

*Konferencja
Małopolska w zdrowej atmosferze - likwidacja niskiej emisji i
modernizacja ciepłownictwa w kontekście wymagań dyrektywy MCP*



Małe i średnie CHP oferta rynku a potrzeby branży

*Jan Górski; Łukasz Lis
Centrum Energetyki AGH*



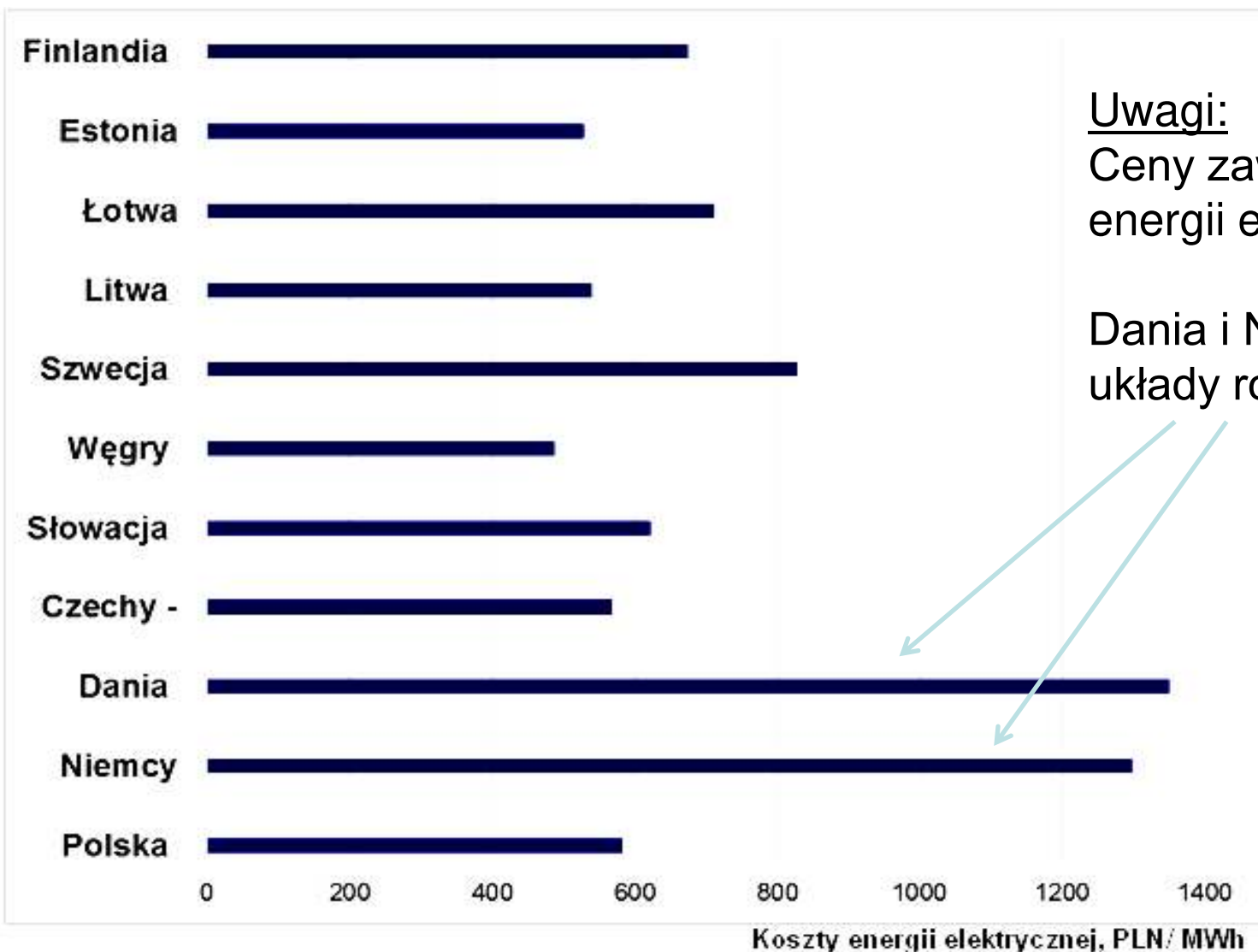
Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie

Kraków, 03.03.2017

Plan prezentacji:

- » ***Wprowadzenie***
- » ***Układy scentralizowane a rozproszone***
- » ***Zalety lokalnych systemów mCHP i μ CHP***
- » ***Nowoczesne źródła m/ μ CHP – przykłady***
- » ***Dylematy rozwoju mCHP i magazynowania ciepła***

Porównanie średnich cen energii elektrycznej w krajach UE (1 poł. 2016, odbiorcy indywidualni)



Uwagi:

Ceny zawierają koszty dystrybucji energii elektrycznej.

Dania i Niemcy dużo inwestują w układy rozproszone i OZE.

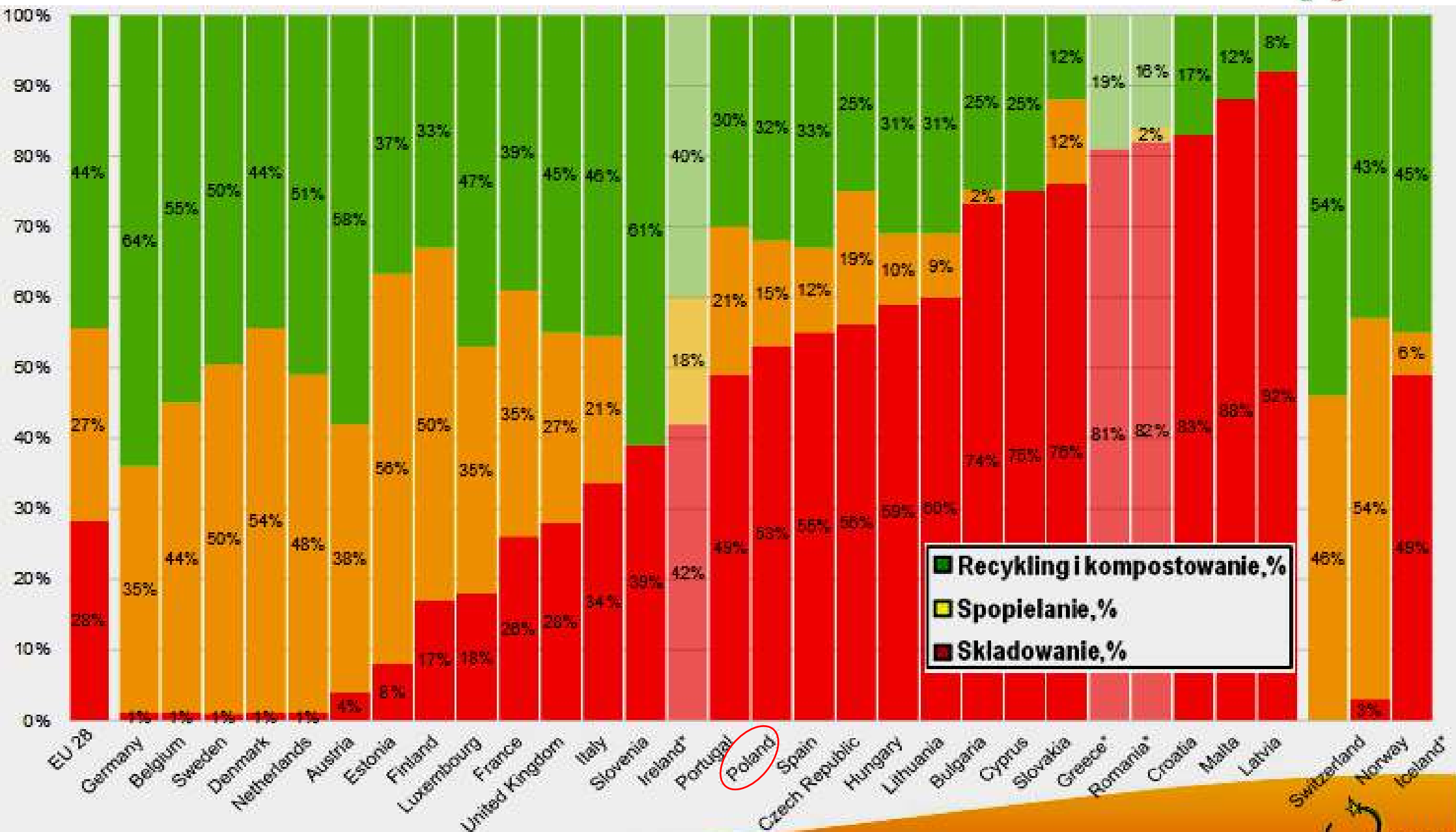
(wg A. Strupczewski, NCBJ, 2016)

Polska – benchmarking 2015 /wskaźnik zrównoważenia energetycznego/

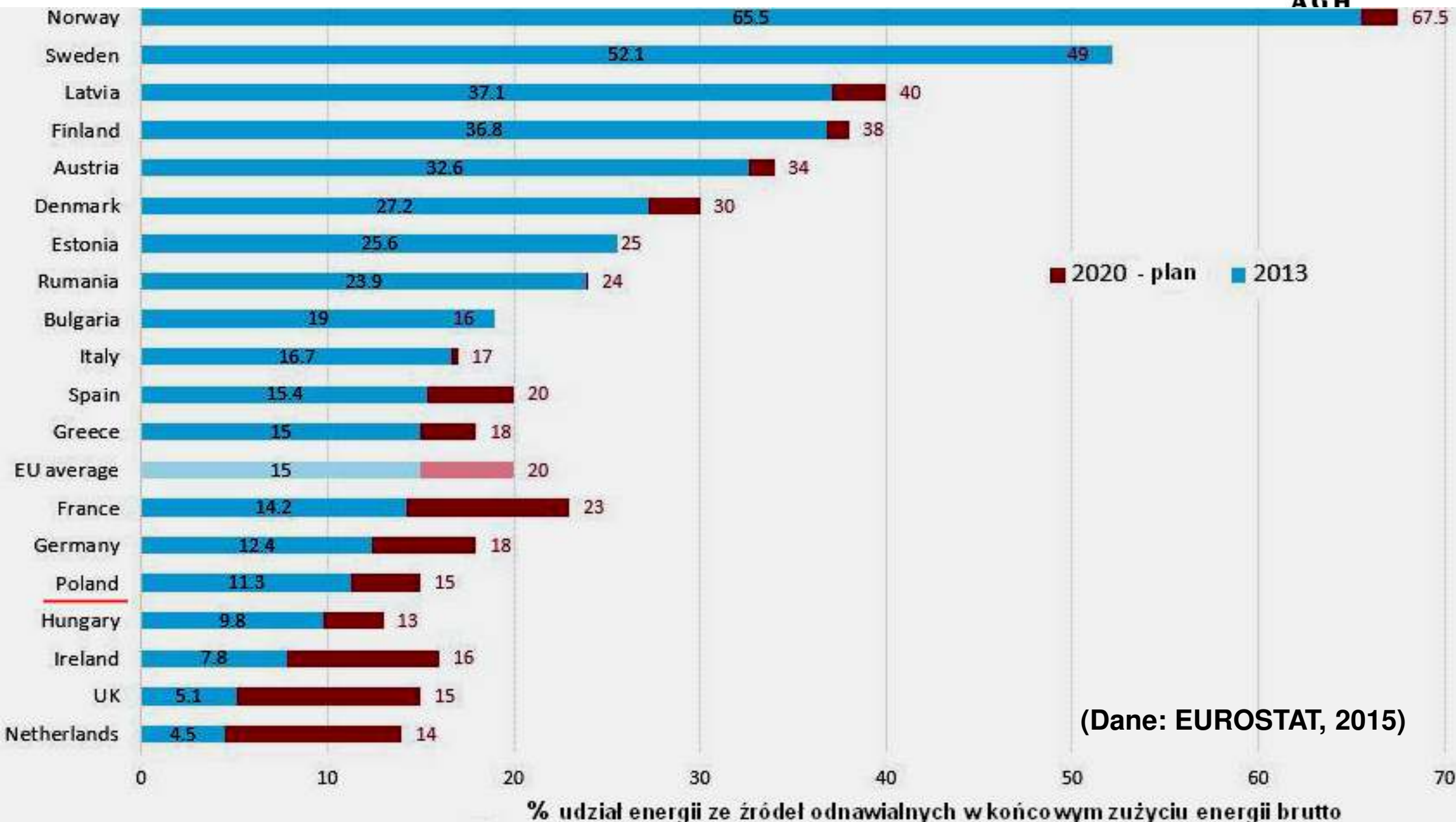
(Dane: EUROSTAT, 2015)

Index	Country	Balance score	Energy security	Energy equity	Environmental sustainability
1	Switzerland	AAA	9.30	9.68	10.00
2	Sweden	AAA	8.83	8.75	9.37
3	Norway	AAB	7.51	8.68	9.61
4	United Kingdom	AAB	9.76	7.75	8.44
5	Austria	AAB	6.66	9.37	9.22
6	Denmark	AAB	9.92	5.65	9.14
7	Canada	AAC	10.00	9.92	4.57
8	France	AAB	6.89	9.06	9.06
9	Finland	AAB	8.29	8.83	6.12
10	New Zealand	ABB	7.82	7.36	6.43
11	Netherlands	BBB	7.67	7.28	6.51
12	United States	AAC	9.84	10.00	2.71
13	Germany	BBB	8.13	6.51	6.66
14	Uruguay	AAB	8.68	6.66	9.76
15	Spain	AAB	5.81	8.29	8.21
36	Czech Republic	ABC	8.37	7.67	2.48
37	Brazil	ABC	6.74	4.03	8.75
38	United Arab Emirates	ABD	6.43	9.61	2.09
39	Latvia	ABC	3.56	6.58	8.60
40	Peru	ABC	7.98	3.56	7.28
41	Mauritius	ABD	1.86	6.27	9.45
42	Gabon	AAC	9.45	2.63	9.30
43	Chile	BBC	5.65	6.12	3.79
44	Croatia	BBC	4.10	6.89	7.51
45	Poland	BBD	7.59	7.59	2.01

Zagospodarowanie odpadów komunalnych w UE (2014r.)



