

C. Montaż paneli fotowoltaicznych na dachu i fasadzie budynku

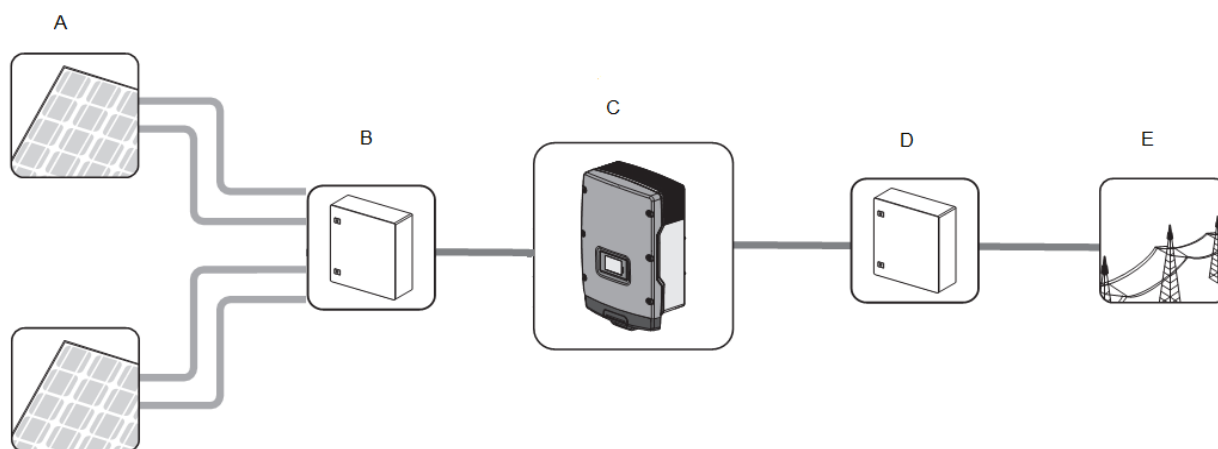
1 Opis rozwiązań projektowych

Termomodernizowany basen w Pruszkowie zostanie wyposażony w instalację fotowoltaiczną o łącznej mocy 49,54kWp.

Instalację fotowoltaiczną stanowić będą:

- bezramkowe moduły fotowoltaiczne szkło-szkło montowane na konstrukcji systemowej jako fasada wentylowana na elewacji budynku (PV-FW);
- bezramkowe lamele/żaluzje fotowoltaiczne szkło-szkło montowane na konstrukcji systemowej na elewacji budynku (PV-L);
- bezramkowe moduły fotowoltaiczne szkło-szkło montowane na dachu w układzie kaskadowym (PV-D);
- beztransformatorowe 3-fazowe falowniki fotowoltaiczne;
- optymalizatory mocy współpracujące z modułami PV oraz falownikami;
- zabezpieczenia po stronie AC i DC
- okablowanie prądu stałego (DC) i zmiennego (AC).

Poniższy rysunek pokazuje w obrazowy sposób połączenie systemu fotowoltaicznego do sieci operatora energetycznego.



Rysunek 1 - Schemat zasadniczy połączenia systemu fotowoltaicznego

- A – Grupy modułów fotowoltaicznych (tzw. łańcuchy modułów)
B – Rozdzielnice DC wraz ze zintegrowanymi zabezpieczeniami
C – Falownik fotowoltaiczny DC/AC
D – Rozdzielnica zbiorcza instalacji fotowoltaicznej RPV.
E – Sieć odbiorcza obiektu / Sieć operatora dystrybucyjnego.

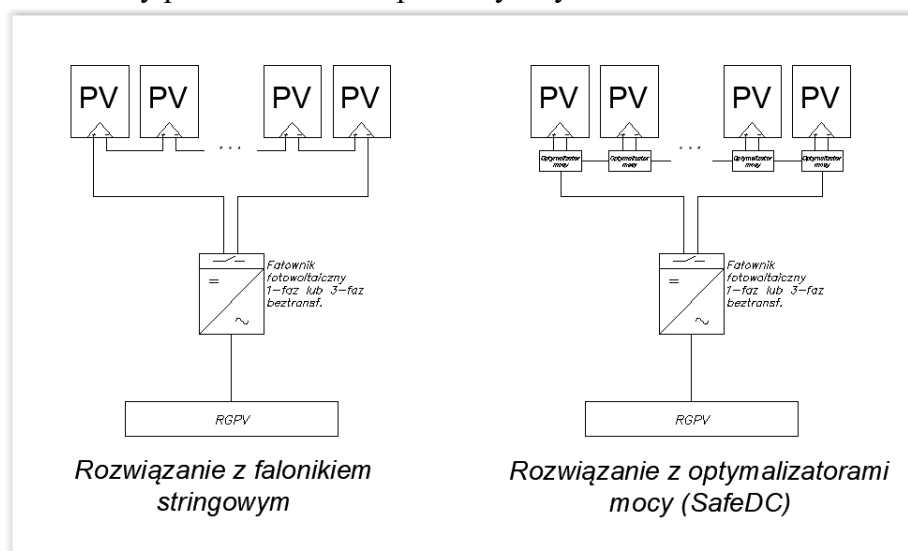
Ze względu, że większość instalacji fotowoltaicznej stanowią moduły zintegrowane BIPV (Building Integrated Photovoltaics) instalacja fotowoltaiczna zostanie zaprojektowana w oparciu na technologii SafeDC.

Zgodnie z „Rozporządzeniem Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie” – wyłącznik przeciwpożarowy ma odcinać dopływ energii elektrycznej do wszystkich odbiorników z

wyjątkiem obwodów zasilających instalacje i urządzenia, których funkcjonowanie jest niezbędne podczas pożaru.

