



Politechnika Wrocławska

Instytut Budownictwa

FOTOWOLTAICZNE NADWIESZENIA ZACIENIAJĄCE ZINTEGROWANE Z BUDYNKIEM

dr hab. inż. Henryk Nowak, prof. PWr
dr inż. Dominik Włodarczyk

Wrocław, 05.11.2008r.



Plan prezentacji

1. Wprowadzenie.
2. Zalety i wady systemów BIPV.
3. Możliwości kształtowania obudowy budynku w technologii BIPV.
4. Problemy badawczo-projektowe.
5. Optymalne rozwiązania systemów BIPV.
6. Wpływ nadwieszeń zacieniających na rozkład natężenia światła dziennego w pomieszczeniach.
7. Instalacja BIPV na elewacji budynku C7 PWr.
8. Przykłady zrealizowanych obiektów.
9. Podsumowanie.



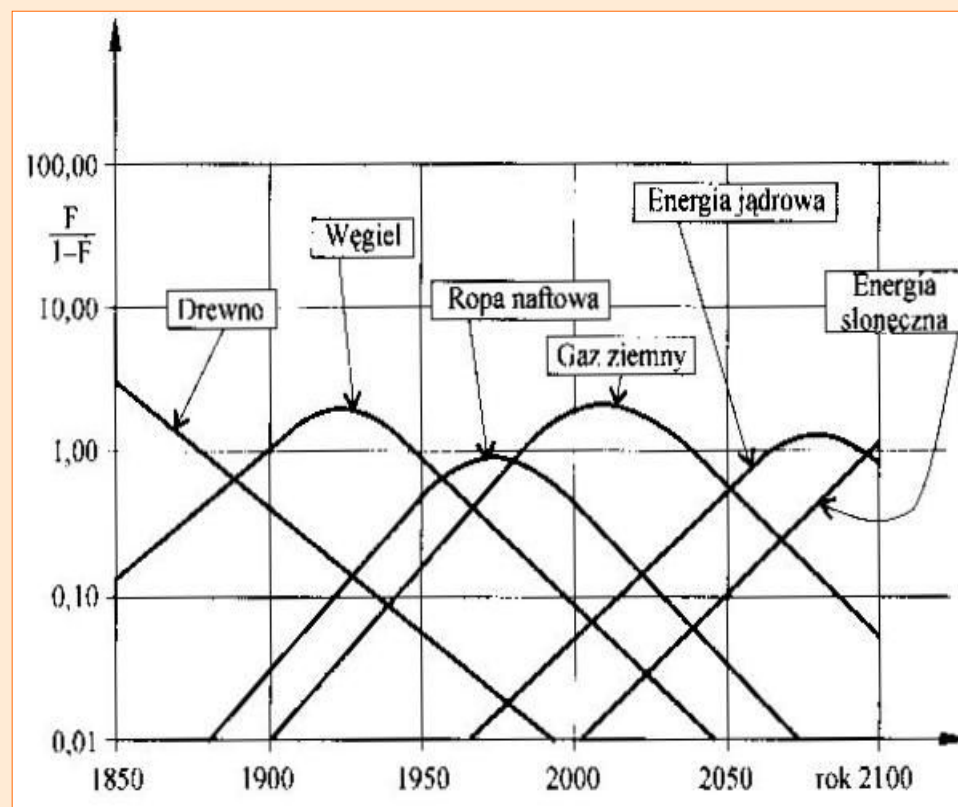
1. Wprowadzenie

Potrzeba oszczędzania energii

Zasoby paliw naturalnych wystarczą w zależności od rodzaju paliwa na (prognozy):

- węgiel - 200 lat,
- ropa naftowa - 100 lat,
- gaz ziemny - 150 lat.

Oszacowanie przy założeniu stałego wydobycia. Jednak już 2% wzrost wydobycia skraca w/w okresy do odpowiednio: 150, 55 i 100 lat.

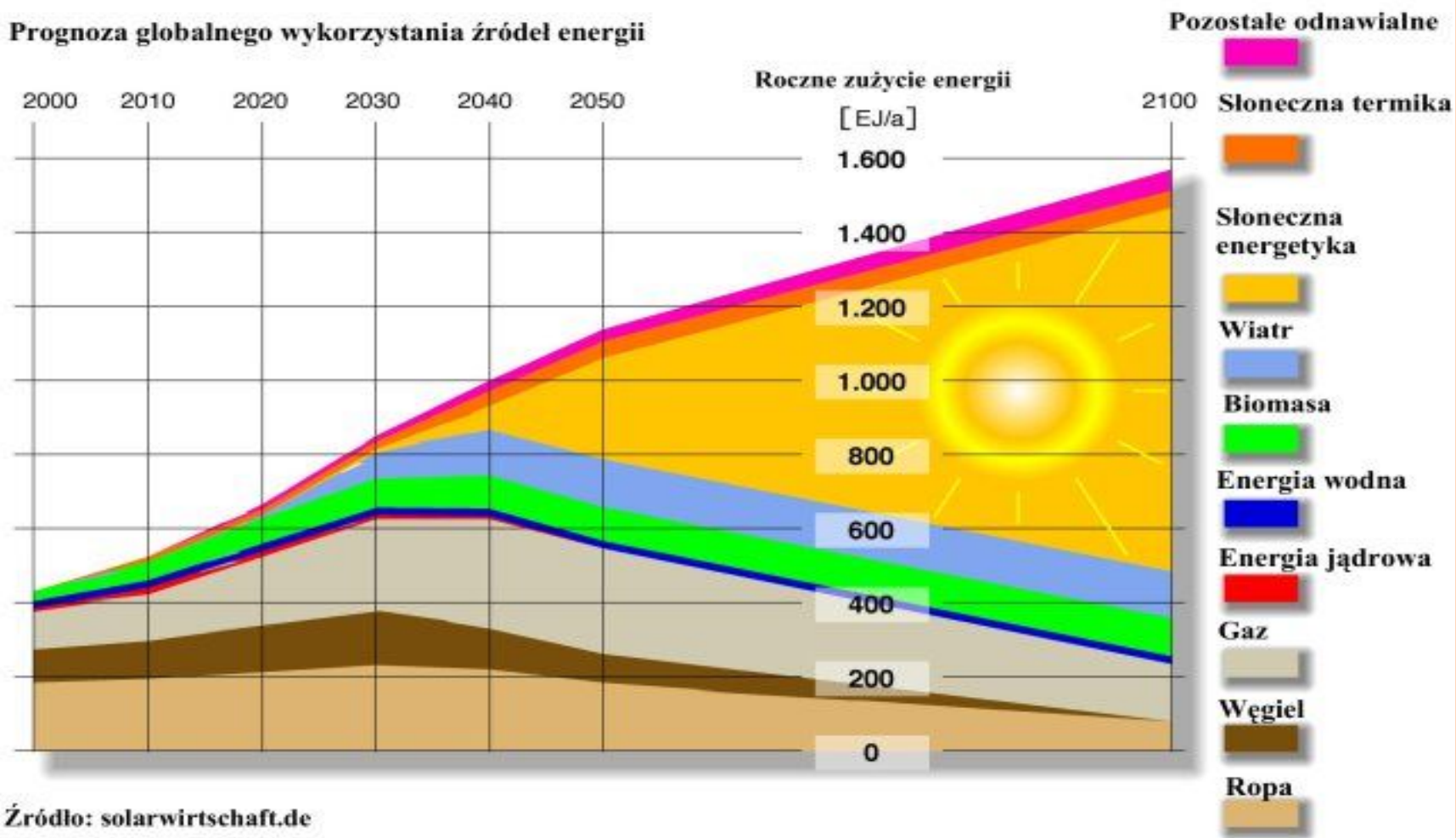




1. Wprowadzenie

Potrzeba globalnego wykorzystania źródeł energii

Prognoza globalnego wykorzystania źródeł energii





1. Wprowadzenie

Zastosowanie odnawialnych źródeł energii do poprawy bilansu energetycznego budynków

Odnawialne źródła energii obejmują energię:

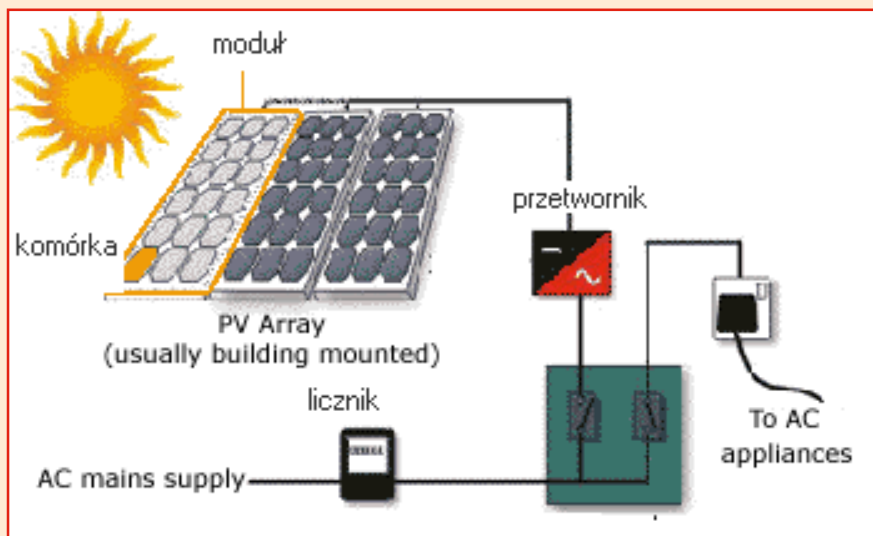
- **wody:**
 - rzecznej (przepływ, różnica poziomów),
 - oceanicznej (pływy, fale morskie i prądy),
- **wiatru** (elektrownie wiatrowe),
- energię promieniowania słonecznego,
- niskotemperaturową energię gruntu,
- **biomasy i biogazu,**
- **geotermalną.**



1. Wprowadzenie

Ogniwa fotowoltaiczne

Ogniwa fotowoltaiczne - bezpośrednia konwersja energii promieniowania słonecznego na energię elektryczną



Schemat systemu fotowoltaicznego

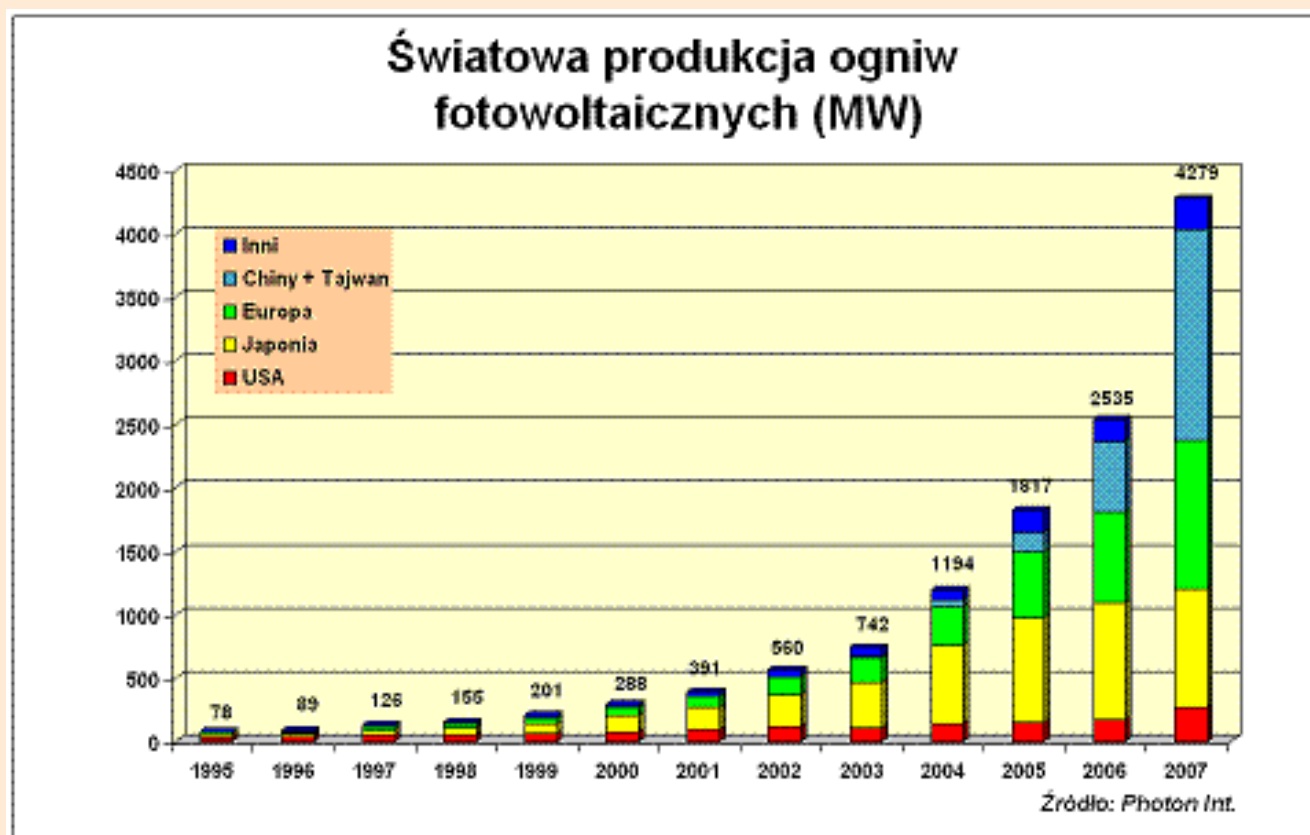


Wolnostojący system PV



1. Wprowadzenie

Światowa produkcja ogniw PV





1. Wprowadzenie

Ogniwa fotowoltaiczne

Zastosowania ogniw fotowoltaicznych:

1. **Elektroniczny sprzęt powszechnego użytku** np. zegarki, kalkulatory, ładowarki do baterii...
2. **Zasilanie sygnalizacji drogowej:**
 - sygnalizacji ostrzegawczej,
 - oświetlania znaków drogowych,
 - telefonów awaryjnych na autostradach.
3. **Zasilanie systemów telekomunikacyjnych:**
 - przenośnych lub stałych stacji nadawczo-odbiorczych,
 - radiowo-telewizyjnych stacji przekąnikowych,
 - stacji przekąnikowych telefonii komórkowej.
4. **Zasilanie systemów ostrzegania:**
 - lądowych i morskich radiolatarni,
 - znaków nawigacyjnych na wodach morskich i śródlądowych,
 - światła ostrzegawcze na szczytach gór, wysokich budynkach.
5. **Transport kolejowy**
 - awaryjnego zasilanie kolejowych systemów sterowania,
 - telefony awaryjne.