Bilans wykorzystania źródeł odnawialnych



(Dane: EUROSTAT, 2015)

Dylematy energetyki wiatrowej...

Prąd z farm wiatrowych przesyłany jest do odbiorców energii elektrycznej przez sieci o długości setek kilometrów. Według niemieckiej agencji DENA, na zbudowanie **2240 km sieci dla energetyki odnawialnej, Niemcy muszą wydać 13 mld euro.**

Sieć energetyczna łącząca wiatraki na Morzu Północnym oraz elektrownie wodne i solarne na kontynencie mają umożliwiać przesyłanie *ekologicznej energii* do krajów UE, wyrównując wahania wynikające ze zmian pogody. **Łączny koszt sieci wyniesie blisko 30 mld euro !**

Fakt, iż w danym dniu i godzinie wiatr i słońce wytworzyły np. 50% lub 75% energii elektrycznej zużywanej przez Niemcy nie oznacza, że są one reprezentatywne dla systemu energetycznego pracującego przez cały rok.

Co robić z chwilowym nadmiarem wytwarzanej energii z wiatru lub innych OZE (spadek cen/dopłaty)?



Wiatraki – niepewność produkcji energii

Wlk. Brytania - Lata 2008-2010:

< 2,5% mocy – 8% czasu pracy,

< 1,25% mocy – 3,09% czasu.

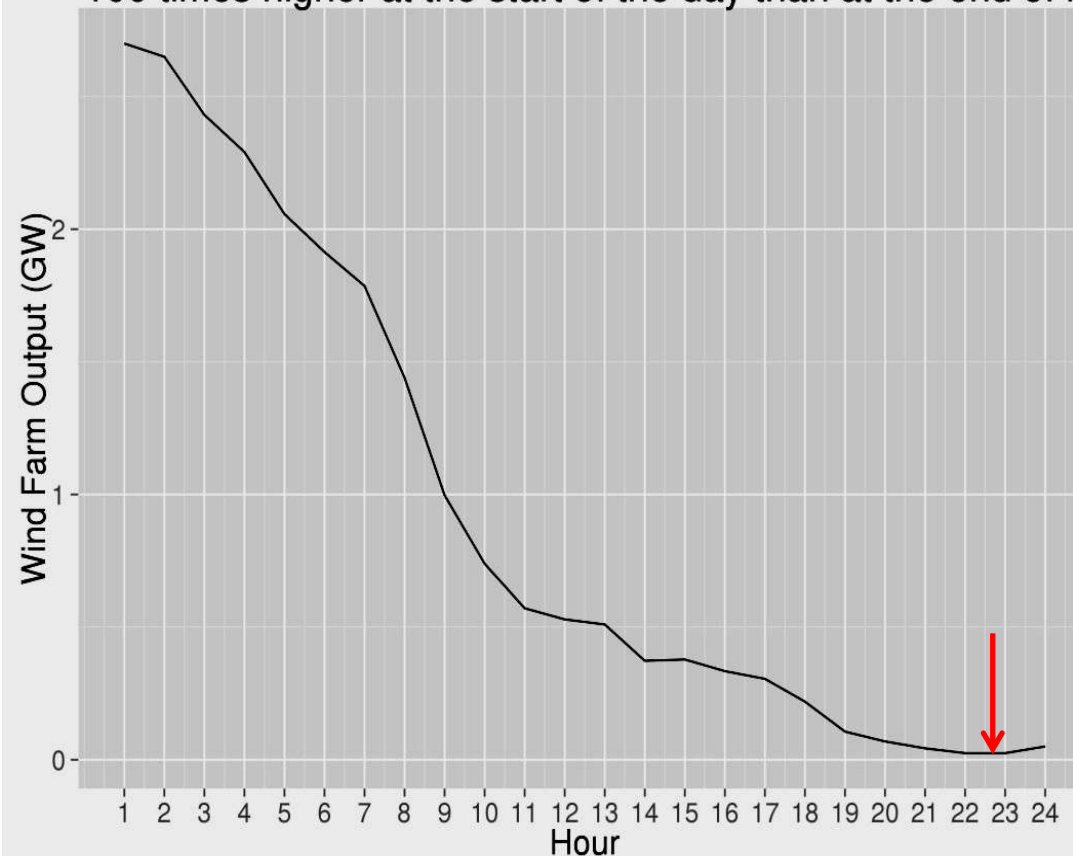
Okresy ciszy: kilka dni do 2 tygodni

Polska – wiatr + el. szczytowo-pompowe:

Przy udziale energii z OZE 18,2%, w tym 50% z wiatru, moc wiatraków średnio wyniesie 1,72 GW.

Przy zupełnej ciszy wiatrowej elektrownie pompowo-szczytowe mogą dać 1,75 GW, ale tylko przez czas 4.5 godz.

On 16th June 2013, Britain's wind farm output was 100 times higher at the start of the day than at the end of it



Kilka pojęć i uwag ...

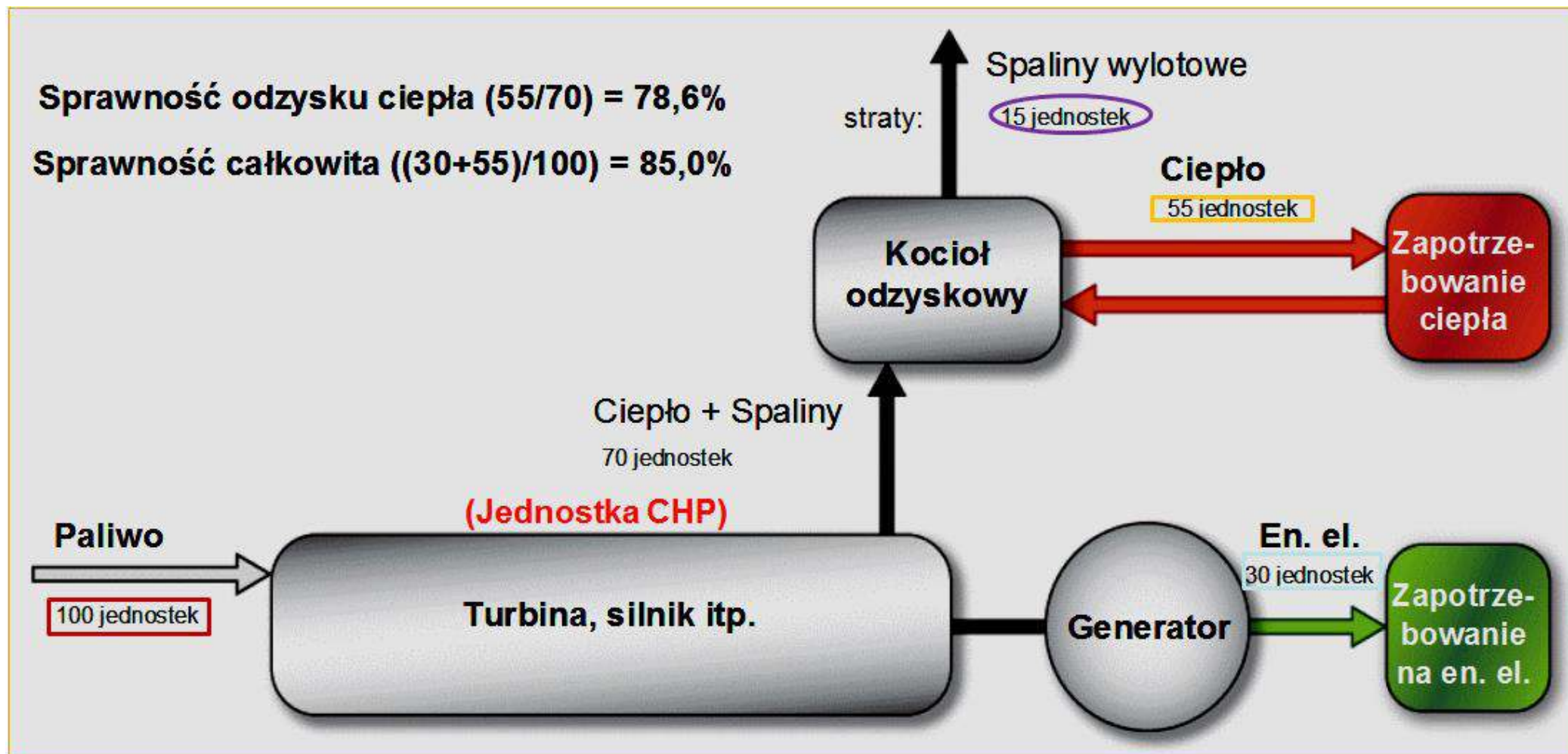
- » **Kogeneracja** – CHP (*Combined Heat & Power*) to skojarzone wytwarzanie ciepła oraz energii elektrycznej w jednej instalacji przy maksymalnym ograniczeniu strat przesyłu i transformacji energii.
- » **Trigeneracja** - CHCP (*Combined Heat, Cooling & Power*) łączy w sobie efektywne wytwarzanie energii elektrycznej, ciepła i chłodu w jednej instalacji.
- » **Poligeneracja** – (*Polygeneration*) to zespół urządzeń oraz procesów konwersji paliw i energii, pozwalający uzyskiwać prócz ciepła, chłodu i energii także nowe produkty (gaz syntezowy, metanol, wodór, inne). Zwykle tego typu system zintegrowany jest z OZE tworząc tzw. *układ hybrydowy*.

Podstawowymi składnikami systemu CHCP są:

- » jednostka kogeneracyjna wytwarzająca jednocześnie ciepło i energię elektryczną (CHP), przy czym ciepło odzyskiwane jest nie tylko ze strumienia spalin,
- » urządzenie do wytwarzania chłodu z ciepła odpadowego (tzw. TDC - thermally driven chiller) – ziębiarki absorpcyjne (Br/Li, NH₃/H₂O) lub adsorpcyjne.

Uwaga: We współpracy z siecią ciepłowniczą układy CCHP tworzą bardzo efektywny system DHC (*District Heating & Cooling*) – patrz wiele stolic w UE.

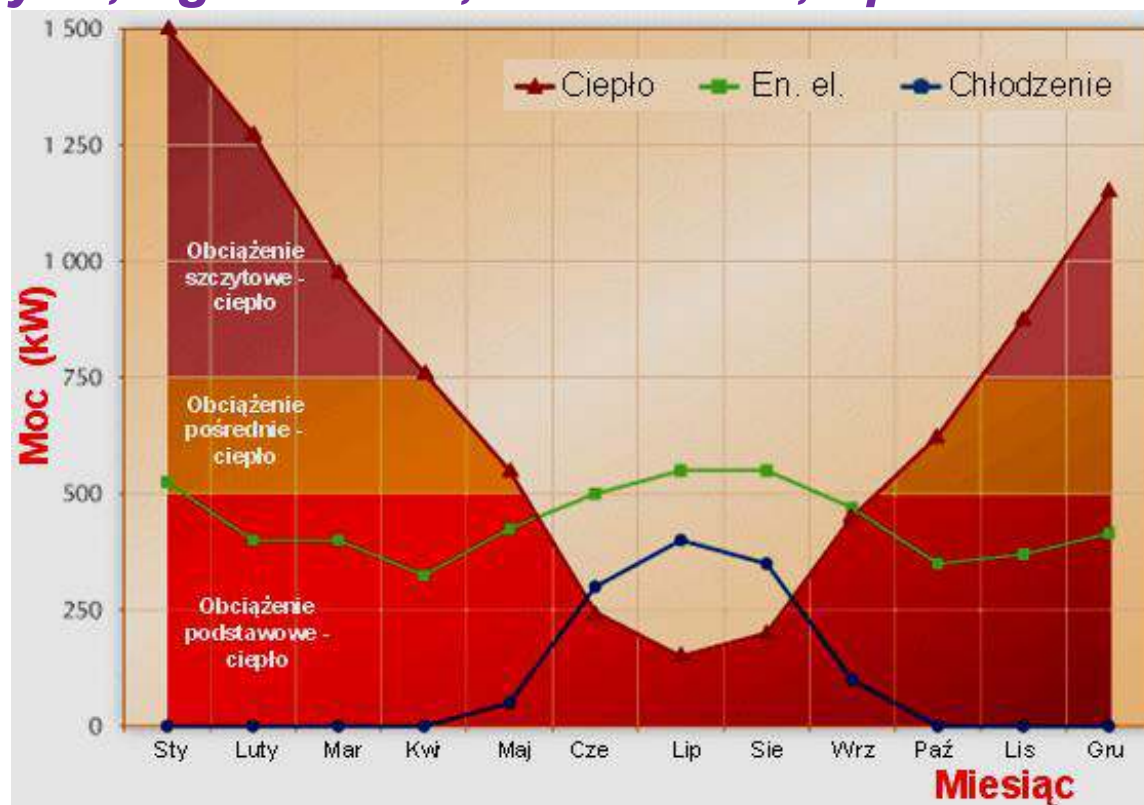
CHP – skojarzona produkcja energii



Układy scentralizowane...