Tradycyjne rozwiązanie falowników stringowych kiedy moduły fotowoltaiczne łączone równolegle i szeregowo podłączają się bezpośrednio do inwertora w przypadku zadziałania głównego wyłącznika przeciwpożarowego tracą zasilanie falownika z sieci AC (Operatora sieci dystrybucyjnego) znajdzie się w stanie bez napięciowym i falowniki przejdą w tryb stand-by (zabezpieczenie od pracy wyspowej). W wyniku zadziałania systemu P.POŻ budynku, tradycyjne falowniki stringowe wyłączą się i nie będą generować napięcie AC do sieci wewnętrznej budynku, natomiast po stronie DC występują napięcie obwodu otwartego szeregu modułów które może sięgać nawet 1000 Vdc. Takie napięcie przekracza napięcie bezpieczne DC, w związku z czym pod czas akcji pożarowej instalacja fotowoltaiczna, w tym przypadku instalacja BIPV budynku tworzy wysokie zagrożenie dla życia użytkownika oraz ekip ratowniczych.

Zaprojektowane rozwiązanie w technologii SafeDC opiera się na zastosowaniu optymalizatorów mocy dla każdego modułu lub grupy modułów. Idee podłączenia optymalizatorów mocy przedstawiono na poniższym rysunku:



Rysunek 2 – Schemat ideowy rozwiązania stringowego oraz zaprojektowanego rozwiązania SafeDC

W przypadku odłączenia zasilania AC falownika w systemie SafeDC (np. za pomocą wyłącznika przeciwpożarowego) lub po ustawieniu przełącznika wł./wył. falownika w położeniu wył., napięcie DC spada do bezpiecznego napięcia 1V dla każdego optymalizatora, tym samym zachowując napięcie na instalacji BIPV budynku na bezpiecznym poziomie $\leq 60V$ DC.

Dodatkowo jeżeli podczas pożaru nie zostanie wywołane zadziałanie wyłącznika p.poż, inwerter i optymalizatory wyłączą się gdy będą pod wpływem ekstremalnie wysokiej temperatury lub gdy wystąpi łuk elektryczny na skutek uszkodzenia przewodu prądu stałego.

2 Moduły fotowoltaiczne

Poniższa tabela przedstawia zestawienie modułów fotowoltaicznych zaprojektowanych dla termomodernizowanego basenu w Pruszkowie.

Tabela 1 – Zestawienie modułów fotowoltaicznych szkło-szkło

Oznaczenie	Wyso-kość	Szero-kość	Moc jednost-kowa	Ilość	Moc
	mm	mm	Wp	szt.	kWp
PV-L	1180	1348	240	18	4,32
	380	1190	67	22	1,47
	380	1983	114	40	4,56
	380	1348	76	192	14,59
PV-D	1036	1666	300	82	24,60
SUMA				354	49,54

Zastosowane moduły są szybą bezpieczną w rozumieniu przepisów budowlanych. Moduły fotowoltaiczne typu szkło-szkło nie są narażone na rozszczelnienie ramki które jest powodem delaminacji i nie posiadają tylnej warstwy stosunkowo łatwej do niewidocznego uszkodzenia, przez którą może dojść do przebicia narażającego zdrowie i życie użytkowników. Dodatkowym atutem jest mniejsza zdolność do nagrzewania się (większa pojemność cieplna szkła w stosunku do back sheet) co skutkuje wyższą efektywnością ogniw, całej instalacji i mniejszym stopniem degradacji ogniw. Laminacji modułów należy dokonać przy zastosowaniu folii PVB. Ze względu na trwałość, zmniejszenie spadku mocy instalacji w kolejnych latach nie dopuszcza się zastosowanie modułów fotowoltaicznych z wykorzystaniem butylu oraz zastosowania folii EVA do laminacji modułów fotowoltaicznych.

2.1 Moduły fotowoltaiczne fasady wentylowanej PV-FW

Na elewacji wschodniej basenu w Pruszkowie zostanie zamontowanych 18 szt. bezramkowych modułów fotowoltaicznych, wykonanych w technologii szkło-szkło z krzemowymi, monokrystalicznymi ogniwami fotowoltaicznymi 5BB z przednią metalizacją (ang. Front-Contact).

Zastosowane moduły są szybą bezpieczną w rozumieniu przepisów budowlanych. Moduły fotowoltaiczne typu szkło-szkło nie są narażone na rozszczelnienie ramki które jest powodem delaminacji i nie posiadają tylnej warstwy stosunkowo łatwej do niewidocznego uszkodzenia, przez którą może dojść do przebicia narażającego zdrowie i życie użytkowników. Dodatkowym atutem jest mniejsza zdolność do nagrzewania się (większa pojemność cieplna szkła w stosunku do back sheet) co skutkuje wyższą efektywnością ogniw, całej instalacji i mniejszym stopniem degradacji ogniw. Laminacji modułów należy dokonać przy zastosowaniu folii PVB. Ze względu na trwałość, zmniejszenie spadku mocy instalacji w kolejnych latach nie dopuszcza się zastosowanie modułów fotowoltaicznych z wykorzystaniem butylu oraz zastosowania folii EVA do laminacji modułów fotowoltaicznych.

2.2 Moduły fotowoltaiczne żaluzje/lamele elewacyjne PV-L

Na elewacjach wschodniej oraz południowej zostanie zamontowanych łącznie 254 szt. bezramkowych modułów fotowoltaicznych, wykonanych w technologii szkło-szkło z krzemowymi, monokrystalicznymi ogniwami fotowoltaicznymi 5BB z przednią metalizacją (ang. Front-Contact).