1. Wprowadzenie

Ogniwa fotowoltaiczne

6. **Zasilanie lądowych i morskich stacji pomiarowych**
(małe stacje meteorologiczne, systemy alarmowe, balony meteorologiczne, itp.).
7. **W rolnictwie i hodowli**, systemy fotowoltaiczne są dobrze przystosowane do zasilania urządzeń o małej mocy (< 500 W) takich, jak np. suszarki ziół, warzyw, itp., ogrzewania i wentylacji szklarni, napowietrzania stawów rybnych i jezior, pompowania wody, itd.
8. **Zasilanie samotnie stojących domów mieszkalnych i schronisk.**
9. **W miastach** moduły fotowoltaiczne mogą być wykorzystywane do zasilania np. parkomatów, automatów sprzedających bilety, zegarów ...
10. **W budynkach mieszkalnych i biurowcach** dołączonych do sieci elektrycznej.
11. **Elektrownie fotowoltaiczne.**
12. **Zasilanie pojazdów kosmicznych.**



1. Wprowadzenie

Ogniwa fotowoltaiczne

Podstawowe dane techniczne ogniw PV:

- nominalna moc wyjściowa - W_p (peak Watt), moc uzyskana z danego modułu w warunkach standardowych (temp. modułu $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, natężenie promieniowania słonecznego 1000 W/m^2),
- wzrost temperatury modułu powoduje obniżenie jego sprawności (spadek o ok. $0,5\text{ } \%/1^{\circ}\text{C}$),
- standardowy moduł generuje moc $50\text{--}140\text{ W}$,
- sprawność modułów wynosi $13\text{--}17\%$, największa udokumentowana moc wynosi $24,7\%$,
- samooczyszczanie modułów jest możliwe przy kącie pochylenia powyżej 15° .



1. Wprowadzenie

Ogniwa fotowoltaiczne

Rodzaje instalacji PV:

- stacjonarna,
- nadążna (sun-tracking),
- samodzielna (off-grid),
- dołączona do sieci elektroenergetycznej (in-grid, grid-connected)
 - systemy zintegrowane z budynkiem (BIPV - Building Integrated PV).



1. Wprowadzenie

Definicja BIPV

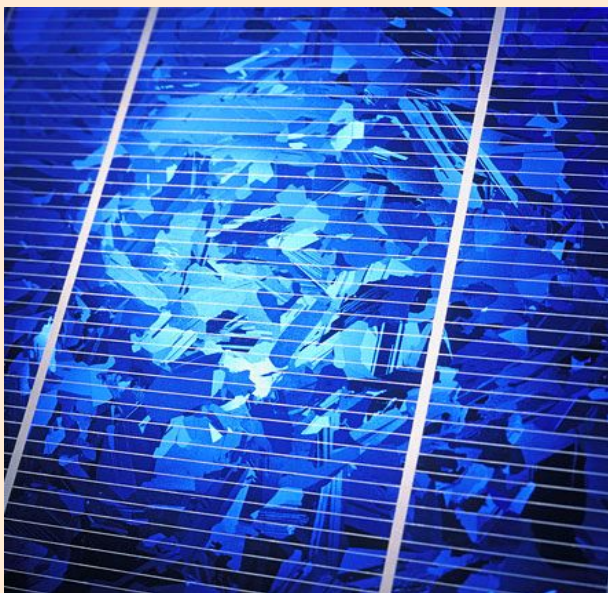


BIPV - Building Integrated Photovoltaics, fotowoltaika zintegrowana z budynkiem. Panele fotowoltaiczne oprócz generacji prądu mogą pełnić dodatkowe funkcje elementów, które zastępują.



1. Wprowadzenie

Definicja BIPV



BIPV – Building Integrated Photovoltaics

Fotowoltaika zintegrowana z budynkiem to koncepcja zakładająca dostosowanie modułów PV do różnorodnych aplikacji w budynku, w tym głównie jako elementów stanowiących alternatywę dla tradycyjnych elementów budowlanych w obrębie dachów i elewacji (np. pokryć dachowych, szklanych systemów elewacyjnych i dachowych, elewacyjnych elementów okładzinowych)



1. Wprowadzenie

Funkcje systemów BIPV

- generator prądu elektrycznego,
- zewnętrzny system panelowy (ścienny) budynku,
- zewnętrzny system panelowy dachowy,
- świetliki dachowe,
- szyby okienne,
- semitransparentne fasady szklane,
- systemy zacieniające.



1. Wprowadzenie

Elektrownie fotowoltaiczne



Systemy o wielkiej mocy szczytowej i najbardziej wydajne, lecz najdroższe z uwagi na:

- zakup ziemi,
- pozwolenia na wzniesienie,
- oczyszczenie terenu,
- budowa fundamentów i konstrukcji wsporczych,
- podłączenie sieci energetycznej,
- zabezpieczenie terenu,
- koszty przesyłu energii.



2. Zalety i wady systemów BIPV

- **Zasadniczą zaletą ogniw fotowoltaicznych** jest to, że przetwarzają energię promieniowania słonecznego bezpośrednio na energię elektryczną, bez ubocznej produkcji zanieczyszczeń, hałasu oraz innych czynników wywołujących niekorzystne zmiany w środowisku.
- **Zasadniczą wadą ogniw** jest w dalszym ciągu ich wysoka cena mimo, że w ciągu ostatnich lat znacznie ją obniżono (obecnie ok. 20 zł/W).
Na dzień dzisiejszy z uwagi na wysokie koszty oraz małą sprawność paneli fotowoltaicznych (ok. 15%) ich stosowanie w budynkach jest nieopłacalne. Niemniej, w literaturze tematu już są anonowane ogniwa fotowoltaiczne nowej generacji o wydajności 80-90%. Można się zatem spodziewać, że w najbliższym czasie opłacalność stosowania ogniw zdecydowanie wzrośnie.



2. Zalety i wady systemów BIPV

Dlaczego więc budynki?

W porównaniu do elektrowni słonecznych, których mocy systemy BIPV prawdopodobnie nigdy nie osiągną, następuje redukcja kosztów związanych z:

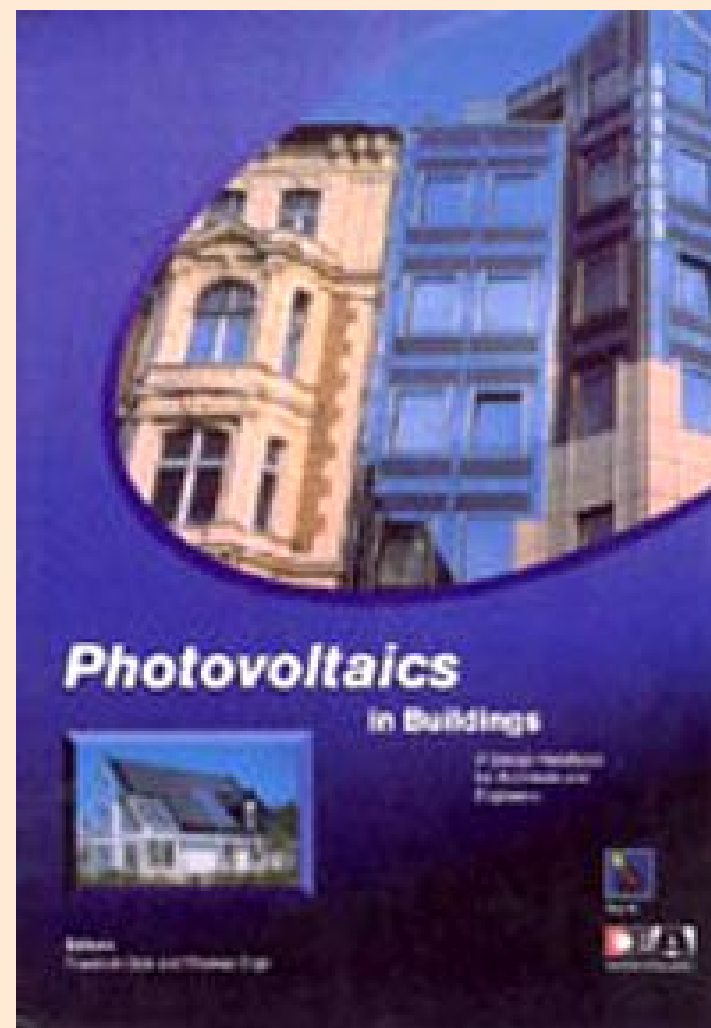
- zakupem ziemi,
- pozwoleniem na wzniesienie,
- oczyszczeniem terenu,
- budową fundamentów i konstrukcji wsporczych,
- podłączeniem sieci energetycznej,
- zabezpieczeniem terenu,
- zakupem elementów budynku które zastąpione zostają przez moduły PV
- kosztem przesyłu energii, gdyż energia wytwarzana jest w miejscu występowania jej zapotrzebowania.





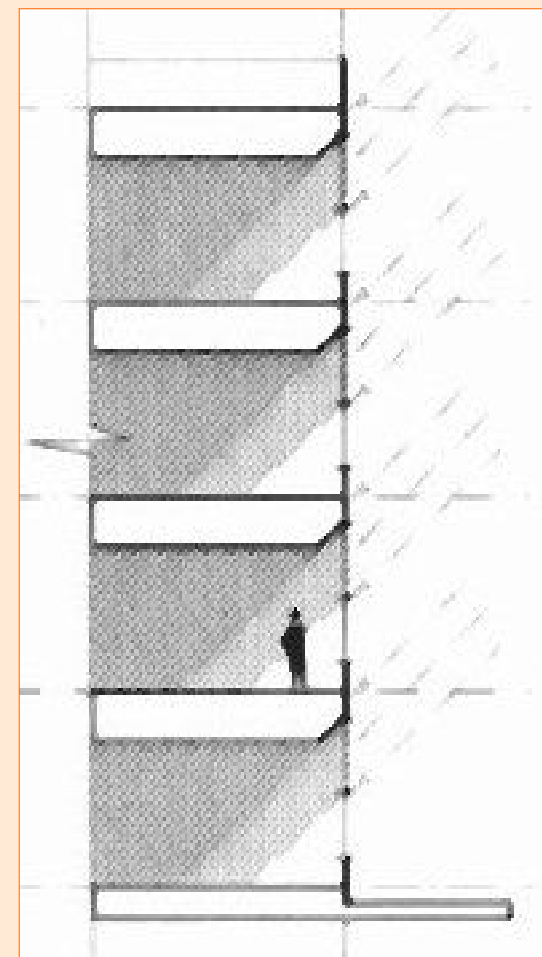
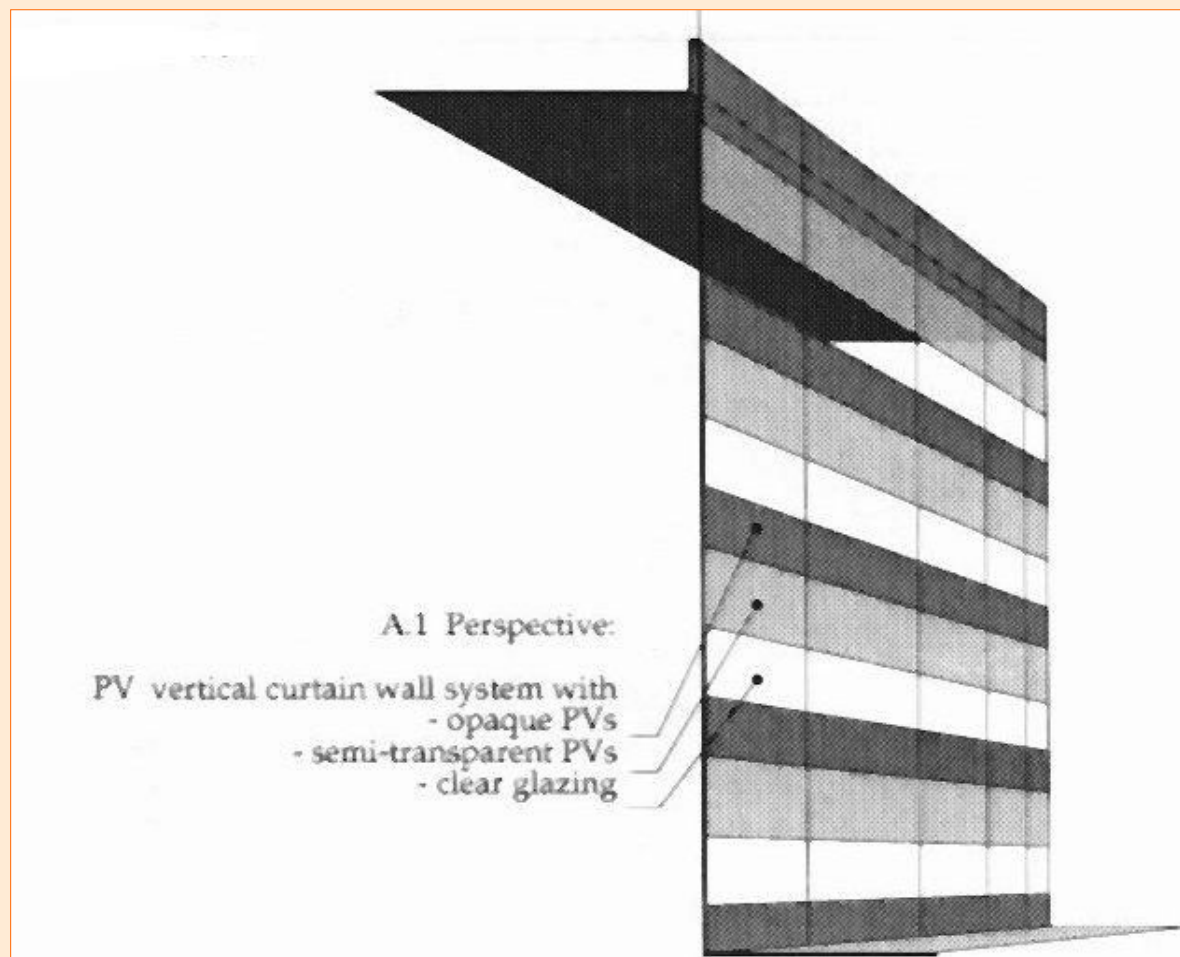
3. Możliwości kształtowania obudowy budynku w technologii BIPV

