

Niekonwencjonalne i odnawialne źródła energii dla budynków modernizowanych do standardu nZEB

z uwzględnieniem ograniczeń wynikających z zabytkowego charakteru obiektów.

Dr inż. Andrzej Wiszniewski
Politechnika Warszawska
Narodowa Agencja Poszanowania Energii S.A.

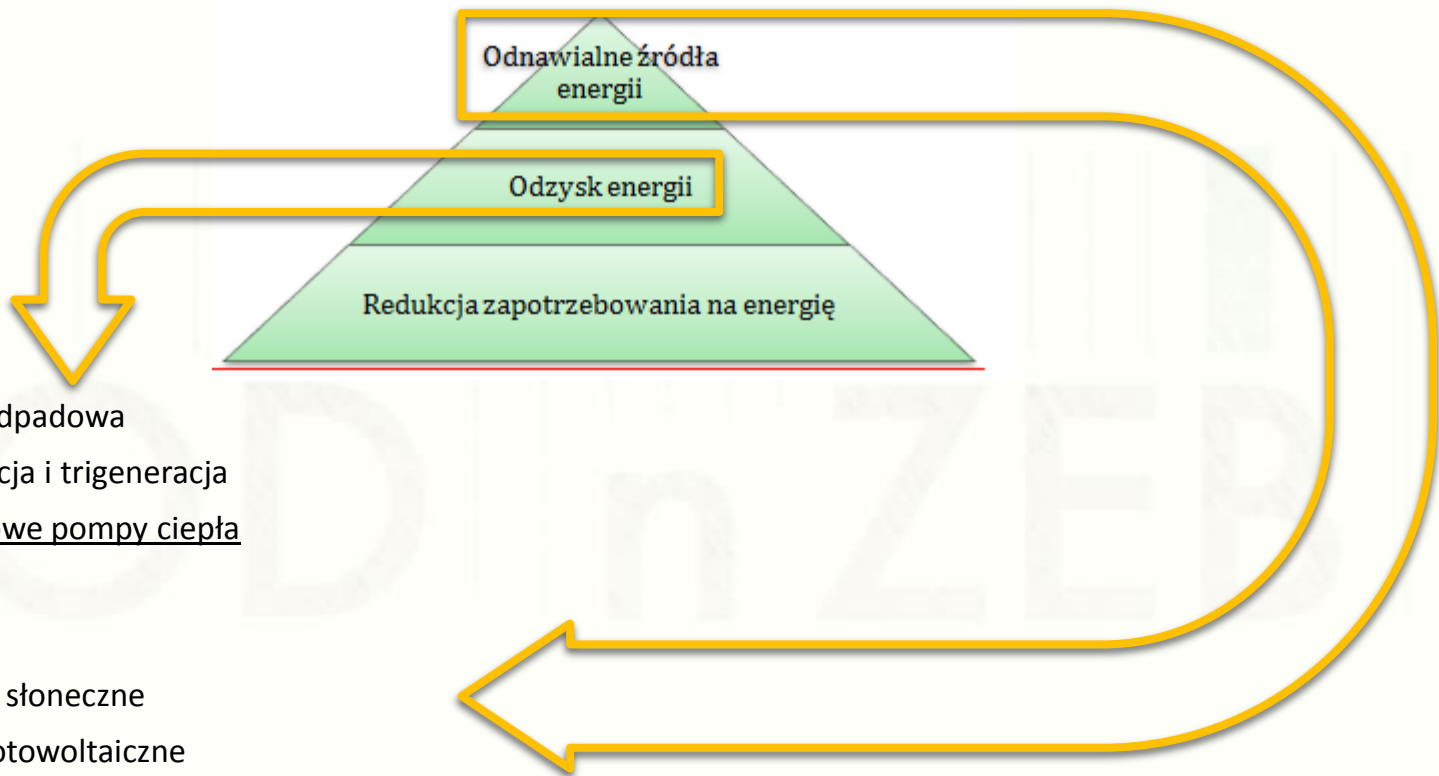
Definicja budynku niemal zero energetycznego zawarta w dyrektywie EPBD RECAST: „budynek o niemal zerowym zużyciu energii” oznacza budynek o bardzo wysokiej charakterystyce energetycznej (...). Niemal zerowa lub bardzo niska ilość wymaganej energii powinna pochodzić w bardzo wysokim stopniu z energii ze źródeł odnawialnych, w tym energii ze źródeł odnawialnych wytwarzanej na miejscu lub w pobliżu.”

Definicja (wciąż jeszcze dyskutowana) przyjęta na potrzeby projektu:

Budynek niemal zero-energetyczny to budynek, którego obliczeniowe zapotrzebowanie na nieodnawialną **energię pierwotną** wynosi kWh/rok ? przy następujących założeniach:

- 1) obszar bilansowania – budynek wraz z instalacjami i urządzeniami technicznymi
- 2) granica bilansowa – granica oddzielająca obszar bilansowania od zewnętrznych źródeł energii
- 3) okres bilansowania – rok kalendarzowy,
- 4) metoda bilansowania – metoda godzinowa;
- 5) zakres bilansowania – każdy rodzaj energii niezbędny dla utrzymania w obiekcie parametrów środowiska wewnętrznego oraz umożliwiający jego użytkowanie zgodnie z jego przeznaczeniem;
- 6) sposób bilansowania – roczne zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną wyrażone w kWh/rok na granicy bilansowej.

Droga do standardu nZEB



- Energia odpadowa
 - Kogeneracja i trigeneracja
 - Sprężarkowe pompy ciepła
-
- Kolektory słoneczne
 - Ogrzewanie fotowoltaiczne
 - Małe i mikroturbiny wiatrowe
 - Sprężarkowe pompy ciepła
 - Instalacje opalane biomasą

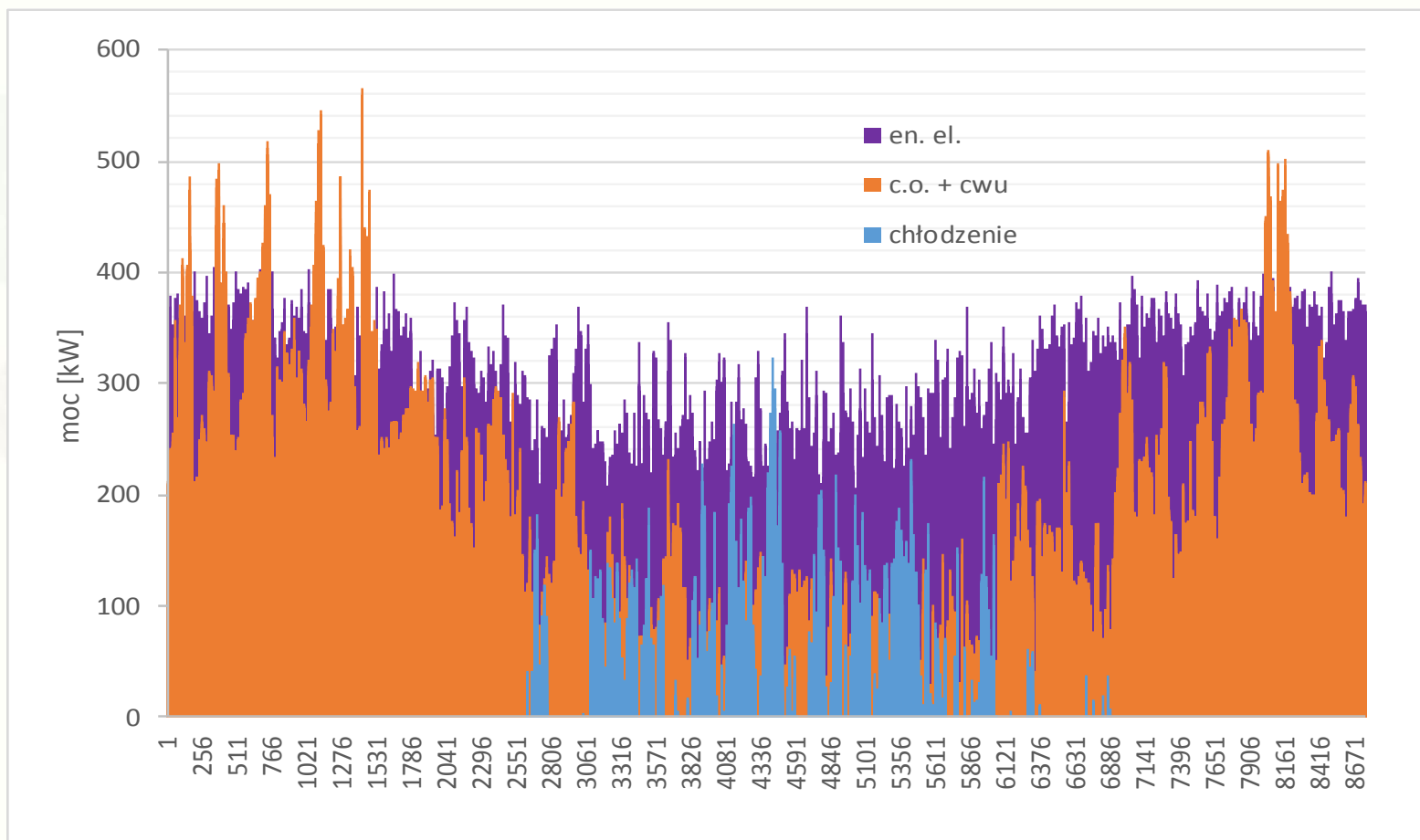
Produkcja vs. Zapotrzebowanie

Możliwość efektywnego wykorzystania źródeł energii zależy od charakterystyki:

- potencjału produkcyjnego
- zapotrzebowania

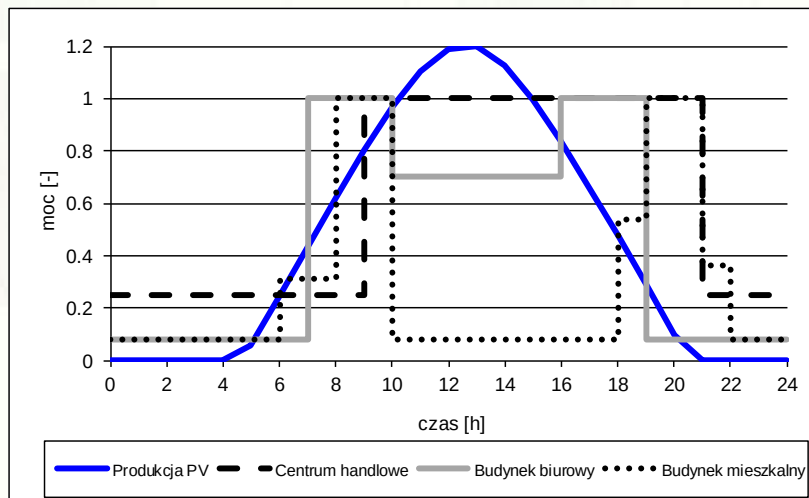


Produkcja vs. Zapotrzebowanie (charakterystyka zapotrzebowania)

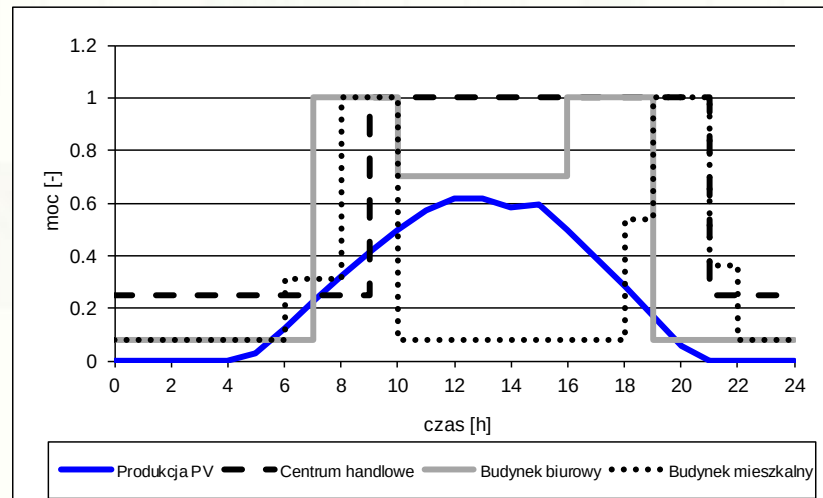


Produkcja vs. Zapotrzebowanie w różnych typach budynków

słoneczny letni dzień



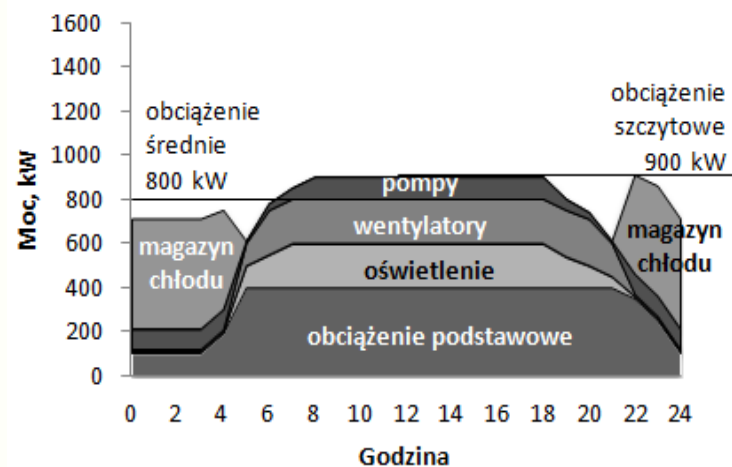
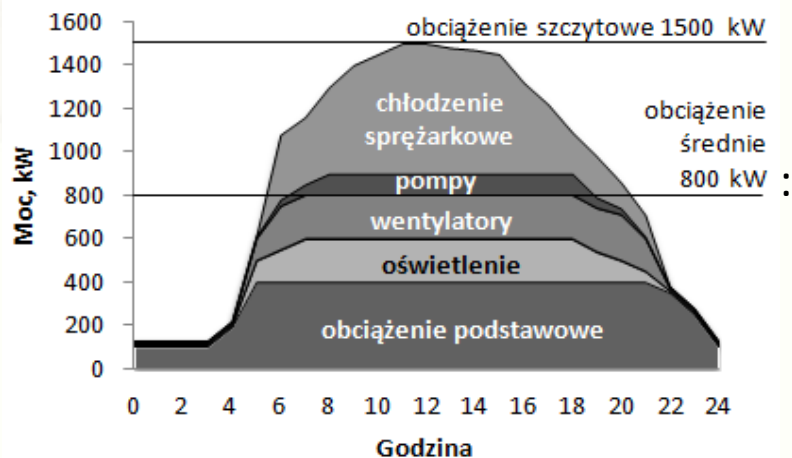
pochmurny letni dzień
(lekkie zachmurzenie)



Produkcja energii elektrycznej vs. zapotrzebowanie – jak sobie radzić?