2.3 Moduły fotowoltaiczne dachowe PV-D

Na dachu basenu na kaskadowej konstrukcji systemowej zostanie zamontowanych 82 szt. bezramkowych modułów fotowoltaicznych. Moduły wykonane są w technologii szkło-szkło z krzemowymi, monokrystalicznymi ogniwami fotowoltaicznymi 5BB z przednią metalizacją (ang. Front-Contact).

3 Falownik fotowoltaiczny

Zadaniem falowników fotowoltaicznych jest przekształcenie wygenerowanej energii przez moduły fotowoltaiczne na prąd przemienny oraz przekazanie jej do instalacji elektrycznej obiektu.

W przypadku odłączenia zasilania AC falownika (za pomocą wyłącznika AC w instalacji) lub po ustawieniu przełącznika wł./wył. falownika w położeniu wył., napięcie DC spada do bezpiecznego napięcia 1 V dla każdego optymalizatora.

Parametry łańcuchów po stronie napięcia stałego zostały dobrane tak by nie przekraczały w żadnych warunkach dopuszczalnych parametrów wejściowych falowników.

Falownik musi posiadać wbudowany rozłącznik DC, umożliwiający pomiar izolacji po stronie DC oraz posiadać zabezpieczenie przed odwrotną polaryzacją. Obudowa falownika musi posiadać stopień ochrony minimum IP65. Falowniki muszą być wyposażone w manualny rozłącznik po stronie generatora DC na czas serwisu oraz system kontroli temperatury pracy elektroniki sterującej.

Falowniki muszą spełniać kryteria przyłączenia jednostek wytwórczych do sieci elektroenergetycznych.

Zastosowane falowniki muszą spełniać wymogi następujących dyrektyw oraz norm:

Zastosowane falowniki muszą spełniać wymogi następujących dyrektyw oraz norm:

- dyrektywy 2014/35/EU, 2014/30/UE, RoHS 2011/65/EU;
- normy EN 62109-1; 62109-2; 61000-6-2; 610006-3

W celu potwierdzenia ofertowania produktu zgodnego ze stawianymi wymaganiami wymaga się dostarczenia wszystkich dokumentów, w tym kart katalogowych, certyfikatów, deklaracji zgodności, aprobat technicznych na etapie przetargu (wraz z ofertą).

Falowniki fotowoltaiczne zostaną zamontowane na dachu obiektu. Falowniki fotowoltaiczne należy zamontować zgodnie z zaleceniami i uwagami producenta. Nad falownikami fotowoltaicznymi wykonać zadaszenie ograniczające oddziaływanie słońca oraz deszczu na jednostki. Falowniki fotowoltaiczne zaprojektowano na ścianie północnej nadbudowy, co dodatkowo zapobiega bezpośredniemu padaniu promieniowania słonecznego.

4 Optymalizator mocy

Działanie optymalizatorów mocy polega na szukaniu punktu mocy maksymalnej na poziomie pojedynczego modułu PV. Optymalizator pozwala utrzymać stałe napięcie w łańcuchu umożliwiając stałą wydajność falownika. Każdy optymalizator wyposażony jest w SafeDC, który automatycznie odłącza napięcie modułu, gdy dojdzie do wyłączenia sieci lub falownika.

5 Konstrukcja

5.1 Konstrukcja systemowa do montażu modułów fotowoltaicznych dachowych PV-D

System jest oparty o kształtowniki aluminiowe wykonane są ze stopu aluminium.

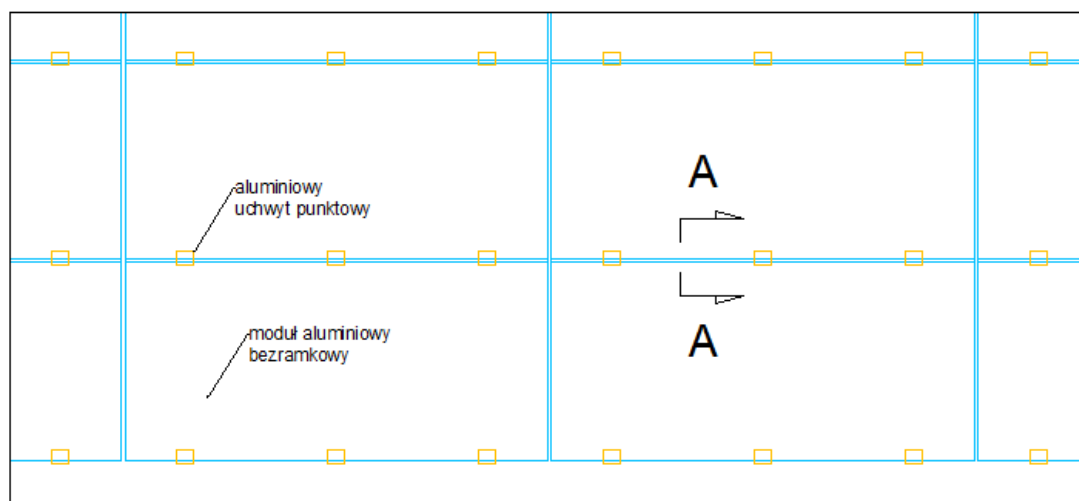
Wszystkie profile wykonane metoda tłoczenia, powierzchnie profili lakierowane wg palety RAL na kolor dostosowany do koloru pokrycia dachowego.