Możliwości implementacji paneli fotowoltaicznych w obudowę budynku omówione w tej części wystąpienia zostały zilustrowane rysunkami z książki:
Sick, F. and Erge, T. (eds.), Photovoltaics in Buildings: a Design Handbook for Architects and Engineers, International Energy Agency, Paris, France, 1996



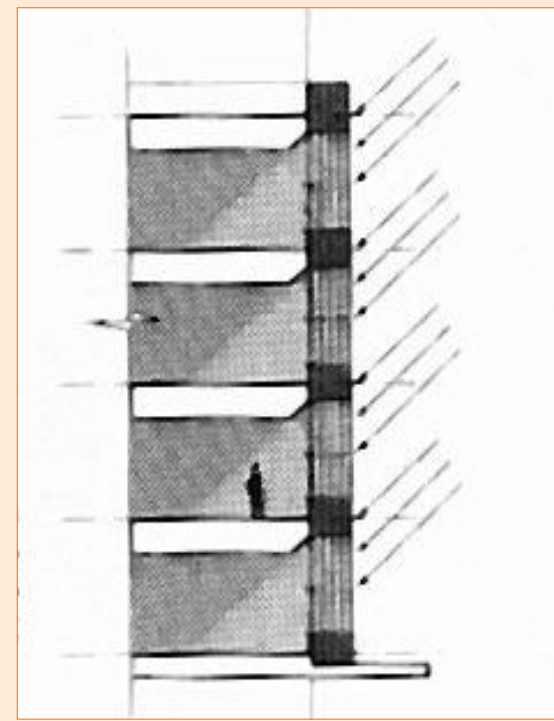
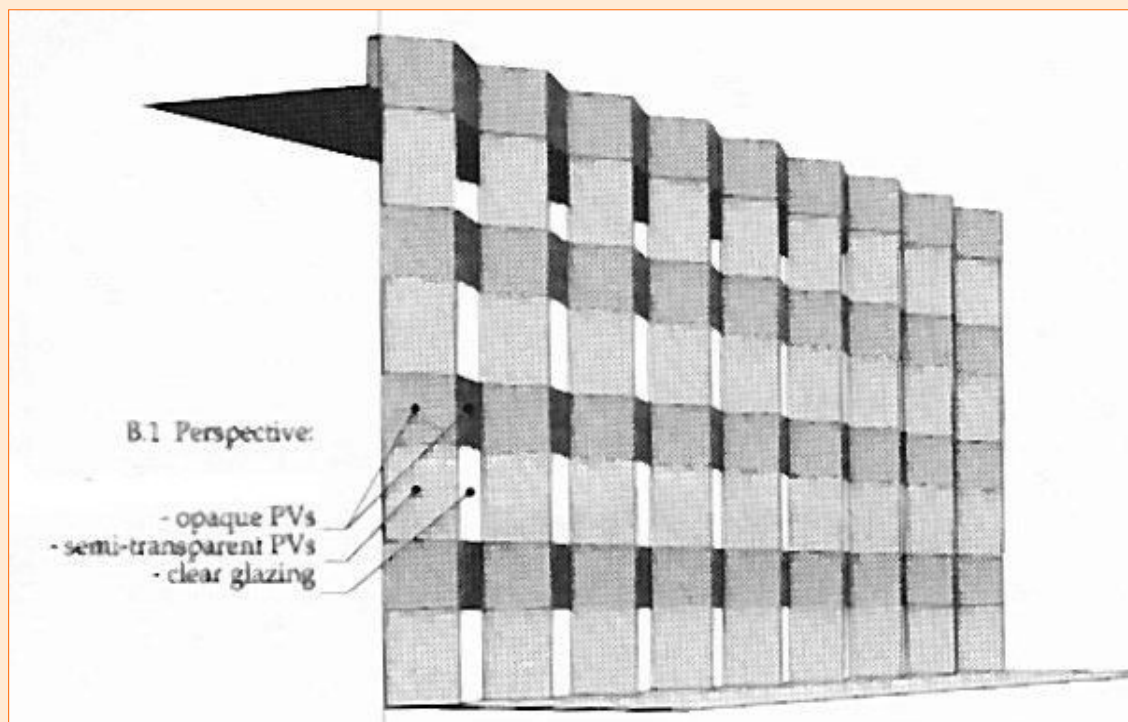


Vertical Curtain Wall



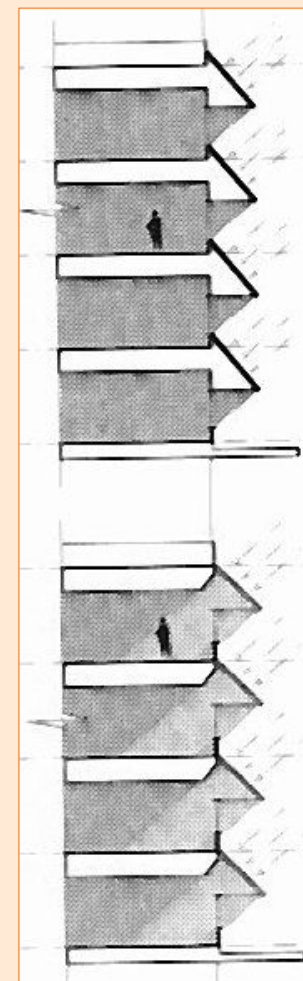
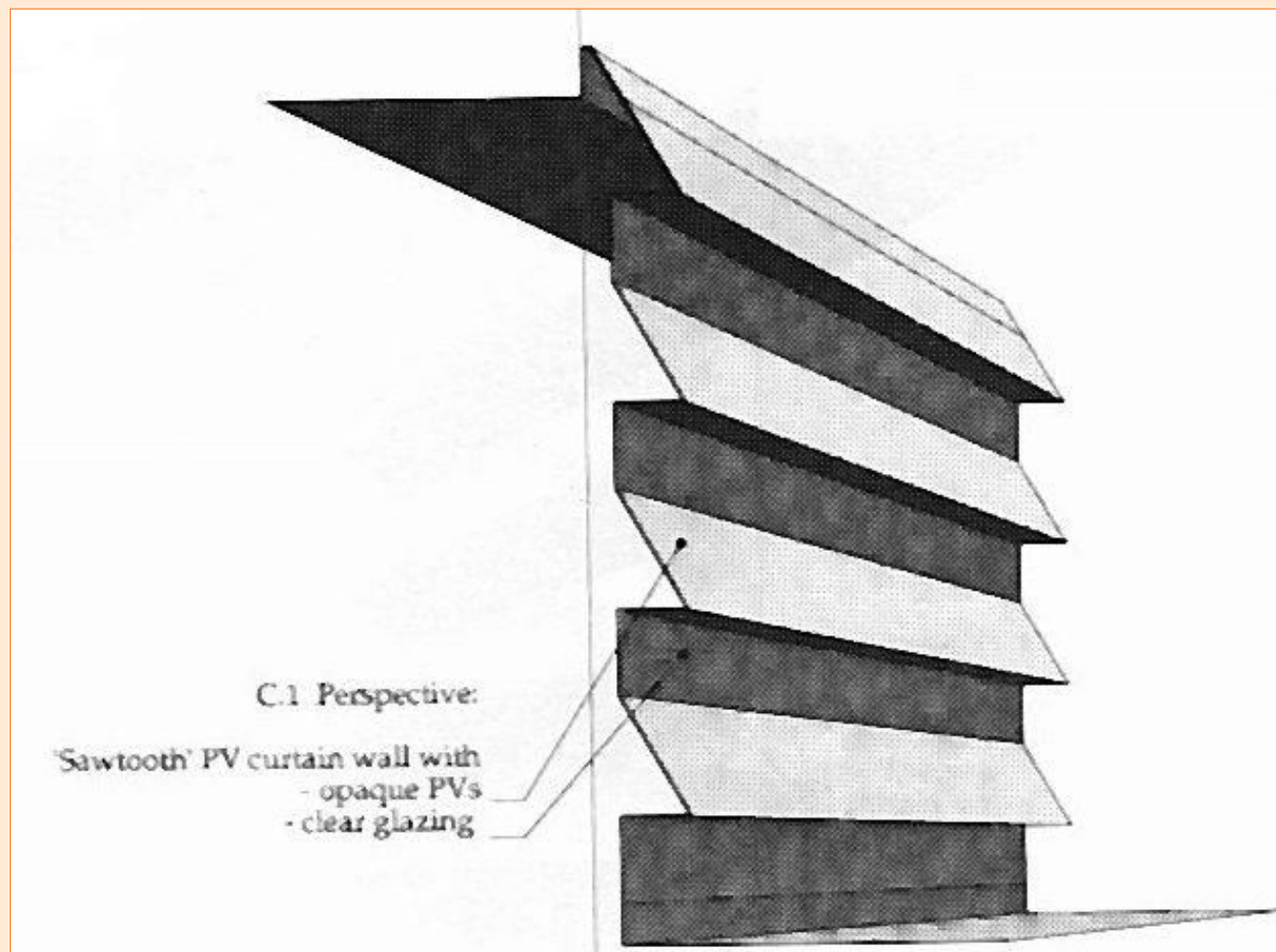