Niedobór energii elektrycznej

- pobierany z sieci, a także
- zastosowanie instalacji zmieniających profil zapotrzebowania na energię:
 - miejscowe podgrzewacze elektryczne w instalacjach c.w.u.
 - chłodziarki absorpcyjne zasilane ciepłem
 - magazynowanie chłodu



Produkcja energii elektrycznej vs. zapotrzebowanie – jak sobie radzić?

Nadwyżki energii elektrycznej:

- sprzedaż lub.....
- bieżące wykorzystanie nadwyżek energii elektrycznej:
 - do doładowania zasobników ciepłej wody
 - do zasilania urządzeń, których porę uruchomienia można elastycznie przesunąć (np. pralnie)
 - do ładowania urządzeń (np. pojazdów elektrycznych)

Produkcja ciepła vs. zapotrzebowanie – jak sobie radzić?

- niedobór ciepła:
 - z sieci
 - z magazynu ciepła (np. zasobniki c.w.u.)
- nadwyżki ciepła:
 - do magazynu ciepła (np. zasobników wodnych lub w innych mediach)
 - krótkookresowe magazynowanie ciepła:
 - TES (thermal energy storage)
 - długookresowe magazynowanie ciepła:
 - w gruncie - UTES (underground thermal energy storage), BTES (boreholes energy storage – np. road energy)
 - w warstwach wodonośnych - ATES (aquifer thermal energy storage)
 - sprzedaż do sieci ?????

Ogniwa fotowoltaiczne

Ogniwa krystaliczne typu „wafel”:

- **Monokrystaliczny krzem** (wysokosprawny)
- **Polikrystaliczny krzem** (tańszy)
- **Arsenek Galu** - GaAs (drogi materiał, specjalne zastosowania)
- **III-V MJs – (Multi – junction FC)** technologia polegająca na użyciu stosu dwu lub więcej ogniw o pojedynczym złączu o różnym pamach aktywności w celu wykorzystania całego spektrum światła

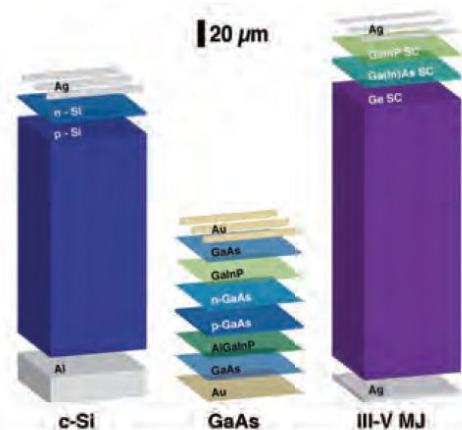
Ogniwa cienkowarstwowe (obecnie)

- **Amorficzny krzem**, a-Si (niższa sprawność – pow. 10%, ale tańsze)
- **CdTe** - Tellurek Kadmu
- **CuInGaSe2 – CIGS** (Copper indium gallium diselenide)

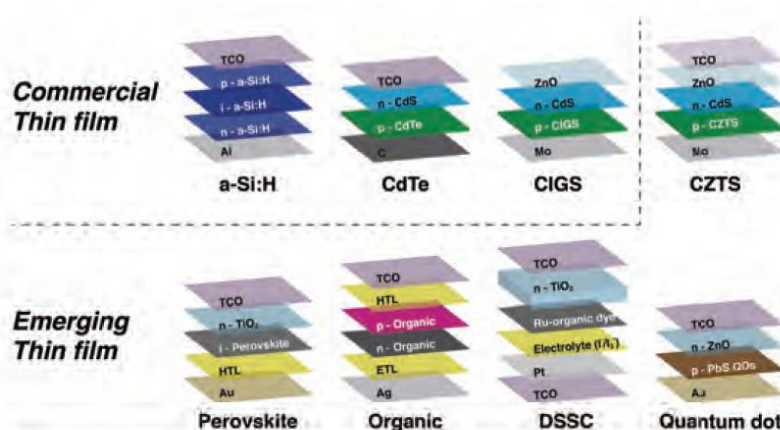
Ogniwa cienkowarstwowe są konkurencyjne pod względem kosztów jednostkowych, jednak ich niższa sprawność może powodować, że cena całego systemu może być wyższa (zajmuje większą powierzchnię przy tej samej wydajności). Ponadto konieczność stosowania w niektórych technologiach rzadkich pierwiastków lub związków toksycznych w istotny sposób ogranicza ich stosowanie na dużą

Ogniwa cienkowarstwowe (przyszłość)

- **Copper zinc tin sulfide ($\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ - CZTS)** – bogato występująca w przyrodzie alternatywa dla CIGS
- **Perovskite solar cells** – struktura krystaliczna odkryta przez Perowskiego w XIX w. Badania nad różnymi materiałami, najszybciej rozwijająca się technologia
- **Organic photovoltaics (OPV)** - bogato występujące w przyrodzie, łatwe technologie nakładania (druk i odparowanie rozpuszczalnika), jednak do tej pory niskie sprawności oraz niewielka stabilność wydajności.
- **Dye-sensitized solar cell (DSSC)** – najbardziej obiecująca technologia oparta na nanomateriałach, wykorzystuje nieorganiczny, przezroczysty szkielet (TiO_2 – film z nanoporami) wypełnionymi światłoczułym materiałem organicznym – tani i dostępny materiał, niestabilny w wysokiej temperaturze oraz przy długotrwałej ekspozycji na słońce)
- **Colloidal quantum dot photovoltaics (QDPV)** – koloidalny roztwór (zawiesina?) nanokryształów (zwanymi Quantum dots), głównie PbS absorbujących pasmo promieniowania bliskie podczerwieni – obiecujące zastosowania w ogniwach MJ



Wafer

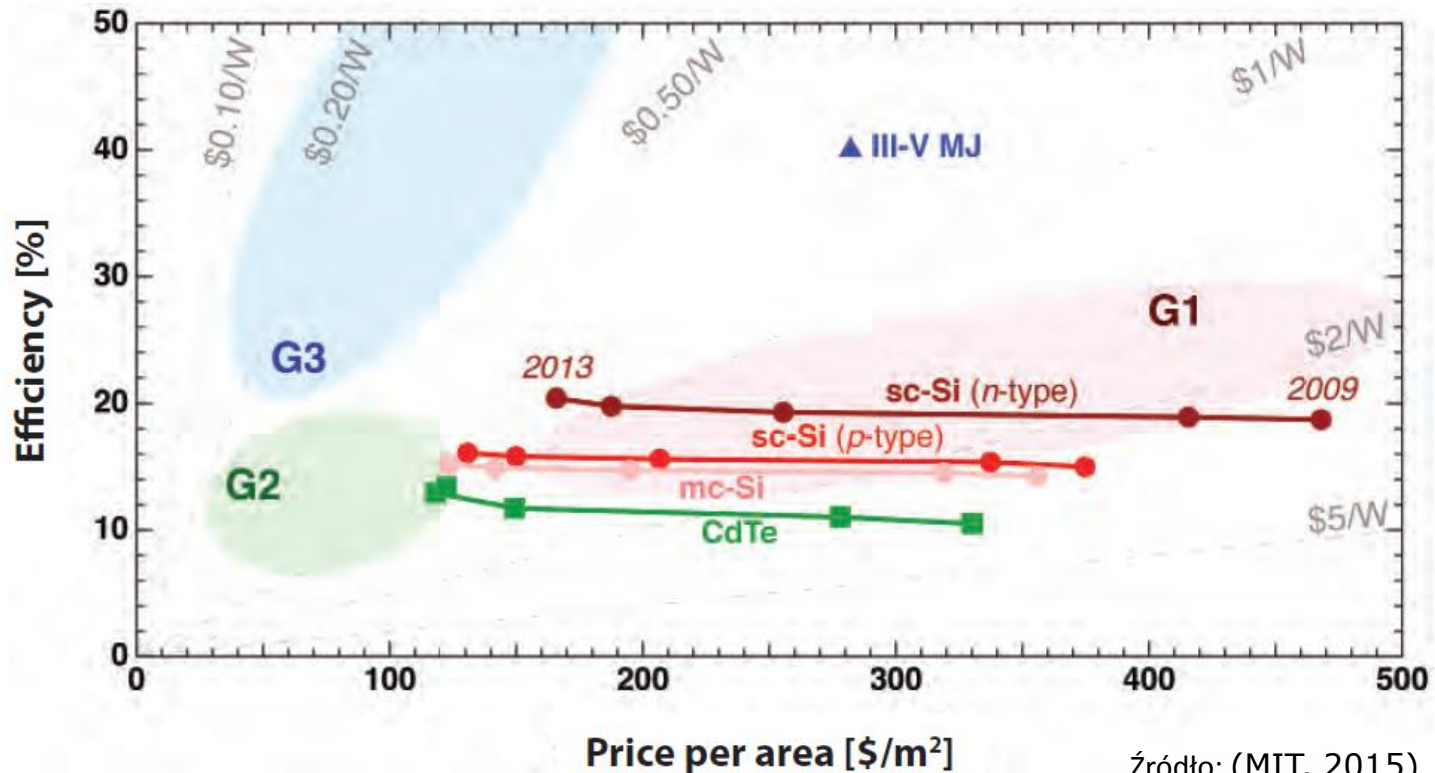


Thin film

Źródło: (MIT, 2015)

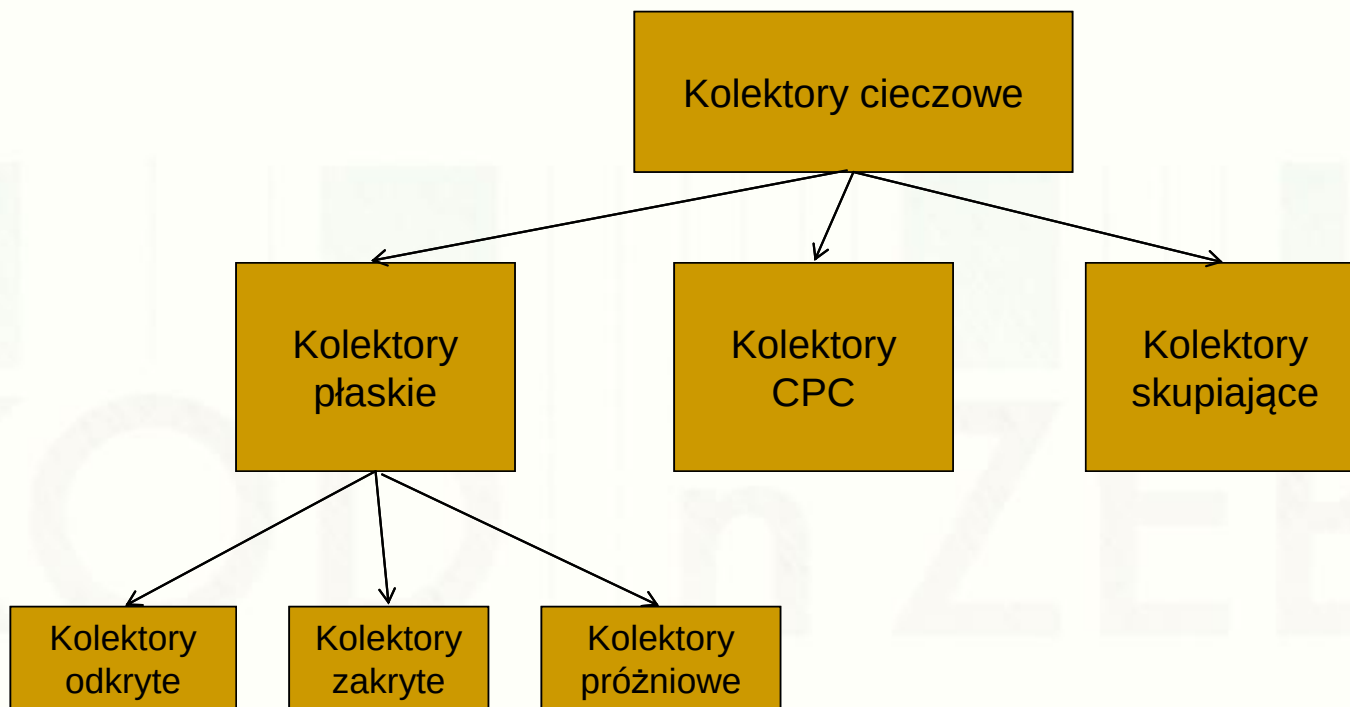
PV - Kierunki rozwoju

- G1 – pierwsza generacja technologii (krystaliczny krzem, GaAs)
- G2 – istniejące ogniwa cienkowarstwowe
- G3 – nowe technologie