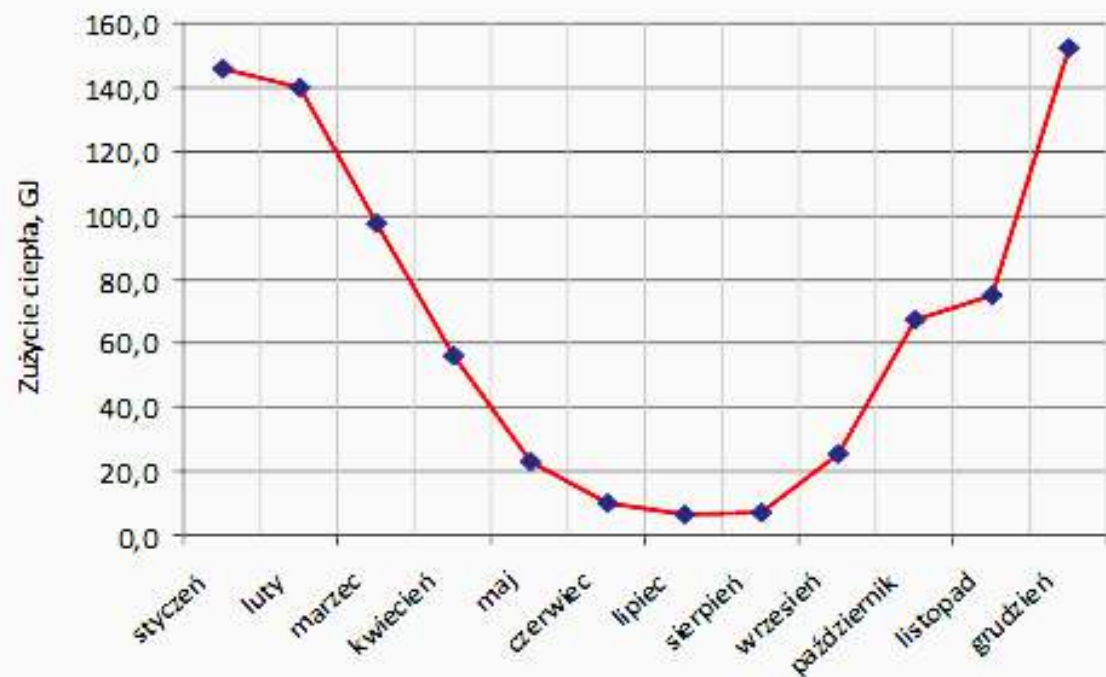
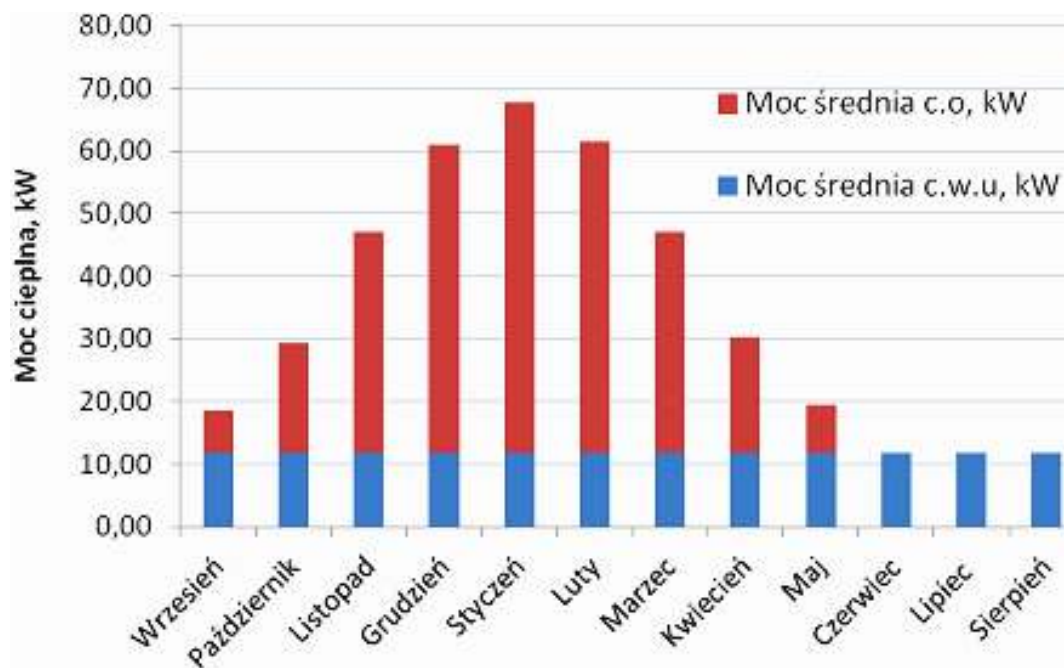
Tradycyjne, scentralizowane systemy energetyczne są nisko efektywne, gdyż 50% do 2/3 energii tracone jest w postaci ciepła, które można byłoby użyć na cele procesów przemysłowych, ogrzewanie, chłodzenie, itp.

- Duże jednostki wytwórcze są kosztowne i potrzebują rozbudowanej infrastruktury.
- Są relatywnie stare i o niskiej sprawności.
- Wymagają sieci przesyłowych (medium grzewcze i prąd elektryczny).
- Wykorzystują paliwa kopalne i emitują dużo szkodliwych związków i pyłów.
- Potrzebują dużych ilości wody (chłodzenie, cele technologiczne).
- Mają jednak wciąż duży potencjał rozwoju (systemy USC, DHC, akumulatory ciepła).



Typowe roczne zapotrzebowanie energii na ogrzewanie, chłód i elektryczność

Roczny wykres zapotrzebowania na ciepło w budynkach na potrzeby centralnego ogrzewania (C.O.) i ciepłej wody (C.W.U.)



Budynek wielorodzinny (ok. 110 mieszkańców):

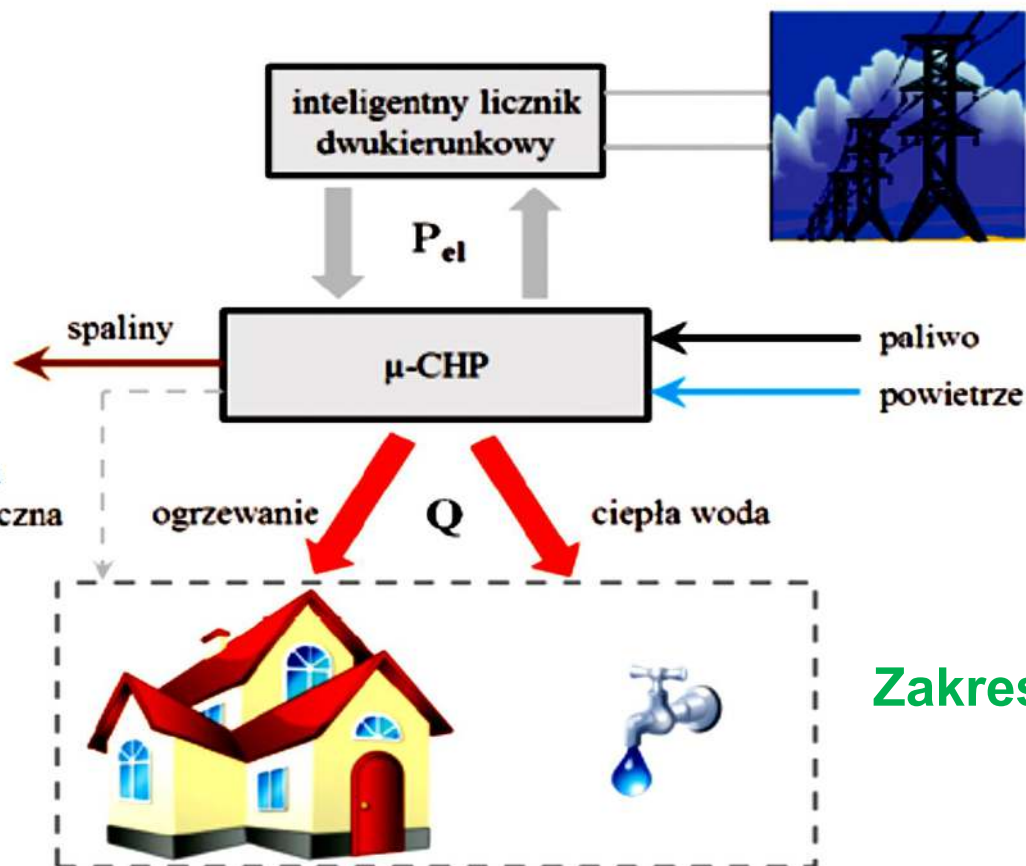
C.O.: max chwilowe zapotrzeb.: 160 kW, średnio: 35 kW; **C.W.U.:** 12 kW. Łącznie ciepło: 1100 GJ/rok (w tym na **C.O.:** 700 GJ).

Biurowiec - moc cieplna:

lato: **C.W.U.** = 8 kW;
zima: **C.O.+C.W.U.** = 145 kW)

(wg: Skorek, *Rynek Energii*, 1/2014)

Lokalne układy μ CHP



Układ μ CHP w strukturze zasilania budynku i sieci przesyłowej (Jewulski J., *Inf. Instal.*, 1/2014)

Układy m/ μ CHP – jednostka mocy:

- *Silnik spalinowy*
- *Mikroturbina gazowa*
- *Ogniwo Paliwowe (FC)*
- *Silnik Stirlinga*
- *Turbina parowa (lub ORC)*
- *Napęd hybrydowy (OZE+ ...)*

Zakres mocy jednostek małej kogeneracji:

Układy mCHP:

moc cieplna: $100 \text{ kW}_{th} \div 5 \text{ MW}_{th}$

moc elektr.: $50 \text{ kW}_e \div 1 \text{ MW}_e$

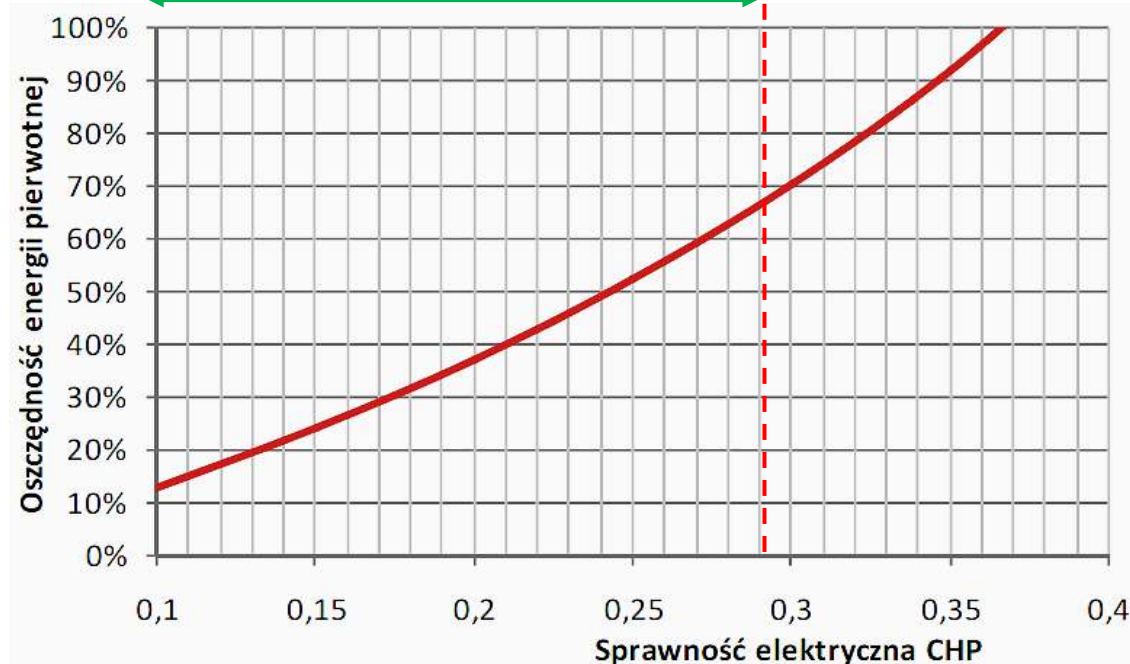
Układy μ CHP:

Moc cieplna: $10 \div 50 \text{ kW}_{th}$

moc el.: $1 \div 10 \text{ kW}_e$;

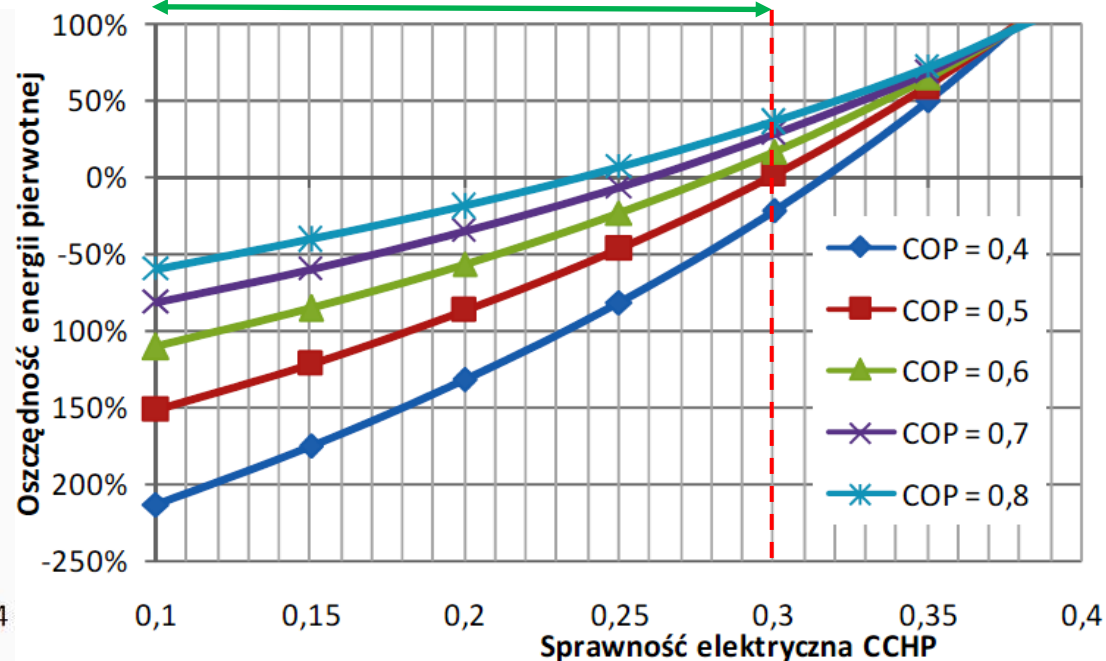
Układy mCHP i μ CHP – wpływ sprawności na oszczędność energii pierwotnej (wskaźnik PES)

