

# Hi-MO 4m

## LR4-72HIH 440~460M

- Odpowiedni do elektrowni naziemnych i projektów rozproszonych
- Zaawansowana technologia budowy modułów zapewnia wyjątkową skuteczność
  - Płytki krzemowe M6 z domieszką galu • Ogniwa połówkowe 9-busbar
- Doskonała wydajność produkcji energii
- Wysoka jakość modułu zapewnia długotrwałą niezawodność

**12** 12 lat gwarancji na materiały i użytkowanie

**25** 25 lat gwarancji zachowania stałej degradacji

### Certyfikaty systemu i produktu

IEC 61215, IEC 61730, UL 61730

ISO 9001:2015: ISO Systemy zarządzania jakością

ISO 14001:2015: ISO Systemy zarządzania ochroną środowiska

TS62941: Wytyczne dla kwalifikacji projektu modułu i akceptacji typu

ISO 45001:2018: Bezpieczeństwo i higiena pracy

# LONGI



**21.2%**  
MAX SPRAWNOŚĆ  
MODUŁU

**0~+5W**  
TOLERANCJA  
MOCY

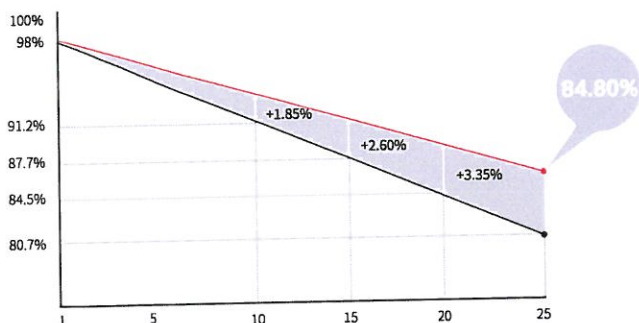
**<2%**  
DEGRADACJA MOCY  
W PIERWSZYM ROKU

**0.55%**  
DEGRADACJA MOCY  
W OKRESIE 2-25 LAT

**OGNIWA POŁÓWKOWE**  
Niższa temperatura pracy

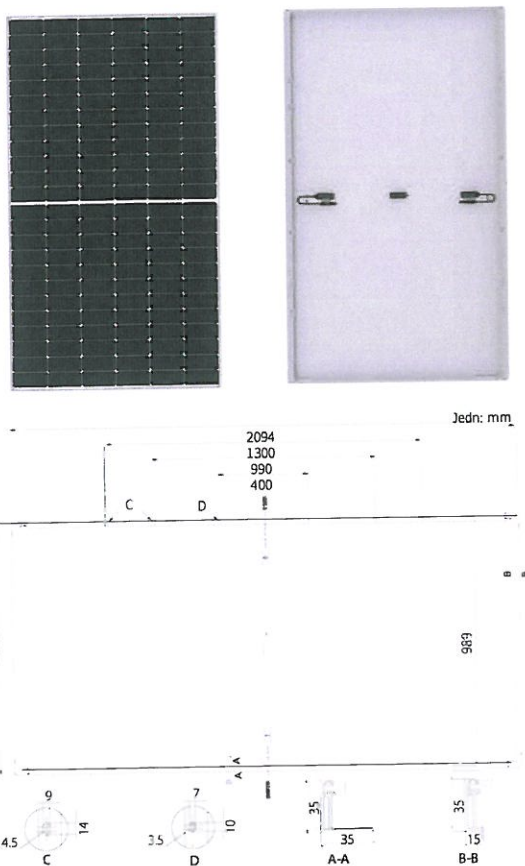
## Dodatkowa wartość

25 lat gwarancji mocy



## Parametry mechaniczne

Liczba ogniw	144 (6×24)
Skrzynka przyłączeniowa	IP68, trzy diody
Przewód wyjściowy	4mm <sup>2</sup> , +400, -200mm/±1400mm długość regulowana
Szyba	Pojedyncza szyba, 3.2mm powlekane hartowane szkło
Rama	Rama ze stopu anodowanego aluminium
Waga	23.3kg
Wymiary	2094 × 1038 × 35mm
Opakowanie	30 szt. na palecie / 150 szt. na 20' GP / 660 szt. na 40' HC