Otwory przejściowe do śrub i wkrętów powinny odpowiadać wykonaniu średnio dokładnemu wg PN-EN 20273 . Pogłębienia stożkowe pod łby wkrętów, powinny odpowiadać wykonaniu średnio dokładnemu wg PN 87/M-82068.

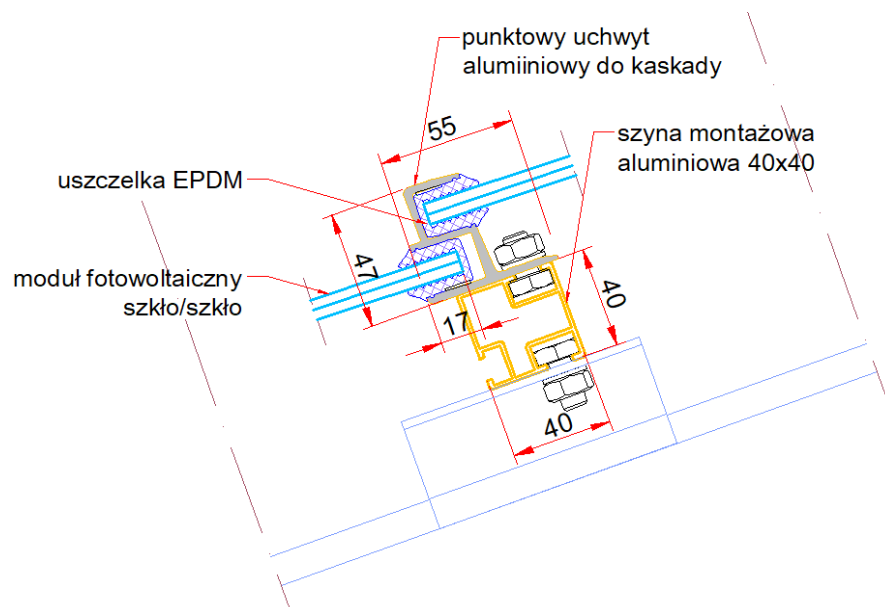
Powierzchnie wyrobów do mocowania modułów nie powinny posiadać wciągów, wżerów, pęcherzy , rozwarstwień, ostrych i tnących krawędzi.

Moduły są montowane do lekkiej konstrukcji systemowej przekazującej obciążenia na konstrukcję dachu w układzie kaskadowym. Zaprojektowane rozwiązanie mocowania instalacji fotowoltaicznej na dachu oparte jest o kształtowniki aluminiowe stanowiące ruszt dla modułów fotowoltaicznych, co pozwala na optymalizację mocy i uzysków względem dostępnej powierzchni dachu.

Bezramkowy moduł wykonany w technologii szkło/szkło jest mocowany punktowo, przy pomocy aluminiowych uchwytów, do konstrukcji nośnej co schematycznie przedstawiono na poniższym rysunku



Rysunek 4 – Widok modułów fotowoltaicznych



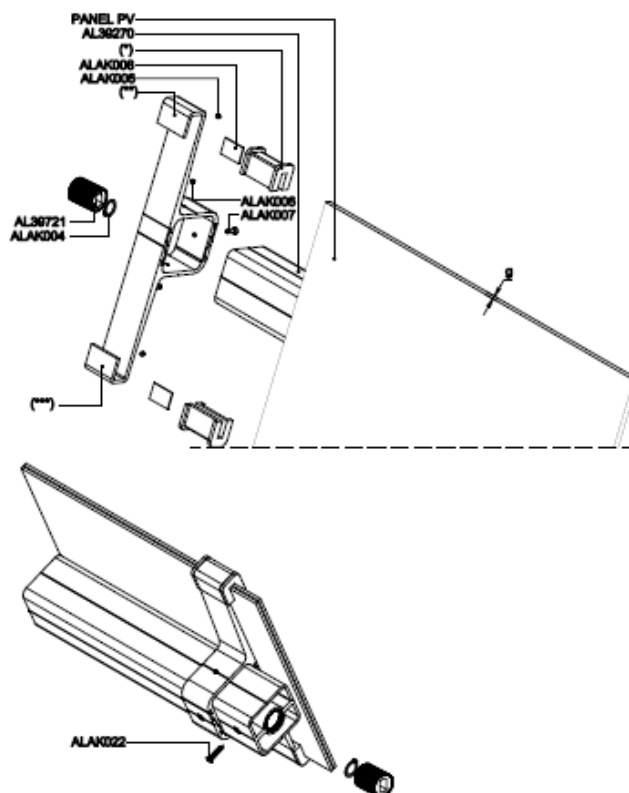
Rysunek 5 – Przekrój A-A Mocowanie bezramkowego modułu szkło/szkło w aluminiowym uchwycie punktowym.

W zaprojektowanym rozwiązaniu moduł górny zachodzi na moduł dolny tworząc tym samym kaskadę, umożliwiającą łatwe zsuwanie zanieczyszczeń i śniegu. Zaprojektowane rozwiązanie likwiduje przestrzeń w postaci dystansu kilku lub kilkudziesięciomilimetrowego pomiędzy kolejnymi pasami modułów, która to przestrzeń jest przyczyną powstawania zwałów śniegu przysłaniających moduły w zimie, powodując zmniejszenie ilości produkowanej energii. Zaprojektowane, bezramkowe rozwiązanie nie dopuszcza zastosowania ramki wokół modułu, a zatem i w jego dolnej krawędzi, dzięki czemu unikamy przeszkody powodującej zatrzymywanie śniegu, tworzenie strefy martwej dla zanieczyszczeń i stwarzamy warunki sprzyjające samooczyszczaniu modułów. Wszystkie te aspekty ograniczają straty w produkcji prądu, a ponadto zmniejszają możliwość uszkodzenia modułów oraz zmniejszają do minimum koszty użytkowania instalacji.