Sawtooth Vertical Curtain Wall



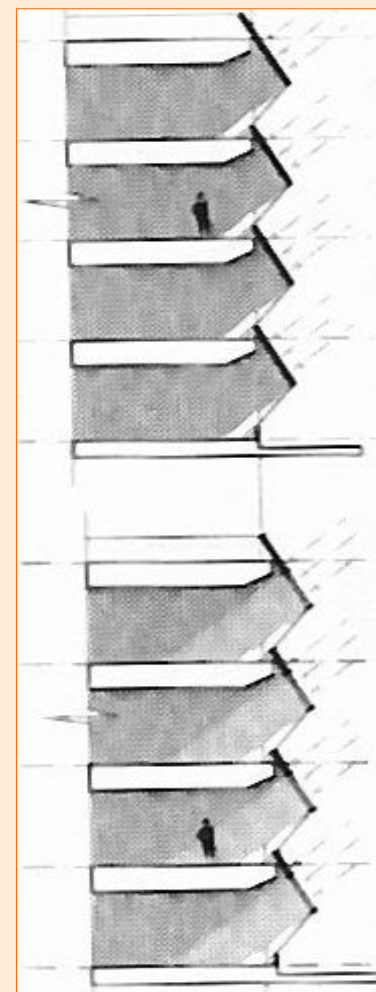
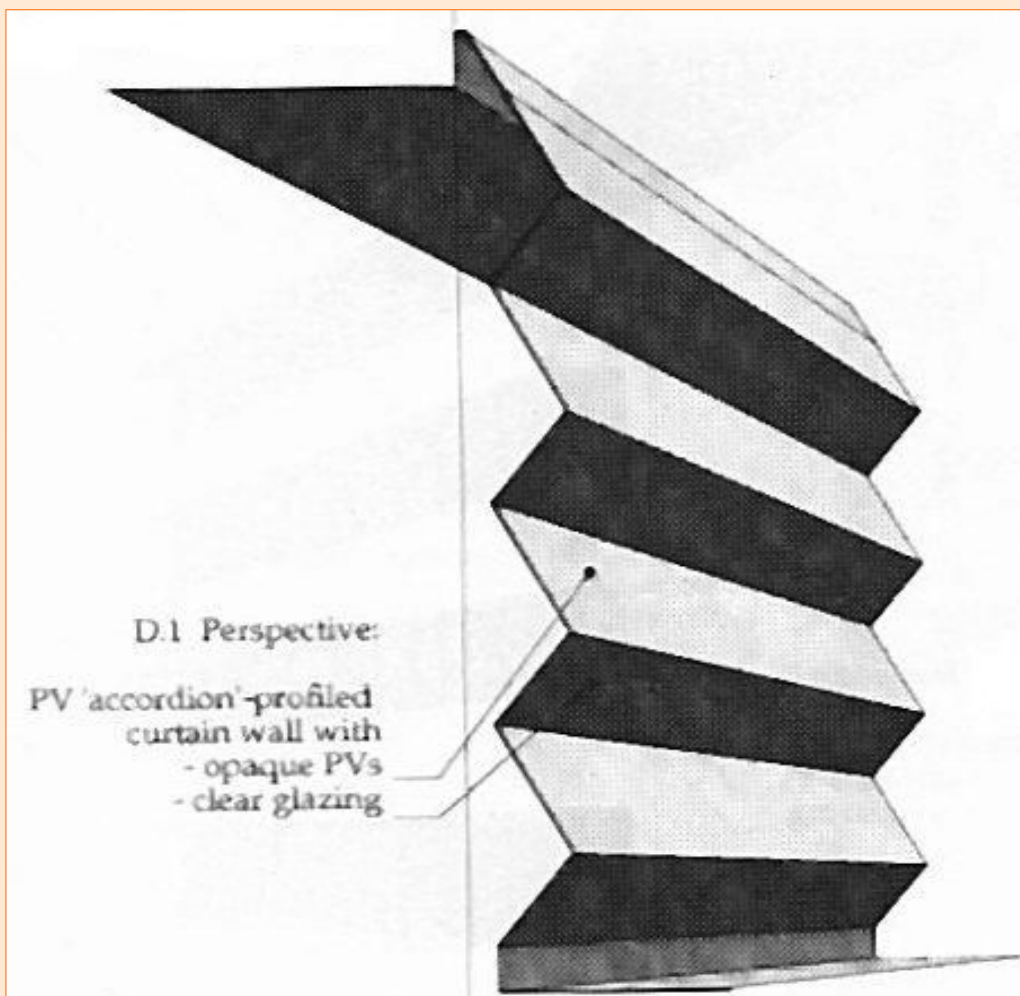


PV Sawtooth Curtain Wall



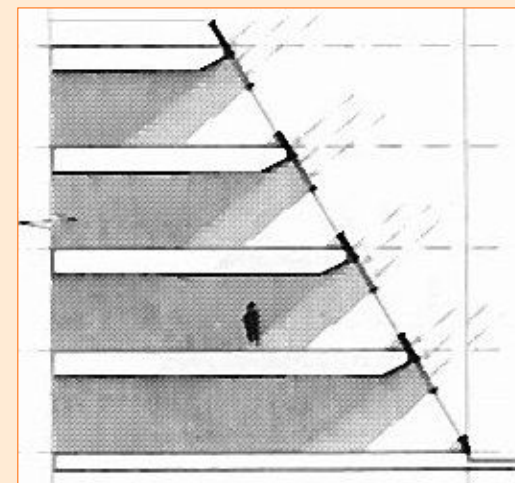
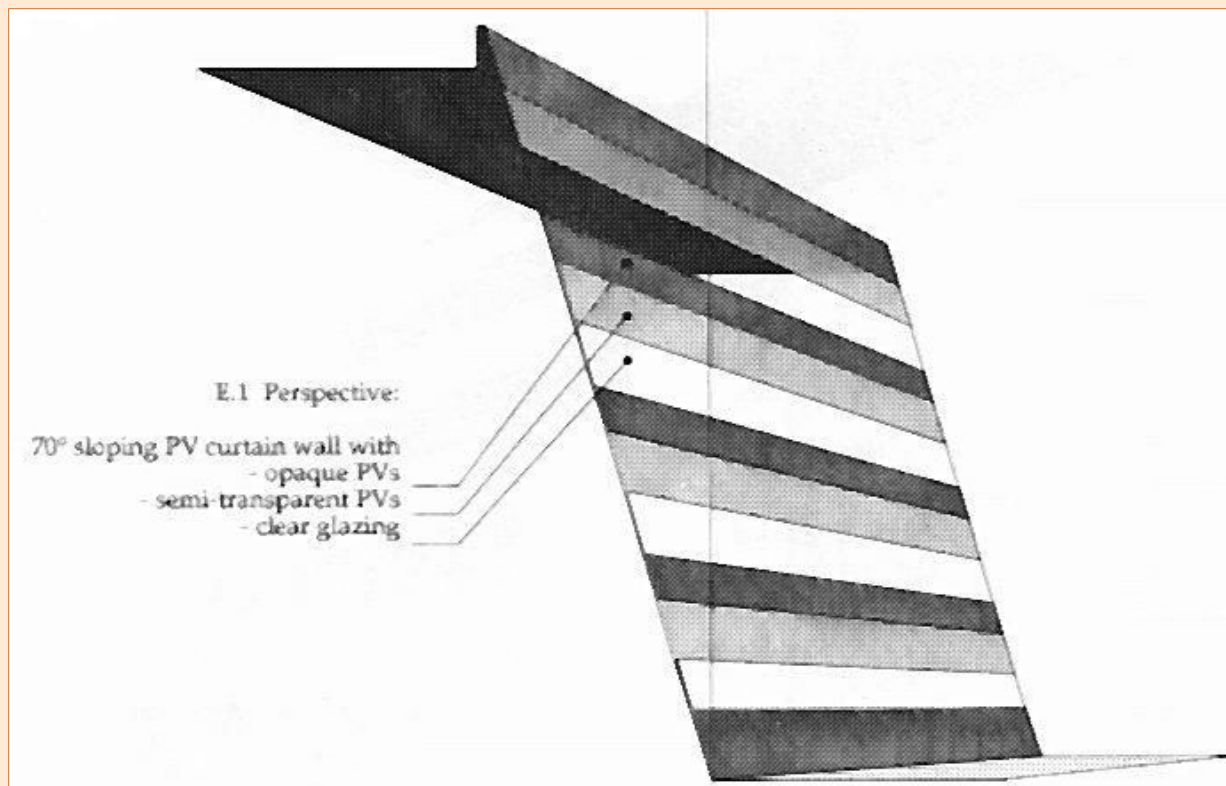


PV Accordion Curtain Wall



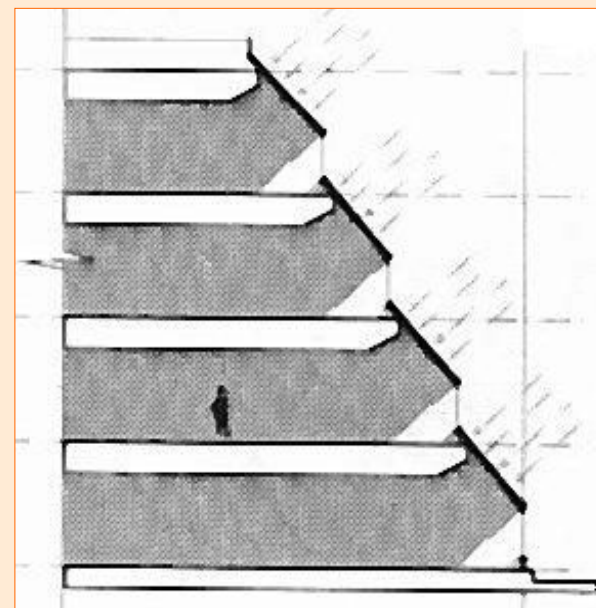
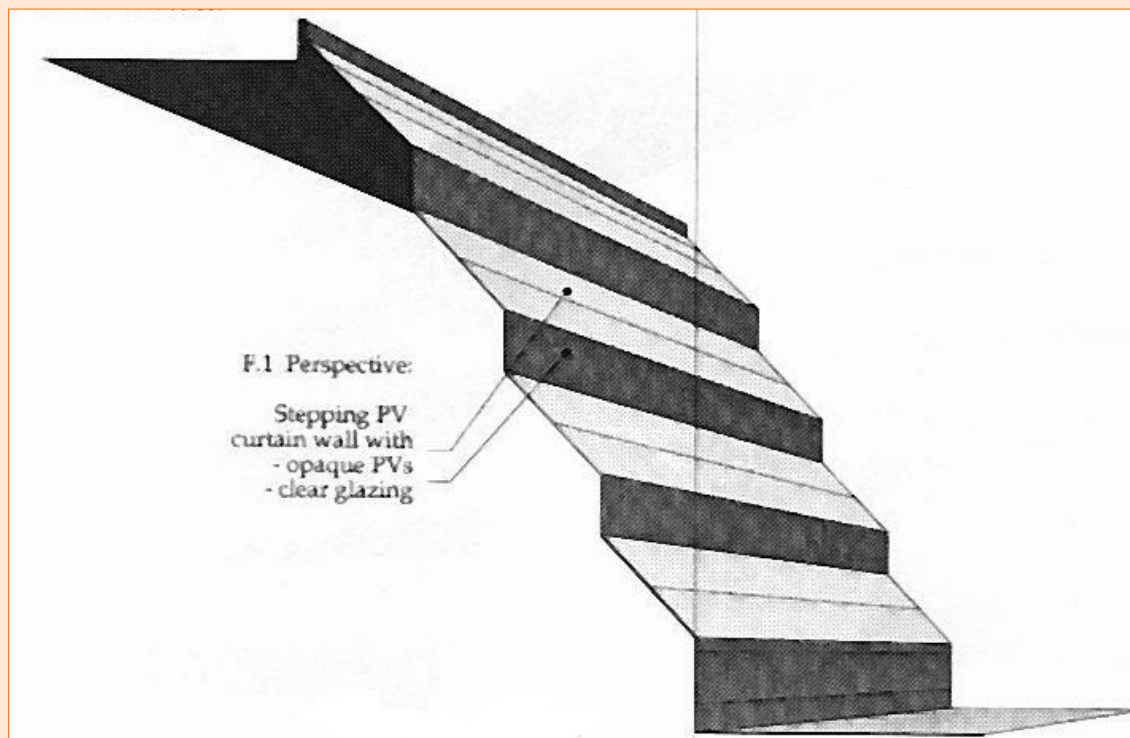