Źródło: (MIT, 2015)

Cieczowe kolektory słoneczne

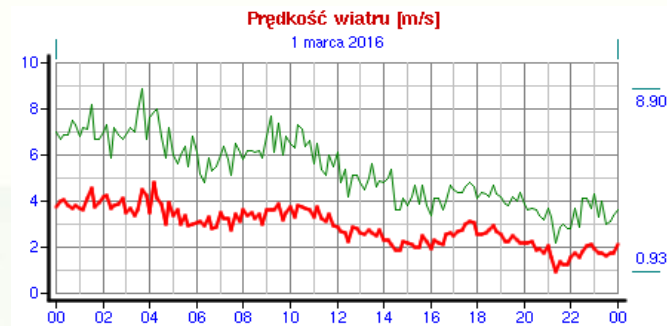


1. niski potencjał obniżenia EP dla budynku (pokrycie jedynie części zap. na cwu),
2. konflikt z kogeneracją

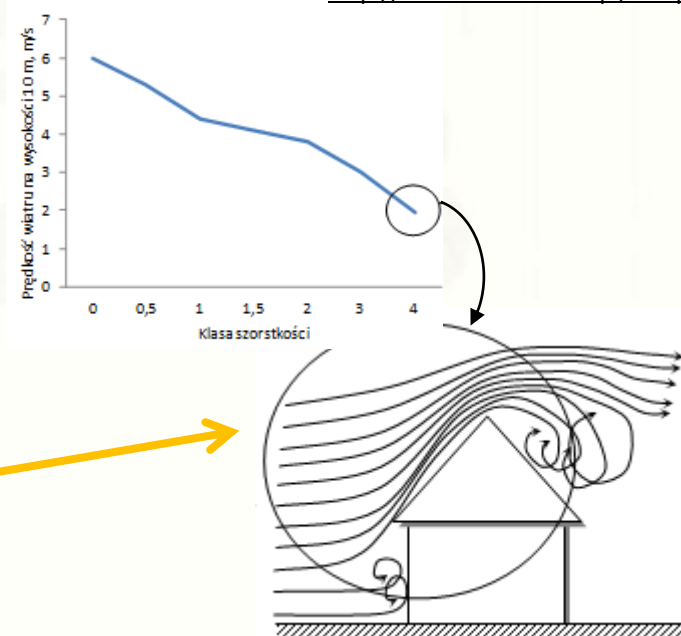
Turbiny wiatrowe

Instalacja on-site
ze źródeł on-site

- Wiatr to niestabilne źródło energii – turbiny jako uzupełniające źródło energii w budynku + sprzedaż nadwyżek energii elektrycznej do sieci
- z 1 kW mocy zainstalowanej wytwarzane jest rocznie ok. 900 do 1300 kWh energii elektrycznej (dla turbin pracujących w zakresie prędkości wiatru 3-15 m/s)
- lokalny potencjał siły wiatru



<http://www.meteo.waw.pl/hist.pl>



Turbiny wiatrowe – mikro i małe



HAWT – pozioma oś obrotu wirnika

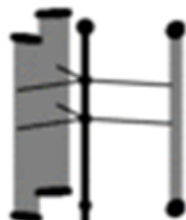
Wyższa sprawność

Nastawianie do kierunku wiatru

Cieęższa konstrukcja

Większy hałas

Mniej odporne na wysokie prędkości wiatru



VAWT – pionowa oś obrotu wirnika

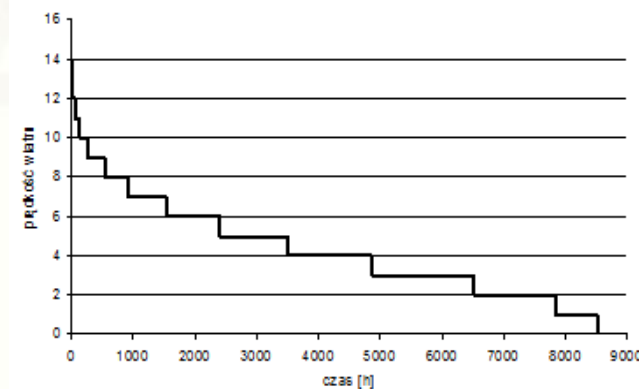
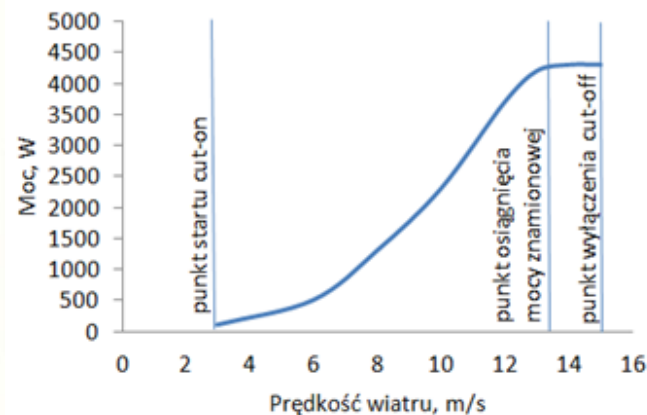
Niższa sprawność

Praca niezależna od kierunku wiatru

Lżejsza konstrukcja

Mniejszy hałas

Bardziej odporne na wysokie prędkości wiatru

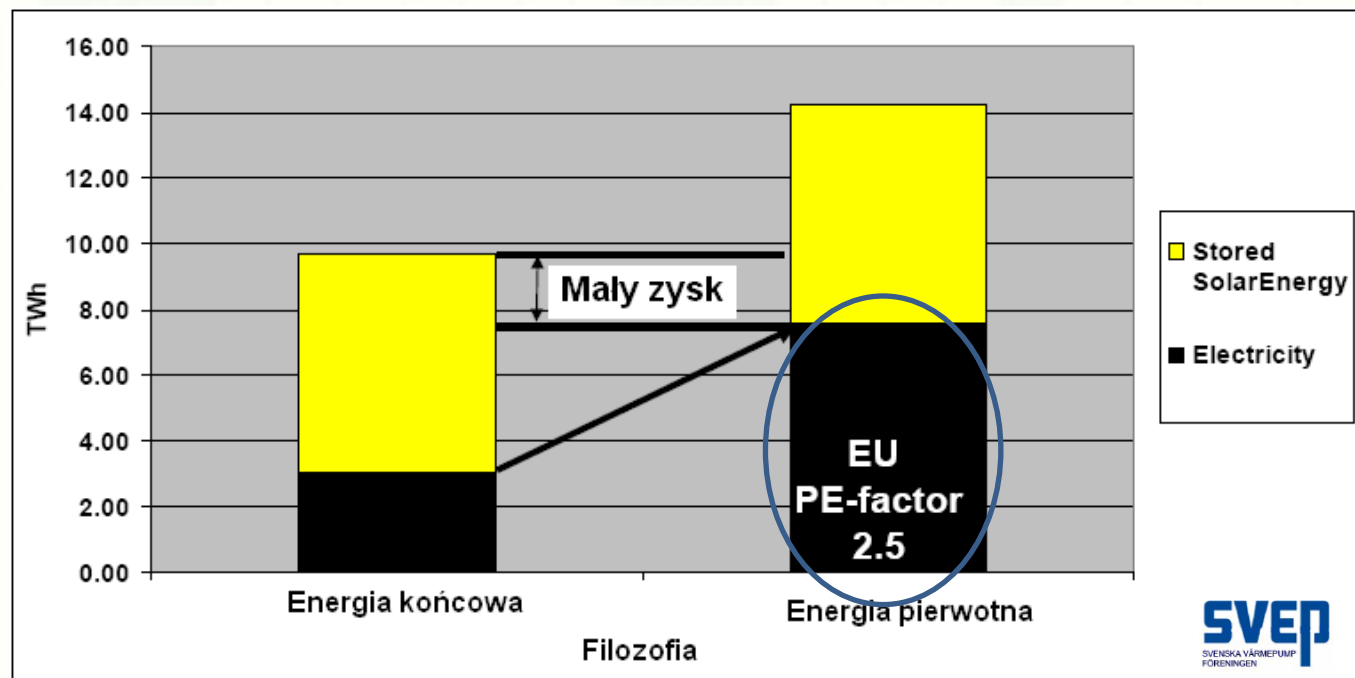


Sprężarkowe pompy ciepła

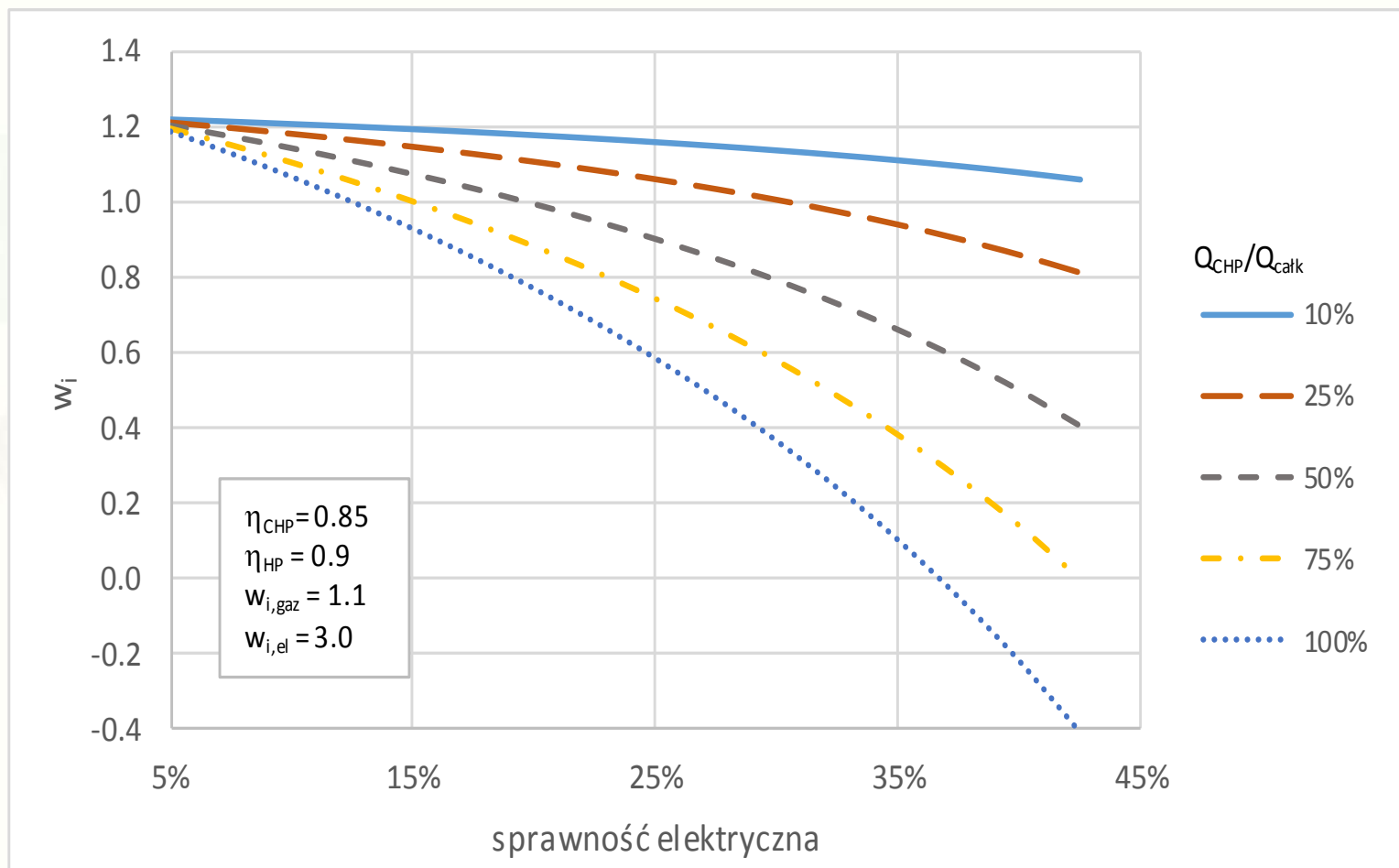
Dolne źródła ciepła:

- powietrze (zewnątrzne lub wywiewane),
- wody powierzchniowe,
- grunt,
- wody gruntowe,
- niskoparametrowe wody geotermalne,
- ścieki.