Układy μ CCHP



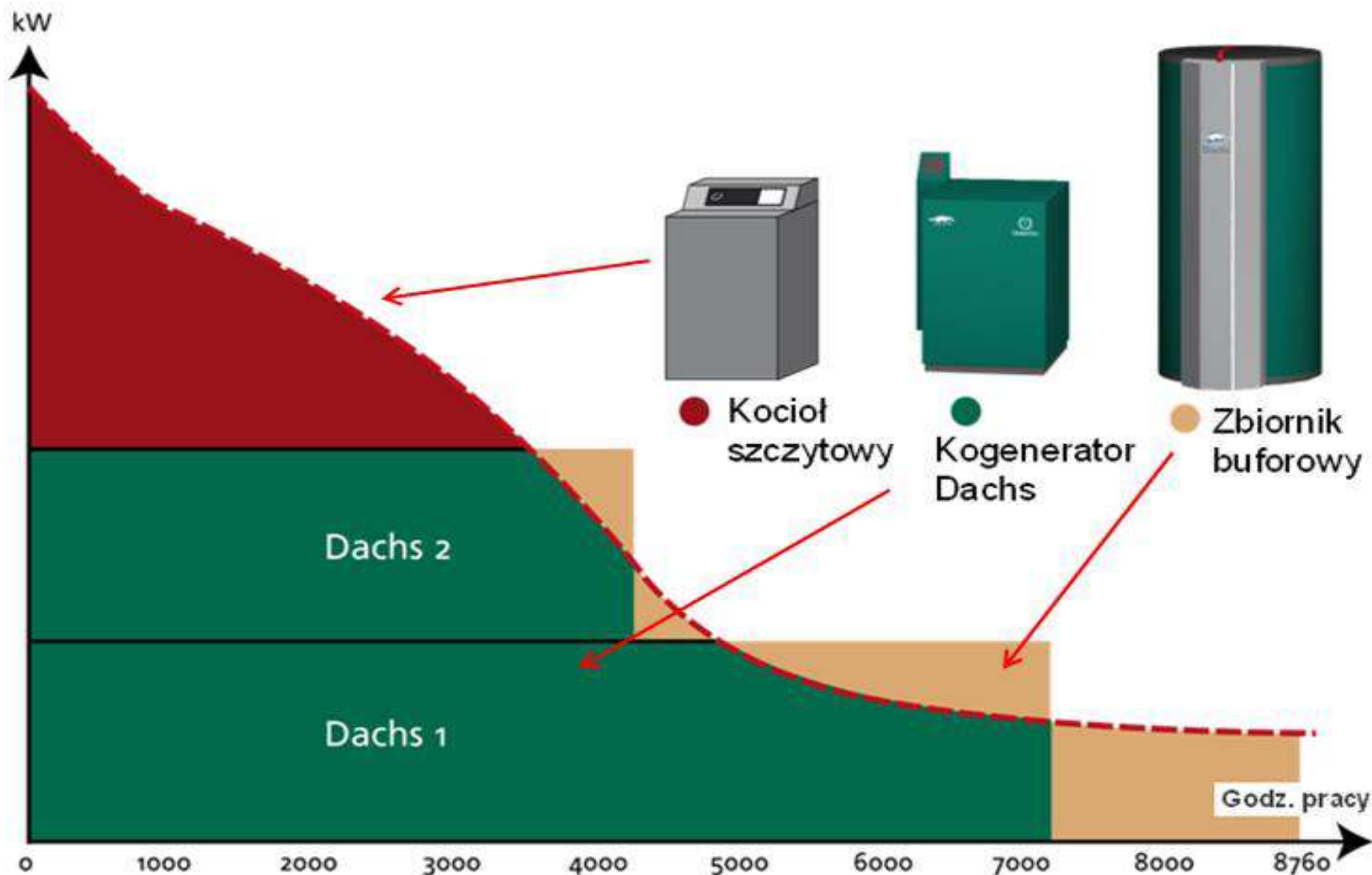
Układy kogeneracji mCHP i μ CHP

Układy μ CCHP

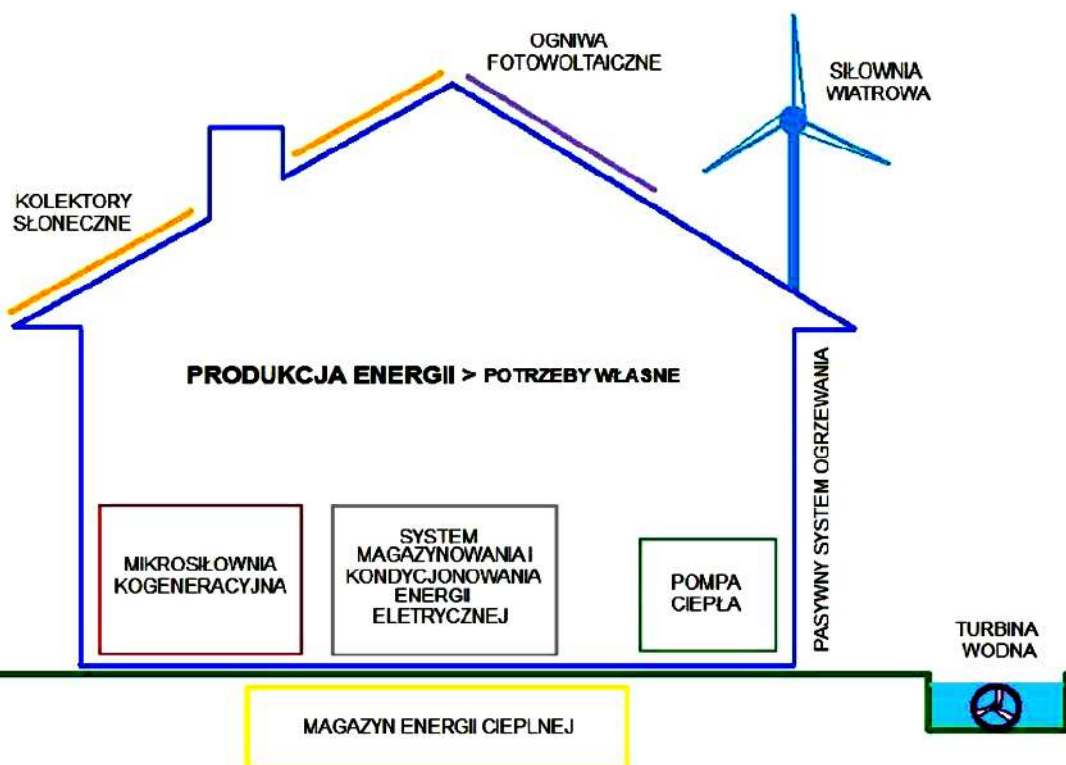


Układy trigeneracji CCHP/ μ CCHP (COP – wsp. efektywności ziębiarki adsorpcyjnej)

Dobór małego systemu kogeneracyjnego w budynku indywidualnym (szeregówka)



Typowe układy hybrydowe



Konfiguracje układu hybrydowego:

- *Siłownia wiatrowa + mCHP*
(siln. spal.+ generator el.+ akumul. prądu)
- *Ogniwa paliw. + mikroturbina gazowa*
(SOFC/GT)
- *Silnik Stirlinga + solary CSP*
(CSP – koncentrator energii słonecznej)
- *Silnik spal. + akumulator energii mech. FES*
(FES - układ kół zamach.)
- *Pompa ciepła + piec CO + zbiornik CWU*
(tylko funkcje C.O. i C.W.U.)
- *Inne* (mCHCP, ORC, CAES, MCFC, ...)

Układ hybrydowy OZE + układ mCHP:

- wytwarza oraz magazynuje ciepło i energię elektryczną na pokrycie lokalnych potrzeb energetycznych praktycznie bez konieczności poboru energii z sieci,
- jednostka wytwórcza może wykorzystywać OZE i inne (np. kogenerator spalinowy),
- przy kilku źródłach OZE kompensuje negatywne efekty zmiennych warunków pracy.

Małe układy kogeneracyjne - Przykłady rozwiązań

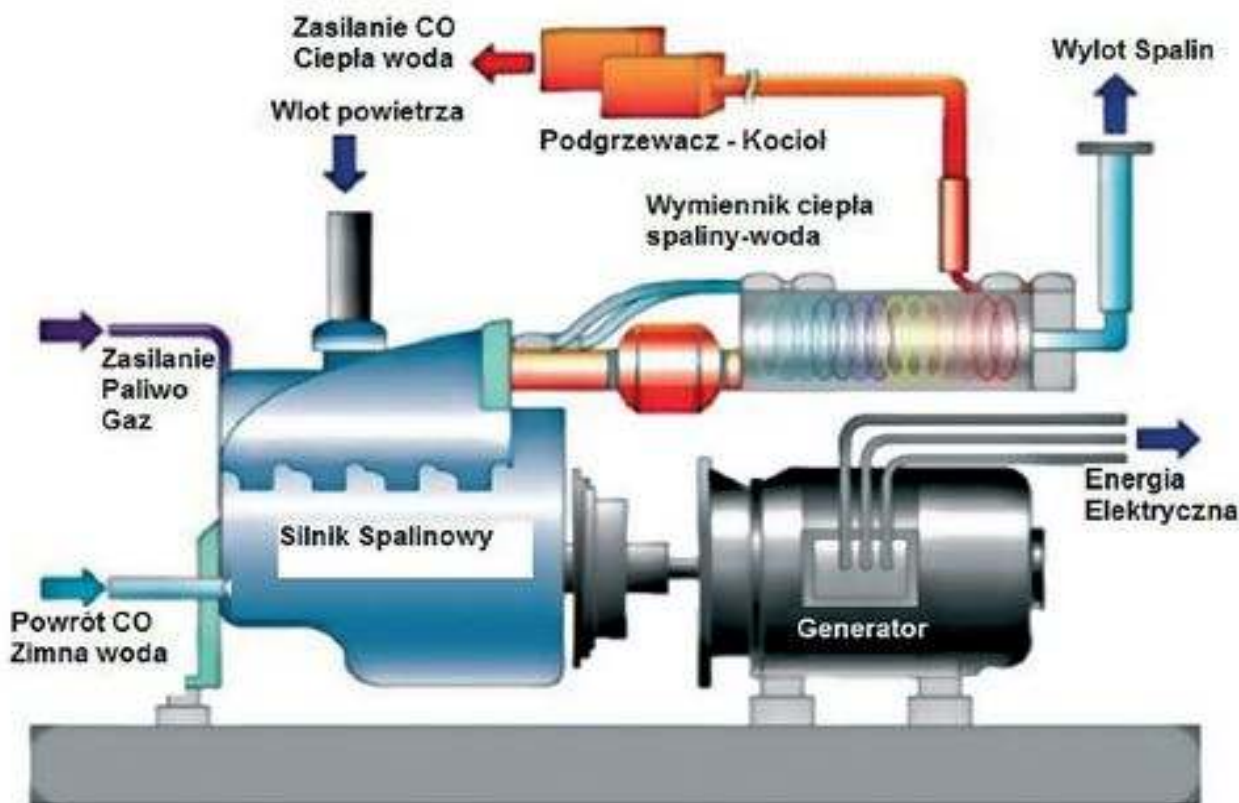
Układy zdecentralizowane

- » Małe i mikro jednostki wytwórcze (1- 500 kW)
- » Przesyłanie czynnika/prądu na małe odległości
- » Mała bezwładność cieplna
- » Duża elastyczność obciążeń
- » Bezobsługowa praca
- » Szybki/automatyczny rozruch
- » Znikomy wpływ na środowisko
- » Modułowość i łatwa rozbudowa
- » Wszechstronność aplikacji
- » Współpraca z układami OZE,...