PV Sloping Curtain Wall



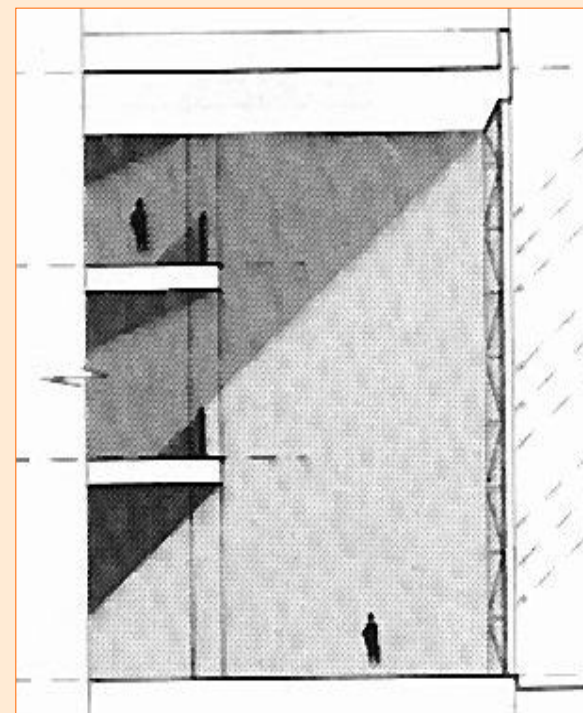
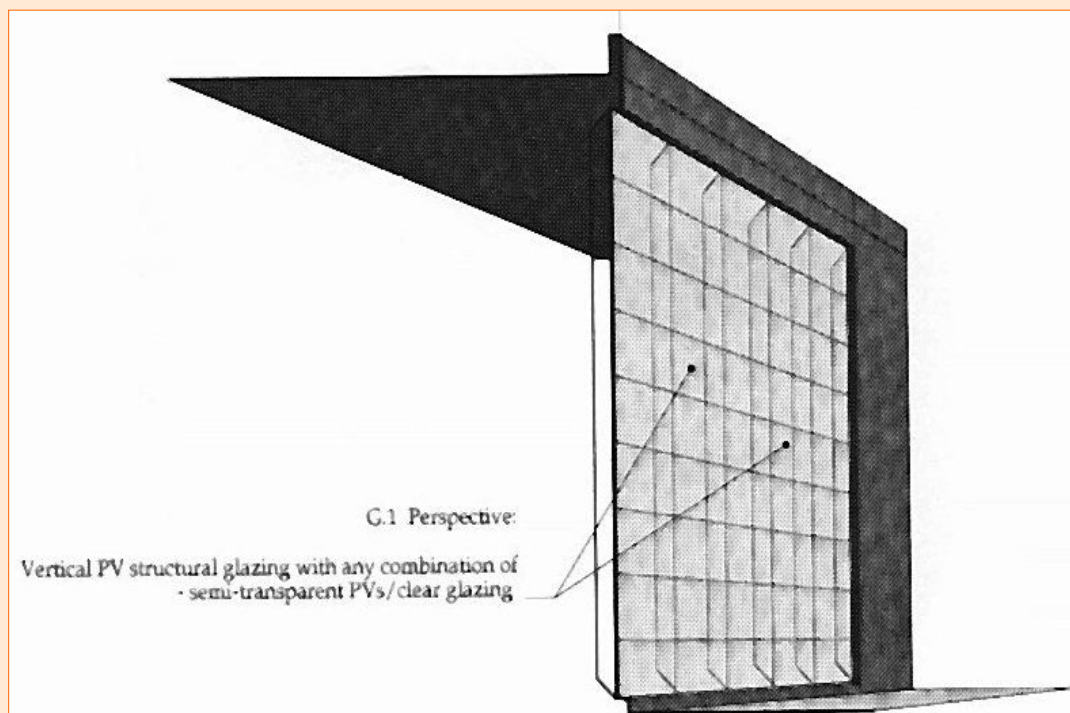


PV Sloping/Stepped Curtain Wall



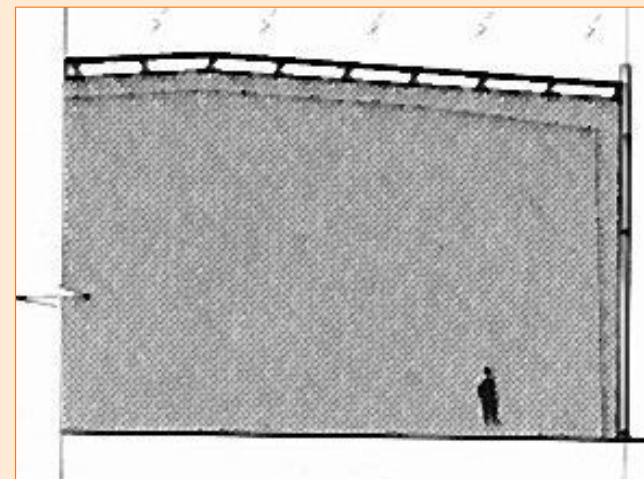
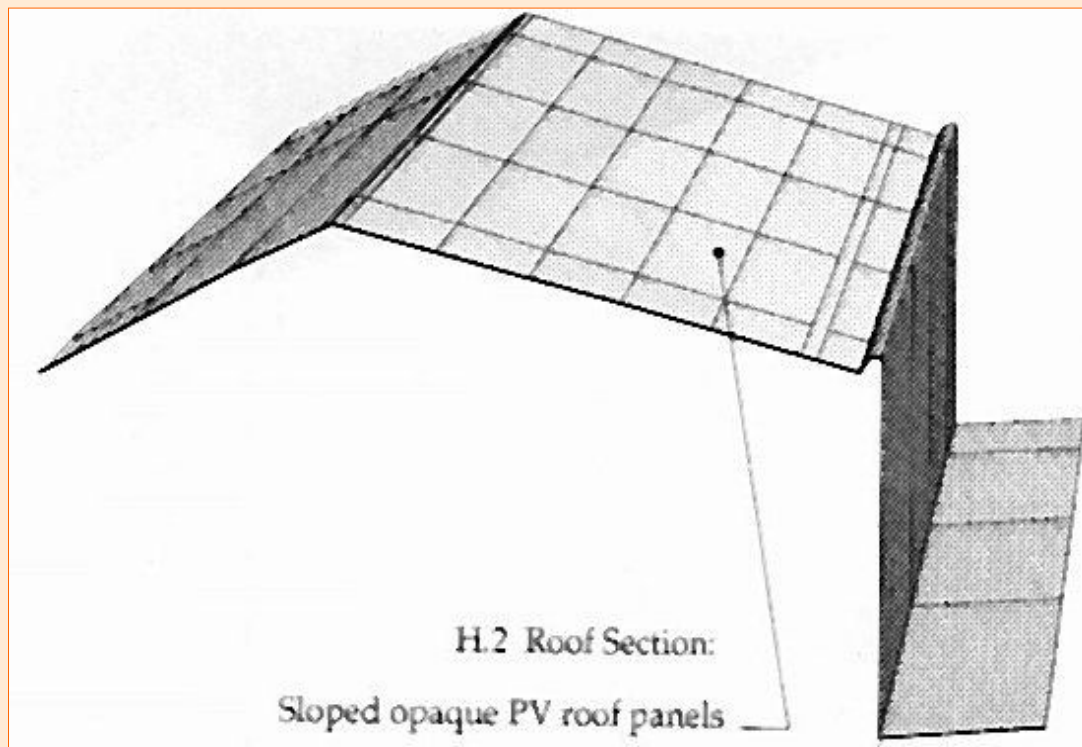


PV Structural Glazing



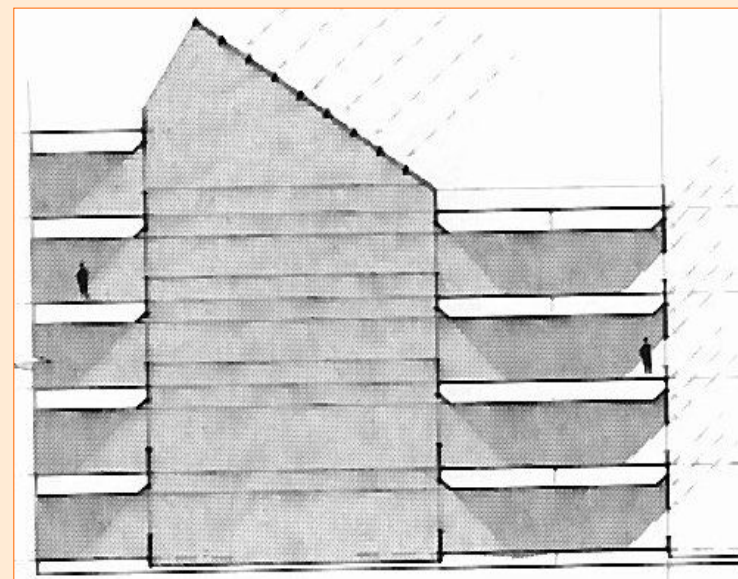
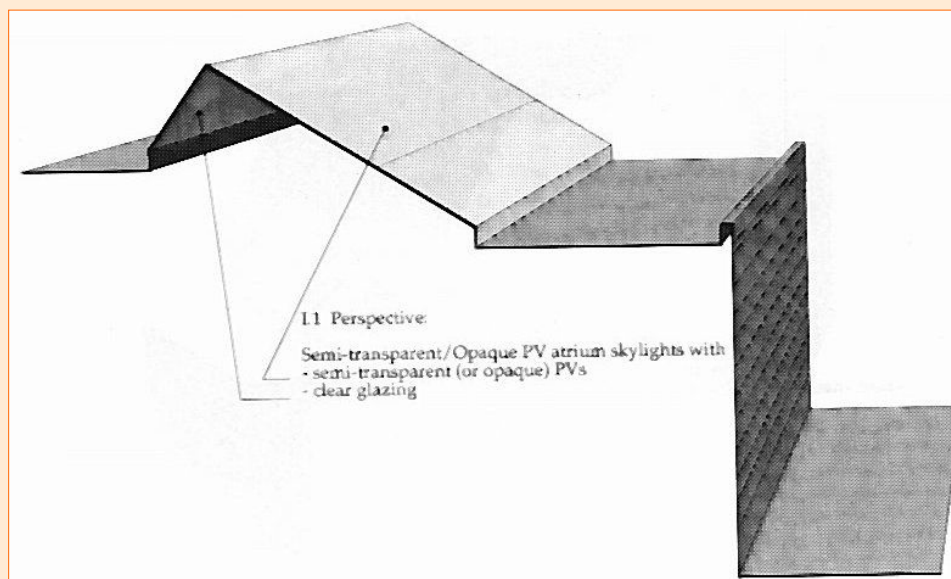


PV Roof Panels



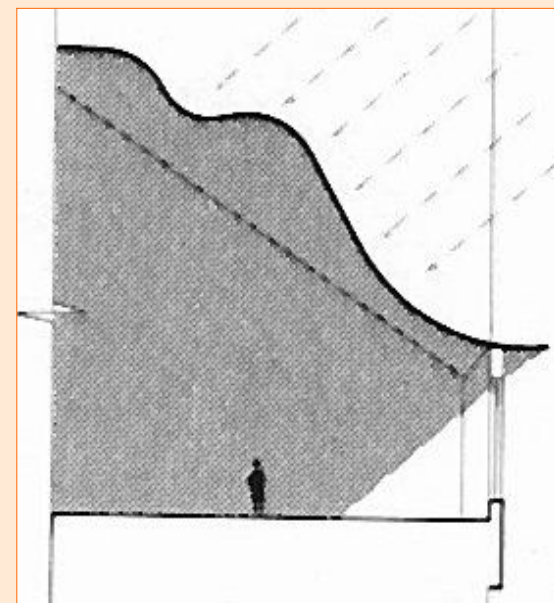
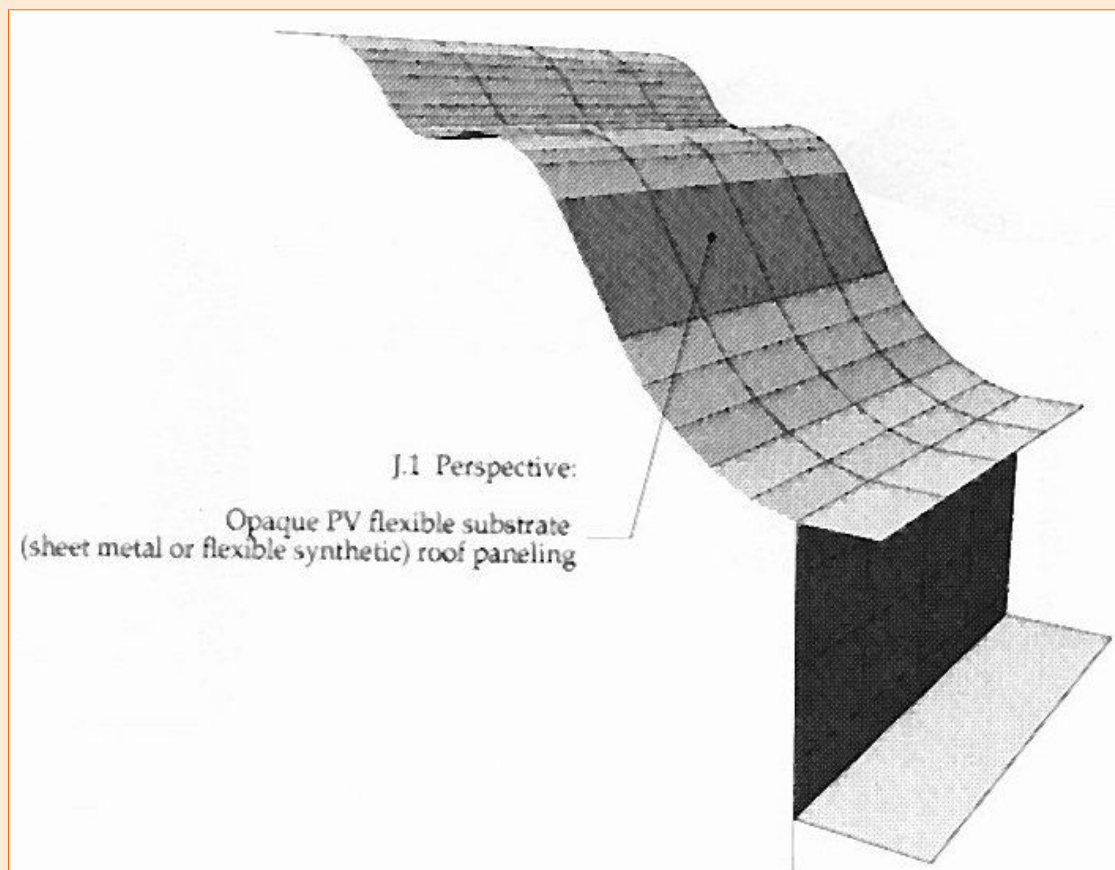