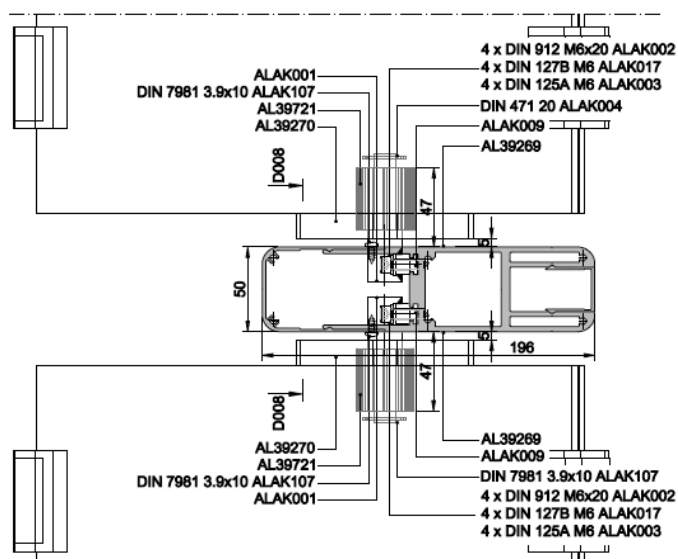
5.2 Żaluzje/lamele fotowoltaiczne PV-L

Moduły fotowoltaiczne w formie lamel zaprojektowano jako osłony okien na elewacji wschodniej oraz południowej termomodernizowanego basenu w Pruszkowie. Zaprojektowane pochylenie lamel pozwala na optymalizację mocy i uzysków względem dostępnej powierzchni, przy jednoczesnym zachowaniu zamierzonego efektu architektonicznego. Dla projektowego kąta pochylenia, celem uniknięcia zacinienia modułów, lamele zostały umieszczone odpowiednim rozstawie. Podstawę systemu żaluzji fotowoltaicznych stanowi ruszt z profili aluminiowych. Systemowe słupki (krokwie) aluminiowe są kotwione do stalowej konstrukcji nośnej (stalowych krokwi w rozstawie 3m) za pośrednictwem wspornika wykonanego z aluminium / stali nierdzewnej. Pomiedzy aluminiowymi słupkami (krokwiami) rozpięte są poziome profile aluminiowe stanowiące podstawę nośną lamel w postaci wypełniającego panelu fotowoltaicznego (PV) o szerokości 380mm. Montaż rygli przy pomocy zębatek i łączników ze stali nierdzewnej, umożliwia skokową regulację pochylenia lamel. Pomiedzy stalową konstrukcją nośną i markami krokwi aluminiowej należy zastosować dystans tworzywowy zabezpieczający styk materiałów przed korozją. Do rygli aluminiowych są przykręcane lamele w postaci wypełniającego modułu fotowoltaicznego (PV) o szerokości 380mm. Moduły PV mocuje się do poziomych profili aluminiowych (rygli), wykonanych metodą tłoczenia, przy wykorzystaniu uchwytów wykonanych z aluminiowych profili tłoczonych. Uchwyt modułu skła-

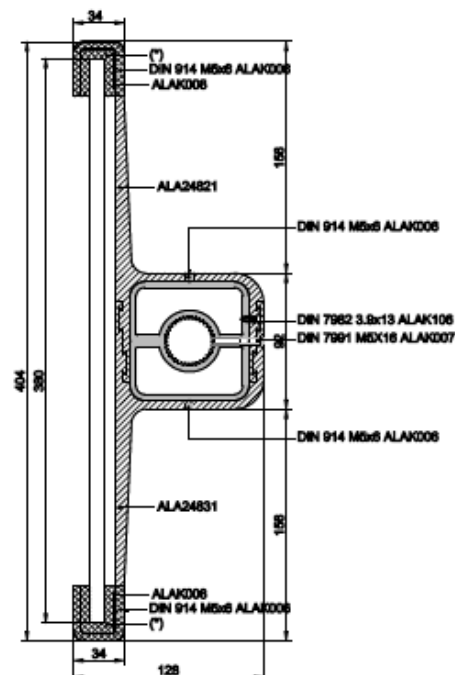
da się z dwóch tłoczonych półprofilów z zamkiem damsko męskim, blokowany do rygla przy pomocy imbusów. Sposób montażu modułu w ryglu przedstawiono na poniższym rysunku



Zaprojektowany system daje możliwość zastosowania lameli nieruchomych, ustawionych na zadany kąt z regulacją skokową co 10°, w zakresie kątów 0 – 360°. Przekrój przez zaprojektowaną konstrukcję przedstawiono na poniższych rysunkach

