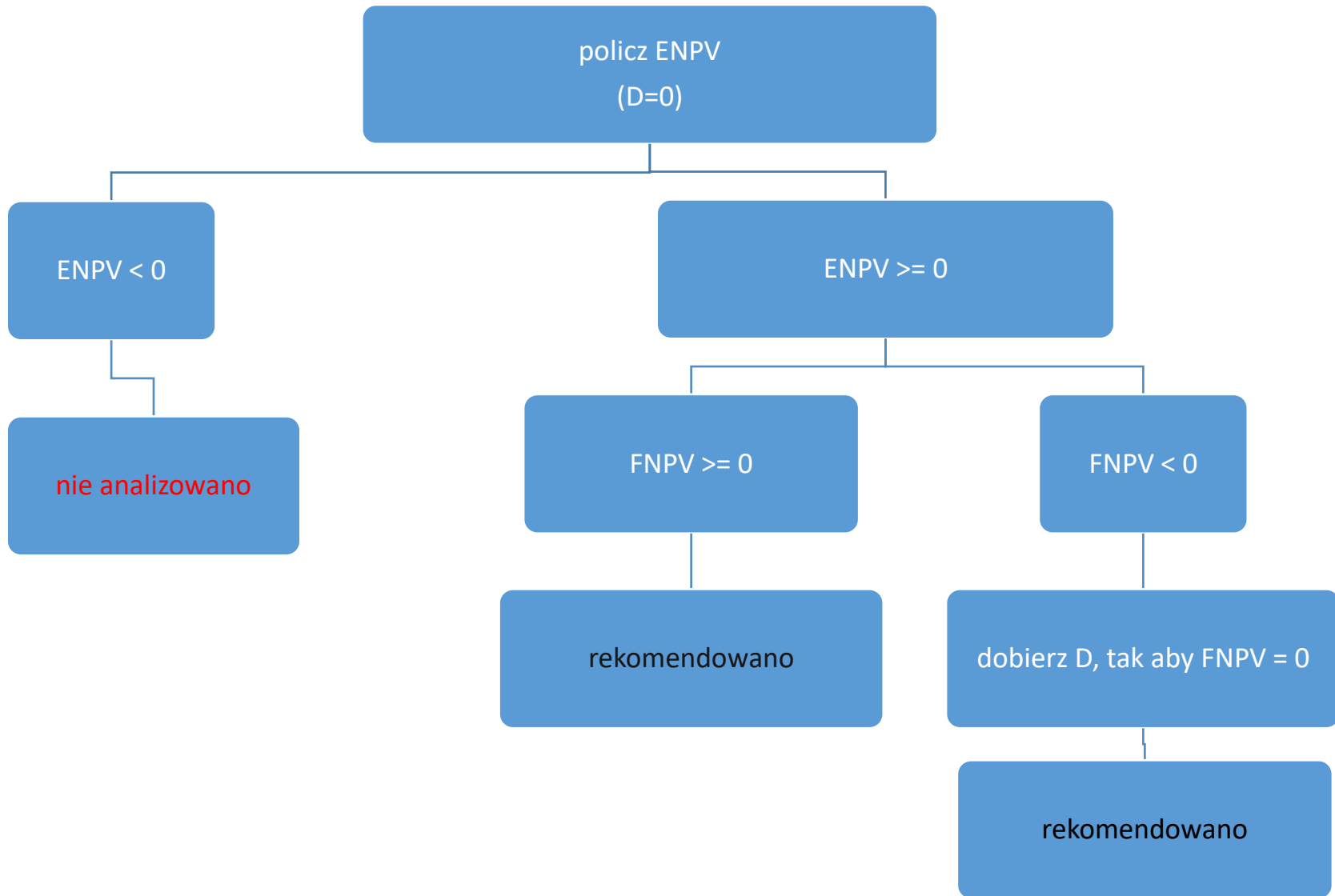
Na podstawie ECV^j liczona jest wartość NPV ($ENPV$) przy stopie dyskonta $ESD = 5\%$ (zgodnie z wytycznymi)

$$ENPV = \sum_{j=0}^n \frac{ECV^j}{(1 + ESD)^j}$$

Koszty inwestycyjne alternatywnej elektrowni

- Zakłada się, że budowa nowej instalacji kogeneracyjnej pozwala uniknąć budowy nowych mocy wytwórczych w postaci elektrowni kondensacyjnych
- Założono, że elektrownia alternatywna będzie produkowała energię elektryczną z czasem wykorzystania mocy zainstalowanej równym 6000 h/rok
- Moc uniknięta wynika z wielkości produkcji energii elektrycznej przez instalację kogeneracyjną i założonego czasu wykorzystania mocy zainstalowanej w elektrowni