Laboratorium Układów Kogeneracji (LUK) w Centrum Energetyki AGH

Kogeneracja w oparciu o silnik spalinowy



Schemat silnika i główne elementy układu CHP oraz strumienie energii i masy

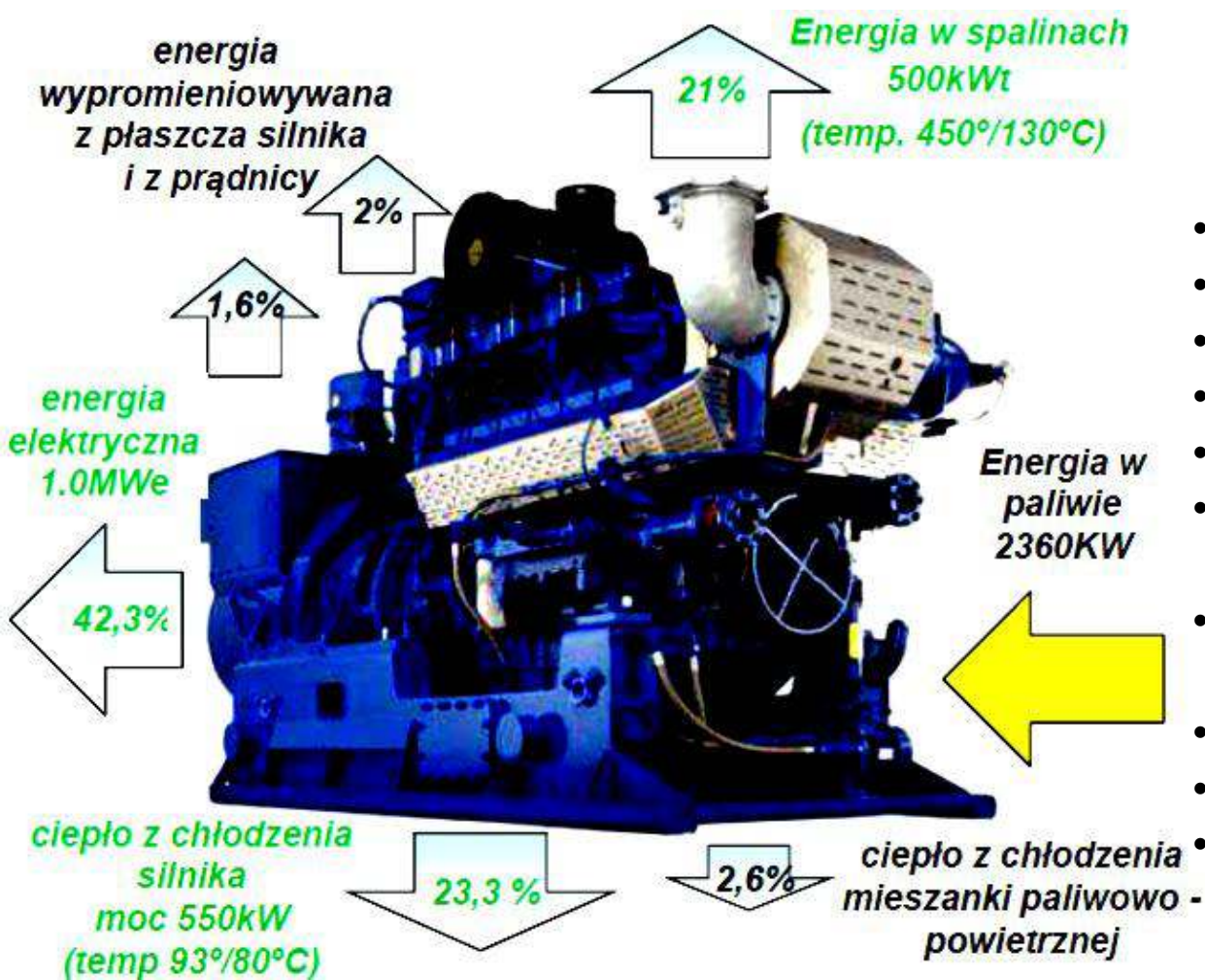
Paliwa:

- Gaz ziemny (GZ)
- Gaz wysypiskowy
- Biogaz/Gaz syntezowy
- Gaz z wentyl. kopalni
- Olej napędowy
- Mazut
- Biodiesel
- Benzyna
- Benzyna syntetyczna

Ciepło pozyskujemy z:

- *wody chłodzącej,*
- *chłodnicy oleju,*
- *spalin wylotowych.*

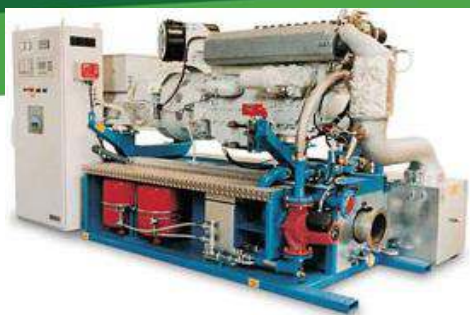
Spalinowy układ kogeneracji



Zalety i zastosowania:

- prosta konstrukcja i niskie koszty
- wysoka sprawność i niezawodność
- różnorodność i dostępność paliw
- duży zakres mocy (5 kW – 15000 kW)
- elastyczność względem obciążeń
- bogata oferta producentów
- wszystkie typy obiektów (szkoły, szpitale, hotele, lotniska, biurowce, domy,...)
- układy mCHP/ μ CHP,
- systemy DHC (+ pompy ciepła, chillery...)
- układy trigeneracji i poligeneracji

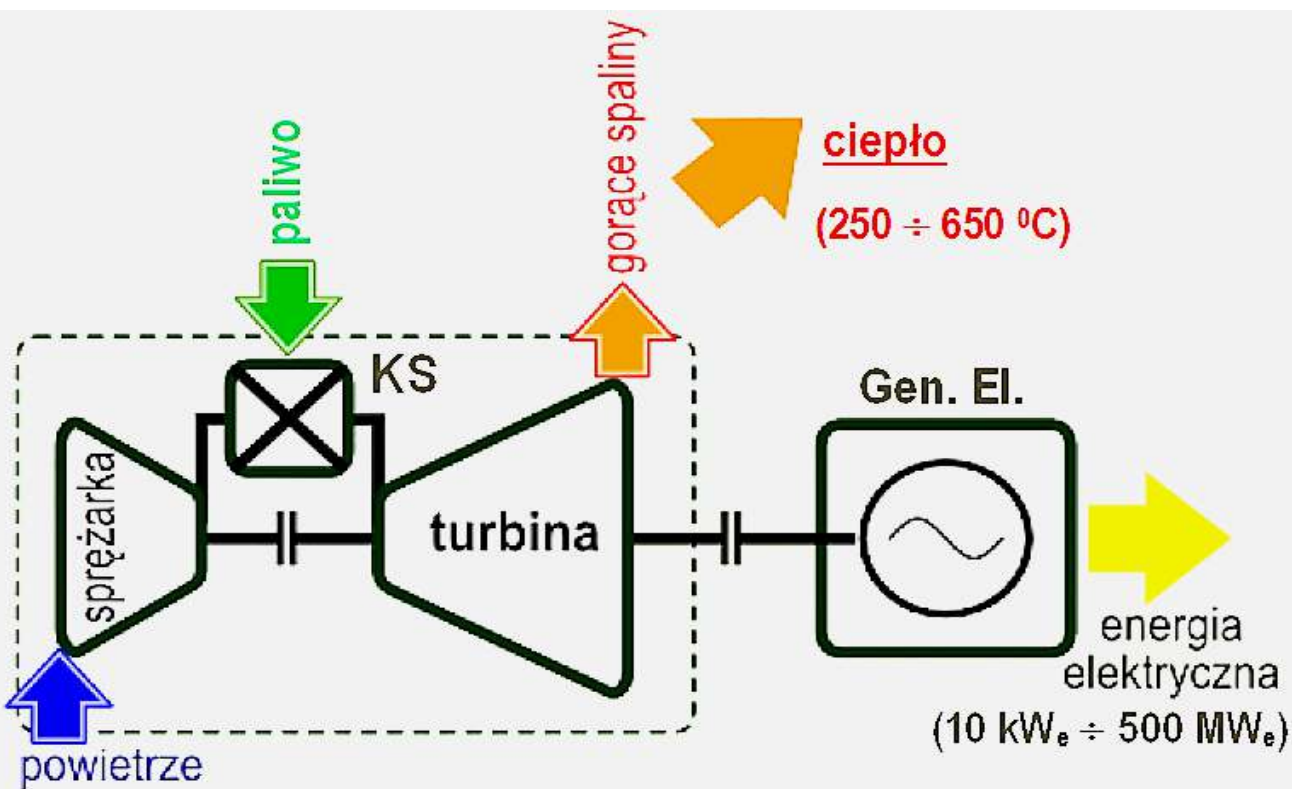
Bilans energii układu z silnikiem spalinowym (1 MW_e)



Układy CHP z silnikami spalinowymi - aplikacje i parametry

Requirements /application	Power range kWe	Fuel	Grade of heat	Heat to power ratio
Domestic dwelling	0.5 -5kW	Natural gas Propane	Space heating 80C	2:1
District or community	30kW-8MW	Natural gas Gas oil Biogas Liquid biofuels	Medium hot water 90-120C Steam heating 170-215C	2:1
Commercial or public building	30-1000kW	Natural gas Gas oil Biogas	Space heating 80C Medium hot water 90-120C	2:1
Hospitals	30kW-5MW	Natural gas	Space heating 80C Medium hot water 90-120C Steam heating 170-215C	2:1
Laboratory	30-1000kW	Natural gas	Space heating 80C	2:1
Waste water treatment	30-500kW	Natural gas Gas oil Biogas	Anaerobic digestion 30-40C Pathogen kill >70C	
Industrial process	>30kW	Natural gas Process by- products	Steam heat 170-215C Hot air drying 300C	3:1 to >10:1

Mikroturbina gazowa w małym układzie kogeneracji



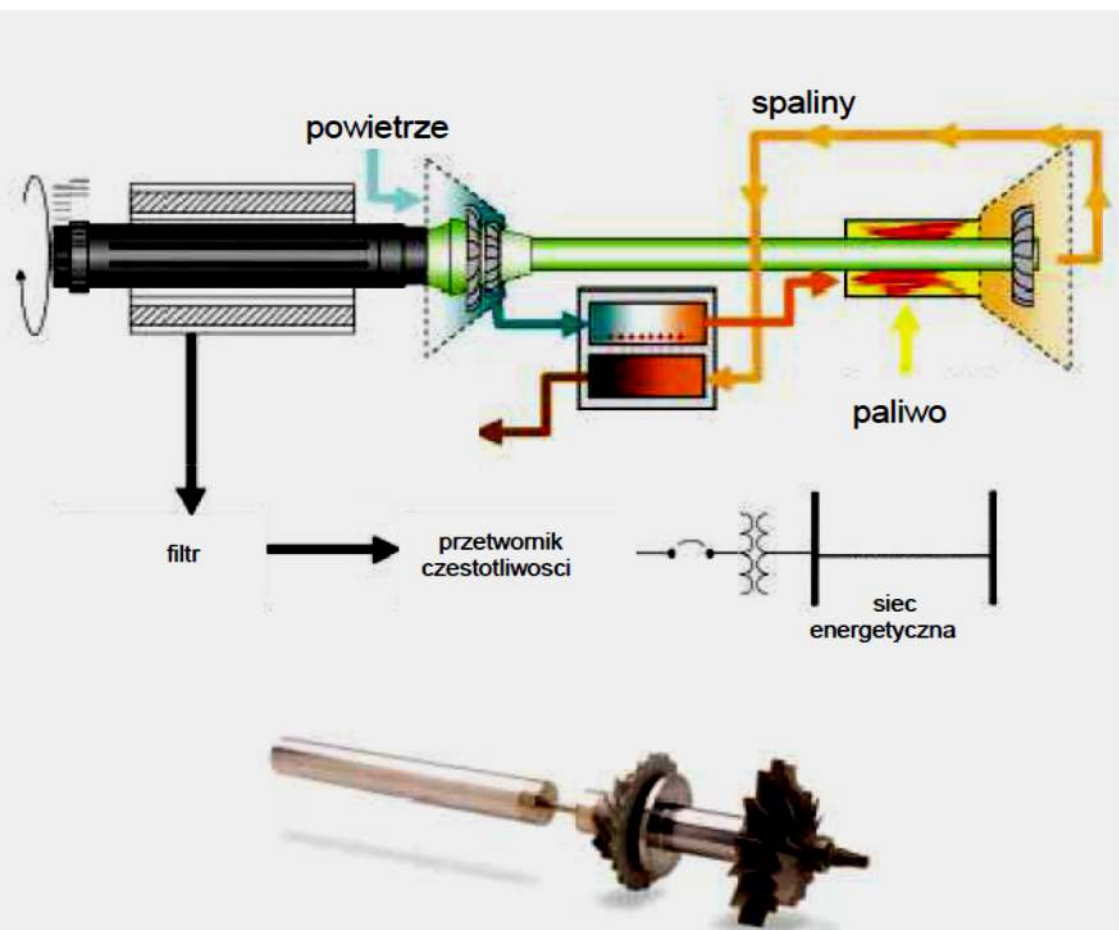
Zakres mocy: $20 \div 300 \text{ kW}_e$
 Sprawność elektryczna:
 $20 \div 28 \%$ (do 42%)
 Wskaźnik skojarzenia (stosunek energii el. do produkcji ciepła):
 $0.4 \div 0.8$



Uproszczony schemat układu turbiny gazowej
 (KS – komora spalania; Gen. El. – generator prądu)