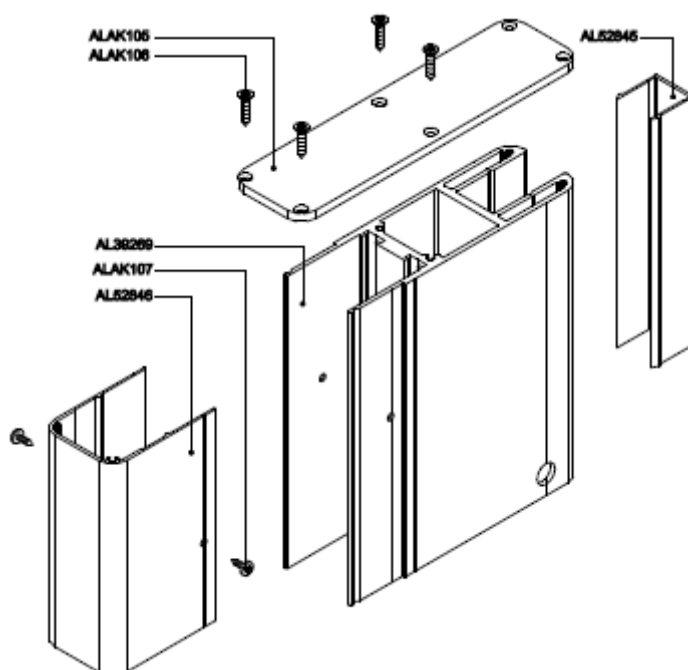


Przekrój przez krokiew żaluzji fotowoltaicznej



Przekrój przez rygiel z lamelą fotowoltaiczną

Zaprojektowane krokwie posiadają specjalnie wykształcone komory służące do prowadzenia w nich okablowania paneli fotowoltaicznych. Specjalny kształt oraz odpowiednio zaprojektowany klips maskujący umożliwiają łatwy dostęp do okablowania podczas użytkowania obiektu, bez „grubego” demontażu konstrukcji, a także zapewniają odpowiednią szczelność na wodę opadową komór. Widok przestrzenny krokwi przedstawiono na rysunku poniżej



Rysunek złożeniowy krokwi

Kształtowniki aluminiowe, z których wykonywane są uchwyty szkła są tłoczone ze stopu aluminium AW6060 T66. Kształtowniki aluminiowe, z których wykonywane są pozostałe profile pionowe, poziome są tłoczone ze stopu aluminium AW6063F22 T6. Kształt profili widocznych bazuje na przekroju prostokątnym z wyoblonymi krawędziami o promieniu 10mm.

Powierzchnie kształtowników narażone na bezpośrednie działanie czynników zewnętrznych należy zabezpieczyć powłokami tlenkowymi (anodowanie) lub powłokami poliestrowymi proszkowymi.

5.3 Fasada wentylowana zintegrowana systemowo z modułami fotowoltaicznymi PV-FW

Fasadę wentylowaną z modułami fotowoltaicznymi zaprojektowano na elewacji wschodniej basenu w Pruszkowie (dokładna lokalizacja została podana w części rysunkowej).

Zaprojektowany system fasady wentylowanej z modułami fotowoltaicznymi jest estetycznym i praktycznym rozwiązaniem, mającym na celu ochronę przed warunkami atmosferycznymi oraz zapewnienie atrakcyjnego wyglądu okładziny zewnętrznej ściany.

Bezramowa konstrukcja fasady wentylowanej z wypełnieniami w postaci modułów szklanych PV wykonana jest na bazie profili aluminiowych.

System mocowania modułów szklanych PV w fasadzie wentylowanej opiera się na koncepcji mocowania paneli typu „back rail”. Moduły szklane klejone są za pośrednictwem szczeliwa silikonowego do szyn aluminiowych anodowanych. Połączenia te są wykonane zgodnie z PN-EN 13022 część I i II oraz ETAG 002 . Szyny aluminiowe modułów szklanych PV mocowane są do rusztu aluminiowego fasady. Na połączeniu szyn i rusztu zastosowano przekładki z tworzywa sztucznego tłumiące drgania konstrukcji. Ruszt stanowią aluminiowe profile nośne w układzie pionowym. Elementy pionowe rusztu mocowane są za pośrednictwem konsol pasywnych do konstrukcji budynku. Sposób mocowania rusztu umożliwia kompensację różnicy rozszerzalności termicznej elementów fasady.

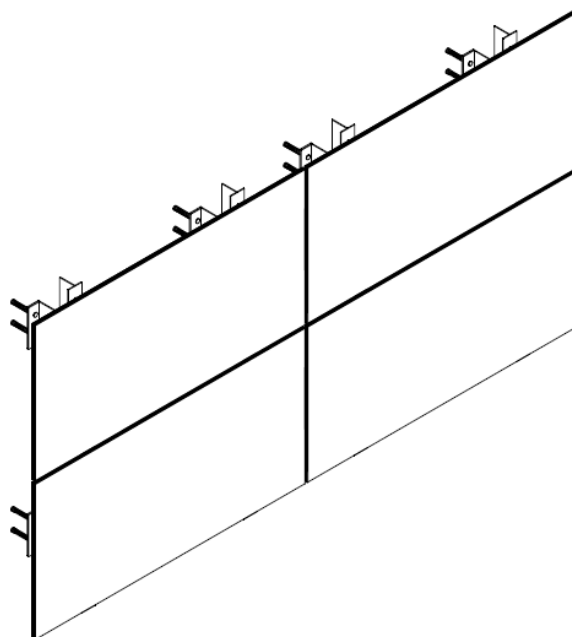
Z uwagi na mocowania modułów fotowoltaicznych szkło-szkło poprzez warstwy ocieplenia wymaga się aby ze względu na wyeliminowanie punktowych mostków termicznych wszelkiego rodzaju konsole były wykonane w odmianie tzw. pasywnej ze specjalnymi otworowaniami ograniczającymi przewodność cieplną.

Wymagania dla konsol pasywnych:

- Materiał – stal nierdzewna 304 lub 316
- Wyroby powinny posiadać klasyfikację potwierdzającą możliwość zastosowania w klasie korozyjnej minimum C3 i C4.
- Wyroby muszą posiadać badania laboratoryjne potwierdzające współczynnik przewodności cieplnej łączników.