W przypadku wymiennika gruntowego możliwość wykorzystania go do „free-coolingu”



Kogeneracja - korzyści



Projekt KODnZEB – modernizowane budynki

- Akademik “Muszelka”, ul. Mochnackiego, Warszawa
- Wydział Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska (WIBHiŚ)



11 DOE Wrocław 26.2



Projekt KODnZEB – Akademik „Muszelka”

- część kompleksu akademików wybudowanych przed 1939 i w 1950
- proj. K.Tolloczko, 1922; Z. Dytkowski, 1950



Projekt KODnZEB – Akademik „Muszelka”

- 150 studentów
- 4 kondygnacje naziemne, 1 kondygnacja podziemna
- monumentalny budynek o skromnym detalu – układ urbanistyczny bardziej istotny niż walory architektoniczne
- materiały – żelbet, cegła pełna bez izolacji
- wnętrza – materiały o złej jakości, chaos estetyczny i kolorystyczny
- modernizacja w 1980 – izolacja termiczna dachu, wymiana okien



Projekt KODnZEB – Akademik „Muszelka”

- wszelkie modyfikacje elewacji należy zintegrować z odpowiednimi zmianami w budynkach sąsiednich; brak ingerencji w zewnętrzny wygląd budynku
- brak modyfikacji konstrukcji budynku
- izolacja ścian zewnętrznych (14cm/4cm), izolacja dachu (21cm)
- panele fotowoltaiczne na dachu



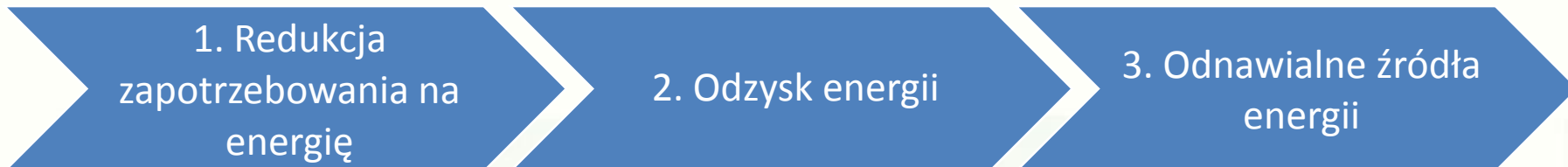
wewnętrzna izolacja termiczna
panele fotowoltaiczne
nowe wnętrza



zewnętrzna izolacja termiczna
panele fotowoltaiczne
nowe wnętrza

Przykład - akademik

Akademik: 3575 m², ciepło i energia elektryczna z sieci

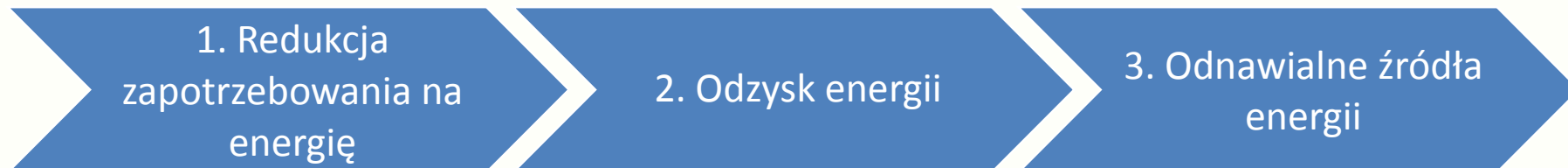


1 krok:

- docieplenie ścian zewnętrznych i stropodachu
- wymiana okien
- poprawa szczelności budynku
- zastosowanie wentylacji mechanicznej wywiewnej
- modernizacja instalacji ciepłej wody użytkowej (indywidualny pomiar zużycia -> zmniejszenie zużycia cwu o 20% + nowy zasobnik -> wzrost sprawności o 53%)
- modernizacja instalacji oświetlenia (oświetlenie energooszczędne -> zmniejszenie zużycia energii o 50% + indywidualne liczniki energii elektrycznej -> zmniejszenie zużycia energii o 20%)

Wariant 1

Przykład - akademik



1+2 krok:

- modernizacje z wariantu 1
- odzysk ciepła z wentylacji do przygotowania ciepłej wody użytkowej za pomocą pompy ciepła (SPF=4,5; $V=3020 \text{ m}^3/\text{h}$; $\Delta T=15\text{K}$)

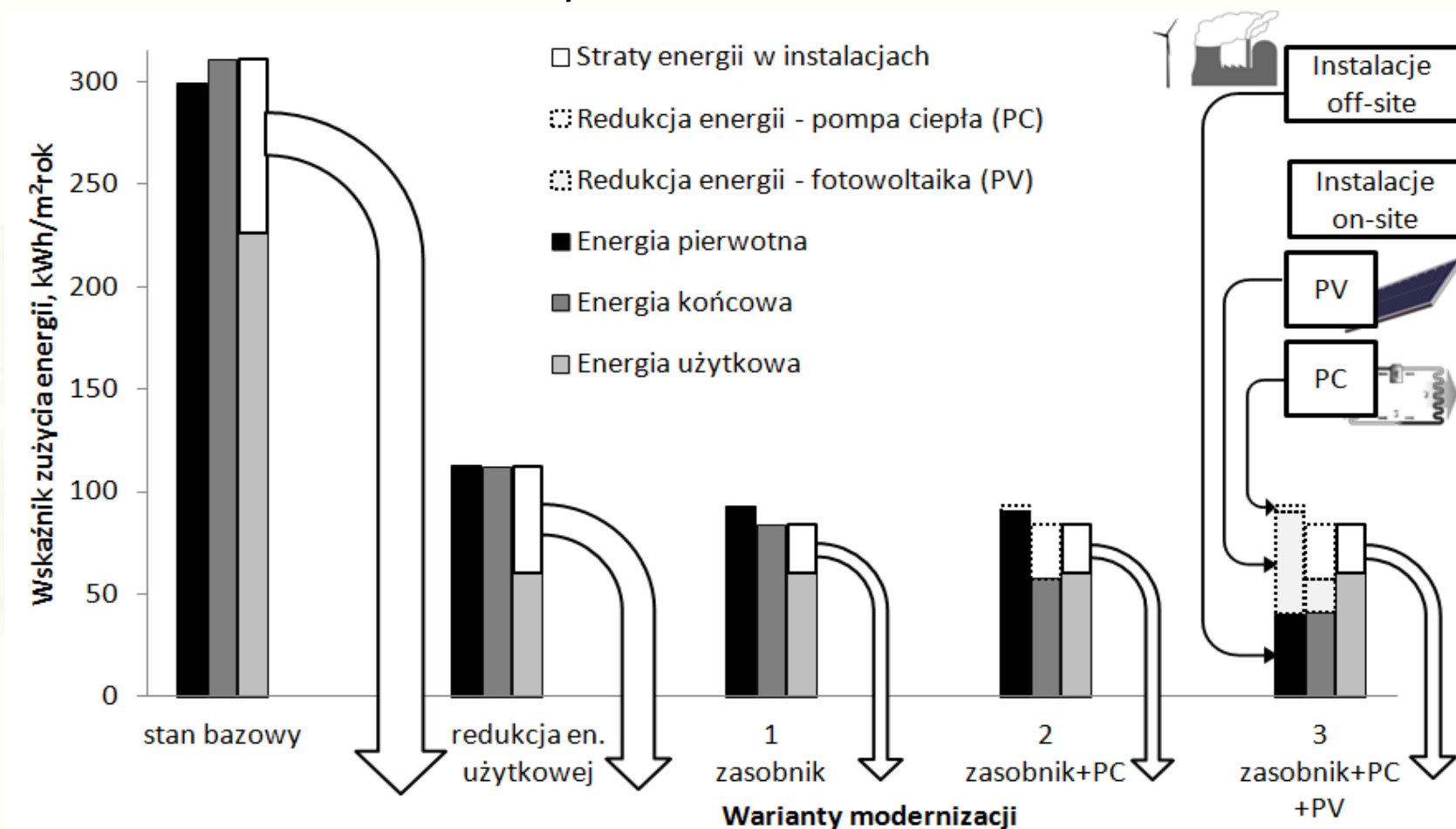
Wariant 2

1+2+3 krok:

- modernizacje z wariantu 1 i 2
- panele fotowoltaiczne na dachu (740 m^2 ; moc 70 kWp; energia 60 MWh/rok)

Wariant 3

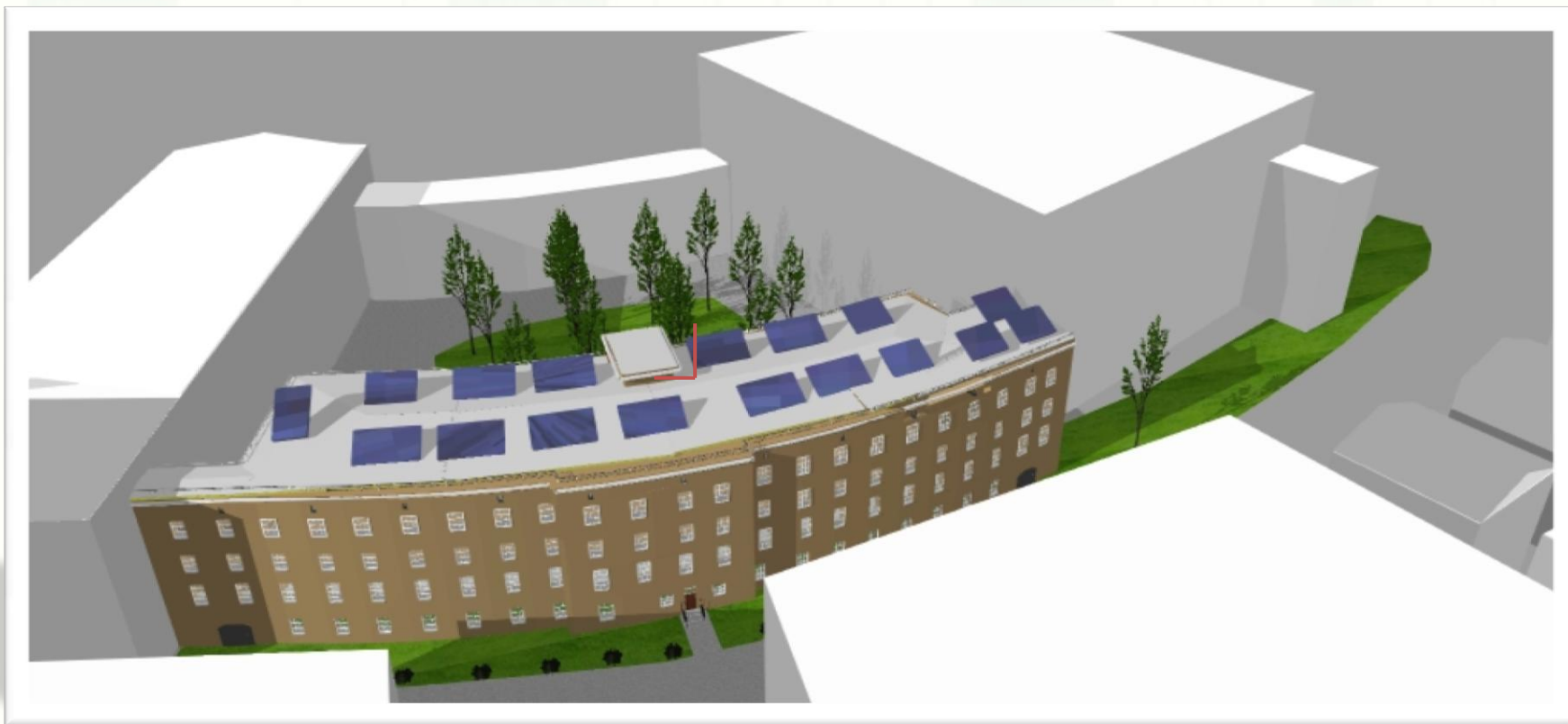
Przykład - Muszelka



Aby osiągnąć standard 20 kWh/m²/rok trzeba wykorzystać dachy sąsiednich budynków na zainstalowania większej ilości modułów PV PV

Analiza zacienienia

- Analizy wykonano dla godzin 7- 20: RÓWNONOC, CZERWIEC-WRZESIEŃ
- Ostatecznie do oceny wybrano okres równonocy tj. 21 marca



Analiza widoczności na potrzeby konserwatora zabytków



- Ze względu na ochronę konserwatorską lokalizacja PV możliwa jedynie na dachu budynku