## Parametry elektryczne

Typ modułu	STC: AM1.5 1000W/m <sup>2</sup> 25°C		NOCT: AM1.5 800W/m <sup>2</sup> 20°C 1m/s							
	LR4-72HIH-440M	LR4-72HIH-445M	LR4-72HIH-450M	LR4-72HIH-455M	LR4-72HIH-460M					
Warunki testowe	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Moc maksymalna (P <sub>max</sub> /W)	440	328.6	445	332.3	450	336.1	455	339.8	460	343.5
Napięcie obwodu otwartego (V <sub>oc</sub> /V)	48.9	45.8	49.1	46.0	49.3	46.2	49.5	46.4	49.7	46.6
Prąd zwarcia (I <sub>sc</sub> /A)	11.46	9.27	11.53	9.33	11.60	9.38	11.66	9.43	11.73	9.48
Napięcie w punkcie mocy maksymalnej (V <sub>mp</sub> /V)	41.1	38.3	41.3	38.5	41.5	38.6	41.7	38.8	41.9	39.0
Prąd w punkcie mocy maksymalnej (I <sub>mp</sub> /A)	10.71	8.59	10.78	8.64	10.85	8.70	10.92	8.75	10.98	8.80
Sprawność modułu (%)	20.2		20.5		20.7		20.9		21.2	

## Warunki pracy

Temperatura pracy	-40°C ~ +85°C
Tolerancja mocy	0 ~ +5 W
Tolerancja V <sub>oc</sub> i I <sub>sc</sub>	± 3%
Maksymalne napięcie systemu	DC1500V (IEC/UL)
Zabezpieczenie maksymalne	20A
NOCT	45±2°C
Klasa ochrony	Klasa II
Zabezpieczenie ppoż.	UL typ 1 lub 2

## Obciążenie mechaniczne

Maksymalne obciążenie statyczne przodu	5400Pa
Maksymalne obciążenie statyczne tyłu	2400Pa
Test odporności na grad	Kule gradowe o śr. 25mm przy 23m/s

## Ocena temperatury (STC)

Współczynnik temperaturowy I <sub>sc</sub>	+0.048%/°C
Współczynnik temperaturowy V <sub>oc</sub>	-0.270%/°C
Współczynnik temperaturowy P <sub>max</sub>	-0.350%/°C



# SUN2000-60KTL-M0

## Smart String Inverter



### Inteligentny

Inteligentne monitorowanie  
12 łańcuchów



### Sprawny

Maksymalna sprawność 98,7%



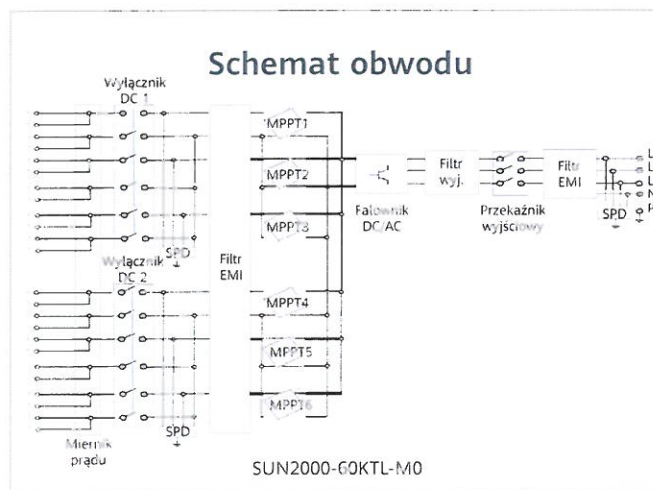
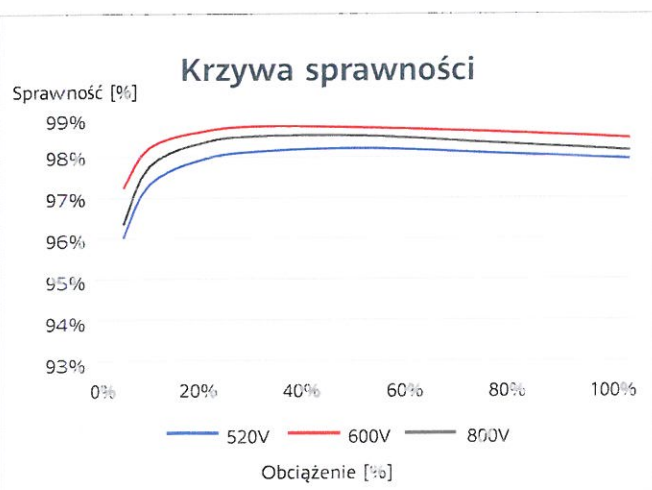
### Bezpieczny