PV Atriums



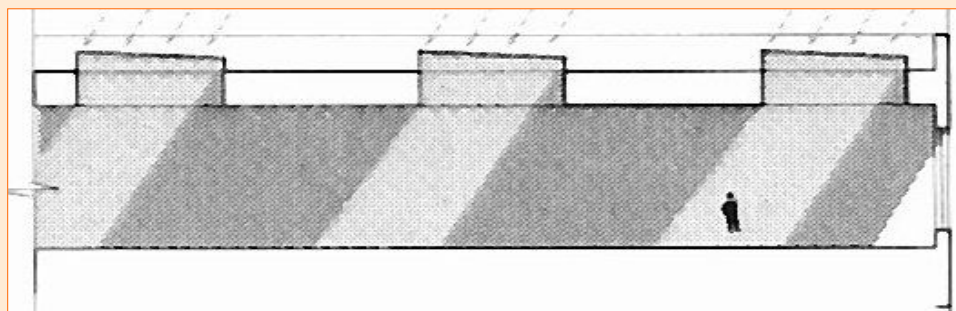
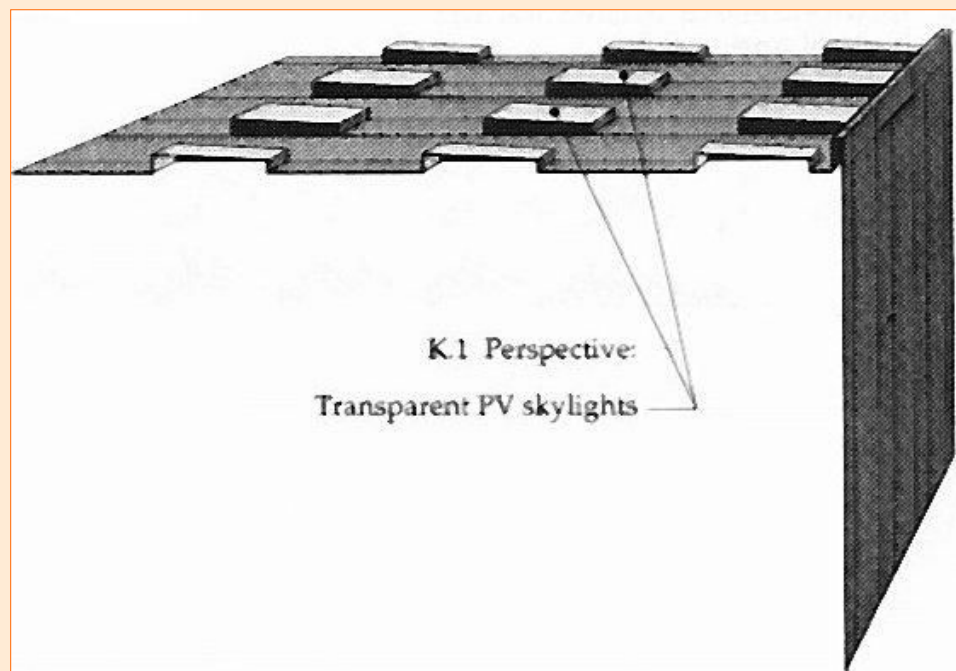


Flexible/Metal PV Substrates



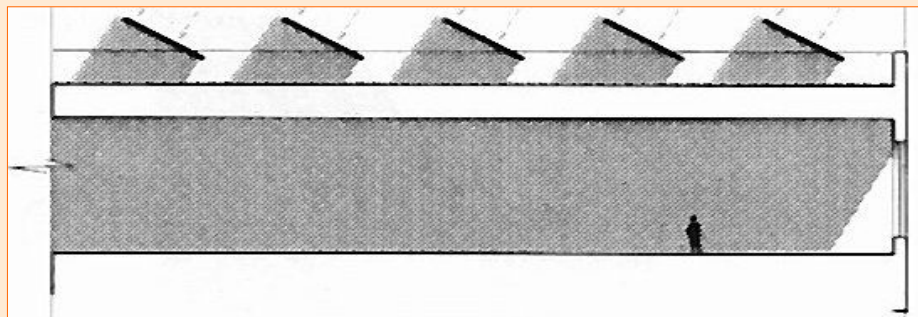
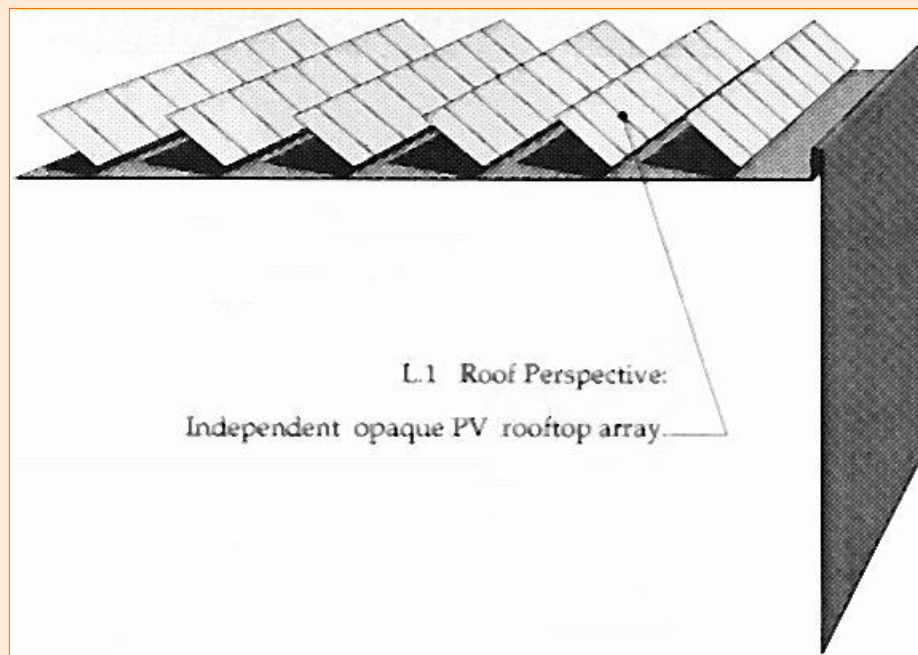


PV Skylights



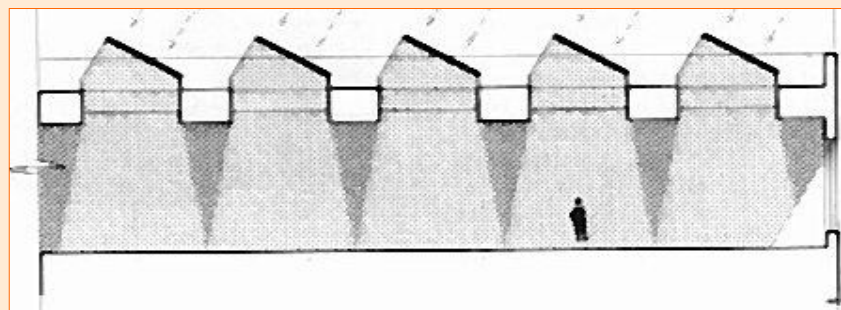
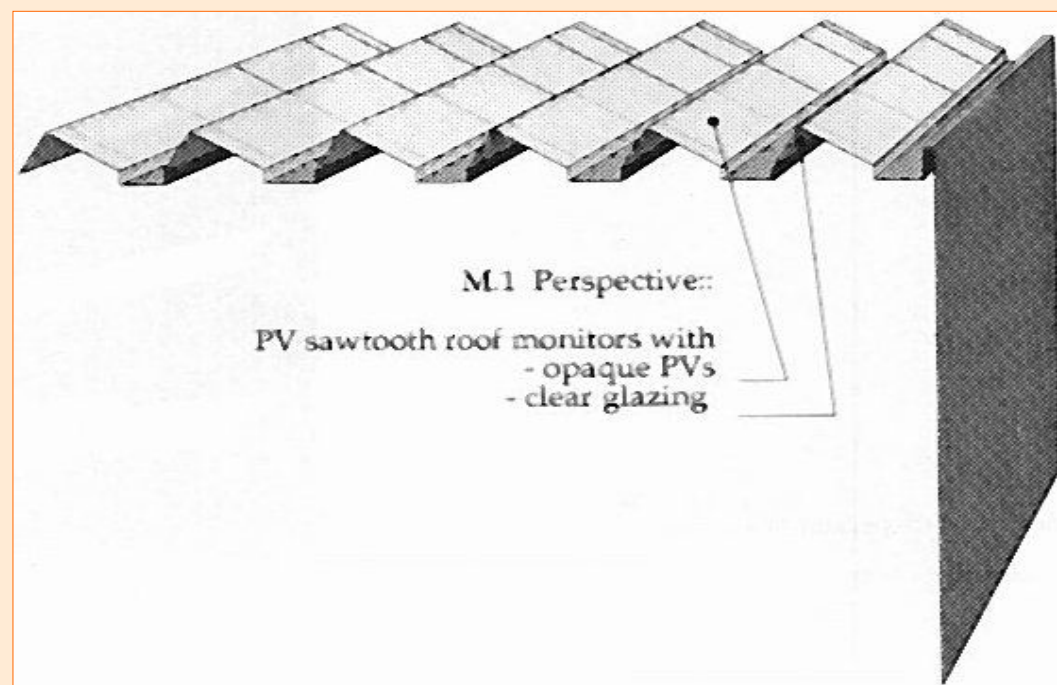


Independent PV Rooftop Array



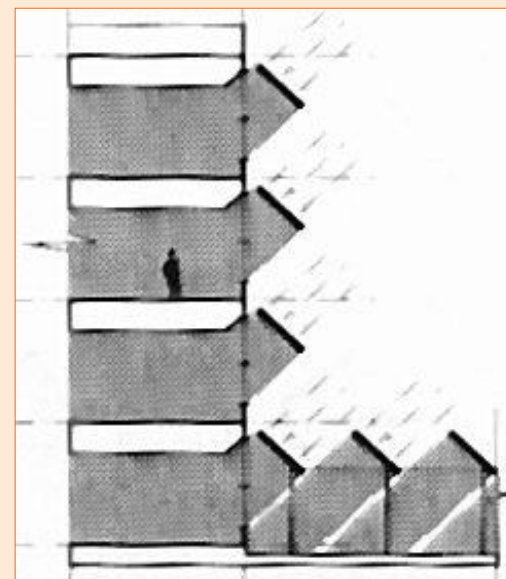
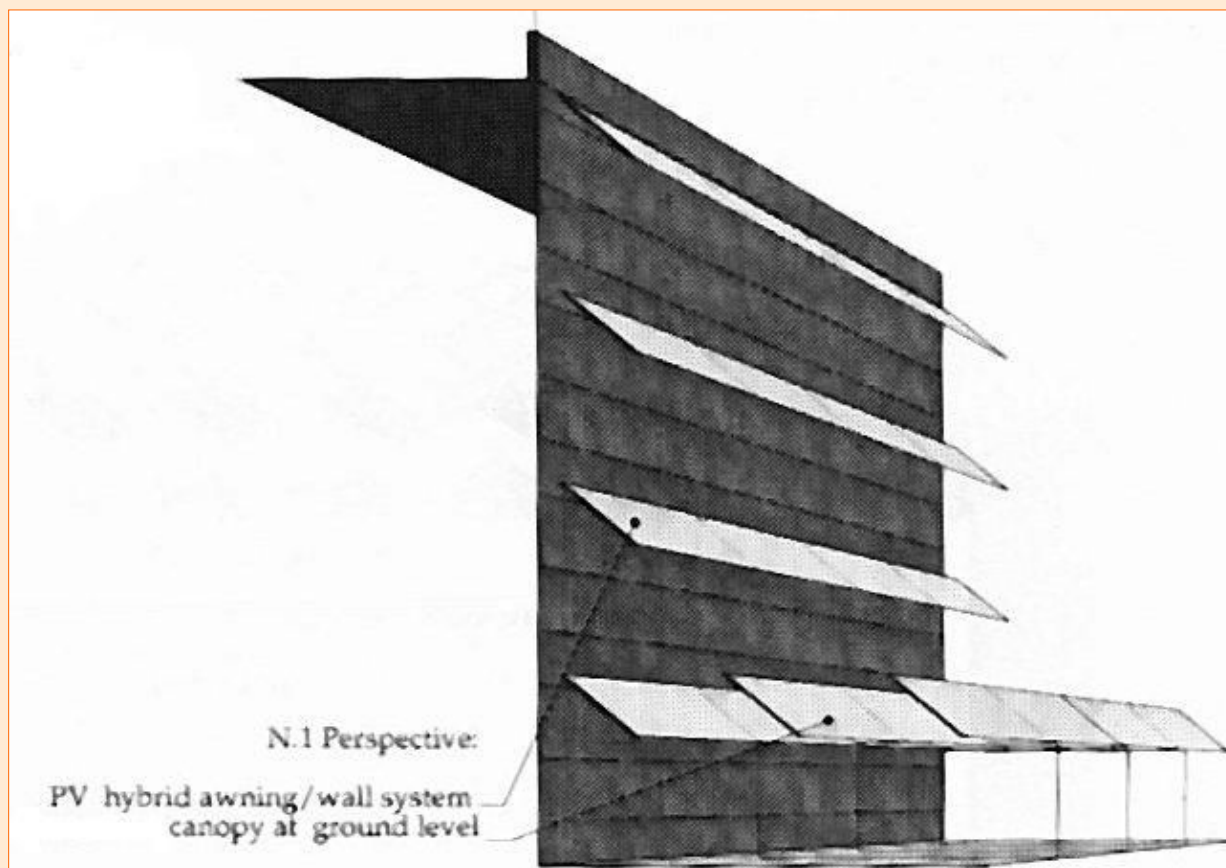