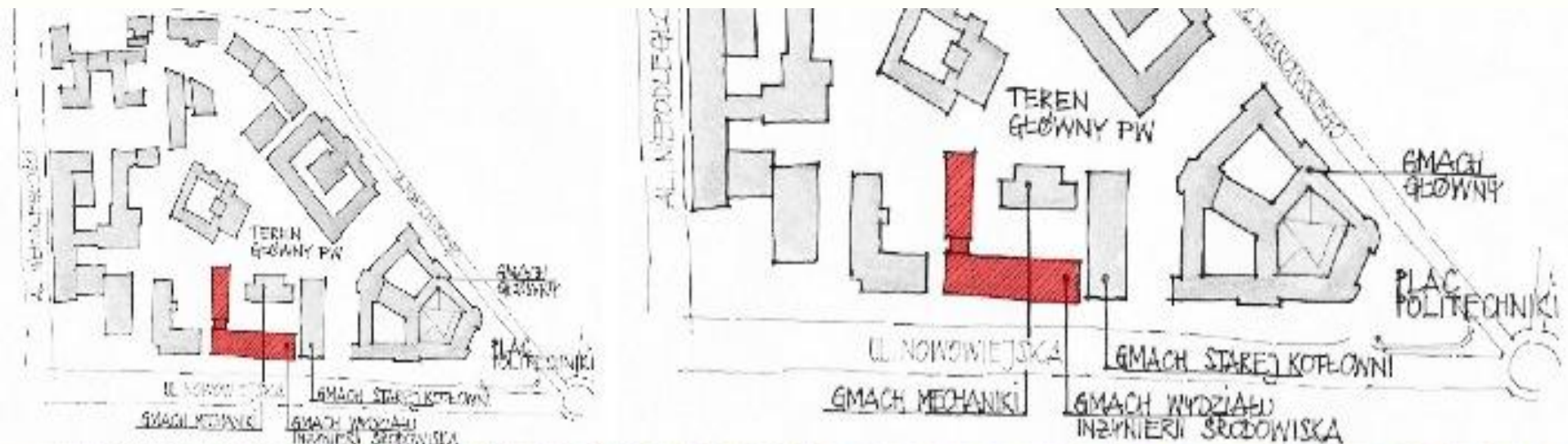
- Punkt obserwatora: 170 cm
- Od strony ulicy PV nie są widoczne

Analiza widoczności na potrzeby konserwatora zabytków



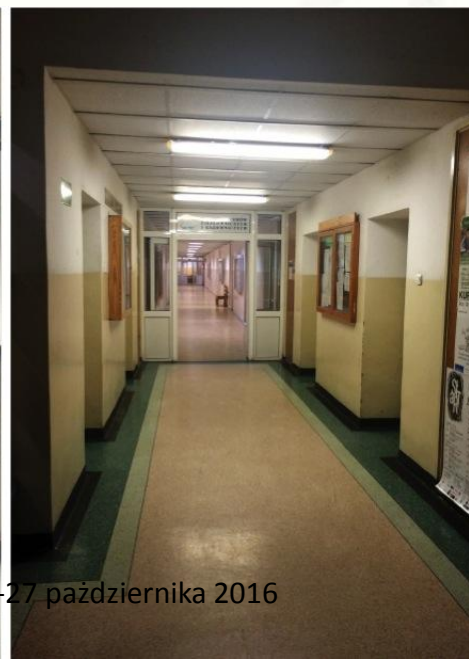
- Widoczność od strony podwórka (brak możliwości przesunięcia instalacji ze względu na elementy konstrukcyjne dachu)

Projekt KODnZEB – WIBHiŚ



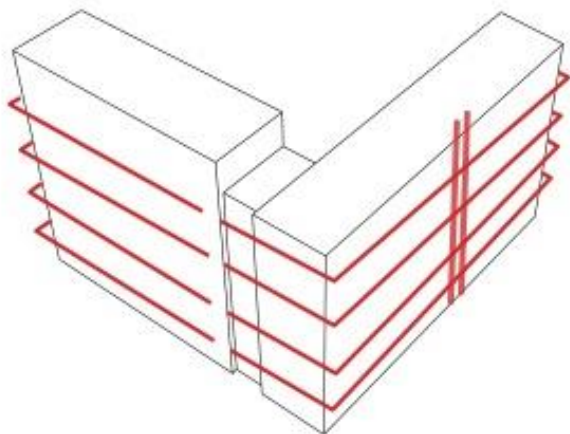
- proj. S.Jaczewski, J.Redal, 1970
- zlokalizowany w głównym kampusie Politechniki Warszawskiej

- 2,000 użytkowników
- 8 - 11 kondygnacji naziemnych, 1 kondygnacja podziemna
- kontrast architektury budynku z historycznym otoczeniem
- żelbet: monolityczny w piwnicy i prefabrykowany szkielet ramowy na wyższych piętrach, prefabrykowane stropy
- zakryte lub zniszczone dekoracyjne mozaiki
- wnętrza: materiały o niskiej jakości, chaos estetyczny, brak mebli i sprzętu
- modernizacja w 2007 – izolacja termiczna ścian zewnętrznych, panele fotowoltaiczne na fasadzie południowej

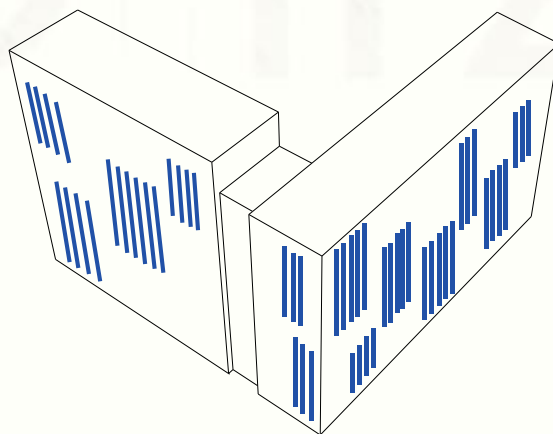


Projekt KODnZEB – WIBHiŚ

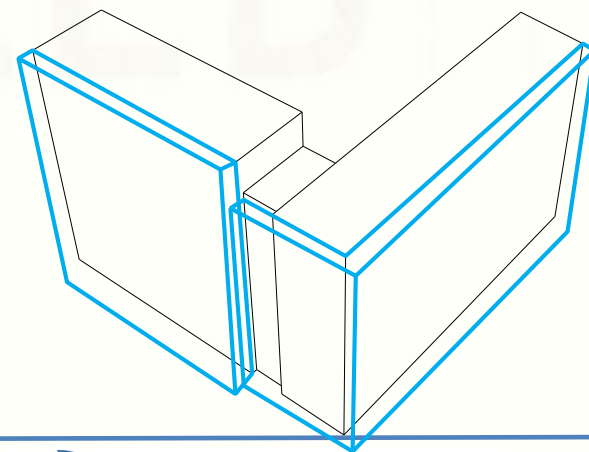
- izolacja termiczna ścian zewnętrznych (21cm) i dachu (18cm)
- brak modyfikacji konstrukcji budynku
- panele fotowoltaiczne na dachu, południowej i zachodniej elewacji
- elementy zacieniające na elewacji południowej i zachodniej
- elewacja typu “druga skóra”: niezależny element integrujący izolację termiczną, lekką okładzinę elewacyjną, kanały wentylacyjne, żaluzje i panele fotowoltaiczne



kanały wentylacyjne

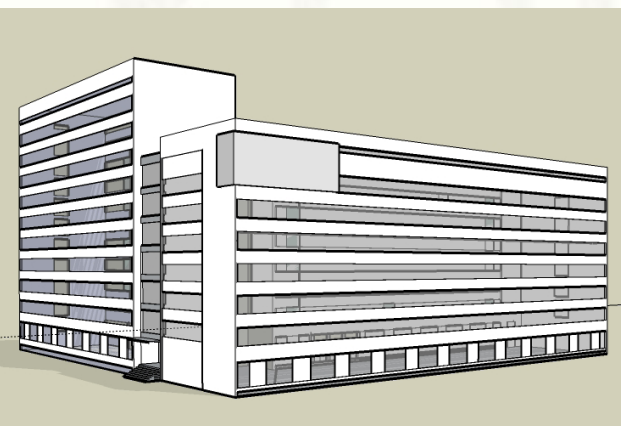
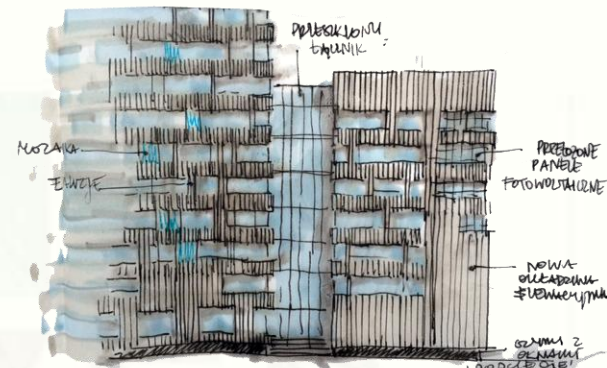
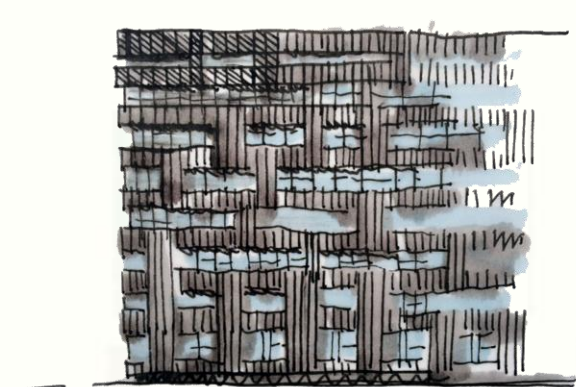