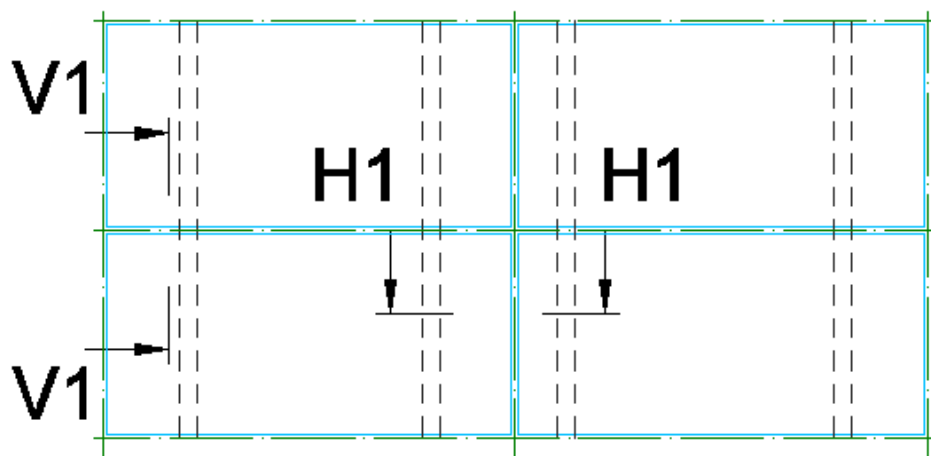
Moduły szklane stanowiące okładzinę elewacji są wykonane w technologii szkło-szkło, w systemie bezramkowym. Moduł stanowi szyba ESG lub TVG laminowana przy zastosowaniu folii PVB. Moduł stanowi szybę bezpieczną w rozumieniu przepisów budowlanych. Grubość szyby wynosi min. 8mm.

Uchwyty mocujące moduły szklane do aluminiowego rusztu są niewidoczne, dzięki czemu fasada stanowi płaską szklaną powierzchnię bez listew maskujących, dociskowych, z zaznaczonymi podziałami pionowymi i poziomymi, które stanowią szczeliny o szerokości 20mm pomiędzy przylegającymi do siebie taflami szkła. Widok fasady wentylowanej przedstawiono na poniższym rysunku

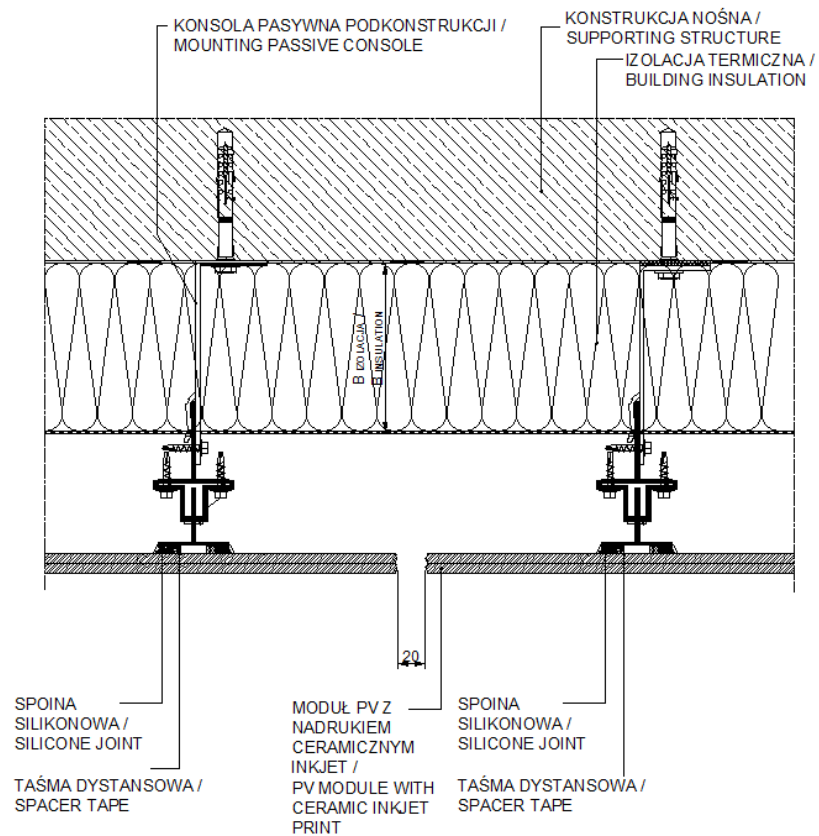


Rysunek 6 – Izometria fasady wentylowanej.