Mikroturbina Wilsona mGT (300 kW_e ; 42%)
 z wewnętrzną rekuperacją ciepła

Mikroturbina gazowa w układzie kogeneracji



Elementy mikroturbiny gazowej oraz przykład konstrukcji

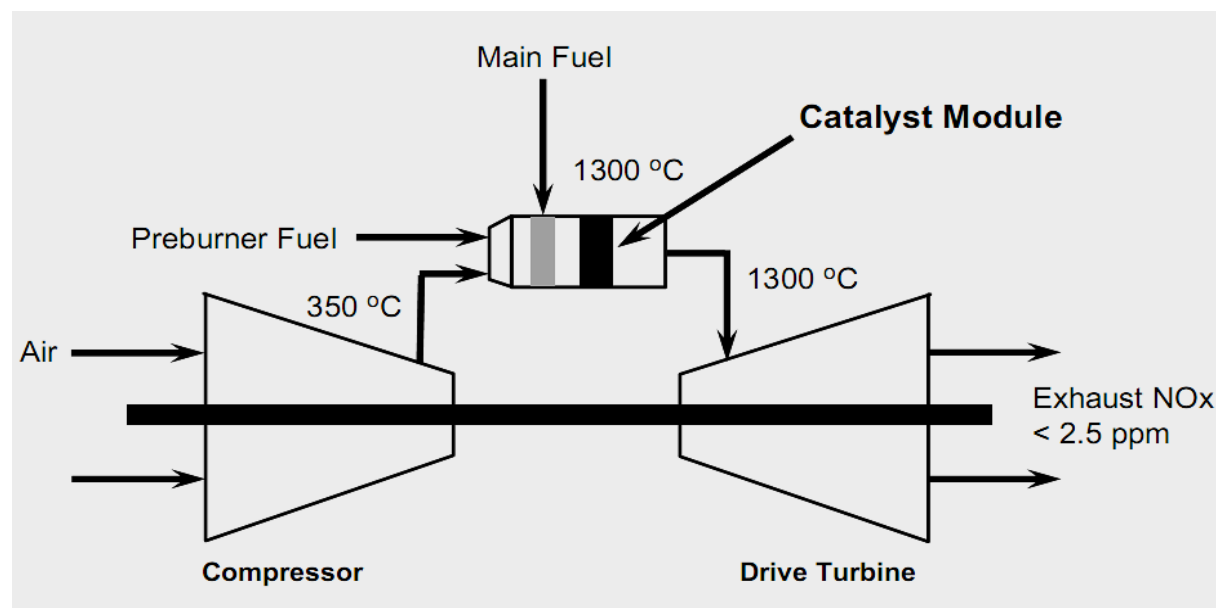
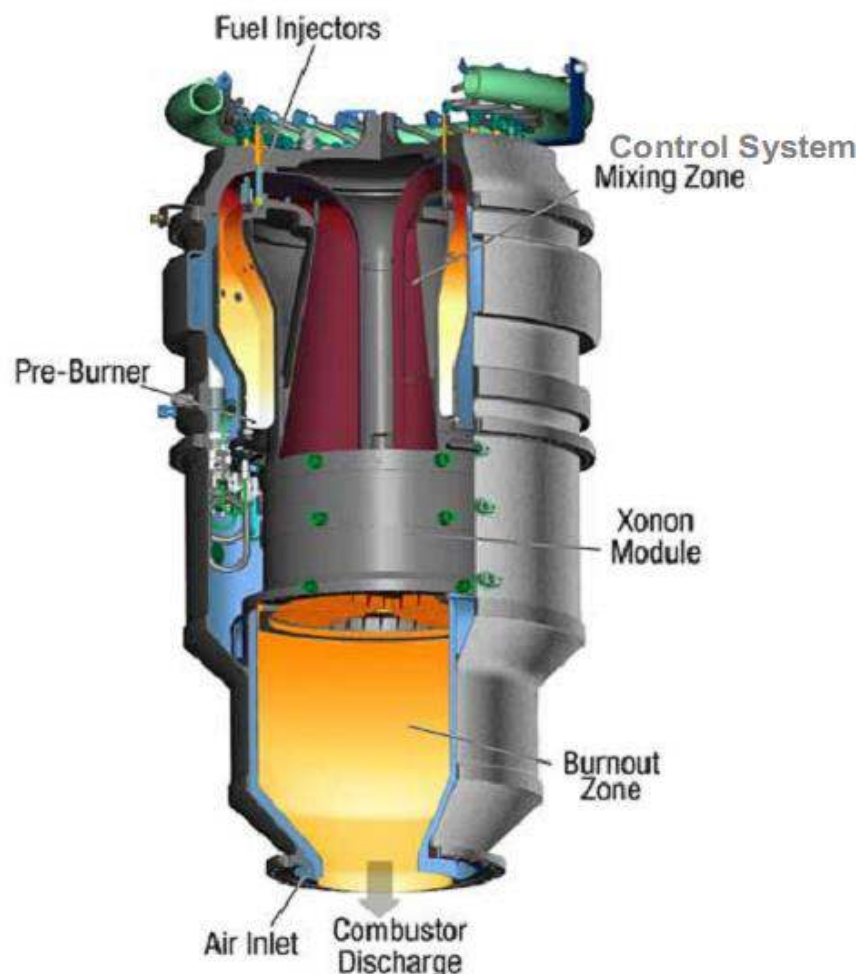
Paliwa: *propan, GZ, lekkie oleje, bioolej, biogaz*; Moc: od 20 kW_e,
Sprawność: *elektryczna*: 15÷35%,
cieplna: 40÷60%; *całkowita*: 60÷90%;
Temperatura odbioru ciepła: 300°C



National Aeronautics and Space Administration
John H. Glenn Research Center at Lewis Field

Turbina Capstone mGT (30 kW_e)

Niskoemisyjna komora TG ze spalaniem katalitycznym („Xonon”, Kawasaki)



Zalety:
zmniejszona emisja NOx (10 ÷ 15 ppm)

Układy mikrokogeneracji z silnikami tłokowymi

Typ	WhisperGen	Ecogen	Aisin	Dachs
Producent	WhisperGen Ltd	Baxi Group	Toyota	Senertec GmbH
Zasada działania	Silnik Sterlinga	Silnik Stirlinga	Silnik tłokowy	Silnik Otto
Maksymalna en. el, kW	1,0	1,0	6,0	5,5
Maksymalna energia cieplna, kW	7,5–14,0	3,5–24	13,5	12,5–20,5
Sprawność elektryczna, %	12	14	26,5%	27%
Sprawność całkowita, %	90	91	85%	88%
Wymiary, m	0,48x0,64x0,56	0,95x0,45x0,43	0,66x1,1x1,5	0,72x1,0x1,07
Waga, kg	150	110	465	530
Poziom hałasu, dB	<55	45	55	52–56

Kogeneracja Senertec Dach z silnikiem Stirlinga



Klasa energetyczna „A”:



Silnik Stirlinga FPSE (EG-1000, Sunpower)



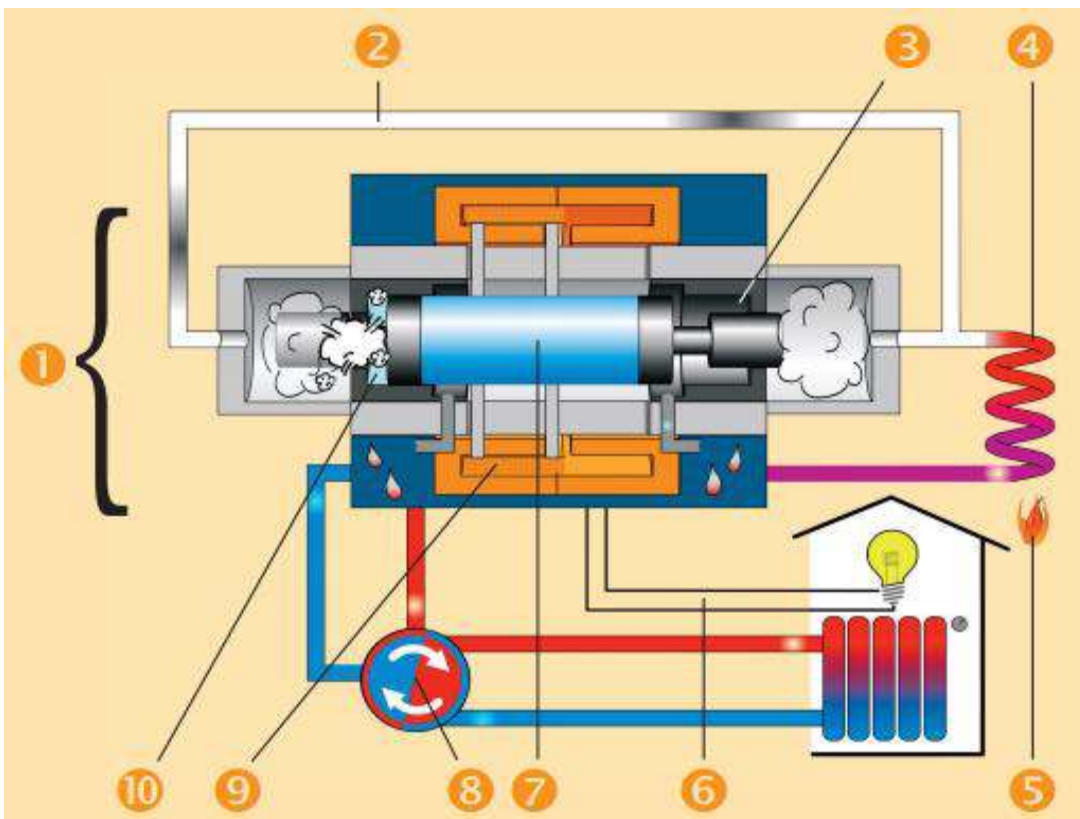
Zbiornik buforowy 530 l

Komora spalania

Silnik Stirlinga typu *beta* (+ liniowy generator elektryczny)

Paliwo: GZ, propan, biogaz
Moc elektryczna: 1 kW_e
Moc cieplna: 3÷5.8 kW_t
Zbiornik wody: 530 l/3 bar
(pobór wody: 20l/min; 45°C)

Układ mCHP z liniowym silnikiem parowym



Oznaczenia:

- 1 – silnik liniowy
- 2 – przewód parowy
- 3 – prawy cylinder
- 4 – parownik
- 5 – palnik
- 6 – przewody elektryczne
- 7 – tłok swobodny
- 8 – wymiennik ciepła
- 9 – rozrząd
- 10 – łącznik

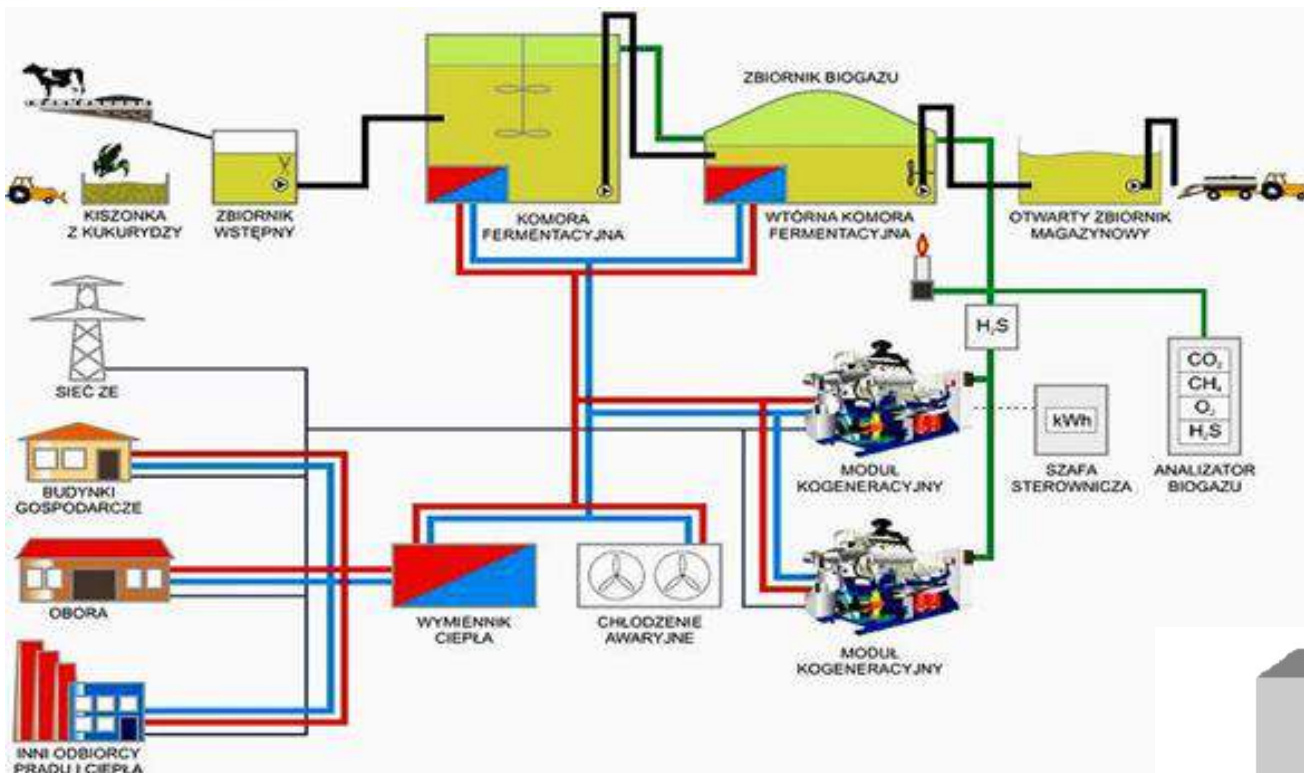
(www.otag.de/animation.htm)

Układ OTAG „Lion”: Moc elektryczna 0,3 - 2,0 kWe

Moc cieplna 3,0 - 16,0 kWth



Pozyskiwanie energii w rolnictwie – Schemat biogazowni



Skład biogazu:

element składowy	stężenie
metan (CH ₄)	50 – 75% obj.
dwutlenek węgla (CO ₂)	25 – 45% obj.
woda (H ₂ O)	2 – 7% obj. (20-40°C)
siarkowodór (H ₂ S)	20 – 20 000 ppm
azot (N ₂)	< 2% obj.
tlen (O ₂)	< 2% obj.
wodór (H ₂)	< 1% obj.