żaluzje

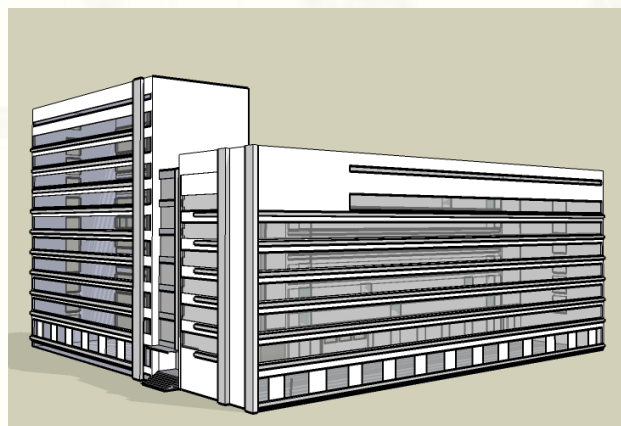


ściana kurtynowa

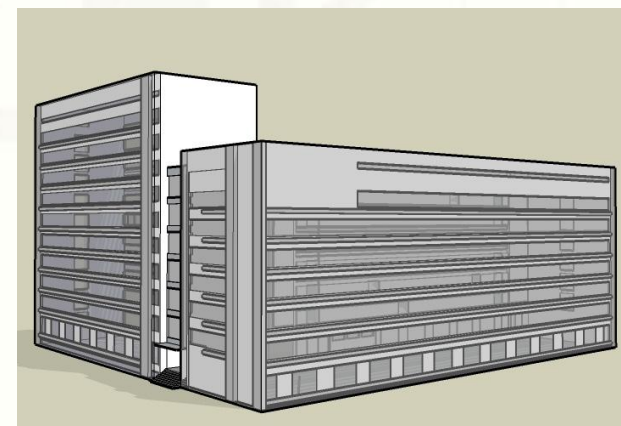
WIBHiŚ: elewacja południowa



stan istniejący



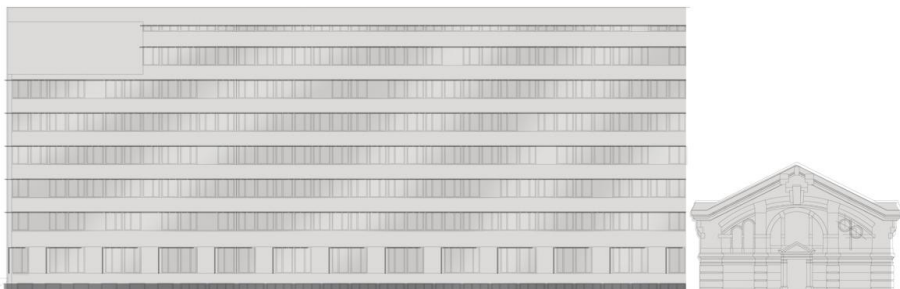
kanały wentylacyjne



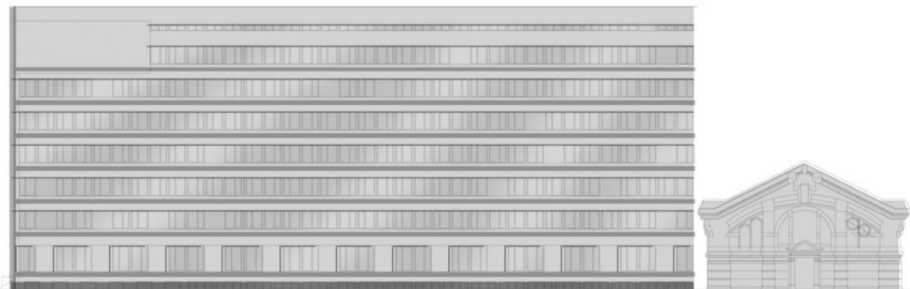
ściana kurtynowa

WIBHiŚ: elewacja południowa

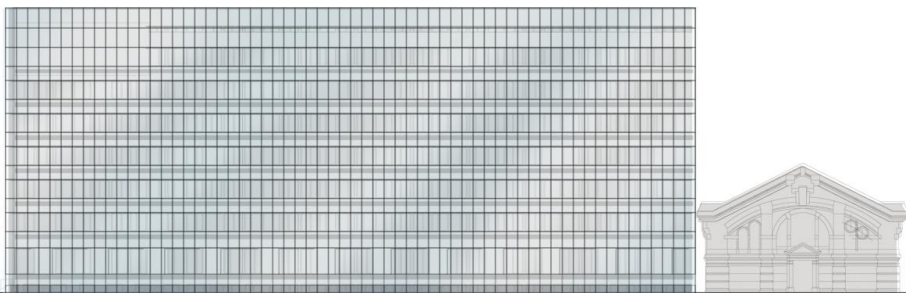
Elewacja południowa



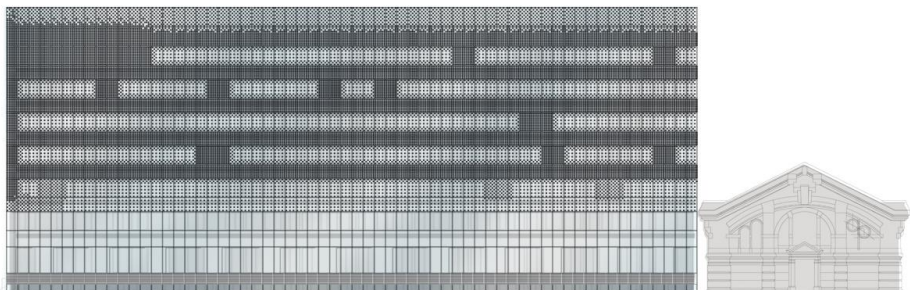
Elewacja południowa kanady



Elewacja południowa ściana kurtynowa

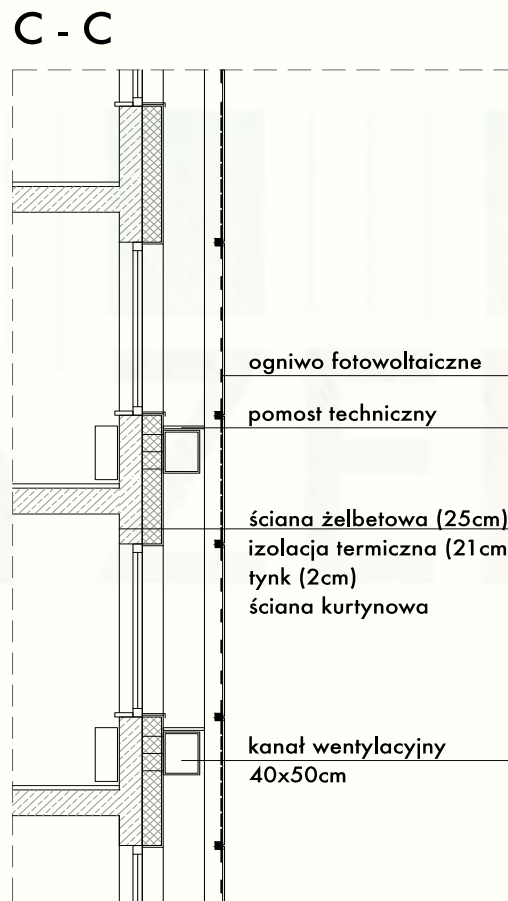
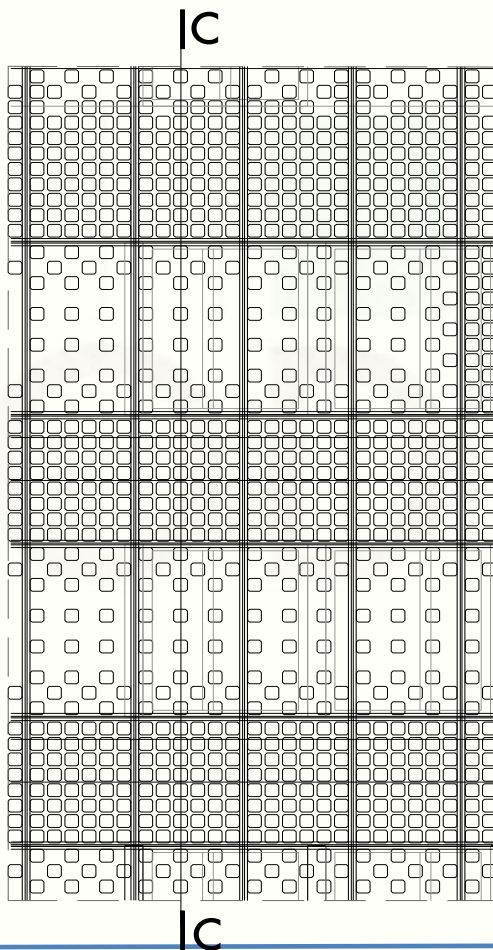


Elewacja południowa ogniwa fotowoltaiczne wersja 1

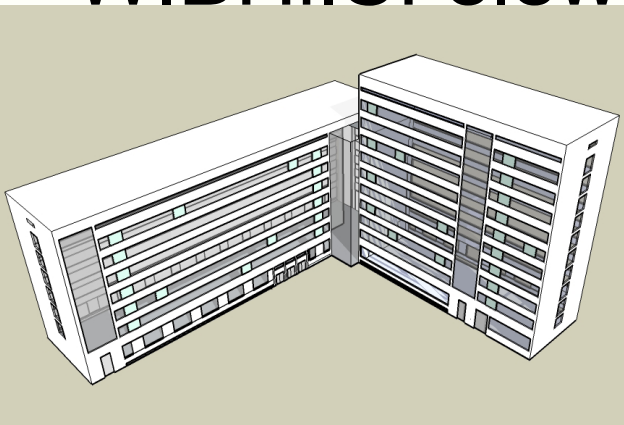


WIBHiŚ: elewacja południowa

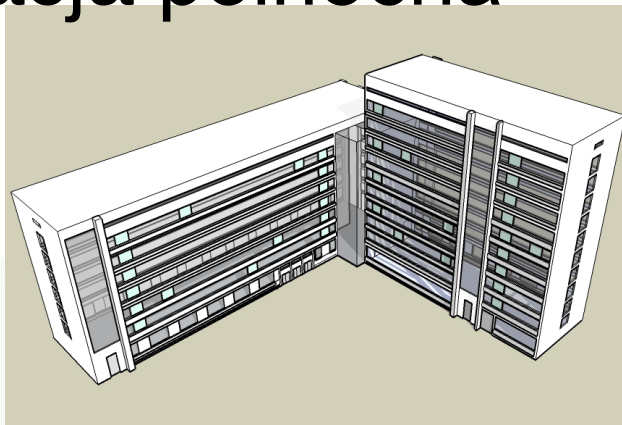
detal elewacji południowej



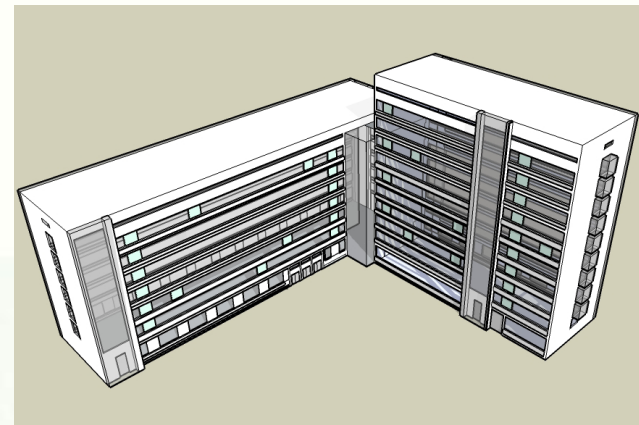
WIBHiŚ: elewacja północna



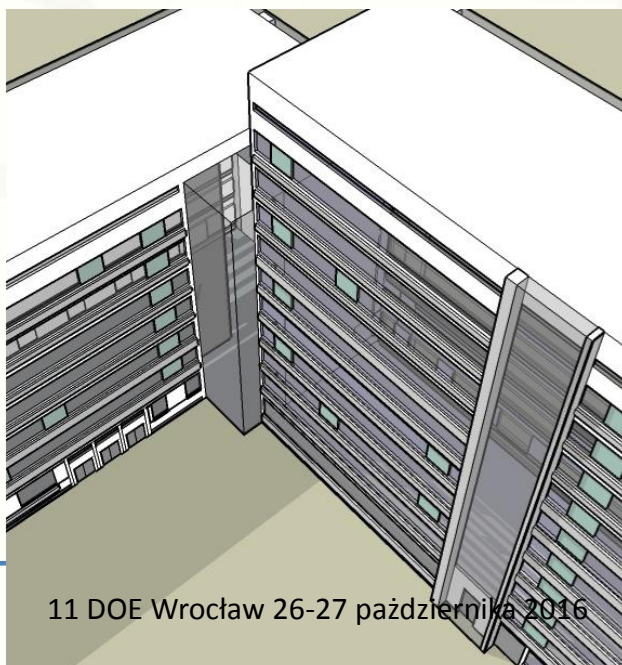
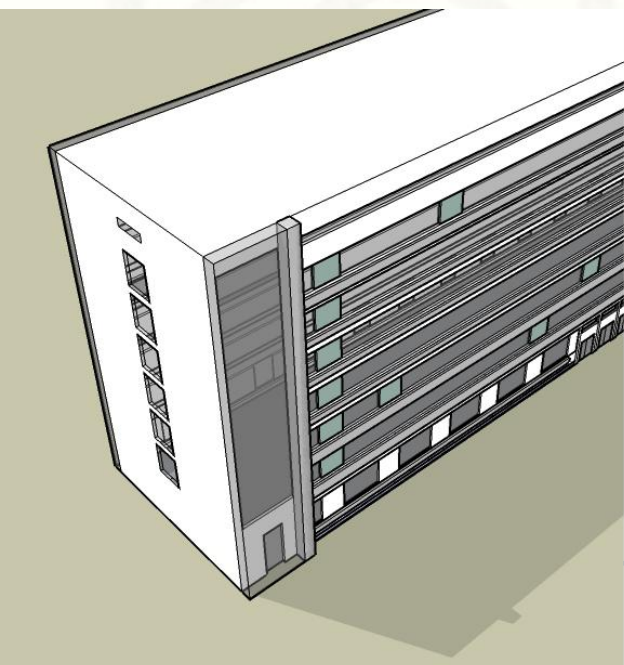
stan istniejący