Konstrukcja bez bezpieczników



### Niezawodny

Ochronniki  
przeciwprzepięciowe typu II  
dla DC i AC



## Specyfikacja techniczna

## SUN2000-60KTL-M0

Sprawność maksymalna

Sprawność europejska

Maksymalne napięcie wejściowe <sup>1</sup>

Maksymalny prąd dla MPPT

Maks. prąd zwarciaowy MPPT

Napięcie startowe

Zakres napięcia roboczego MPPT <sup>2</sup>

Znamionowe napięcie wejściowe

Ilość MPPT

Maksymalna ilość wejść MPPT

Znamionowa moc czynna AC

Maksymalna moc pozorna AC

Maksymalna moc czynna AC (cosφ=1)

Znamionowe napięcie wyjściowe

Znamionowa częstotliwość sieci AC

Znamionowy prąd wyjściowy

Maksymalny prąd wyjściowy

Zakres regulacji współczynnika mocy

Wsp. zawartości harmonicznych THD

Urządzenie odłączające po stronie wejścia

Zabezpieczenie przed pracą wyspowa

Zabezpieczenie nadprądowe AC

Zabezpieczenie przed odwrotną polaryzacją DC

Monitorowanie awarii łańcucha modułów PV

Ochronnik przeciwprzepięciowy DC

Ochronnik przeciwprzepięciowy AC

Wykrywanie rezystancji izolacji DC

Jednostka monitorująca prąd upływu

Wyświetlacz

RS485

USB

Magistrala monitorująca (MBUS)

Smart Dongle 4G

Wymiary (szer. x wys. x gł.)

Waga (z płytą montażową)

Zakres temperatury pracy

Chłodzenie

Maksymalna wysokość pracy

Wilgotność względna

Złącze DC

Złącze AC

Stopień ochrony

Konstrukcja

Pobór mocy w porze nocnej

### Sprawność

98,9% @480 V; 98,7% @380 V / 400 V

98,7% @480 V; 98,5% @380 V / 400 V

### Wejście

1100 V

22 A

30 A

200 V

200 V ~ 1 000 V

600 V @380 V AC / 400 V AC; 720 V @480 V AC

6

2

### Wyjście

60 000 W

66 000 VA

66 000 W

220 V / 380 V, 230 V / 400 V, domyślnie 3W + N + PE; 3W + PE opcjonalnie w ustawieniach; 277 V / 480 V, 3W + PE

50 Hz / 60 Hz

91,2 A @380 V, 86,7 A @400 V, 72,2 A @480 V

100 A @380 V, 95,3 A @400 V, 79,4 A @480 V

0,3 wyprzedzający... 0,8 opóźniony

< 3%

### Zabezpieczenia

Tak

Tak

Tak

Tak

Tak

Typ II

Typ II

Tak

Tak

### Komunikacja

Wskaźniki LED, WLAN + APP

Tak

Tak

Tak (wymagany transformator izolujący)