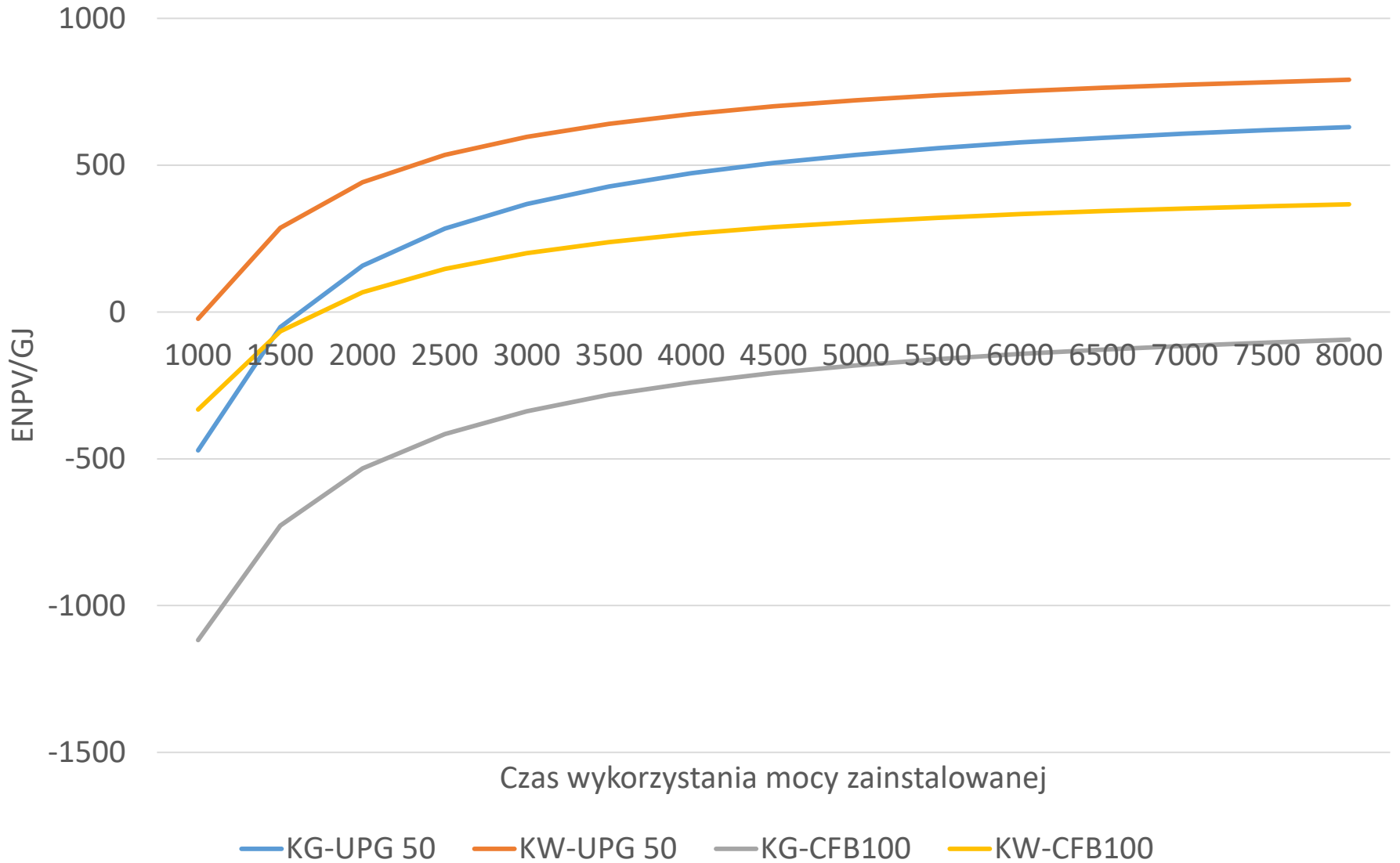
Schemat obliczeń



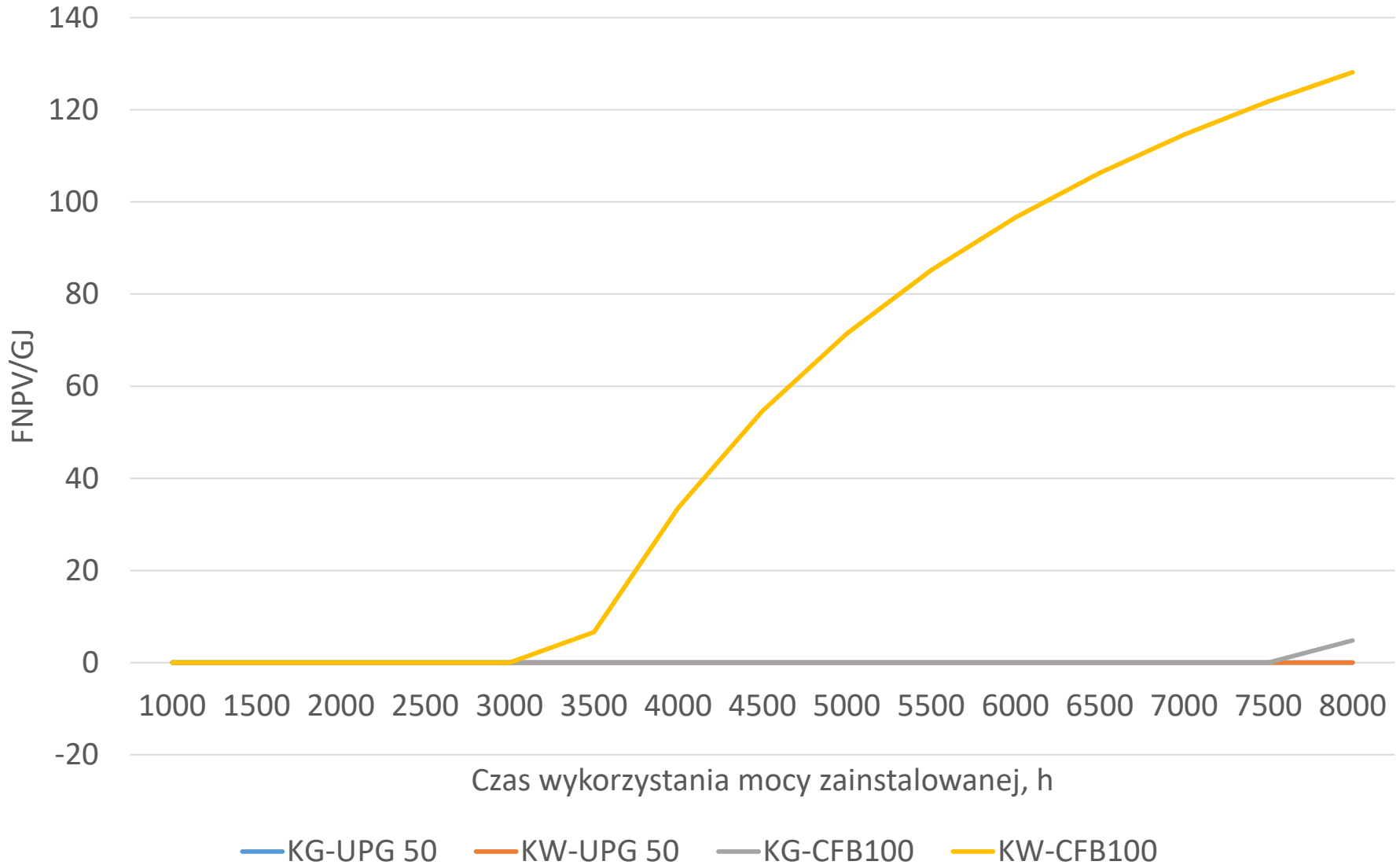
Wybór wariantów i technologii

Lp	Nazwa wariantu	Technologia w wariacie bazowym	Technologia w scenariuszu alternatywnym
Warianty z inwestycją w źródło ciepła nieefektywne w scenariuszu bazowy			
1	KG-UPG 50	kocioł gazowy	Układ parowo gazowy o mocy 50 MW
2	KW-UPG 50	kocioł węglowy	Układ parowo gazowy o mocy 50 MW
3	KG-CFB100	kocioł gazowy	Układ parowy z kotłem fluidalnym o mocy 100 MW
4	KW-CFB100	kocioł węglowy	Układ parowy z kotłem fluidalnym o mocy 100 MW
...

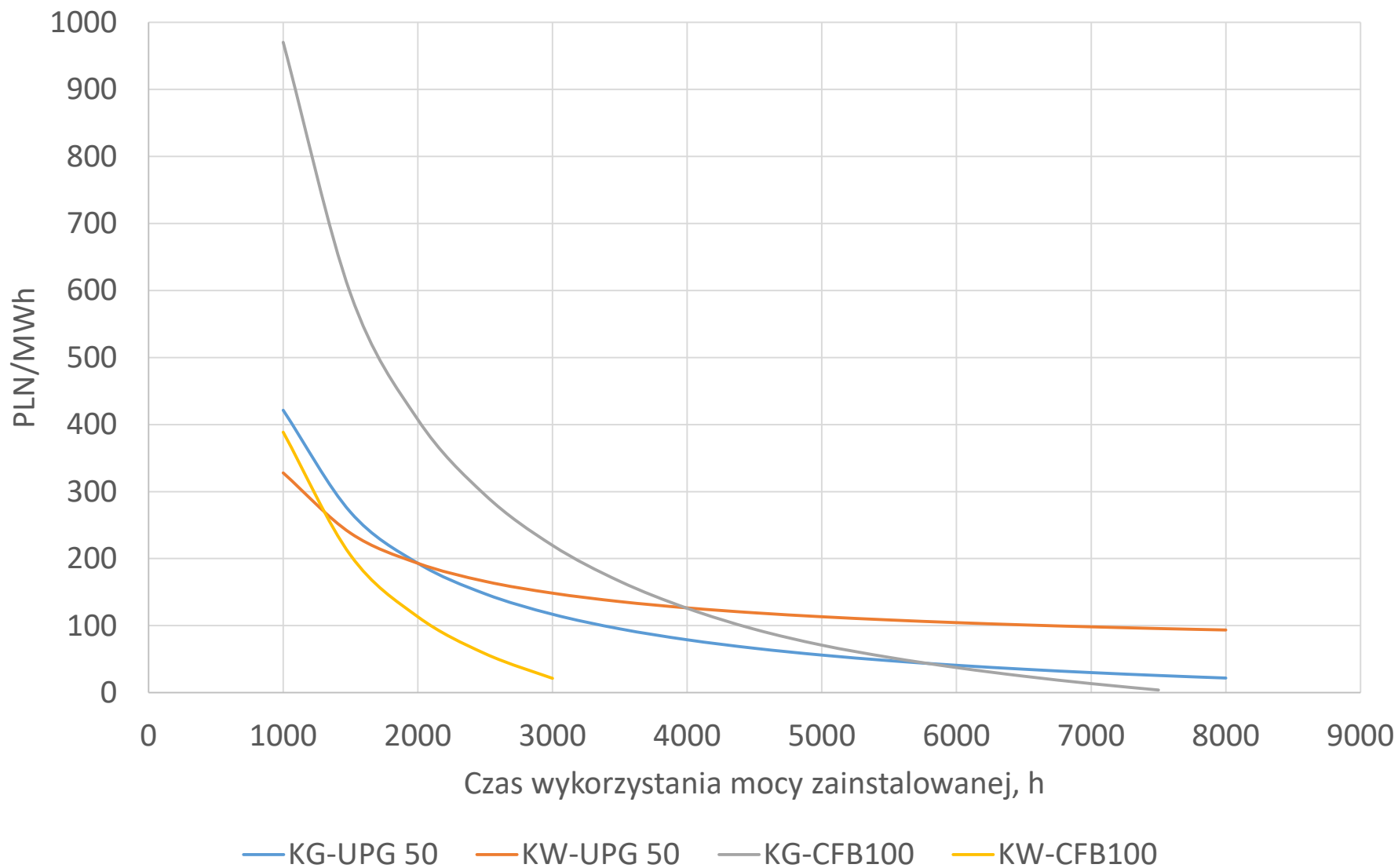
Wartość ENPV dla inwestycji w układ parowo-gazowy, układ parowy z kotłem fluidalnym w przypadku konieczności wykonania inwestycji w wariancie odniesienia