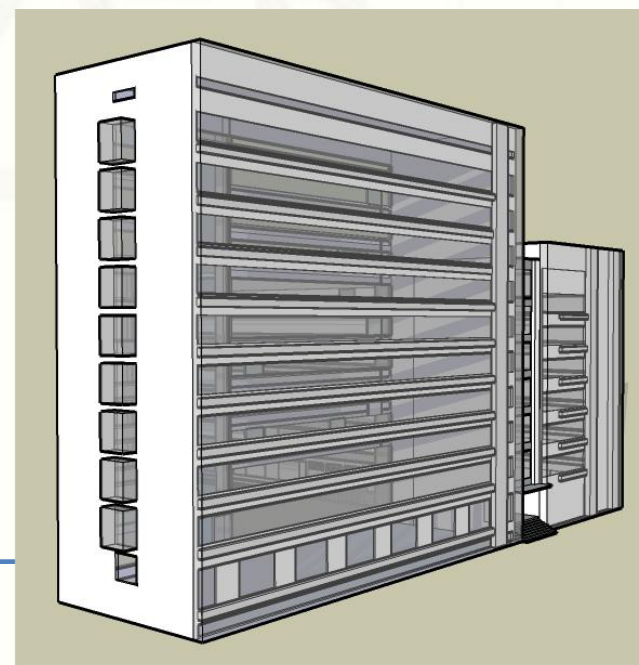
kanały wentylacyjne



nowe elementy



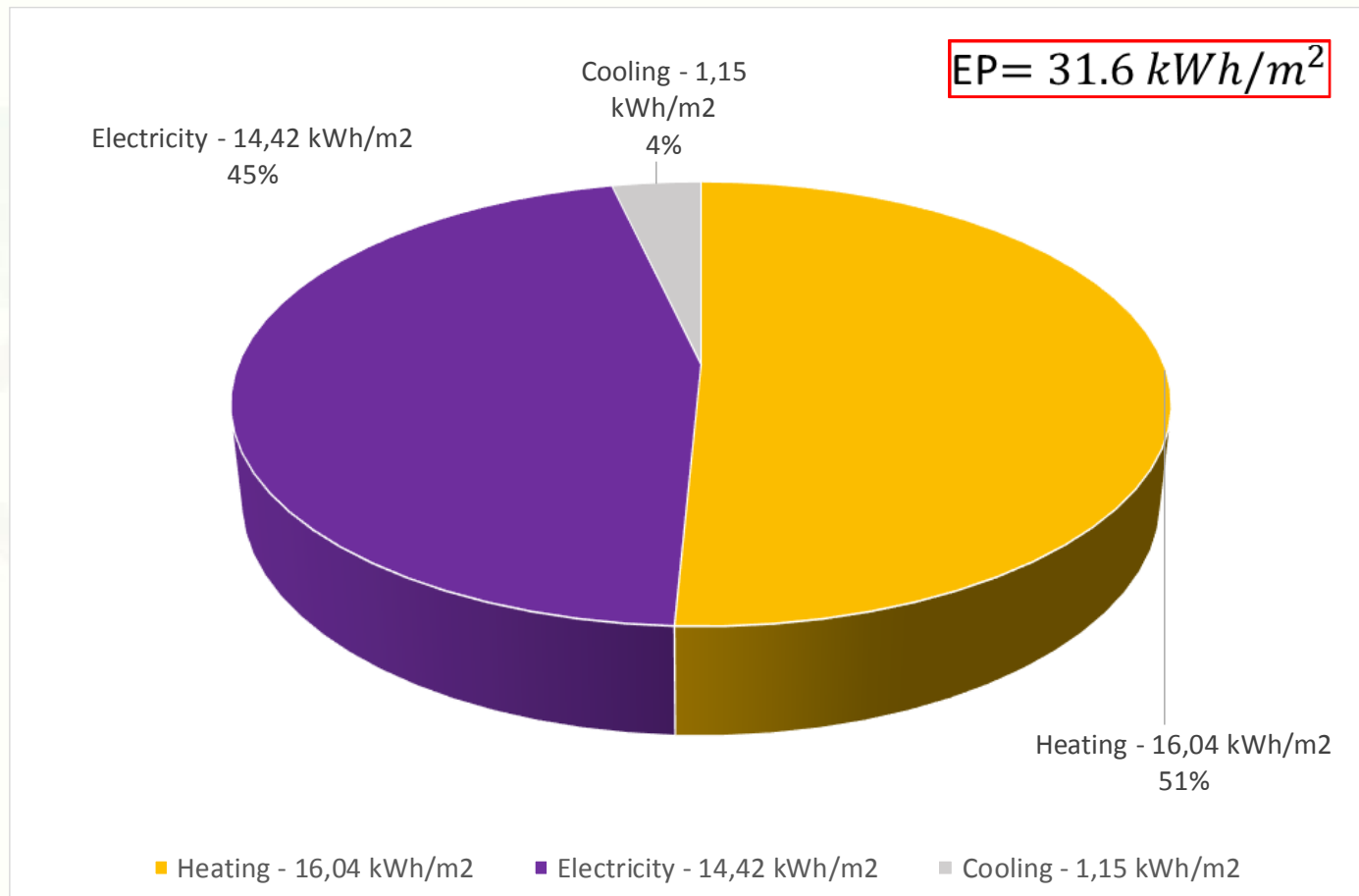
11 DOE Wrocław 26-27 października 2016



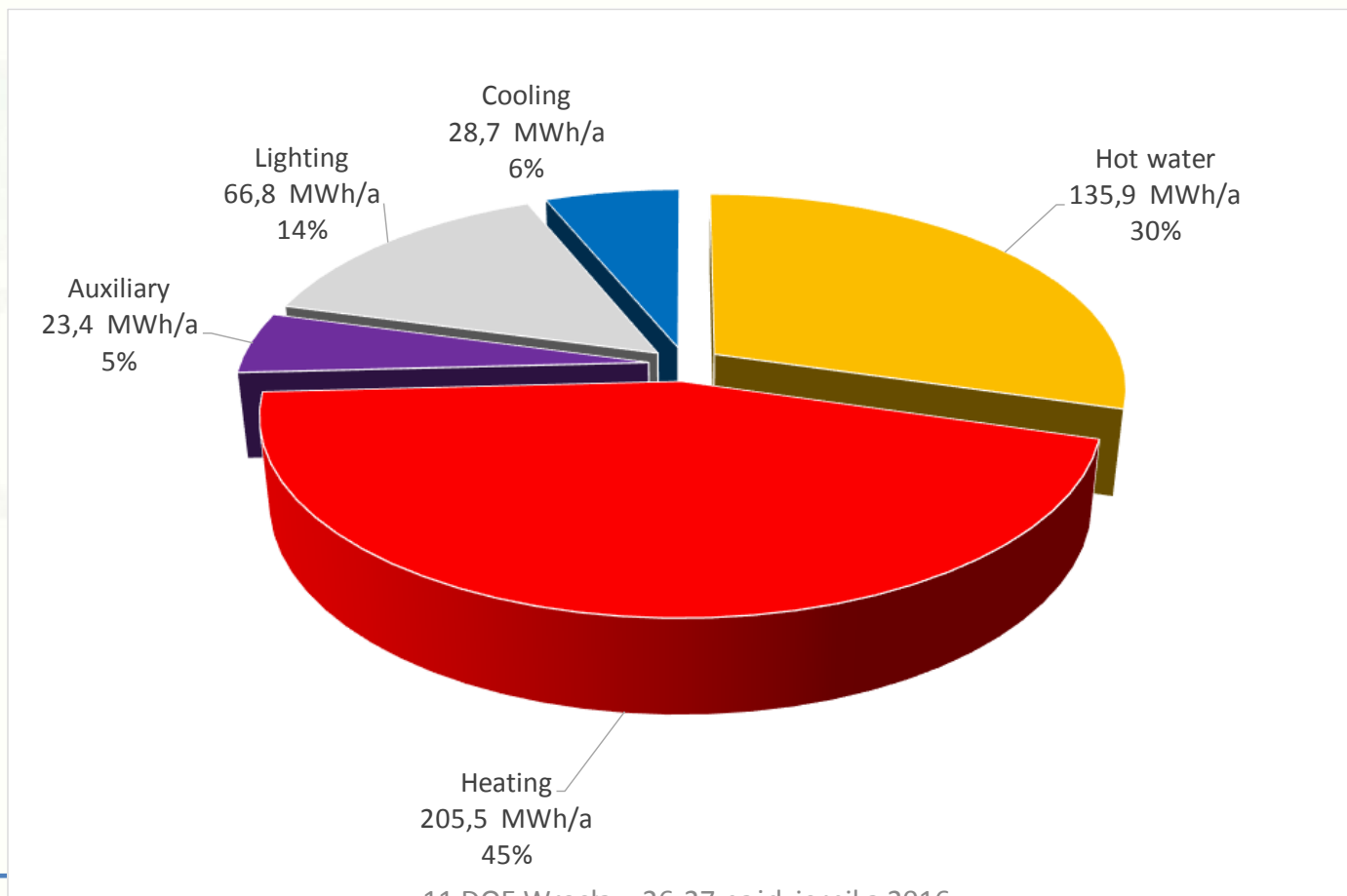
CEL:

$$EP \leq 20 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$$

Zapotrzebowanie na energię pierwotną – stan wyjściowy po modernizacji – źródło sieć ciepłownicza ($w_i=0,68$) + elektroenergetyczna



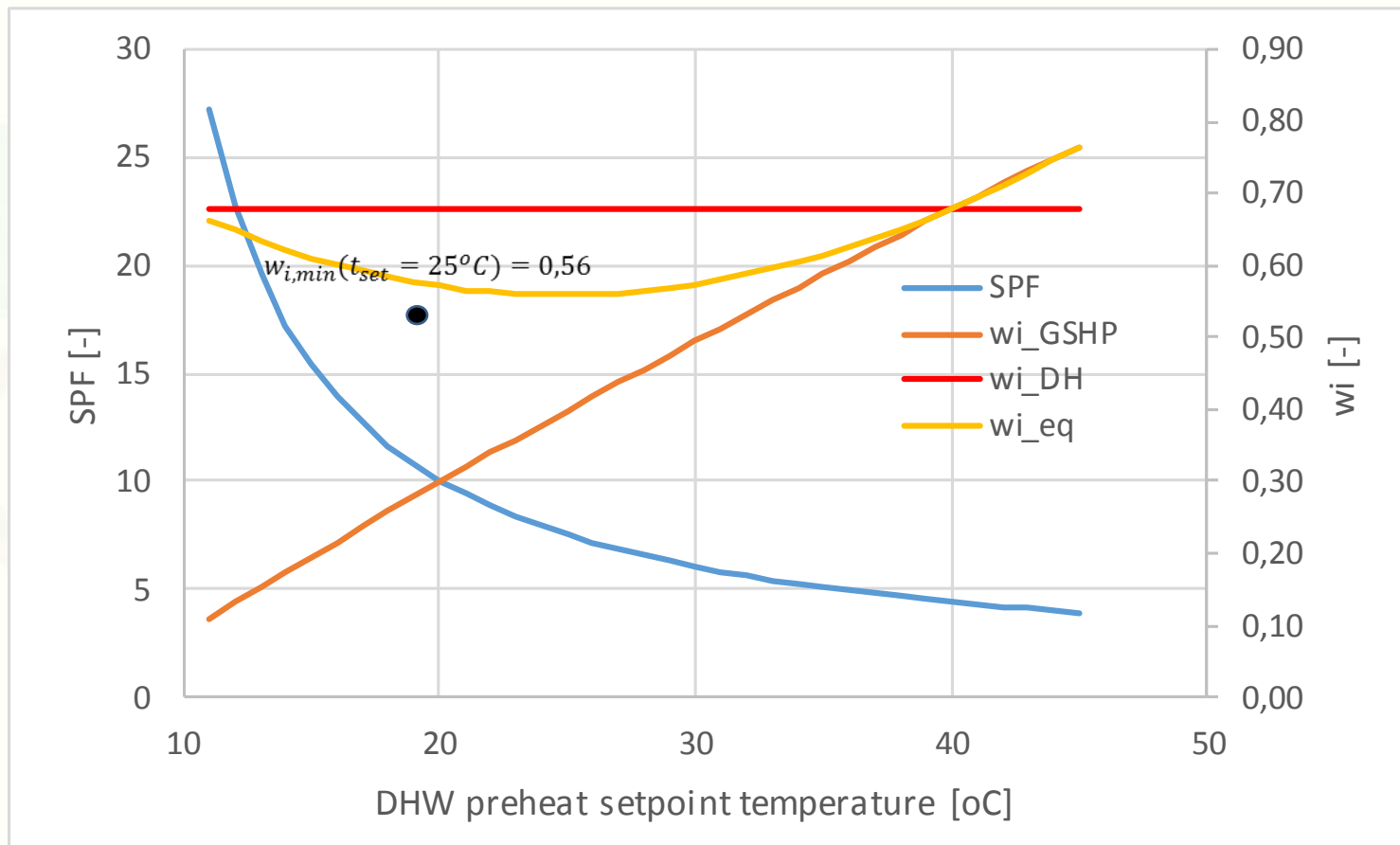
Struktura zapotrzebowania na energię użyteczną



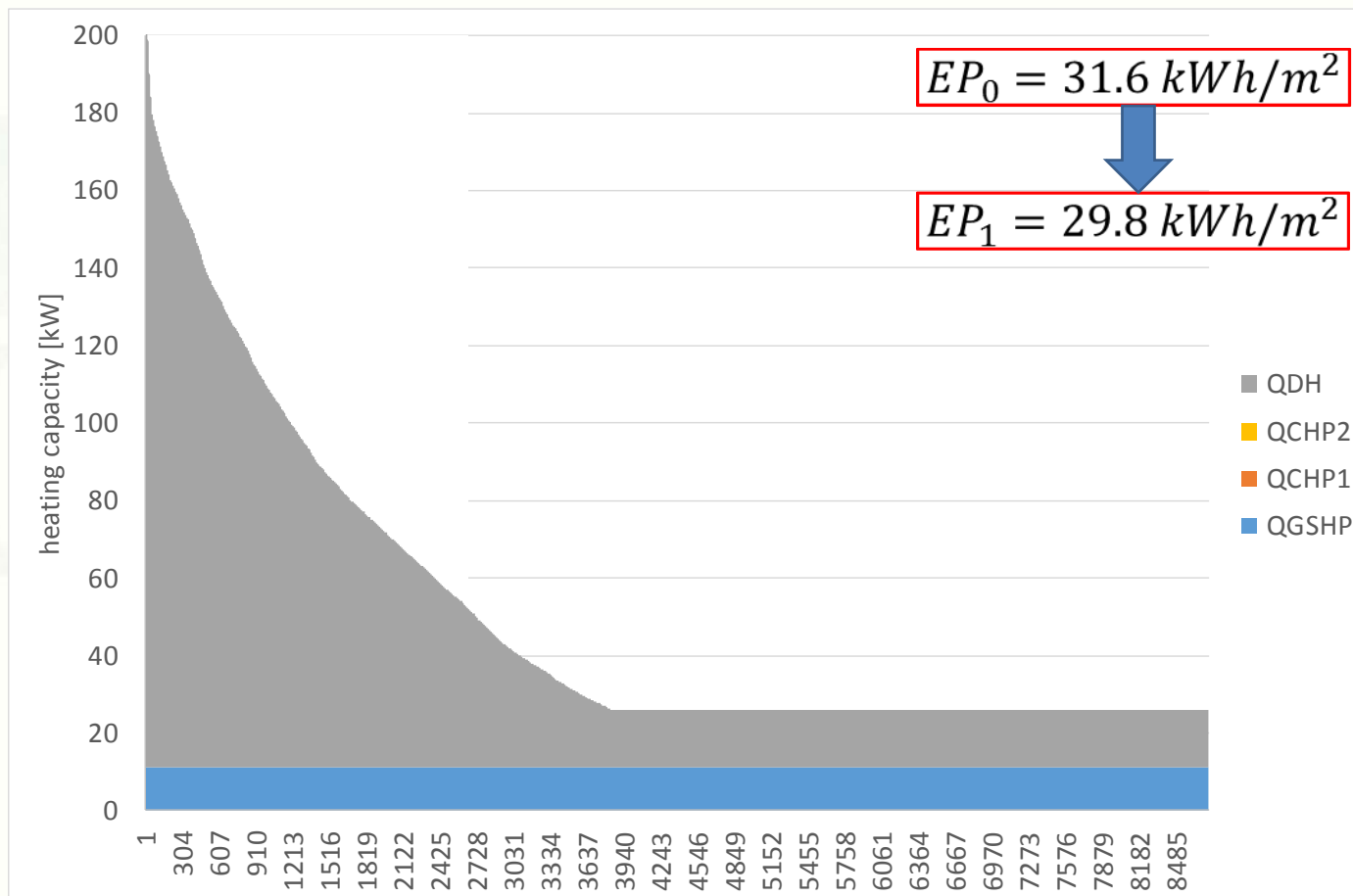
Proponowane rozwiązania

- Modyfikacja źródła ciepła
 - Gruntowa pompa ciepła (cwu - wstępny podgrzew (11-45°C))
 - micro CHP (6, 9, 15.2, 20 kWe)
 - Gruntowa pompa ciepła dla wstępnego podgrzewu cwu oraz chłodzenia
- Moduły fotowoltaiczne