Tak

### Dane ogólne

1075 x 555 x 300 mm

74 kg

-25°C ~ 60°C

Konwekcja naturalna

4000 m

0 ~ 100%

Amphenol Helios H4

Wodoodporny zacisk PG + zacisk przyłączeniowy

IP65

Bez transformatora

< 2 W

### Zgodność z normą (więcej informacji dostępnych na życzenie)

EN 62109-1/-2, IEC 62109-1/-2, EN 50530, IEC 62116, IEC 60068, IEC 61683

IEC 61727, VDE-AR-N4105, VDE 0126-1-1, BDEW, VDE 4120, UTE C 15-712-1, CEI 0-16, CEI 0-21, RD 661, RD 1699, P.O. 12.3, RD 413, EN-50438-Turkey, EN-50438-Ireland, C10/11

<sup>1</sup> Maksymalne napięcie wejściowe jest górną wartością graniczną napięcia DC. Każde wyższe napięcie wejściowe DC może spowodować uszkodzenie falownika.  
<sup>2</sup> Każde napięcie wejściowe DC przekraczające zakres napięcia roboczego może spowodować nieprawidłowe działanie falownika.



# Magnelis®



## ArcelorMittal

**ArcelorMittal Flat Carbon Europe S.A. provides this guarantee to**

**hereafter referred to as the "Client"**

relating to the quality of its Magnelis® ZM310-type coated flat carbon steel. Subject to the conditions of this document, this guarantee covers the non-perforation and non-rupture due to corrosion of Magnelis® steel sheet coated with 310 g/m<sup>2</sup> on both sides according to European standard EN 10346, used for solar applications, for a period of 25 years, from the date of shipping by ArcelorMittal.

Magnelis® - Date

The terms and conditions of this Guarantee will enter into force as follows: i) the Client shall return this document duly dated, initialed and signed by the authorised person(s) within thirty (30) days of the date of its receipt; or a) the document shall be deemed to have been tacitly accepted in full by the Client upon expiry of the period of thirty (30) days from the date of its receipt. ArcelorMittal may cancel the Guarantee if it does not receive payment for coils within three (3) months of delivery.

*Typical example of a guarantee document that may be granted based on our technical team's examination of the environmental questionnaire answers provided at the time of enquiry.*

ArcelorMittal Flat Carbon Europe S.A.

The Client

# 25 year guarantee in Solar Applications



## Extent of the guarantee

1. ArcelorMittal Flat Carbon Europe S.A.'s liability under this guarantee shall be exclusively limited, at the choice of ArcelorMittal Flat Carbon Europe S.A., either to the cost of repairing any faulty parts or to supplying free of charge to the Client's facilities a sufficient quantity of material allowing the Client to manufacture components to replace those deemed faulty (cold formed sections, panels etc.). The replacement products must be ArcelorMittal coated steel similar to the original delivery.
2. Under no circumstances shall ArcelorMittal Flat Carbon Europe S.A. be liable for labour costs or other costs incurred due to the faulty material, or for repairing direct or indirect damage caused by the faulty parts.
3. All guarantee claims shall be sent in writing as soon as possible after the damage occurs to ArcelorMittal Flat Carbon Europe S.A., which shall be allowed to inspect the items deemed to be faulty. The Client shall detail in its claim the precise identification of the materials deemed to be non-compliant, including the order number, the invoice number, the coil number, the shipping date and the installation date.
4. The Client shall do everything possible to facilitate the inspection of the materials by ArcelorMittal Flat Carbon Europe S.A. and to limit building reinstatement costs.
5. This guarantee is granted to the Client of ArcelorMittal Flat Carbon Europe S.A. and to the Client alone. It may only be transferred in the event of a change of control of the Client's company, and within 15 days of the change occurring. Only in this case may the remainder of the guarantee be transferred to the Client's successor. The Client may not provide its own customers with guarantees relating to the product sold by ArcelorMittal Flat Carbon Europe S.A. and which would exceed the terms of this guarantee.
6. The guarantee covers all products shipped from the date of signing of the guarantee certificate, ArcelorMittal Flat Carbon Europe S.A. reserves the right to modify the terms of the guarantee at any time, with the exception of sheets already delivered or orders already placed.
7. It is agreed that the guarantee shall not apply in the event of damage caused during transportation.
8. In the case of an international sale, Belgian law shall be the only law applicable to the present guarantee and to any disputes that may arise between ArcelorMittal Flat Carbon

Europe S.A. and the Client. The courts of Brussels shall have sole and exclusive jurisdiction in the event of any disputes arising in connection with this guarantee. ArcelorMittal Flat Carbon Europe S.A. reserves the right, however, to bring any dispute involving the Client before the courts of the Client's jurisdiction of incorporation.