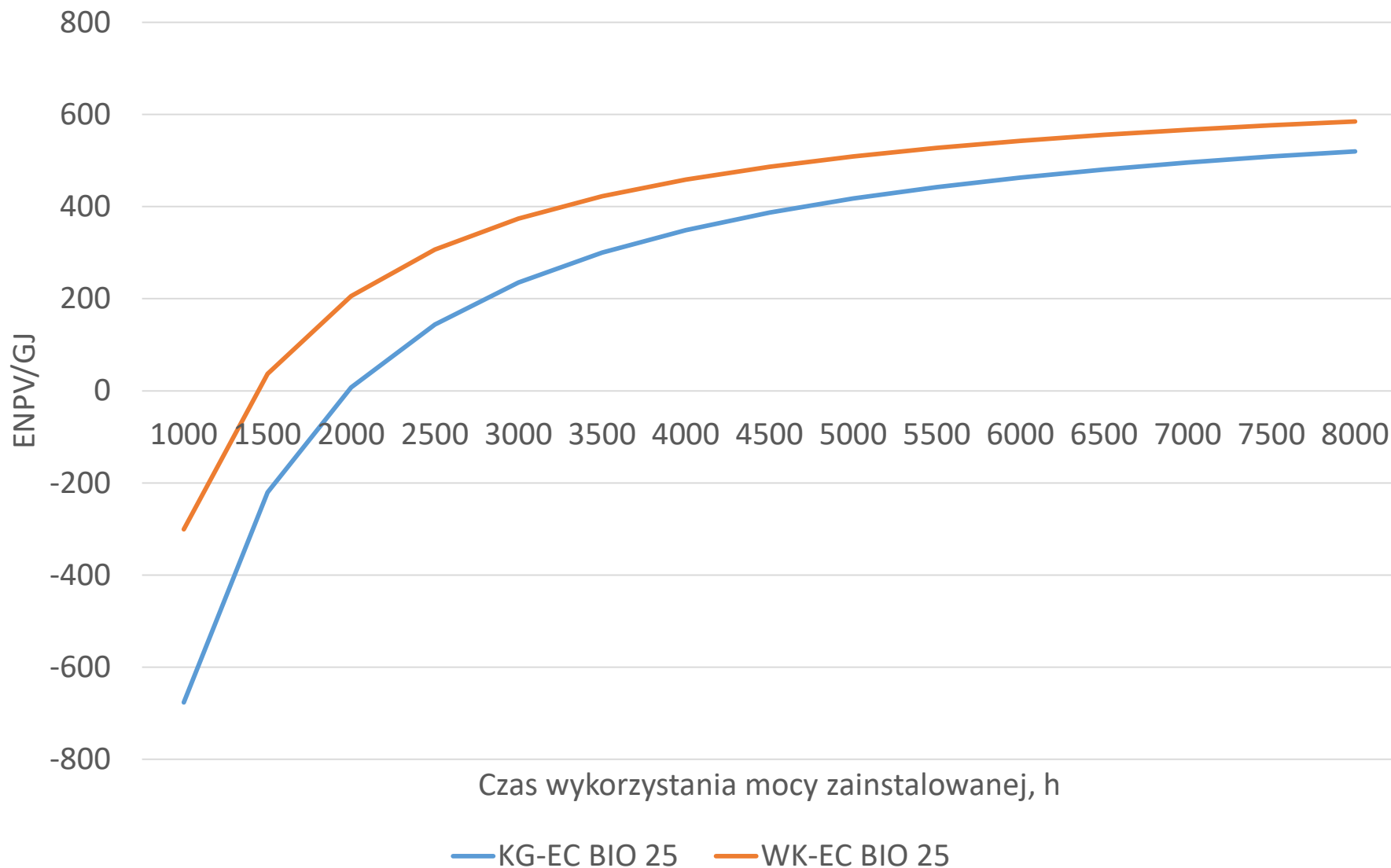
Wartość FNPV dla inwestycji w układ parowo-gazowy, układ parowy z kotłem fluidalnym w przypadku konieczności wykonania inwestycji w wariancie odniesienia



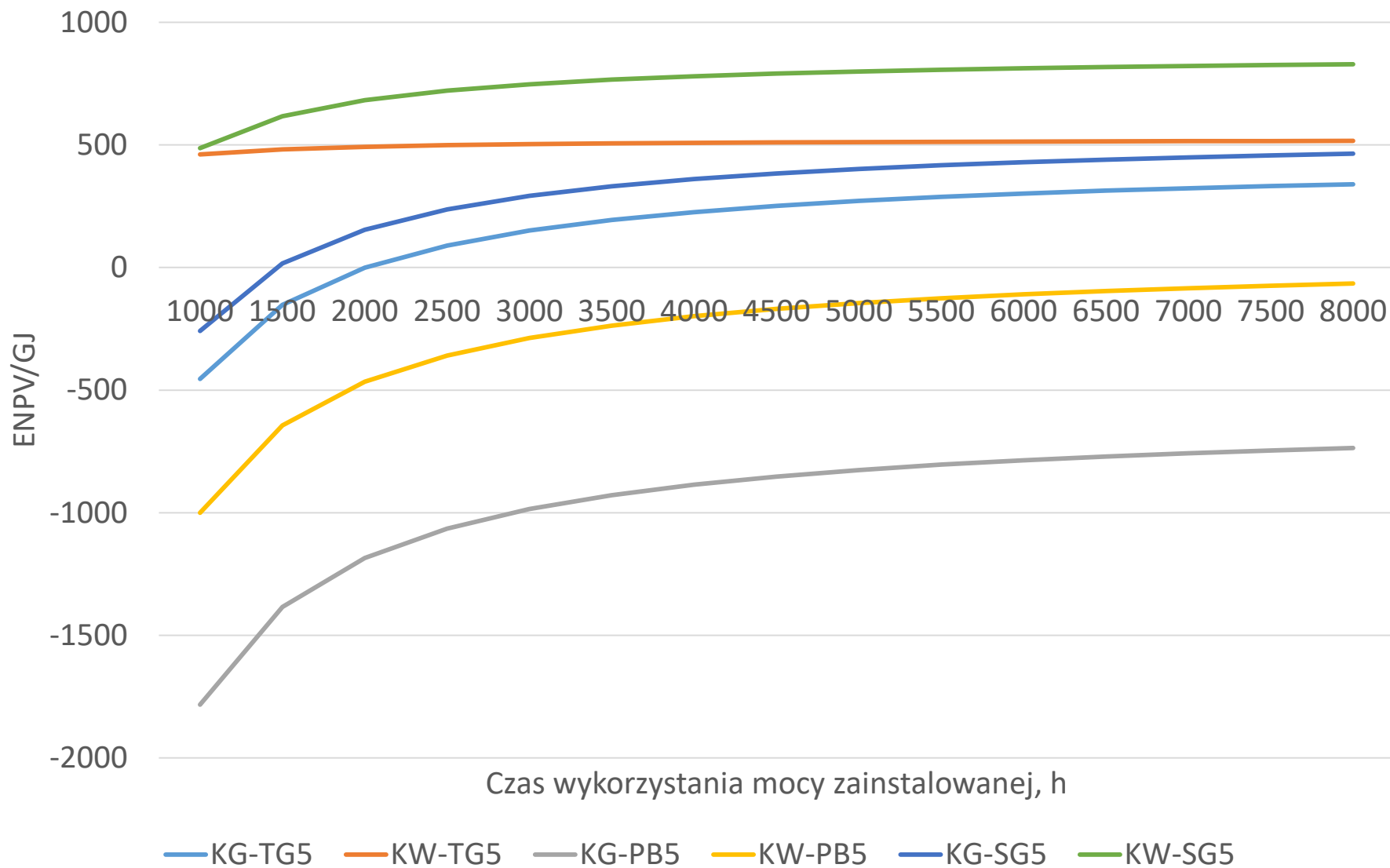
Wymagana wartość dofinansowania odniesiona do wyprodukowanej jednostki energii elektrycznej