PV Sawtooth Roof Monitors



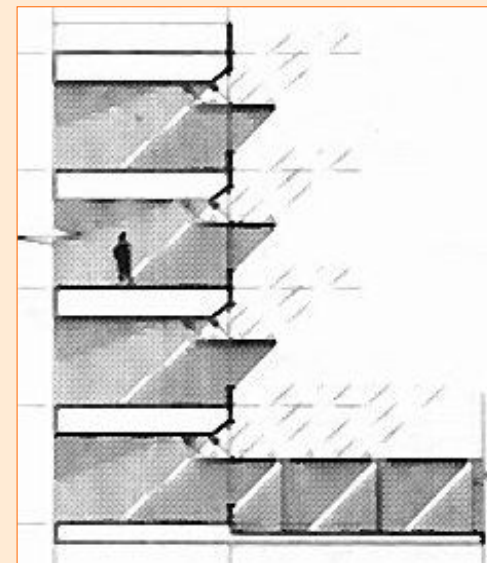
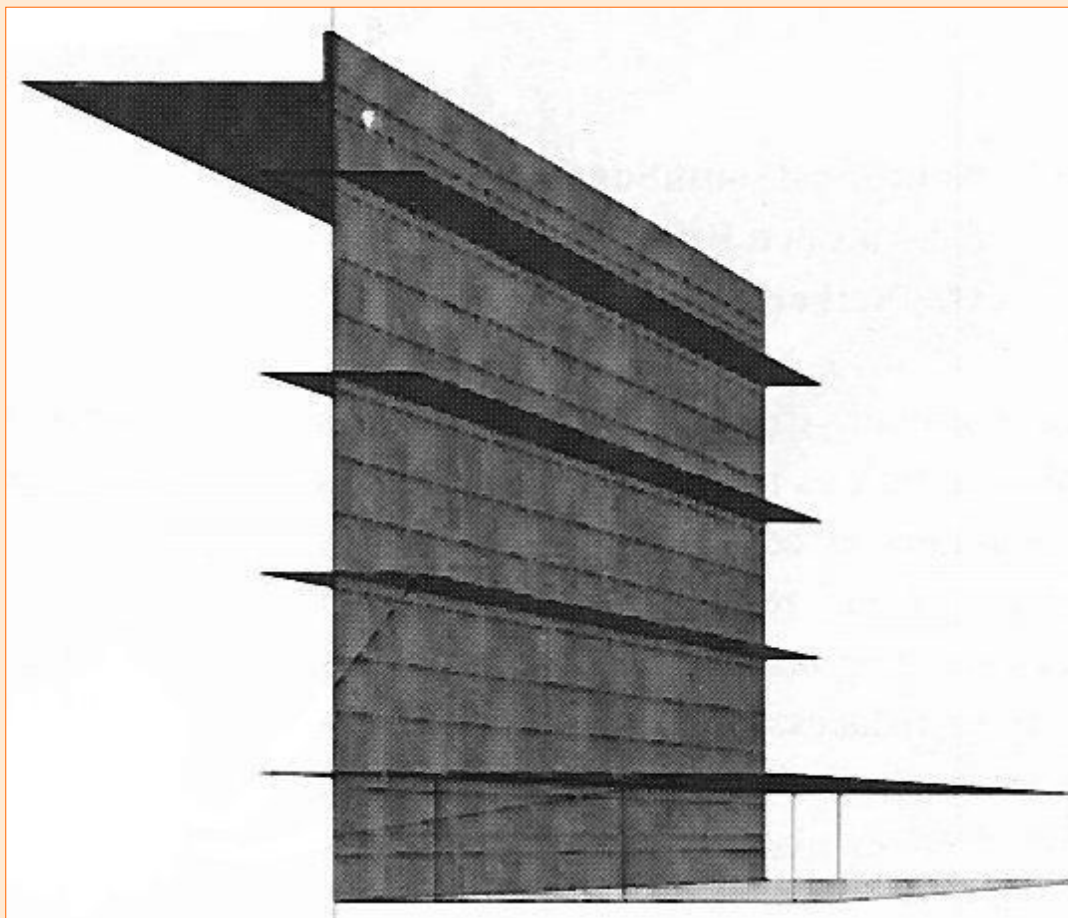


Hybrid PV Awning System





Hybrid PV Awning/Light Shelf Systems



[illegible]



4. Problemy badawczo-projektowe

Przedmiotem analizy są
**fotowoltaiczne nadwieszenia
zacieniające, zintegrowane
z fasadą budynku biurowego.**

Głównym celem analizy jest
**określenie wpływu
fotowoltaicznych nadwieszeń
zacieniających na bilans
energetyczny budynku
biurowego.**

**Wpływ nadwieszeń
zacieniających na zyski
słoneczne pomieszczenia**
*(modelowanie teoretyczne
i pomiary)*

**Test modeli pracy modułów
fotowoltaicznych w polskich
warunkach klimatycznych**
*(modelowanie teoretyczne
i pomiary)*



**Wpływ nadwieszeń
zacieniających na oświetlenie
wnętrz światłem dziennym**
(symulacje komputerowe)

**Wpływ nadwieszeń
zacieniających na zyski
słoneczne oraz zużycie energii
grzewczej i klimatyzacyjnej
w budynku**
(symulacje komputerowe)

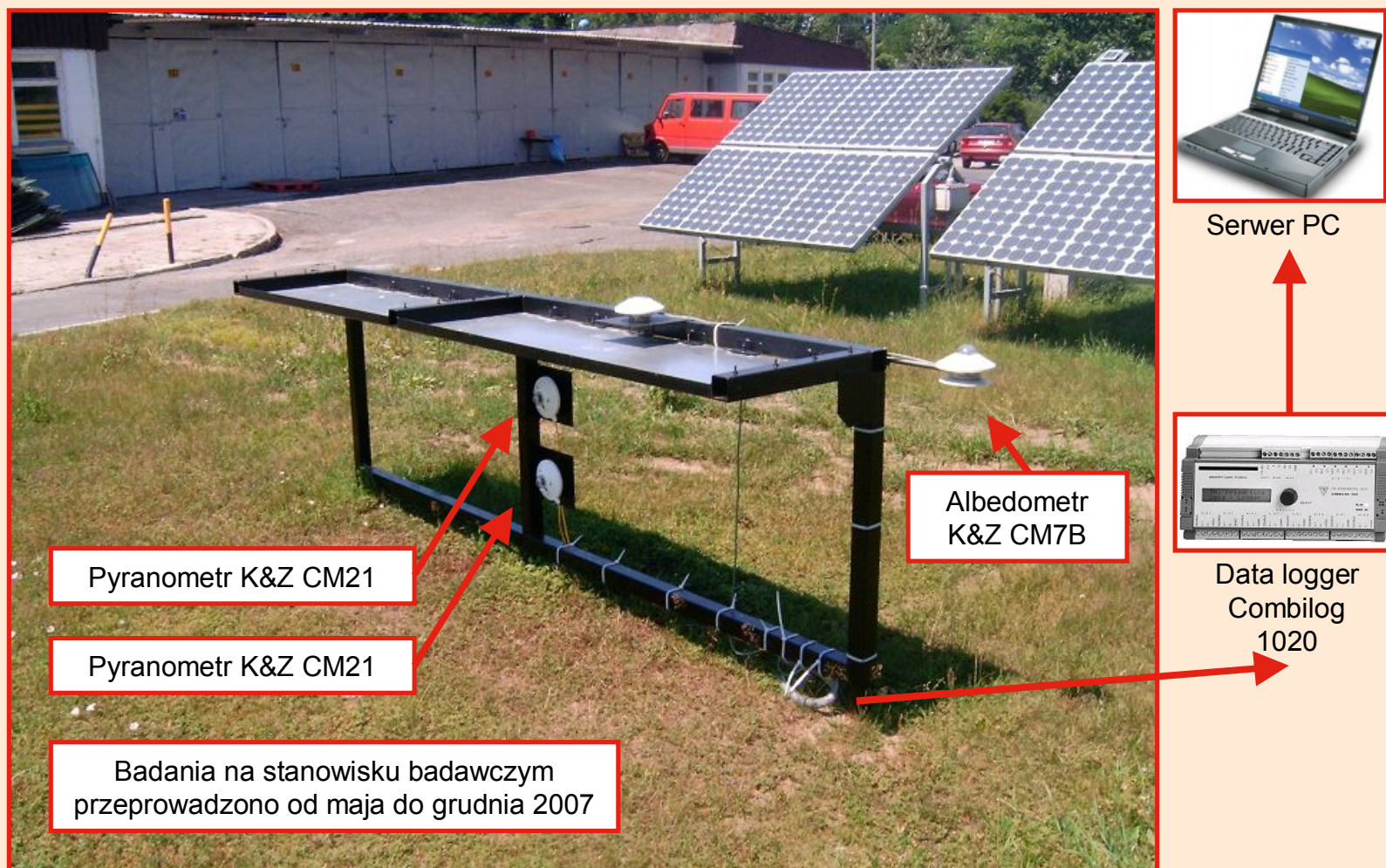
**Określenie optymalnych
wymiarów fotowoltaicznych
nadwieszeń zacieniających
w polskich warunkach
klimatycznych**
*(modelowanie teoretyczne
i optymalizacja wielokryterialna)*

Northumberland Building, Newcastle, UK



4. Problemy projektowo-badawcze

Budowa stanowiska badawczego

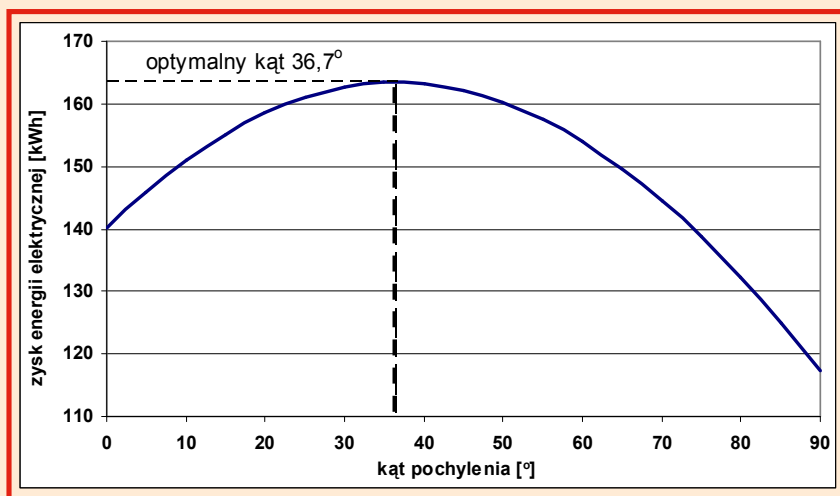


Widok uruchomionego stanowiska pomiarowego w Laboratorium Fotowoltaicznym SolarLAB we Wrocławiu

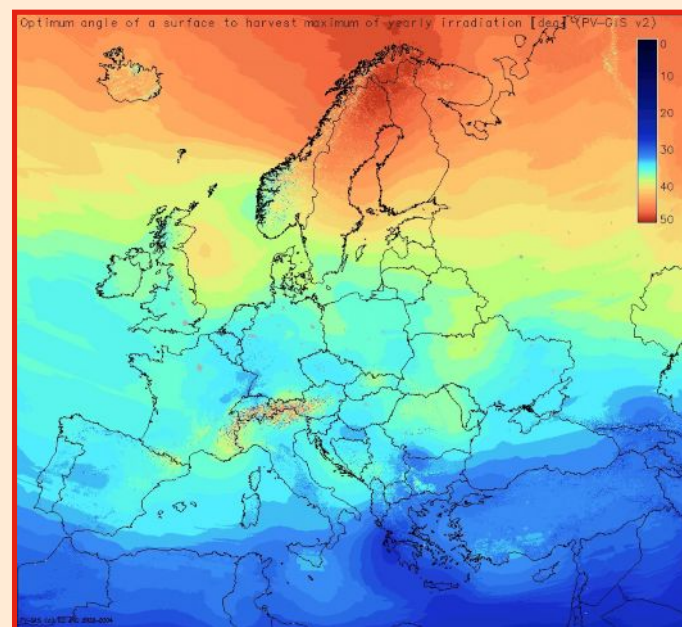


5. Optymalne pochylenie płaszczyzny modułu PV

Na podstawie badań we Wrocławiu określono optymalny kąt pochylenia płaszczyzny fotowoltaicznego nadwieszenia zacinającego wynoszący $36,7^\circ$ w stosunku do poziomu. **Wówczas ogniwa PV generują o ok. 17% większe roczne zyski elektryczne w stosunku do płaszczyzny horyzontalnej i o ok. 39% większe w porównaniu z płaszczyzną pionową.**



Zależność rocznego uzysku energii elektrycznej modułów fotowoltaicznych powierzchni 1m^2 od kąta pochylenia płaszczyzny modułu.