Any disputes relating to domestic sales shall be brought exclusively before the courts of the capital of the country in question.

9. Only the English version of this text shall be deemed authentic.
  10. The Client represents and warrants that it will comply (at no additional cost to ArcelorMittal) with all applicable laws, including those concerning corruption, money-laundering, the payment of bribes, tax evasion, and trade and economic sanctions, including regulations relating to the USA and Europe. The Client must maintain all records necessary pursuant to such laws and, on request, must promptly make these available for inspection by any relevant authority that is entitled to inspect them and by ArcelorMittal (or its authorised representative). The Client undertakes to ensure that:
    - (i) no products, services or technology will be provided, sold, supplied or transferred for use, directly or indirectly, in breach of any applicable economic sanction laws; and
    - (ii) no persons or entities on an official sanction list under applicable trade sanction laws, notably under any embargos from any international or national organisations or from any States, are or will be involved in or could benefit from the products supplied by ArcelorMittal or benefit from contractual relationships between the Client and ArcelorMittal.ArcelorMittal may terminate any contract or agreement, including this Guarantee, without any liability to ArcelorMittal, if the Client has acted in breach of this section, or if ArcelorMittal has reasonable grounds to suspect that the Client has acted in breach of this section, without prejudice to any claims by ArcelorMittal for any loss or expense incurred as a result of such a breach, for which the Client shall indemnify and hold ArcelorMittal harmless.
  11. The Vendor's General Conditions of Sale form an integral part of this Guarantee.
- ### Application conditions
- This guarantee applies to all supporting structures for all solar applications, such as:
- sheets or other parts contributing to the roofing or cladding (being part of the roofing or cladding, e.g. trapezoidal sheets, corrugated sheets, tiles or sandwich panels) that will support the photovoltaic (PV) cells or panels;
  - profiles between roofing and PV panels (connection parts);
  - deep-drawn sheets for waterproof casings used for the metal solar panels or as support for PV panels; and
  - profiles for support of panels in solar energy generation plants.
1. This guarantee covers supporting structures situated in locations with a normal atmospheric corrosivity category (C1 ... C4 as per EN ISO 12944-2:2017) through the course

of this period, in other words, excluding those in highly polluted areas or areas less than 2.0 km from the seafloor and/or subjected to spraying with fresh water or salt water (corrosivity category C5 and CX as per EN ISO 12944-2:2017).

This guarantee is valid for 20 years when Magnelis® is used in areas more than 300 m and up to 2.0 km from the seafloor (C5 as per EN ISO 12944-2:2017), provided that the installation is not subjected to spraying with fresh water or salt water.

2. This guarantee covers supporting structures exposed to moderately corrosive emissions during this period; in other words, excluding those subject to the fallout of corrosive chemical products of any kind, smoke or rainwater containing carbon, deposits or particles of heavy metals such as iron or copper, or alkaline products such as ash, cement dust or animal excrement.

3. This guarantee on Magnelis® is not valid:

- for assembled cold formed parts made with Magnelis®, from which water cannot drain off freely;
- for assemblies with other parts, which may contribute to keeping pollution or moisture on the Magnelis® surface;
- for assemblies where the Magnelis® surfaces are separated from each other, or from surfaces made of other materials, by only a narrow gap;
- for welded assemblies, if a fault occurs within an area less than 50 mm from the welds and if the weld seams are not protected after welding and not regularly inspected;
- for assemblies that involve adhesive bonding of Magnelis® to itself or to other materials;
- where the Magnelis® surface comes into contact with the soil; and
- for applications involving the water-circulation system of solar equipment, including the storage tank.

4. This guarantee applies only to applications where the Magnelis® surface is left as bare metal, as it is supplied by ArcelorMittal. Any surface treatment, additional coating or painting results in the loss of this guarantee.