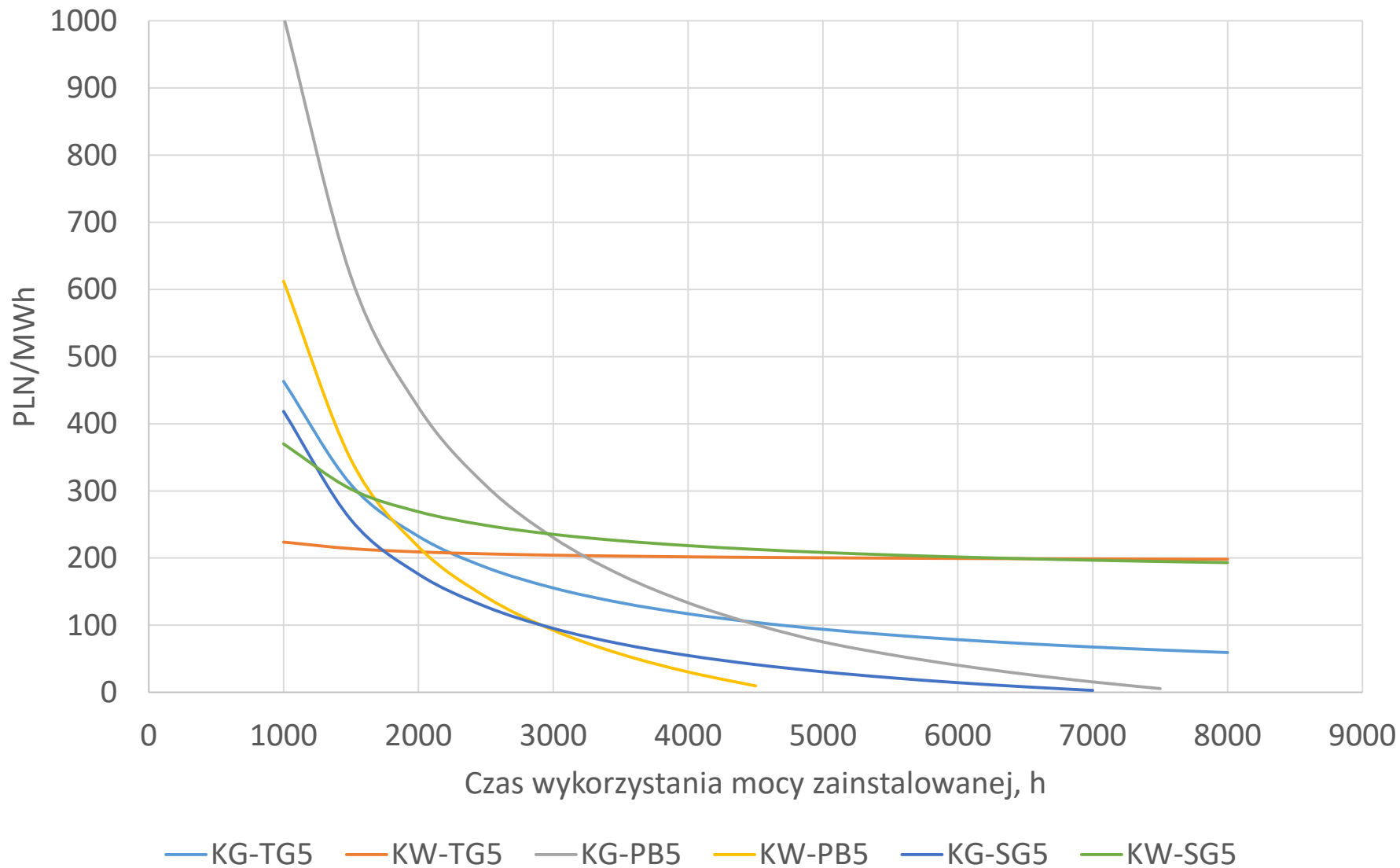
Wartość ENPV dla inwestycji w układ **biomasowy** (ciepłownia i elektrociepłownia) w przypadku konieczności wykonania inwestycji w wariancie odniesienia