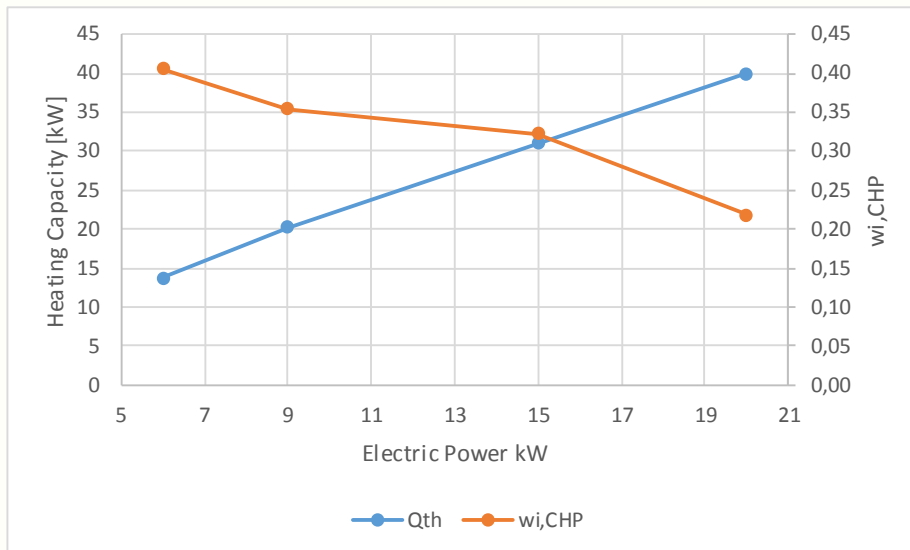
GPC wstępny podgrzew cwu



GPC – wpływ na EP

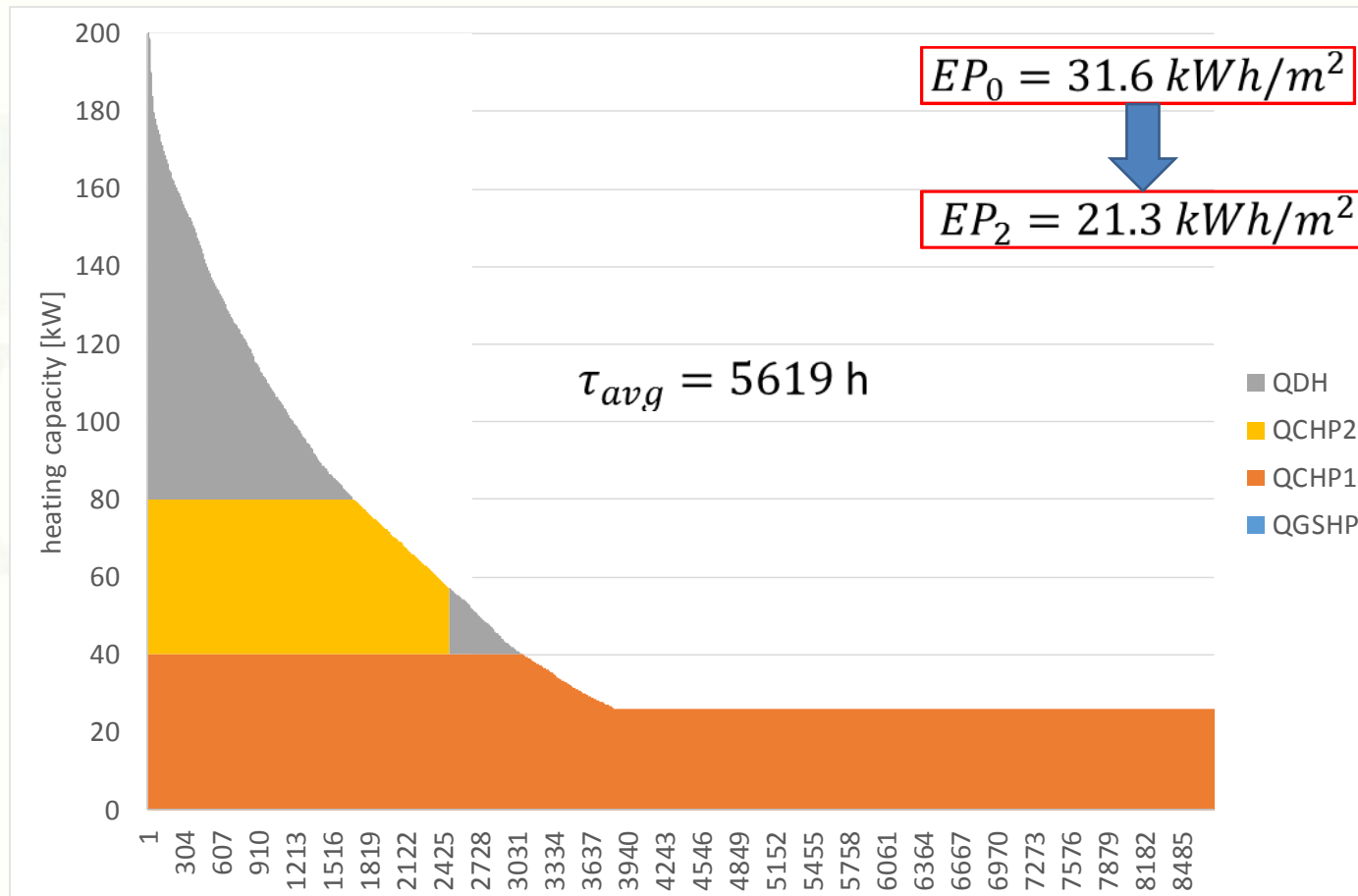


Micro CHP

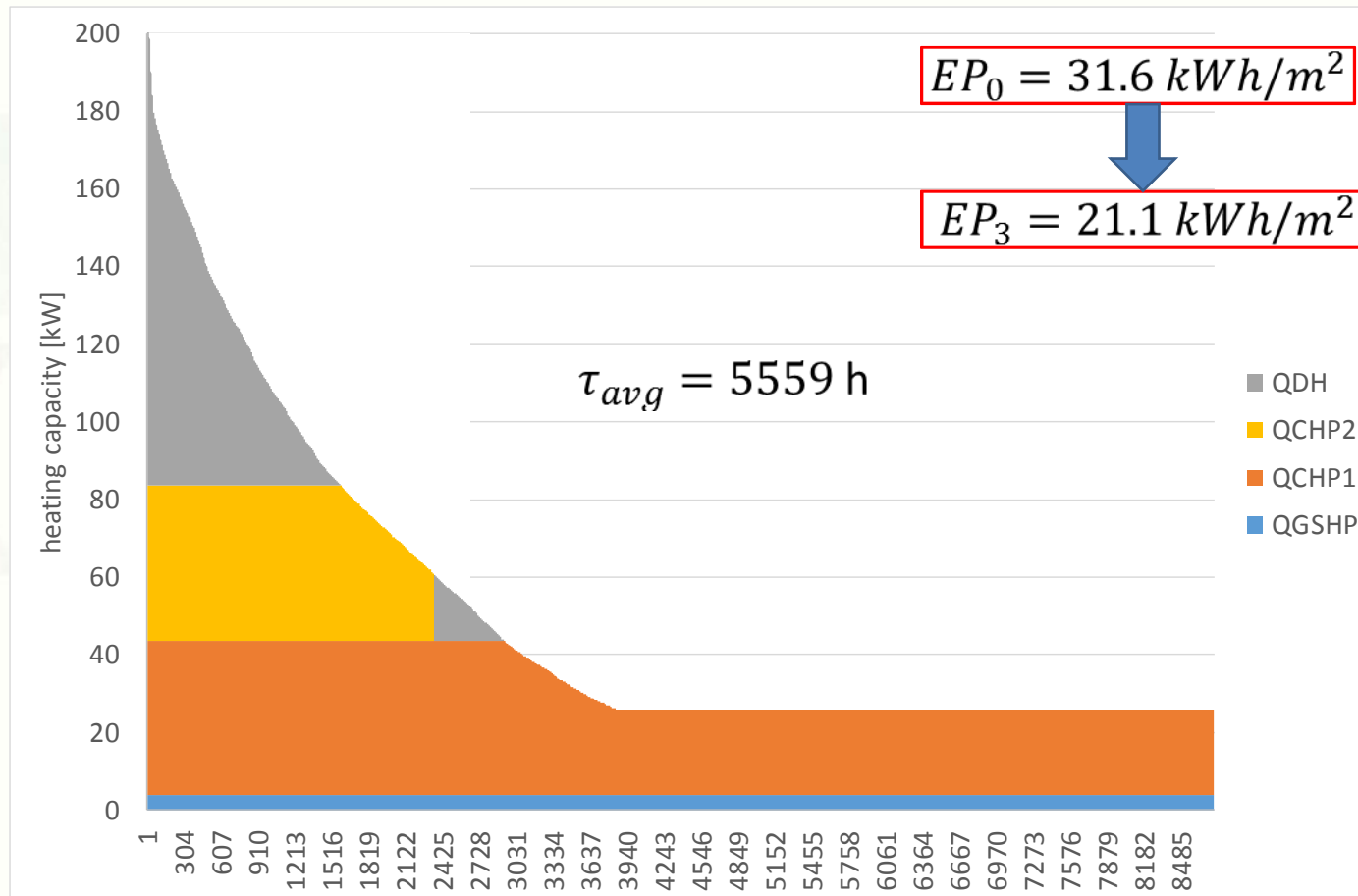


	XRGI 6	XRGI 9	XRGI 15	XRGI 20
Moc elektryczna (modulowana)	2,5 - 6,0 kW	4,0 - 9,0 kW	6,0 - 15,2 kW	10,0 - 20,0 kW
Sprawność elektryczna	28%	29%	30%	32%
Moc cieplna (modulowana)	8,5 - 13,5 kW	14,0 - 20,0 kW	17,0 - 30,0 kW	25,0 - 40,0 kW
Sprawność całkowita	92%	94%	92%	96%
Zużycie gazu	11,0 - 21,4 kW	16,0 - 31,0 kW	26,0 - 49,0 kW	31,0 - 62,5 kW
Emisje	Poniżej normy DVGW VP 112 i normy powietrznej TA			
Okres między przeglądami	10 000 godz.	10 000 godz.	8 500 godz.	6 000 godz.
Temp. wody (zasilanie/powrót)	80 - 85 °C / 5 - 75 °C			
Poziom hałasu	< 49 dB(A) w odległości 1 m			

CHP – wpływ na EP



CHP + GPC – wpływ na EP (wstępny podgrzew cwu do 15 °C)



PV

- Wymagana redukcja – $1,1 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$
(20.9 MWh/a)
- Wymagana moc szczytowa $\sim 25 \text{ kW}_p$
- Wymagana powierzchnia $\sim 150 \text{ m}^2$

Do rozstrzygnięcia:

CHP + PV + Sieci jako źródła szczytowe

czy

Sieci + więcej PV ?

Projekt KODnZEB – podsumowanie

- Modernizacja budynku WIBHiŚ jest innym i bardziej złożonym procesem niż renowacja Akademika “Muszelka”.
- Modernizacja obu budynków nie powinna ograniczać się do termomodernizacji.
- Uwarunkowania lokalne uniemożliwiają bezpośrednie zastosowanie zagranicznych rozwiązań.