Wykorzystanie biogazu w Polsce (koniec 2015 r.):

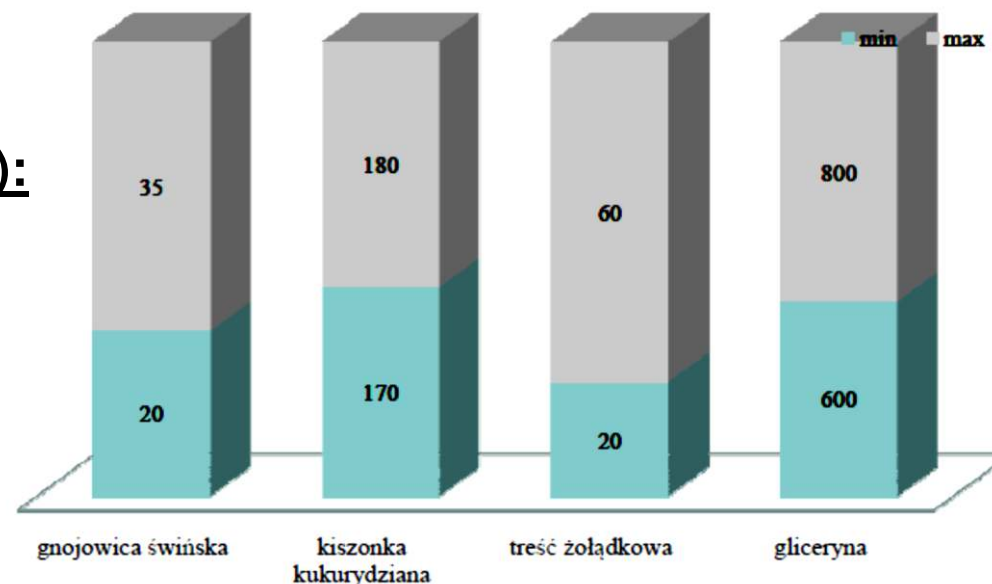
łączna liczba biogazowni wynosiła 281, w tym

- liczba biogazowni rolniczych 81 (93 MW_e)
- biogaz na wysypiskach 98 i oczyszczalniach ścieków 99 oraz wytwarzające gaz mieszany 3

Potencjał energetyczny biogazowni: 213 MW_e

(w Niemczech ponad 6000 biogazowni (2.5 GW_e))

(<http://docplayer.pl/16007286-Polskie-technologie-biogazowe-trendy-i-wyzwania-sylvia-koch-kopyszko.html>)



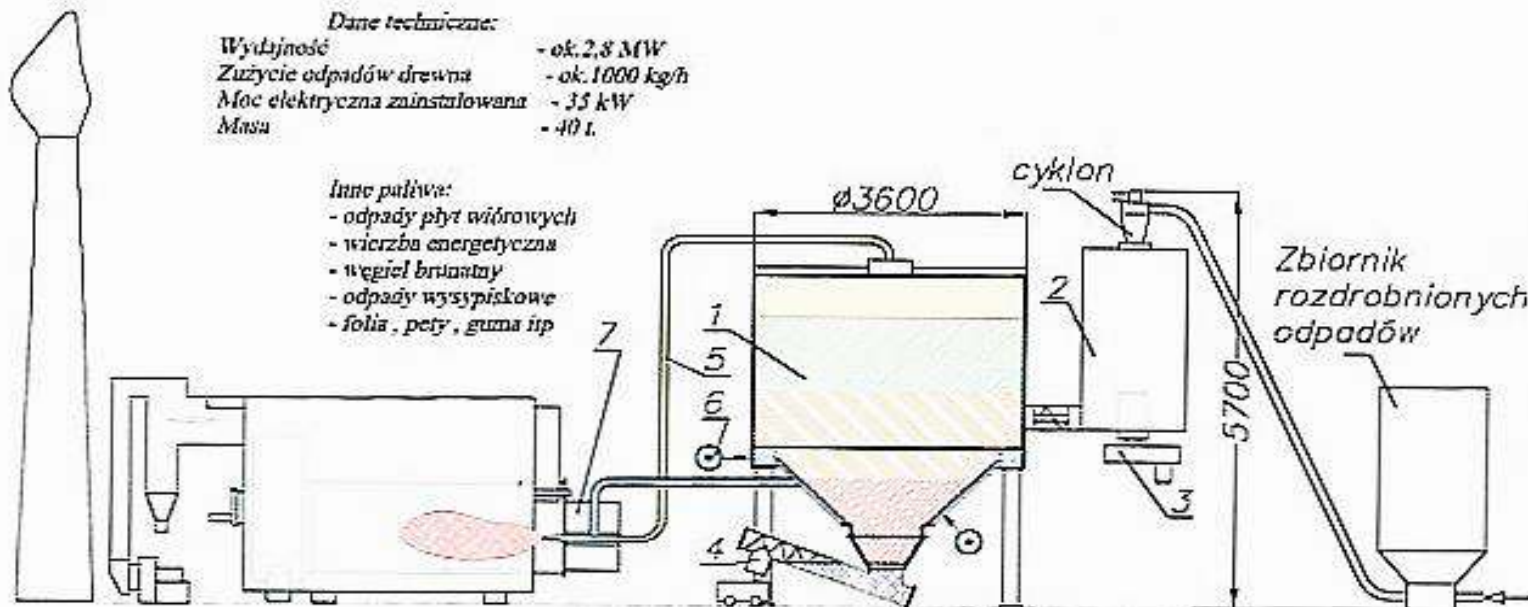
Produkcja biogazu m³ z tony surowca

Zgazowanie pirolityczne biomasy

Zgazowarka pirolityczna typ EKOD - II

Dane techniczne:
 Wydajność - ok. 2,8 MW
 Zużycie odpadów drewna - ok. 1000 kg/h
 Moc elektryczna zainstalowana - 35 kW
 Masa - 40 t.

Inne paliwa:
 - odpady płyt wiórowych
 - wierzba energetyczna
 - węgiel brunatny
 - odpady wysypiskowe
 - folia, peły, guma itp.

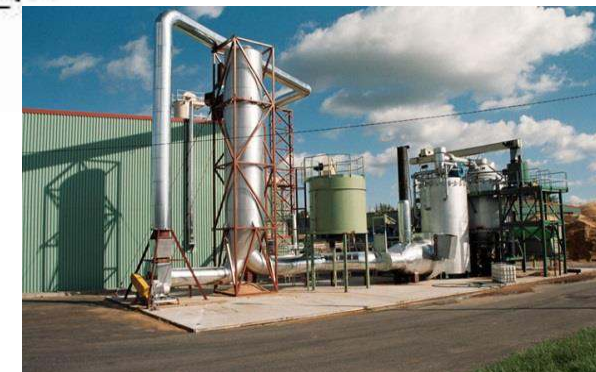


1. Generator gazu 2. Zasobnik 3. Zespół napędowy 4. Zespół usuwania popiołu
 5. Rurociąg 6. Instalacja powietrza 7. Zespół palnika i komory



Zgazowarka pirolityczna firmy ZAMER S.K.

(www.zamer.com.pl/main.php?fid=359&pg=10&id_lang=0)



Zalety układów mCHP

- » **Możliwość wykorzystania różnych paliw (w tym biopaliw)**
- » **Redukcja mocy układów pomocniczych**
- » **Możliwość pracy jako „wyspa energetyczna” lub część systemu**
- » **Modułowość i współpraca z innymi układami**
- » **Praca bezobsługowa i wysoka niezawodność**
- » **Redukcja emisji pyłów i gazów (w tym CO₂)**



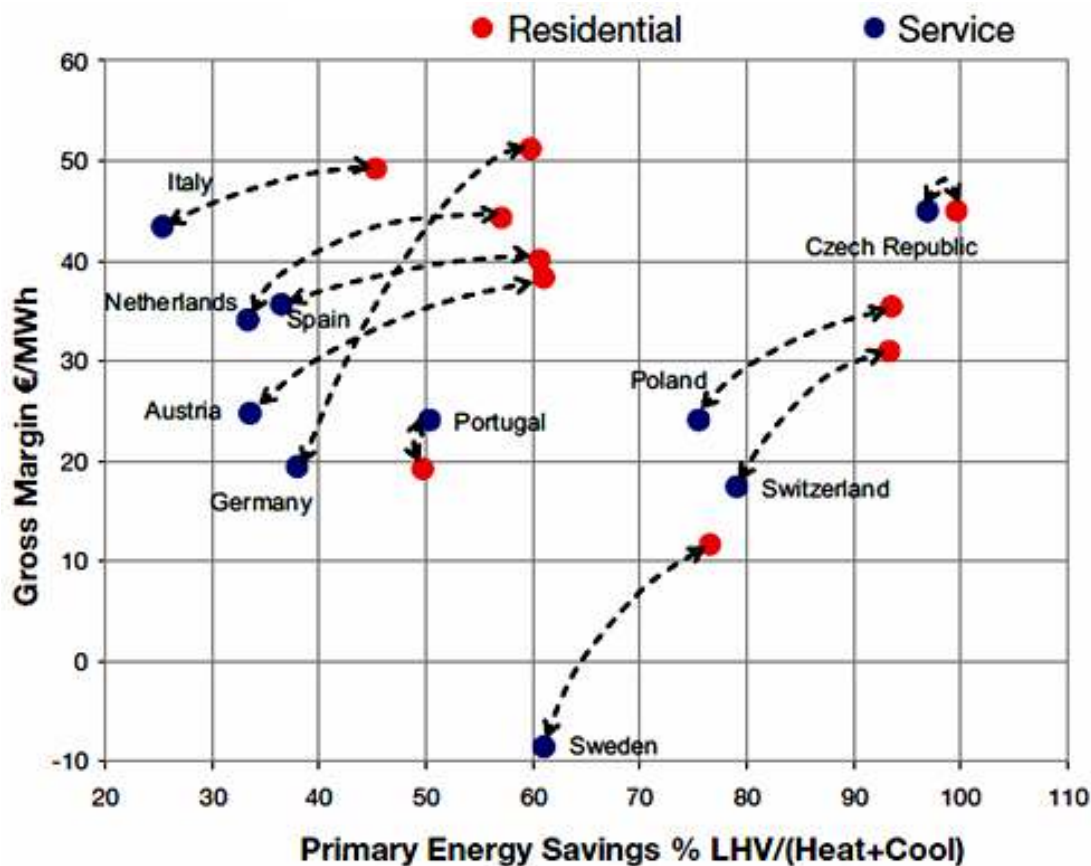
Zalety, c.d.

- » **Możliwość łatwego wpięcia do sieci gazowej i ciepłej**
- » **Wysoka sprawność również poza sezonem grzewczym**
- » **Małe rozmiary – Możliwość instalacji w węzłach cieplnych**

Problemy ...

- » **Problemy dystrybucji/odsprzedaży energii elektrycznej**
- » **Mała popularność w Polsce (wysokie koszty zakupu urządzeń)**
- » **Potrzeba budowy zbiorników paliwa (gdy brak instalacji gazowej)**

Potencjał technologii małych układów trigeneracji w UE



Potencjał wykorzystania technologii mCCHP w kilku krajach europejskich

(wg: *Combined Heating, Cooling and Power Generation in the Small Capacity Range*, Polysmart, www.qualenergia.it/UserFiles/Files/PolySMART_brochure.pdf)

	Italy	Spain	Poland	Germany
Sector	hotels	residential	hospitals	offices
Evaluated applications	3 and 4 star 25, 50, 100 rooms 5 locations	1-family house high & low insulation, 4 locations	200, 500, 800 beds 1 locations	2000, 4000, 8000, 16000 m ² 1 location
Best application	North - business 50 rooms (3-4 star)	Madrid climate multi-family house, low insulation	50-200 beds all locations	8000 m ² less insulated higher electrical loads
PES (%)				
- Max	25-35%	15-25%	20%	20%
- Optimal	10-15%	10-15%	10%	10%
Demand coverage	50-75% heating 50-75% cooling	60-80% heating 20-30% cooling	40% heating 15-20% cooling	25% heating 30% cooling
Best CHCP size	20-50 kW _e 30-80 kW _t 15-35 kW _c	20-50 kW _e 30-80 kW _t 15-35 kW _c	20-50 kW _e 30-80 kW _t 15-35 kW _c	15 kW _e 30 kW _t 15 kW _c
Financials				
- BAU scenario	reasonable	poor	neutral	neutral
- Political support	good	neutral	reasonable	reasonable

Magazynowanie energii



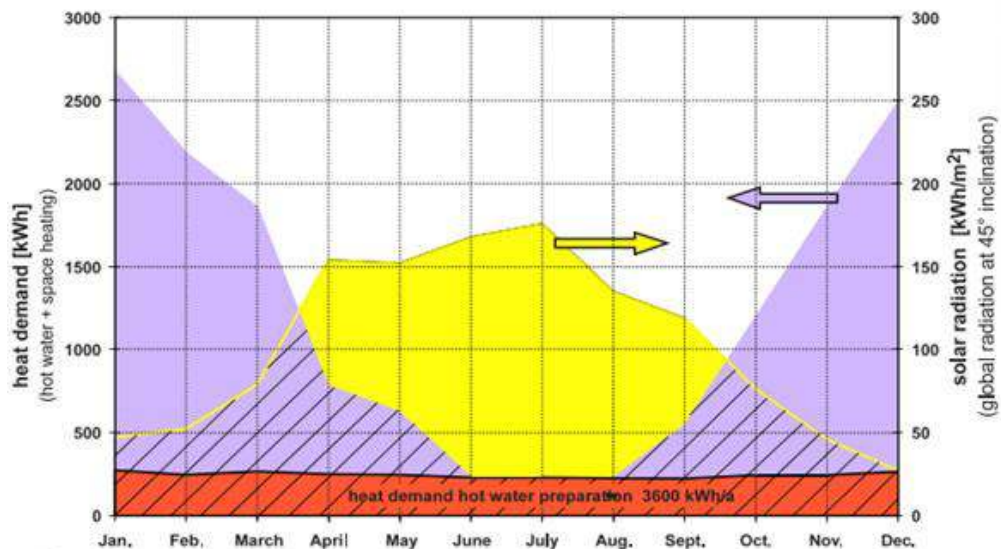
» ***Powody uzasadniające magazynowania energii w postaci ciepła lub chłodu, bądź energii elektrycznej:***

- Dostarczanie energii jest w wielu przypadkach nieciągłe i niedopasowane do podaży/popytu (np. OZE - energia solarna, wiatru).
- Zwiększanie efektywności wykorzystania energii powinno być elementem jej dystrybucji oraz możliwości wykorzystania w przyszłości.
- Ulepszone materiały oparte np. o nano-technologię promują bardziej zaawansowane rozwiązania i obszary wykorzystania energii.
- Wiążą się one z wykorzystaniem OZE i redukcją energii z paliw kopalnych.
- Zmniejszają emisje do atmosfery i inne oddziaływania na środowisko (wykorzystanie wydajnych systemów oraz substancji innych niż woda).