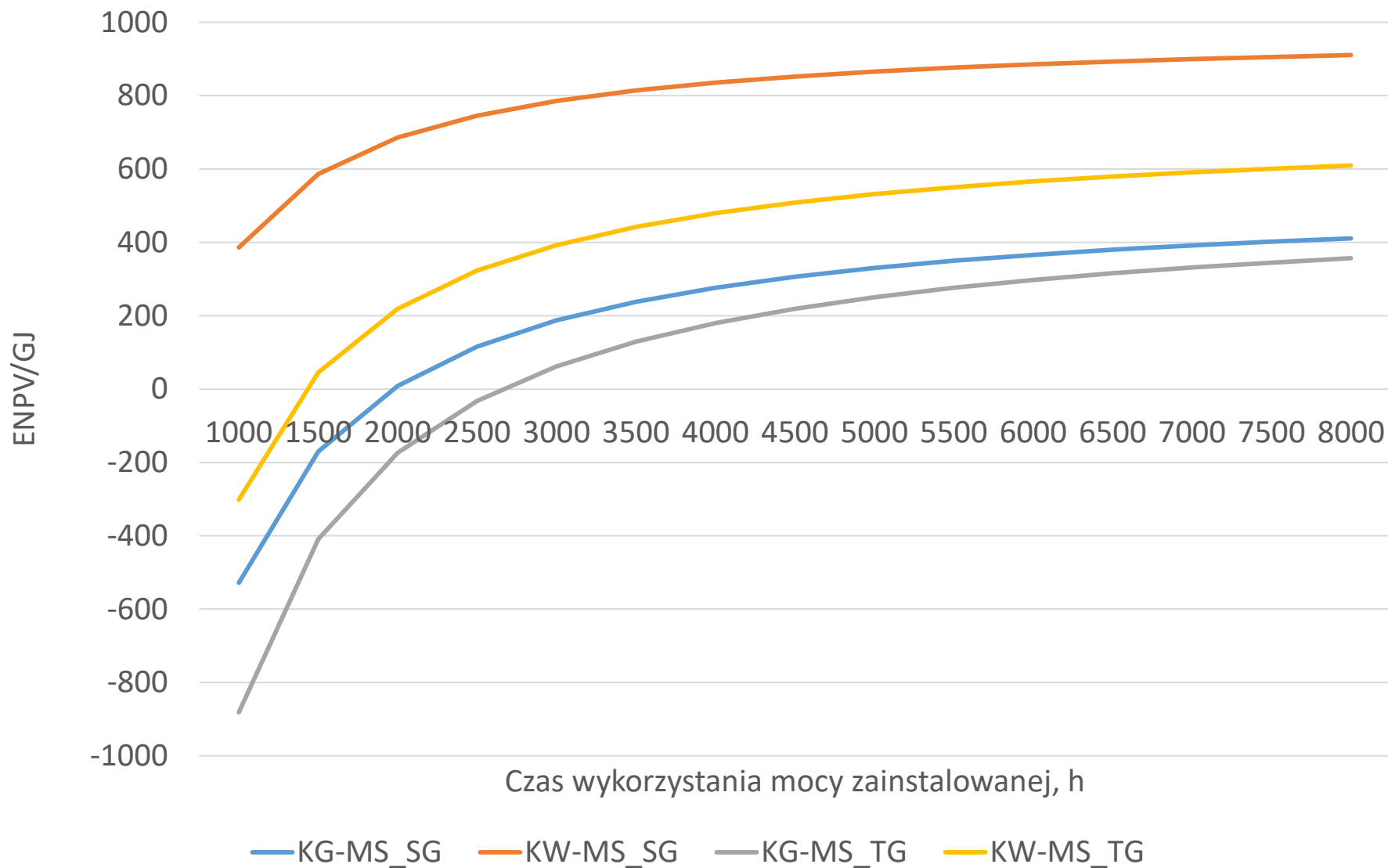
Wartość ENPV dla inwestycji w układ o mocy około 5 MW w przypadku konieczności wykonania inwestycji w wariancie odniesienia



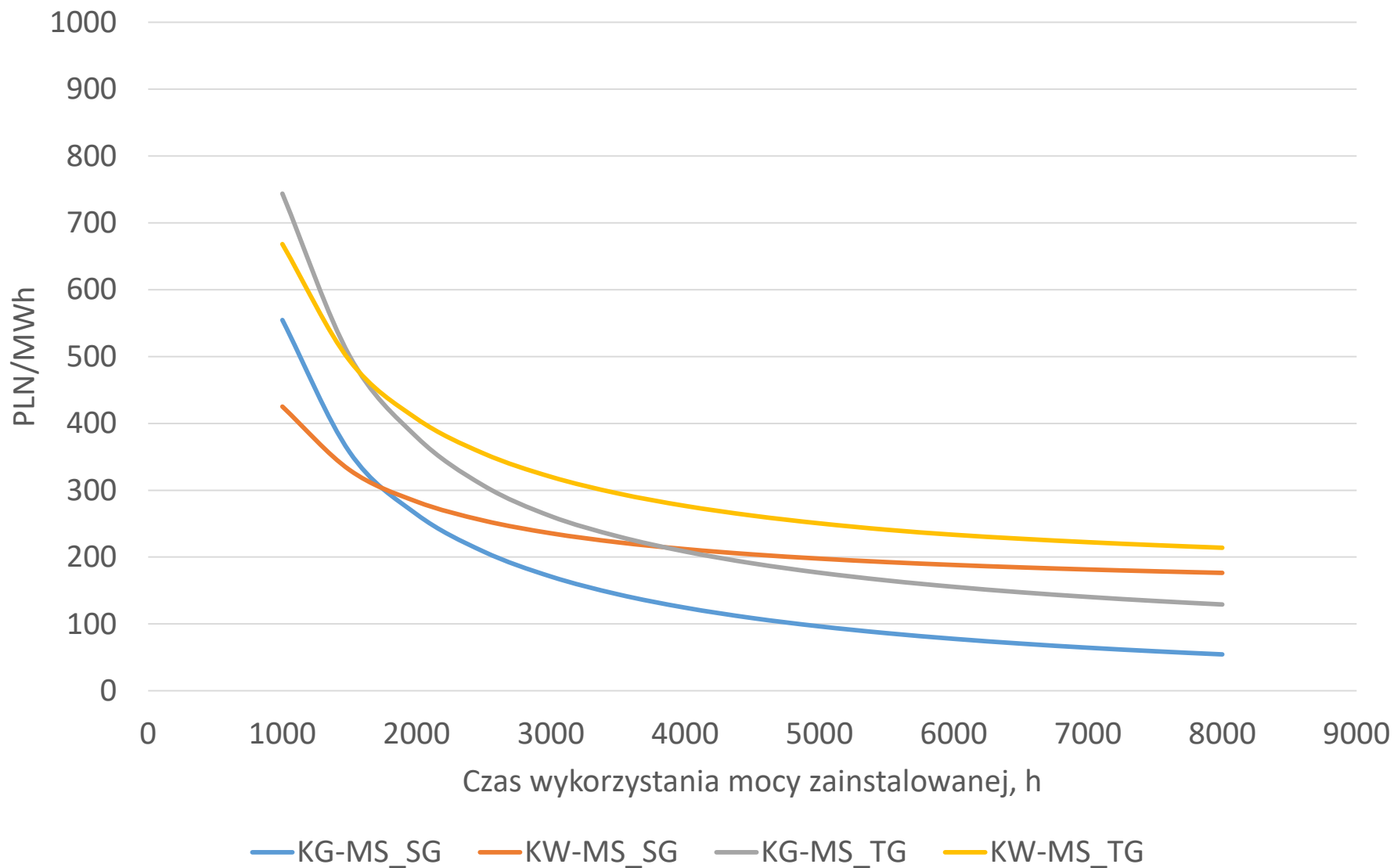
Wymagana wartość dofinansowania odniesiona do wyprodukowanej jednostki energii elektrycznej – układy o mocy do 5 MW