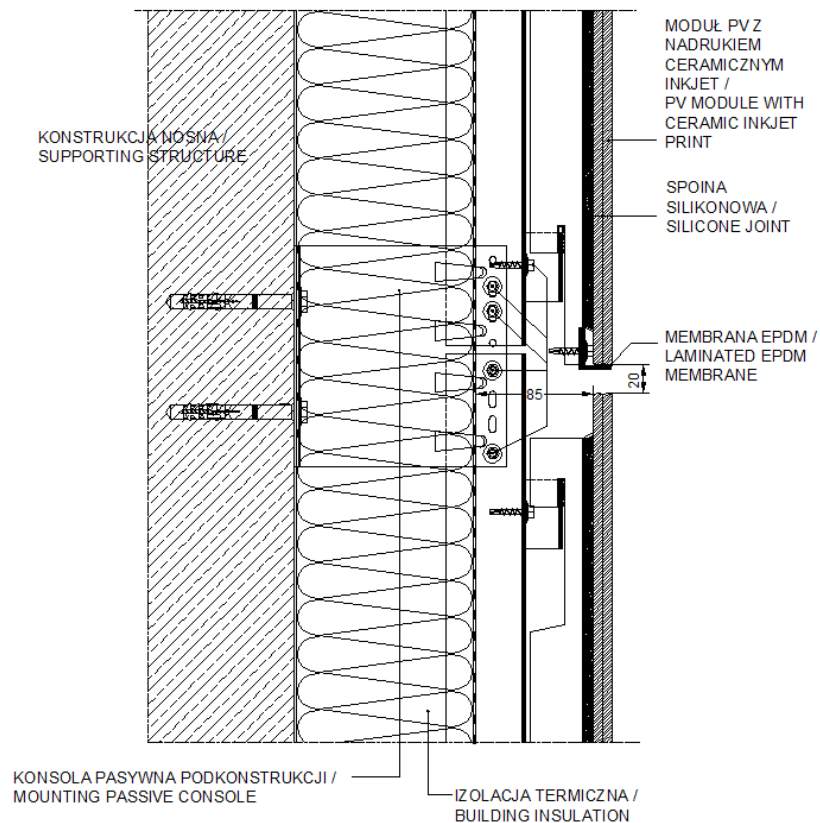
Elementem nośnym fasady są aluminiowe słupki (profile T o szerokości 50mm i głębokości 57mm) mocowane do ściany za pośrednictwem konsol pasywnych. Słupki rozmieszczone są w rozstawie identycznym jak back raile przyklejone do modułu i wyposażone są w gniazda na których zawieszane są, poprzez tzw. back raile, moduły szklane. Back rail jest to anodowany profil tłoczony, wykonany z aluminium (profil T o szerokości 50mm i głębokości 40mm). Integracja modułów PV z back railami następuje w procesie prefabrykacji. W tym celu firma dostarczająca zintegrowany z back railem moduł szklany (firma wykonawcza) musi posiadać Certyfikat Quality Bond lub równoważny wydany przez dostawcę silikonu, potwierdzający poprawność wykonania szklenia strukturalnego przy użyciu silikonu odpornego na UV, który należy dostarczyć wraz z ofertą. Aluminiowe słupki są montowane do konstrukcji budynku przy pomocy konsol pasywnych. Konsole w żadnym wypadku nie mogą przenosić na konstrukcję fasady wentylowanej obciążeń z konstrukcji budynku. Charakterystyczne przekroje fotowoltaicznej fasady wentylowanej przedstawiono na poniższych rysunkach



Rysunek 7 – Widok szklanej fasady wentylowanej.



Rysunek 8 – Przekrój poziomy H1-H1 fotowoltaicznej fasady wentylowanej.



Rysunek 9 – Przekrój pionowy V1-V1 fotowoltaicznej fasady wentylowanej.

Celem zapewnienia prawidłowej wentylacji pomiędzy izolacją termiczną ściany a modułami PV, projektuje się pustkę powietrzną o szerokości min 85mm. Na połączeniu rusztu, szyn i wieszaków zastosowano przekładki tłumiące drgania z tworzywa sztucznego HPVC oraz EPDM. System mocowania kompensuje ruchy zarówno w pionie jak i poziomie. Wszystkie podpory, projektuje się jako wykonane z aluminium lub stali nierdzewnej, konsole zaprojektowano w wykonaniu pasywnym. Wszystkie materiały należy odpowiednio zabezpieczyć antykorozyjnie aby nie wchodziły w reakcję ze sobą.

Kształtowniki aluminiowe systemu są wykonane w procesie tłoczenia ze stopu aluminium gatunku EN AW-6063 w stanie T66 zgodnie z normami: skład chemiczny stopu EN 573-3, EN 515, tolerancja wymiarów i kształtu EN 12020-2, własności mechaniczne wg EN 755-2, EN 755-1. Elementy złączne systemu (wkrety samowiercące, śruby, nakrętki, podkładki) wykonywane są ze stali nierdzewnej gatunku A2. Zestaw wyrobów do wykonywania wentylowanych okładzin fotowoltaicznych musi posiadać Opinię Techniczną Instytutu Techniki Budowlanej o możliwości ich zastosowania w środowisku o kategorii korozyjności C3 wg PN-EN ISO 9223:2012. W celu potwierdzenia opinii należy przedstawić wraz z dokumentami ofertowymi. Dla elementów lakierowanych i anodowanych odpowiednia grubość powłoki lakierowej proszkowej wynosi minimum 60 μm , natomiast grubość anodowej tlenkowej 15÷20 μm . Powłoki lakiernicze i anodowane muszą być wykonane w lakierniach i anodowniach posiadających znaki jakości Qualicoat i Qualanod.

Rozwiązanie fasady wentylowanej dopuszczone do zastosowania musi posiadać krajową Aprobata Techniczną ITB. W przypadku braku takowego dokumentu jako alternatywę dopuszcza się zestawy wyrobów, które posiadają wytrzymałościowe badania typu przeprowadzone wg wytycznych do Europejskich Aprobata Technicznych ETAG nr 034, przez jednostkę akredytowaną jaką jest Instytut Techniki Budowlanej, potwierdzające spełnienie poniższych parametrów:

- odporność na działanie wiatru – parcie i ssanie min 2000 Pa
- odporność na obciążenie siłą poziomą – min. 500 N
- odporność na uderzenie ciałem miękkim i ciężkim oraz twardym – kategoria użytkowania min. III
- odporność na cykle grzania i deszczowania – min. 60 cykli

Opracował

mgr inż. Wojciech Żelazny