Magazynowanie energii - opcje

- » Zasadniczo magazynujemy nie bezpośrednio energię lecz „egzerię”, tj. dostępną użytecznie część energii w stosunku do otoczenia. Tym samym zmagazynować można egzerię w postaci:
 - **chemicznej** (np. w baterii czy ogniwie elektrycznym, wytwarzanie syntetycznych paliw: H₂, etanol lub biopaliwa);
 - albo **fizycznej** - inna temperatura i/lub ciśnienie od otoczenia, stan skupienia (np. spiętrzenie wody, sprężony gaz, topnienie/krzepnięcie) lub mechaniczna energia pędu (np. koło zamachowe, sprężyna, itp.).
- » W układach hybrydowych z OZE, zmiany ilości i jakości dostępnej energii (wiatr, słoneczna, pływy) oraz niezgodność w czasie w stosunku do potrzeb (pory doby, sezonowość) wymagają użycia systemów magazynowania energii elektrycznej i ciepła oraz chłodu.
- » Magazynowanie energii - przyszłościowe techniki:
 - CAES (Compressed Air Energy Systems) – duże zbiorniki + turbiny na sprężone powietrze (analogia do elektrowni szczytowo-pompowych lecz na gaz)
 - PCM (Phase Change Materials) – materiały zmienno-fazowe (ciepło zmiany stanu skupienia oraz zasobniki do magazynowania i transportu)

Magazynowanie ciepła



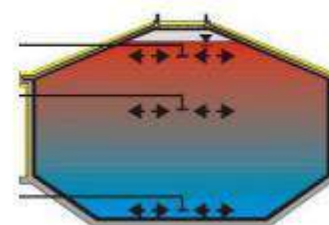
Magazynowanie i uzysk ciepła z energii słonecznej



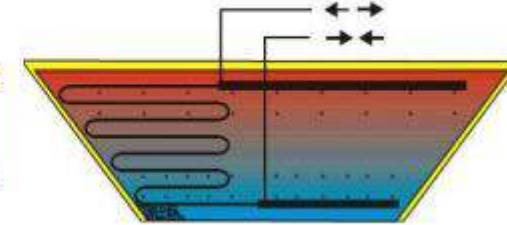
Akumulatory ciepła sieciowego



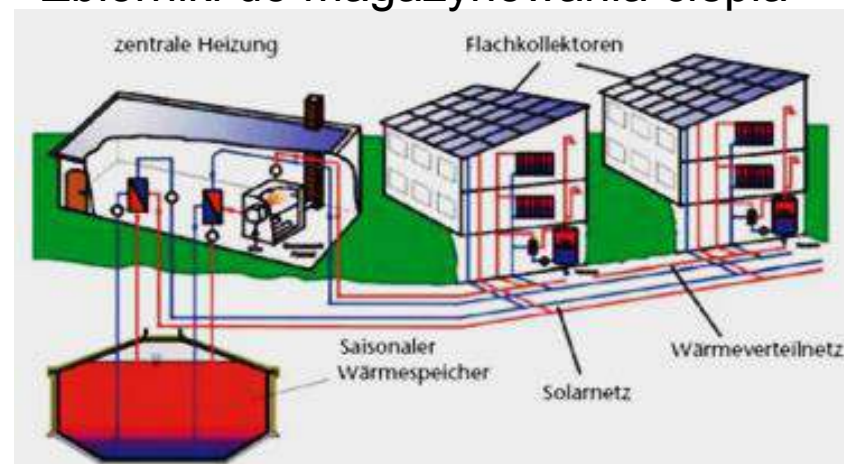
Hot water heat store



Gravel/water heat store

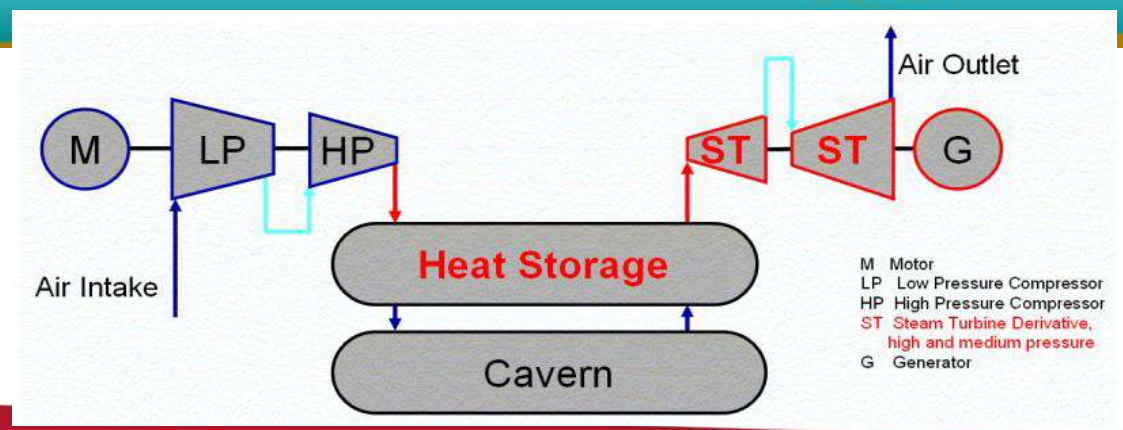
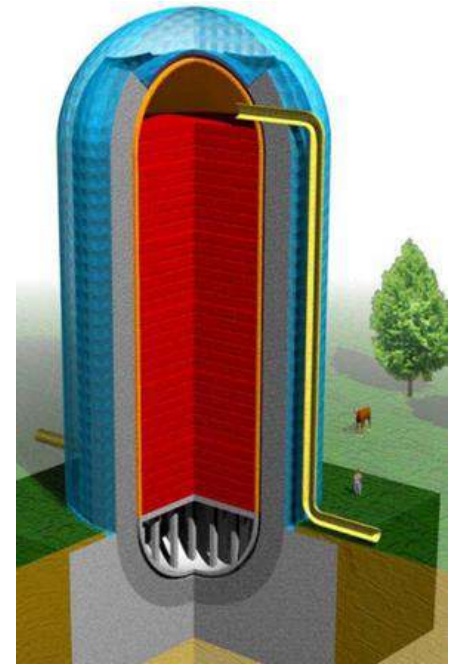
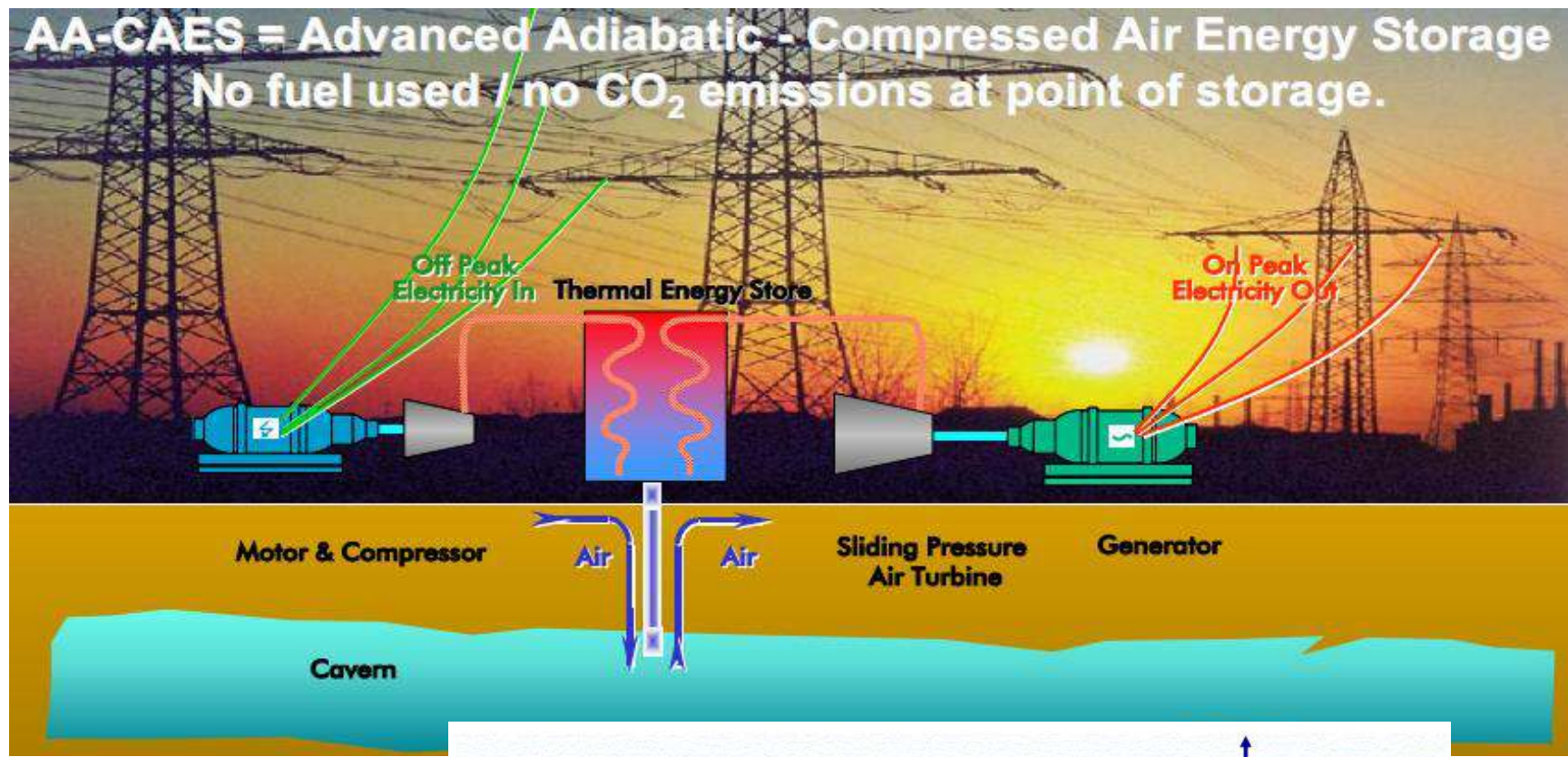


Zbiorniki do magazynowania ciepła



Układ magazynowania ciepła (osiedle)

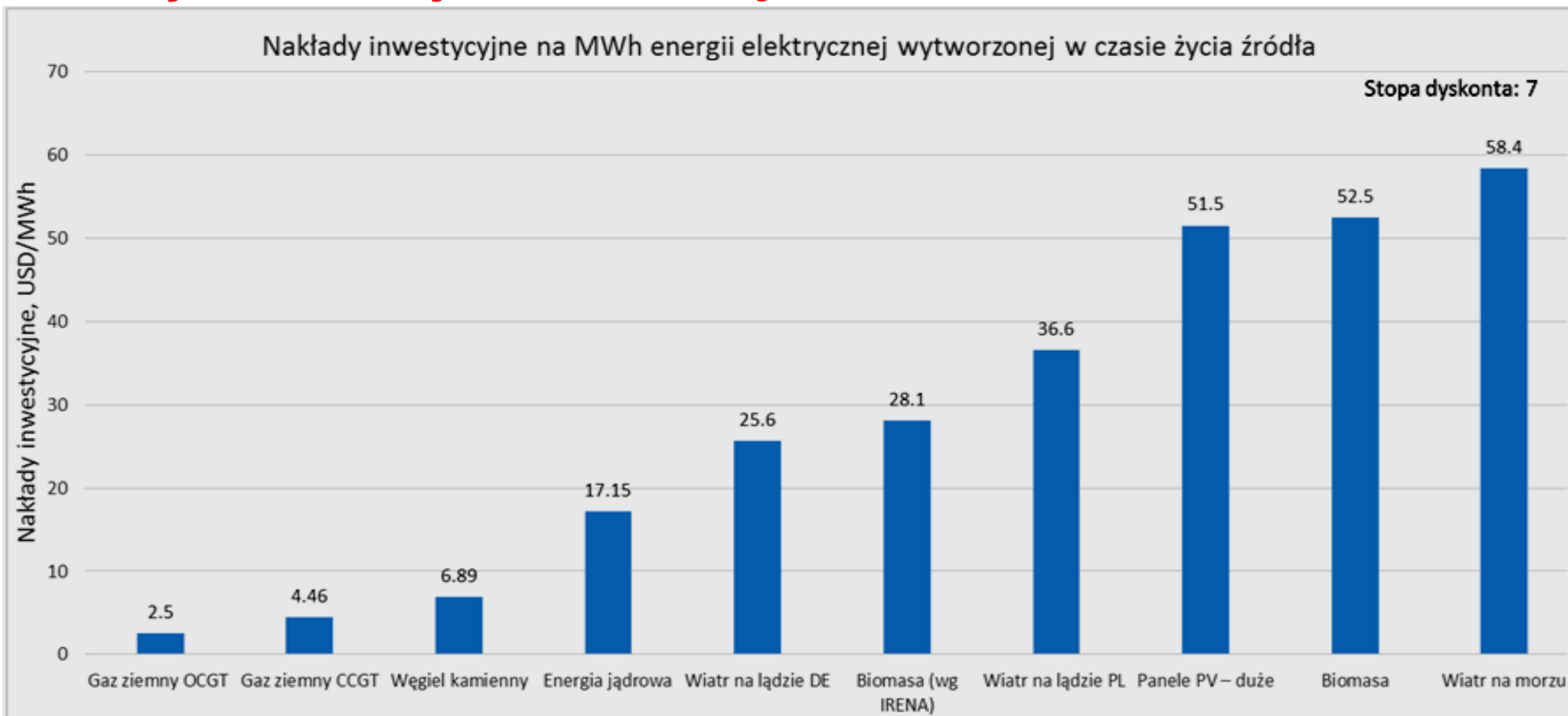
System CAES (Compressed Air Energy Storage)



Walory rozwoju mCHP

- » **Dodatkowe źródło dochodu – produkowana energia elektryczna**
- » **Klastry energetyczne – możliwość wspólnego rozliczania energii**
- » **Środki unijne i krajowe na modernizację systemów oraz urządzeń**
- » **Rozwój i bazy turystyczno-rekreacyjnej oraz nowych usług, ...**
- » **Praktyczna realizacja koncepcji „smart cities & regions”**

Koszty inwestycyjne energii elektrycznej (\$/MWh) wytworzonej w okresie życia źródła



Warianty: Gaz /CHP, CCGT, Węgiel, EI.J., Wiatr/ląd -DE, Biomasa, Wiatr - PL, PV, Biomasa, Wiatr/morze

*Dziękuję
za uwagę !*

*Jan Górski
Łukasz Lis*

(Email: jagorski@agh.edu.pl)