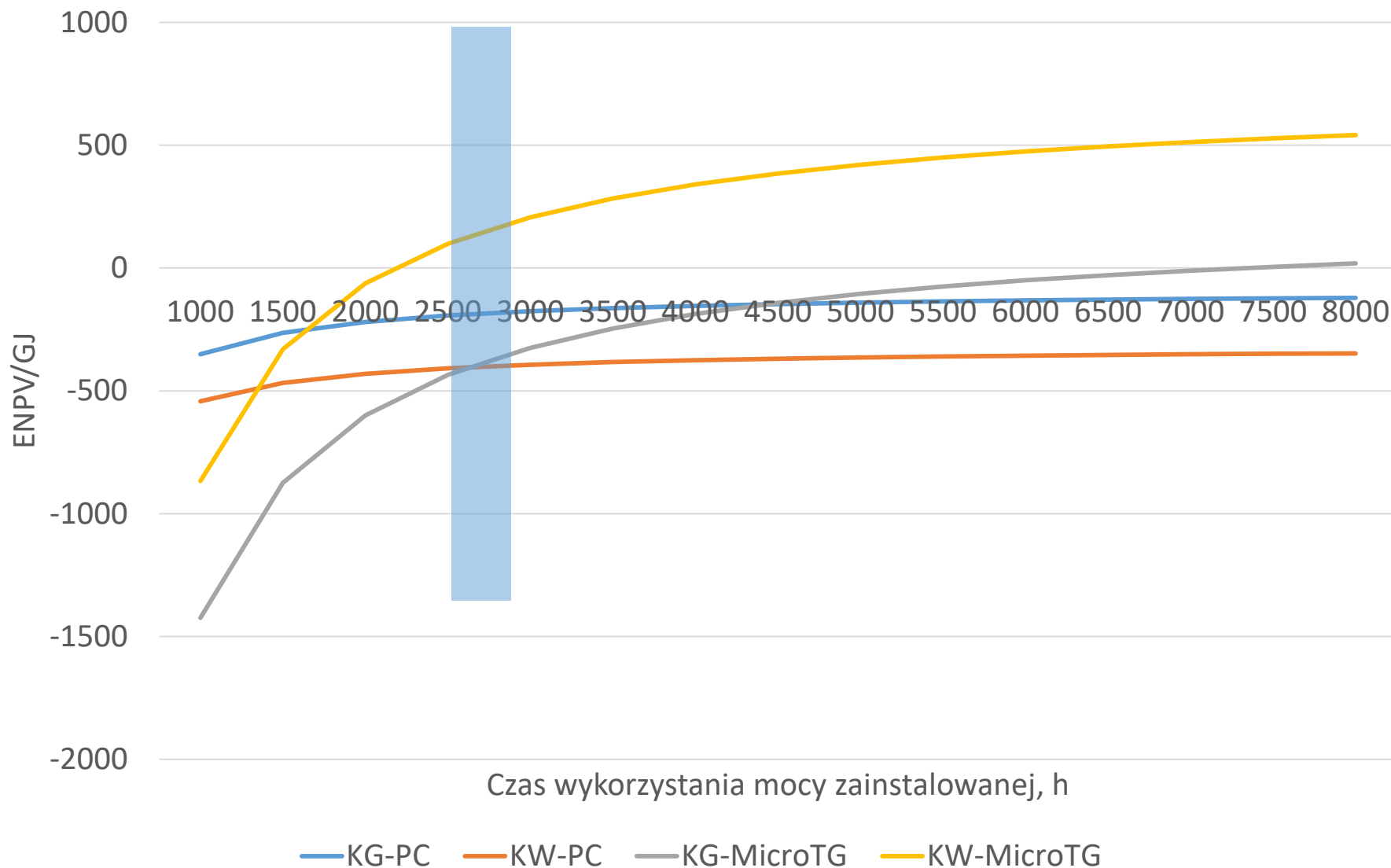
Wartość ENPV dla inwestycji w układ małoskalowy w przypadku konieczności wykonania inwestycji w wariancie odniesienia



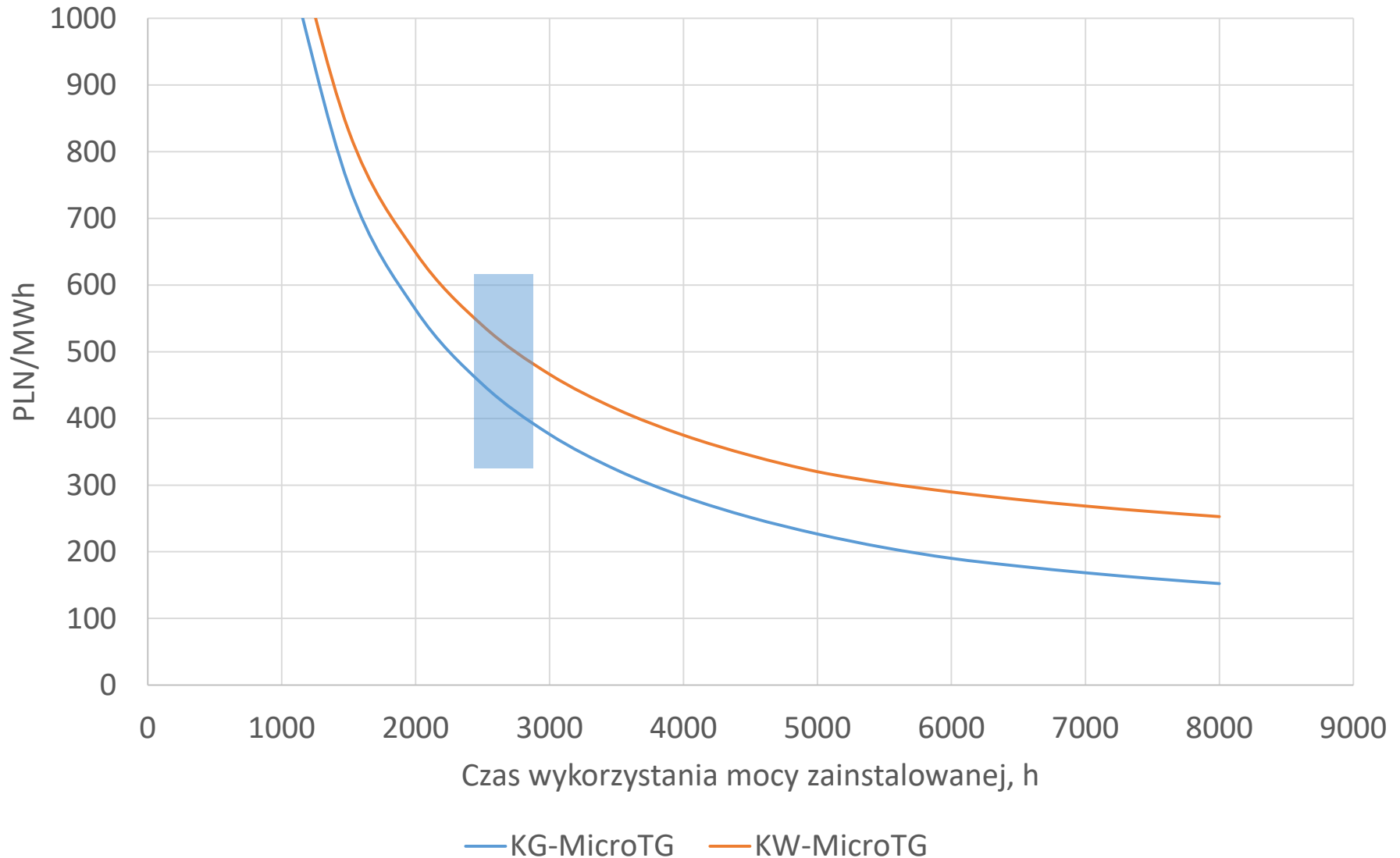
Wymagana wartość dofinansowania odniesiona do wyprodukowanej jednostki energii elektrycznej – układy małoskalowe