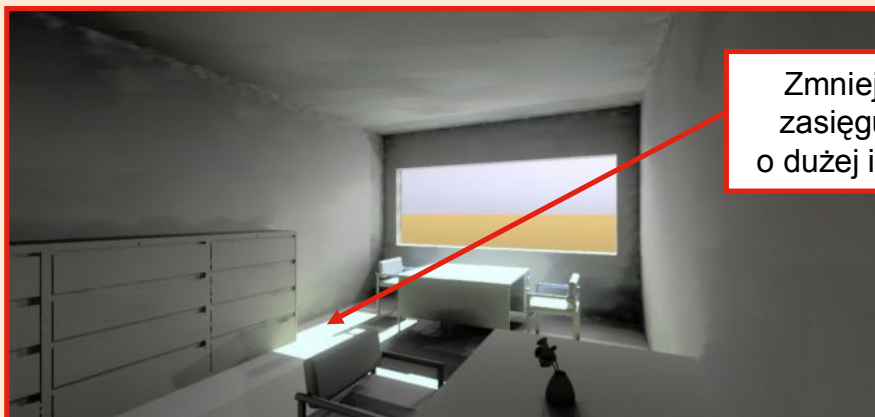


Optymalne kąty pochylenia modułów fotowoltaicznych wg programu UE PV-GIS. Dla terytorium Polski sugerują optymalne kąty w zakresie $35\text{--}37^\circ$.



6. Wpływ nadwieszów zacieniających na rozkład natężenia światła dziennego w pomieszczeniach

Wizualizacje 3D rozkładu iluminacji (Desktop Radiance)



Wizualizacja pomieszczenia niezacienionego 21 marca.



Wizualizacja pomieszczenia zacienionego 21 marca.

Zmniejszenie
zasięgu strefy
o dużej iluminacji



Wizualizacja pomieszczenia niezacienionego 22 czerwca.



Wizualizacja pomieszczenia zacienionego 22 czerwca.

Jednolite warunki
iluminacji po
zastosowaniu
nadwieszenia



6. Wpływ nadwieszów zacieniających na rozkład natężenia światła dziennego w pomieszczeniach

Wizualizacje 3D rozkładu iluminacji (Desktop Radiance)

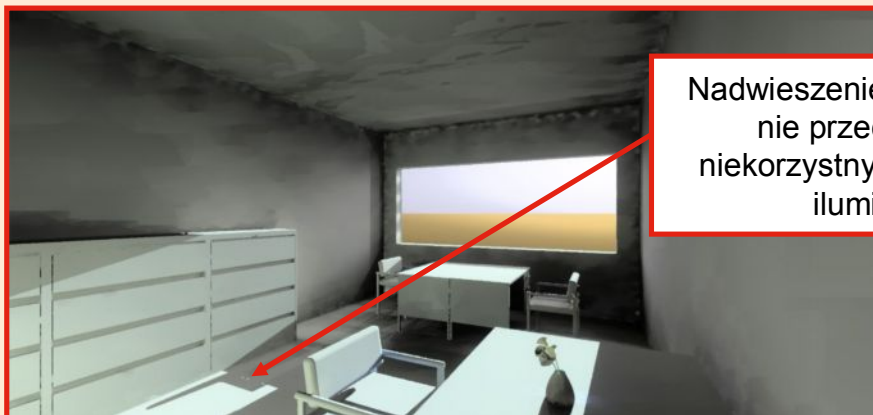


Analogiczne warunki
iluminacji jak w dniu
21 marca

Wizualizacja pomieszczenia niezacienionego 23 września.

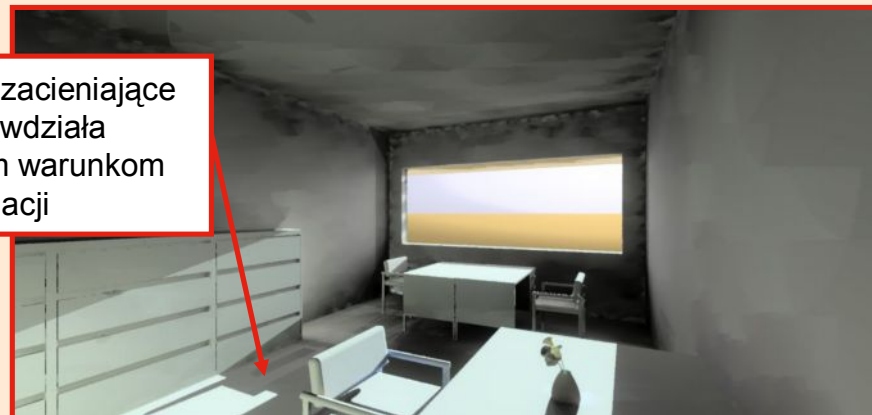


Wizualizacja pomieszczenia zacienionego 23 września.



Nadwieszenie zacieniające
nie przeciwdziała
niekorzystnym warunkom
iluminacji

Wizualizacja pomieszczenia niezacienionego 22 grudnia.



Wizualizacja pomieszczenia zacienionego 22 grudnia.



7. Instalacja BIPV na południowej elewacji budynku Instytutu Budownictwa PWr

Pierwsza w Polsce instalacja fotowoltaicznego nadwieszenia zacieniającego zintegrowanego z budynkiem (BIPV – Building Integrated Photovoltaics) - montaż na elewacji południowej budynku Instytutu Budownictwa Politechniki Wrocławskiej w połowie października 2008r.).

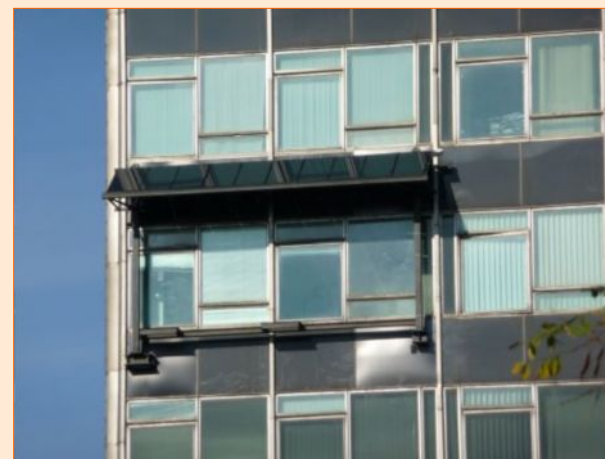
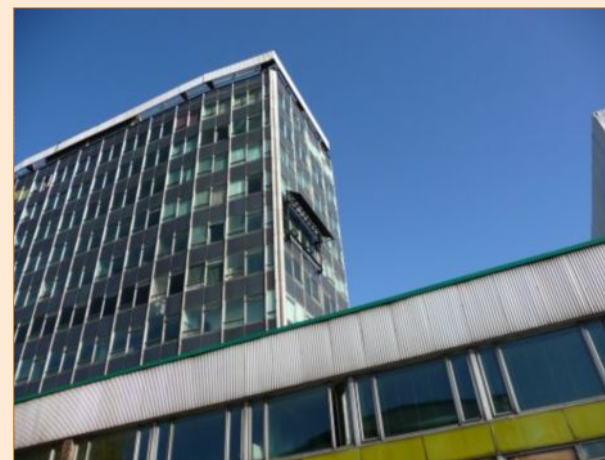
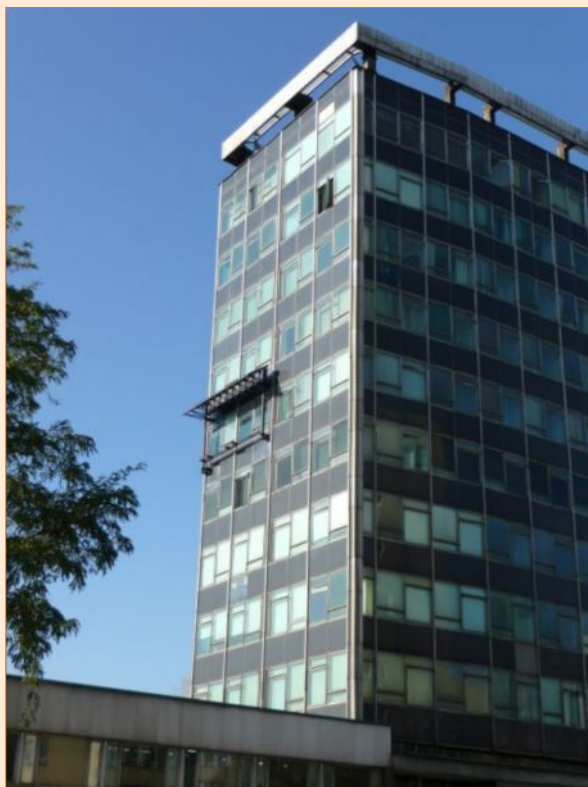
Instalację paneli fotowoltaicznych na południowej elewacji budynku C7 PWr wykonano w ramach realizacji ministerialnego grantu badawczego własnego nr N506 086 31/3648, zatytułowanego:

„Optymalizacja wielokryterialna aktywnych i pasywnych systemów wykorzystania energii słonecznej w energooszczędnych budynkach użyteczności publicznej pod kątem oszczędności energii i komfortu cieplnego ludzi”.

Kierownik grantu - dr hab. inż. Henryk Nowak, prof. PWr



7. Instalacja BIPV na elewacji budynku C7 PWr (połowa października 2008r.)





7. Instalacja BIPV na elewacji budynku C7 PWr (instalacja BIPV na budynku WIŚ PW, lato 2008r.)



Panele PV na elewacji południowej budynku Wydziału Inżynierii Środowiska Politechniki Warszawskiej - instalacja lato 2008r.



7. Instalacja BIPV na elewacji budynku C7 PWr (połowa października 2008r.)

Idea systemu fotowoltaicznego nadwieszenia zacierającego zintegrowanego z budynkiem (BIPV) jest montaż modułów fotowoltaicznych bezpośrednio na obudowie budynku jako systemu zacierającego, zamontowanego pod kątem do elewacji a nie w płaszczyźnie ściany. Takie rozwiązanie w stosunku do ogniw PV zamontowanych pionowo w płaszczyźnie ściany zapewnia:

- efektywniejsze wykorzystanie ogniw PV w skali roku (ogniwa PV nachylone pod optymalnym kątem generują o ok. 17% większe roczne zyski elektryczne w stosunku do płaszczyzny horyzontalnej i o ok. 39% większe w porównaniu z płaszczyzną pionową),
- ochronę pomieszczeń przed przegrzewaniem, poprawiając zarazem parametry komfortu cieplnego i wizualnego użytkowników.



8. Przykłady zrealizowanych obiektów

Budynek laboratoryjny ECN31



Miejscowość: Petten

Kraj: Holandia

Data wzniesienia: 1963

Data renowacji: 2000

Moduły PV:

- Panele elewacyjne dachu - 360 m^2 (48 kWp)
- Żaluzje poziome (lamele) - 335 m^2 (33 kWp); nachylenie lameli 37°
- Lamele pełnią funkcję systemu zacieniającego.



8. Przykłady zrealizowanych obiektów

Budynek biurowy Doxford Solar Office

Miejscowość: Sunderland
Kraj: Wielka Brytania
Data wzniesienia: 1998
Moduły PV: 532 m² (73 kWp) na elewacji solarnej pochyłonej pod kątem 60°





8. Przykłady zrealizowanych obiektów

Dzielnica Nieuwland



Miejscowość: Amersfoort

Kraj: Holandia

Data montażu systemu: 1997-2003

Moduły PV: ~12 300 m² (1,33 MWp)

Liczba budynków: ~500





8. Przykłady zrealizowanych obiektów

Kanazawa Bus Terminal





9. Podsumowanie

Kierunki rozwoju technologii BIPV

- Przewiduje się, że za około 20-30 lat fotowoltaika będzie rozwiązaniem powszechnie stosowanym.
- Perspektywy i ograniczenia rozwoju technologii BIPV w Polsce:
 - brak skutecznych instrumentów prawno-finansowych zachęcających do inwestowania w BIPV,
 - skomplikowane i czasochłonne procedury administracyjne wymagane przy instalowaniu systemów PV oraz kłopoty ze sprzedażą energii,
- Stworzenie nowych zastosowań dla technologii fotowoltaicznej BIPV w budynku.
- Ulepszanie cech rozwiązań istniejących (min. lepsza sprawność modułów PV, właściwości termiczne materiałów osłonowych, przezroczystość modułów).
- Obniżanie się kosztów ogniw PV przy nieuchronnym wzroście cen energii elektrycznej.
- Optymalizacja systemów (np. zacieniających) pod kątem uzyskiwania maksymalnej produkcji elektrycznej, bilansu energetycznego budynków, komfortu cieplnego i wizualnego użytkowników - wytyczne do projektowania.



Dziękujemy za uwagę...