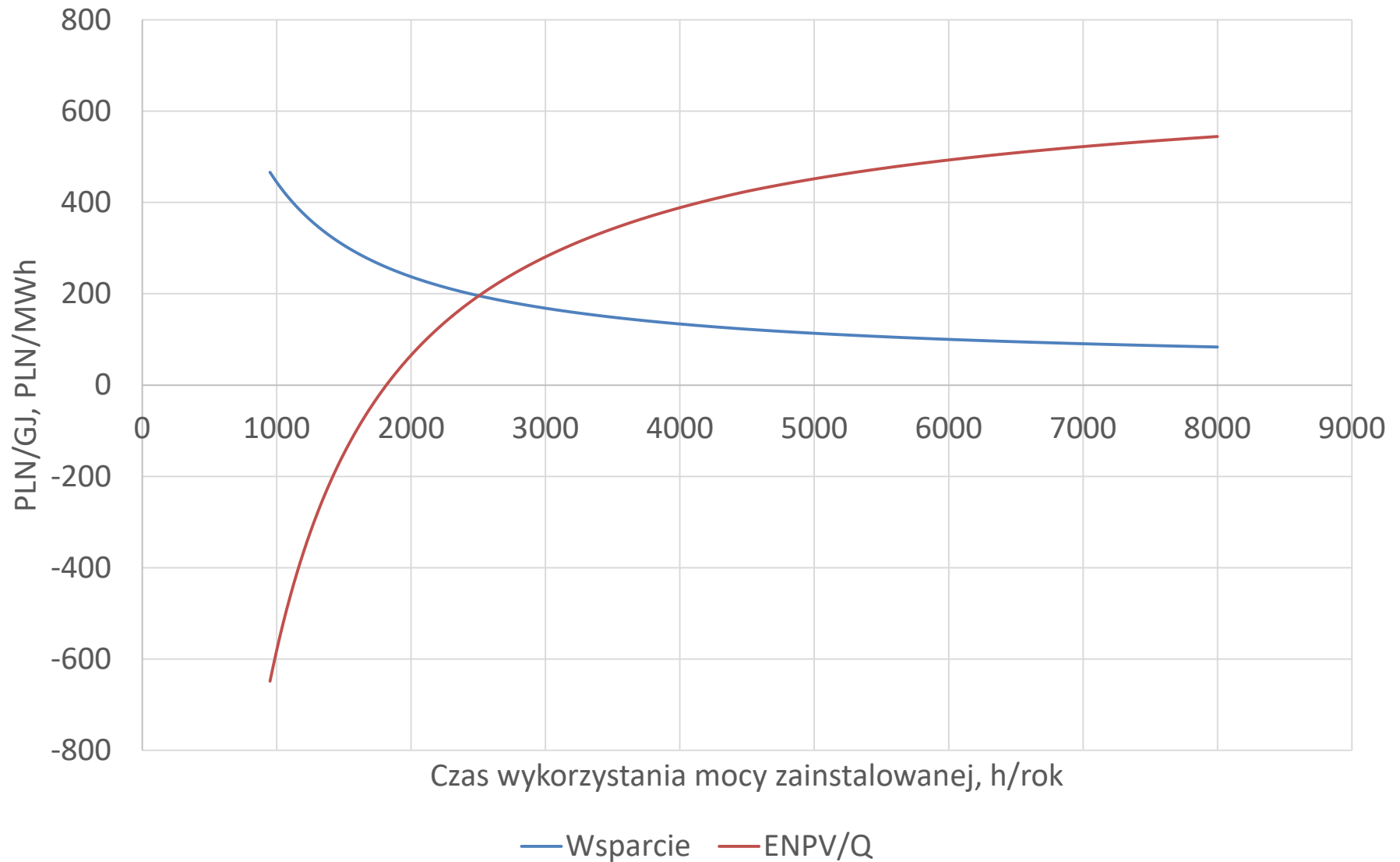
Wartość ENPV dla inwestycji w układ dla domów indywidualnych w przypadku konieczności wykonania inwestycji w wariancie odniesienia



Wymagana wartość dofinansowania odniesiona do wyprodukowanej jednostki energii elektrycznej – układy dla domów jednorodzinnych



Zamiana CHP węglowe na CHP gazowe



Bilans na poziomie kraju – potencjał ekonomiczny

Potencjał techniczny -> Potencjał ekonomiczny

- **Elektrociepłownie zawodowe** - 80% ciepła w elektrociepłowniach produkowane jest w kogeneracji. Czas wykorzystania dodatkowej mocy zainstalowanej wynosi niecałe 1000 h/rok. W związku z tym brak jest możliwości rozwoju w sposób ekonomicznie uzasadniony kogeneracji na tym potencjale
- **Elektrociepłownie przemysłowe** - większość produkcji ciepła w tego typu obiektach wyprodukowane jest w kogeneracji. Układy elektrociepłowni przemysłowych to bardzo skomplikowane układy produkujące ciepło na wielu poziomach ciśnień. Produkcja poza kogeneracją często wynika w tego typu układach nie z braku instalacji wytwórczych mogących produkować ciepło w taki sposób, ale z innych uwarunkowań. W związku z tym autorzy nie widzą możliwości rozwoju kogeneracji na tym potencjale
- **Ciepłownie** - Całość ciepła produkowanego w ciepłowniach uznano za potencjał techniczny kogeneracji. Rozróżniono ciepłownie przemysłowe i zawodowe
- **Odbiorcy indywidualni** - Wyniki analizy ekonomicznej wskazują, że jednostki skojarzone (mikroturbiny) mogą być opłacalne w domach jednorodzinnych w związku z tym jest to potencjał ekonomiczny.

Dobór ekonomicznie uzasadnionych technologii

Opis potencjału	Zapotrzebowania (potencjał) na ciepła	Technologie kogeneracyjne	Ekonomiczny czas wykorzystania mocy zainstalowanej	Stopień pokrycia zapotrzebowania na ciepło
	PJ	-	h/rok	%
Ciepłownie na gaz $Q \geq 20$ MW	7,2	KG_UPG_50	<2700	100%
Ciepłownie na węgiel $Q \geq 20$	63,2	KW_UPG_50	<2700	100%
Ciepłownie na gaz $1 \leq Q < 20$ MW	36,6	KG-SG5	<2700	100%
Ciepłownie na węgiel $1 \leq Q < 20$ MW	44,3	KW-SG5	<2700	100%
Małoskalowe obiekty na gaz	8,7	KG-MS-SG	<2700	100%
Małoskalowe obiekty na węgiel	2	KW-MS-SG	<2700	100%
Ciepłownie na inne paliwa $Q \geq 20$ MW	2,6	KW_CFB_100	<2700	100%
Ciepłownie na inne paliwa $1 \leq Q < 20$ MW	12,5	SG5_KW	<2700	100%
Małoskalowe obiekty na inne paliwa	13,9	MS_KW	<2700	100%
Razem	191			

Założenie do obliczeń na poziomie kraju

W praktyce z punktu widzenia inwestora budowanie dużych, drogich instalacji kogeneracyjnych o bardzo krótkim czasie wykorzystania byłoby obarczone dużym ryzykiem finansowym i technicznym. Stąd dla analiz NPV (ENPV i FNPV) przyjmowano typowe dla elektrociepłowni czasy wykorzystania mocy zainstalowanej:

- 4600 h/rok dla elektrociepłowni generujących ciepło dla potrzeb ogrzewania budynków i ciepłej wody użytkowej (pokrycie powyżej 90% rocznego zapotrzebowania na ciepło);
- 6000 h/rok dla elektrociepłowni przemysłowych (praktycznie 100% rocznego zapotrzebowania na ciepło)

Wyniki dla kraju

	Potencjał techniczny	Produkcja z nowej kogeneracji (potencjał ekonomiczny)	Wielkość mocy zainstalowanej	Zainstalowana moc elektryczna	Produkcja energii elektrycznej	Oszczędność energii pierwotnej	Oszczędność emisji	Koszty wsparcia	ENPV
	PJ	PJ	MW _t	MW _e	GWh	PJ	mln Mg/rok	mln PLN/rok	mln PLN
Ciepłownie zawodowe na gaz Q>=20 MW	1,4	1,3	79	98	452	2	0,17	32	643
Ciepłownie niezawodowe na gaz Q>=20 MW	5,8	5,8	269	336	2 014	10	0,75	93	3 260
Ciepłownie zawodowe na węgiel Q>=20 MW	54,6	50,7	3 064	3 830	17 618	88	9,37	2 537	31 257
Ciepłownie niezawodowe na węgiel Q>=20 MW	11,2	11,2	519	648	3 889	19	2,07	486	7 661
Ciepłownie zawodowe na gaz 1<=Q<20 MW	4,2	3,9	236	165	759	4	0,33	39	1 429
Ciepłownie niezawodowe na gaz 1<=Q<20 MW	32,4	32,4	1 500	1 050	6 300	37	2,72	151	13 381
Ciepłownie zawodowe na węgiel 1<=Q<20 MW	29,1	27,0	1 633	1 143	5 258	33	3,74	1 383	18 795
Ciepłownie niezawodowe na węgiel 1<=Q<20 MW	27,7	27,7	1 282	898	5 386	33	3,83	1 298	20 415
Małoskalowe obiekty na gaz	8,7	8,7	895	734	1 982	9	0,72	420	931
Małoskalowe obiekty na węgiel	15,9	15,9	1 636	1 341	3 622	18	2,18	1 202	9 174
Razem	191	185	11 112	10 243	47 280	253	26	7 642	106 945

Sumaryczne zdyskontowane koszty wsparcia przez okres 20 lat (średni czas życia instalacji kogeneracyjnej) wynoszą 100 mld PLN

Rekomendacje

- Z przeprowadzonych analiz ekonomicznych wynika, że przy obecnych relacjach cenowych rekomendowane są następujące technologie kogeneracje:
 1. Instalacje dużej mocy (>50 MW cieplnych): układ gazowo-parowy lub parowy blok ciepłowniczy; wybór technologii musi podlegać szczegółowym analizom;
 2. Instalacje średniej mocy – podstawową technologią są silniki tłokowe; interesujące mogą być również w wybranych przypadkach turbiny gazowe;
 3. Instalacje małoskalowe – praktycznie jedyną technologią są silniki tłokowe;
 4. Domki jednorodzinne – turbina gazowe, silnik tłokowy lub silnik Stirlinga w przypadku instalacji opalanych węglem.
- Niezbędnym elementem rozwoju kogeneracji, a zarazem osiągnięcia potencjału jest zbudowanie skutecznego mechanizmu wsparcia. Konieczność wspierania kogeneracji wynika z przeprowadzonych analiz finansowych.
- .

Rekomendacje

- Wyniki analiz ekonomicznych wykazały, że technologie kogeneracyjne są **rentowne już przy niewielkich czasach wykorzystania mocy zainstalowanej. Pozwala to na pokrycie ponad 75% produkcji energii elektrycznej z wysokosprawnej kogeneracji.** W związku z tym systemy wsparcia muszą być skonstruowane tak, aby pozwalały, a wręcz wymuszały, rozwój kogeneracji pozwalający na osiągnięcie wielkości poziomu produkcji ciepła spełniającego warunek o efektywności systemu. Będzie to istotnym elementem do rozwoju potencjału kogeneracji w Polsce.
- Celowe jest nałożenie mapy zapotrzebowania na ciepło na mapę dostępności biomasy. Pozwoli to określić możliwość budowy instalacji biomasowych w miejscu węglowych. Szczegółowe analizy wskażą celowość tego typu inwestycji. Budowa instalacji biomasowych może być istotnym elementem osiągnięcia efektywności przez system ciepłowniczy.
- Istotnym problemem dla realizacji wymaganych przez dyrektywę o efektywności energetycznej cyklicznych analiz potencjału jest **zbudowanie systemu zbierania informacji o wytwarzaniu i potrzebach cieplnych** – szczególnie małych odbiorców. W obecnym systemie nie są zbierane informacje o systemach ciepłowniczych (zasięg terytorialny, przypisanie źródeł i odbiorców do systemu ciepłowniczego). Uzyskane informacje zostały pozyskane poprzez łączenie różnych źródeł danych co nie gwarantuje spójności uzyskanych wyników.

Podsumowanie

- W Polsce istnieje olbrzymi potencjał rozwoju kogeneracji. Jego podstawowymi składowymi są:
 - ciepło wytwarzane dotychczas w ciepłowniach zasilających systemy ciepłownicze,
 - domy jednorodzinne z centralnymi instalacjami grzewczymi,
 - obiekty usługowe niezasilane z sieci ciepłowniczych,
 - zakłady przemysłowe wykorzystujące ciepło wytwarzane w kotłach.
- Obecny rozwój technologii energetycznych pozwala na wytwarzanie ciepła w tych obiektach w układach kogeneracyjnych. Można więc stwierdzić, że techniczny potencjał **kogeneracji jest niewiele mniejszy od potencjału całkowitego**. Niestety analizy finansowe (z punktu widzenia inwestora) wskazują, że przy obecnych relacjach cenowych inwestycje w kogenerację (z wyjątkiem instalacji pracujących z bardzo dużym wykorzystaniem mocy zainstalowanej) **nie są opłacalne finansowo i ich rozwój wymaga wsparcia finansowego**.

Podsumowanie

- **Przeprowadzone analizy wykazały, że ekonomicznie uzasadnione jest pokrycie od 75% do prawie 99%** procent potencjału technicznego kogeneracji. Przy obecnych relacjach cenowych wątpliwości budzi wykorzystanie potencjału technicznego w domkach jednorodzinnych z powodu konieczności bardzo wysokiego wsparcia.
- **Wprowadzenie systemu wsparcia jest opłacalne z punktu widzenia analizy ekonomicznej** (opłacalne społecznie), głównie dzięki ograniczeniu kosztów zewnętrznych (w tym zmniejszenia emisji dwutlenku węgla) oraz zmniejszenia zużycia paliw.

Podsumowanie

- Przeprowadzone analizy miały charakter kompleksowy, tzn. dokonano jednocześnie analizy efektywności inwestycji z punktu widzenia społeczeństwa (analiza ekonomiczna) i inwestora (analiza finansowa). Wielkość wymaganego wsparcia wynikała z analizy finansowej.
- **Tak przeprowadzone analizy wykazały celowość wspierania zarówno dużych instalacji węglowych, jak i dużych instalacji gazowych**
- Szczegółowa analiza wyników cząstkowych przeprowadzona przez autorów wskazuje na to, że koszty paliwa dla instalacji węglowych są niższe, ale też oszczędności społeczne (koszty zewnętrzne) są również niższe. W przypadku instalacji kogeneracyjnych opalanych gazem, koszty paliwa są wyższe, ale za to oszczędności społeczne są większe.

Podsumowanie

- **Szczegółowa analiza ekonomiczna wykazała, że praktycznie dla każdego typu (wielkość i rodzaj paliwa) istnieje efektywna społecznie technologia kogeneracyjna.** Wyjątek stanowią domy jednorodzinne. Należy tu jednak zauważyć, że przy powiększeniu rynku na odpowiednie urządzenia, a co za tym idzie i obniżenie ich cen, sytuacja ta ulegnie zmianie, a to w istotny sposób zwiększy potencjał ekonomiczny.
- **Wprowadzone do systemów ciepłowniczych technologie kogeneracyjne pozwalają na zakwalifikowanie ich do efektywnych systemów ciepłowniczych.** Otworzy to możliwość pozyskiwania do ich rozwoju (głównie poprzez zwiększenie zasięgu sieci) pomocy publicznej, co dodatkowo zwiększy potencjał kogeneracji.

Podsumowanie

- **Wykorzystanie ekonomicznego potencjału rozwoju kogeneracji pozwoli na istotne zwiększenie wytwarzania energii elektrycznej (47–60 TWh/rok).** Ze społecznego punktu widzenia budowa elektrociepłowni jest bardziej opłacalna niż elektrownia ciepłna, a więc rozwój kogeneracji jest efektywniejszym sposobem na pokrycie spodziewanego deficytu energii elektrycznej niż elektrownia kondensacyjna.
- **Wyniki zarówno analiz finansowych (inwestor), jak i ekonomicznych są bardzo wrażliwe na relacje cenowe. Ich zmiana będzie miała znaczący wpływ na rentowność inwestycji i wielkość koniecznego wsparcia.** Spodziewany spadek cen gazu oraz wzrost cen uprawnień do emisji zwiększą opłacalność społeczną i finansową kogeneracji.

Podsumowanie

- Doświadczenie wskazuje na to, że wyniki obliczeń są bardzo wrażliwe na przyjęte założenia. **Niniejsza praca miała na celu ocenę potencjału na poziomie kraju.** W związku z tym wybrano kilka technologii o typowych (średnich) parametrach. **Szczegółowe wyniki analiz dla poszczególnych instalacji mogą dać odmienne rezultaty.**