5. The visual appearance of the cut edges and discoloration of the Magnelis® surface due to run-off from cut edges or adjacent parts (made of any material) is not covered by this guarantee.

6. This guarantee against corrosion is not valid for locations exposed to high abrasion (desert regions with strong wind; sand abrasion).

7. Magnelis® installations are to be inspected annually by the Client or its authorised representative. They are to be cleaned regularly and any accidental damage noted is to be repaired. Appropriate records to be kept and made available on request. Special precautions concerning inspection and maintenance have to be taken.

• All parts of the installation are to be inspected annually by the Client, its authorised representative or the owner/user of the installation and any accidental damage noted is to be repaired (scratches, dents, bulges, starting of corrosion etc.).

• The entire installation is to be annually maintained in order to remove any deposits of dirt, leaves and other debris that can hinder the free drainage of water, and the internal and external parts of the installation are to be given an additional wash. The Client, its authorised representative or the owner/user of the installation must check that the cleaning process and detergents used do not damage the Magnelis® coating.

## Design recommendations

To ensure the guarantee applies, the following rules must be complied with in design of parts and during part making and installation.

1. Internal bending radii must be at least equal to twice the thickness of the sheet ( $r \geq 2 \times \text{thickness}$ ).

2. The whole assembly shall be designed and installed so that there is no possibility of water or waste – organic or otherwise – stagnating on the Magnelis®, including at the fasteners and under the profile overlaps.

3. The slope of any surface shall be inclined at least 2 degrees in order to allow water to drain off.

4. The design of the structure shall avoid the risk of locally increased corrosion, e.g. caused by water dripping onto the Magnelis® surface.

5. Fasteners shall not contain any copper or lead parts in direct contact with the Magnelis® sheet, or any material liable to cause corrosive run-off onto the Magnelis® sheet. They shall be suitably shaped to prevent any local indentation of the Magnelis® sheets, which may prevent rainwater from draining off freely.

6. Fasteners made of stainless steel shall be suitably isolated from the Magnelis® surface so as to avoid increased corrosion as a result of the formation of a corrosion cell. One option is to use plastic washers to separate the fasteners from the Magnelis® surface.

7. Forming shall occur without subjecting the Magnelis® sheet to high tensile stress or alternating bending stress.

8. Magnelis® parts that have sustained mechanical or chemical damage during forming, transportation, storage or assembly shall not be used. Parts that sustain damage after assembly shall be replaced before construction work comes to an end.

9. All contact with wet insulation materials, impregnated timber and other corrosive products is to be avoided.

10. After fitting, all tools, debris and miscellaneous items must be removed. Pencil or pen marks and any other type of marking must be removed.



ArcelorMittal

ArcelorMittal Europe – Flat Products

24-26, boulevard d'Arenches

L-1160 Luxembourg

[industry.arcelormittal.com](http://industry.arcelormittal.com)



## EVALUATION TECHNIQUE DE PRODUITS ET MATERIAUX N° 20/0067 du 3 février 2020

concernant le produit de revêtement métallique sur tôle  
d'acier  
« **MAGNELIS®** »

**Titulaire :** ArcelorMittal Flat Carbon Europe  
24-26 Boulevard d'Avranches  
1160 LUXEMBOURG  
Luxembourg  
Tél : + 352 4792 1  
E-mail : [fce.technical.assistance@arcelormittal.com](mailto:fce.technical.assistance@arcelormittal.com)  
Internet : <https://flateurope.arcelormittal.com/>

**Distributeur :** ArcelorMittal Flat Carbon Europe  
24-26 Boulevard d'Avranches  
1160 LUXEMBOURG  
Luxembourg

**Usine :** ArcelorMittal Eurogal  
52 Chaussée de Ramioul  
BE-4400 IVOZ RAMET  
Belgique

Cette Evaluation Technique comporte 9 pages. Sa reproduction n'est autorisée que sous la forme de fac-similé photographique intégral sauf accord particulier du CSTB.

### **AVERTISSEMENT**

Cette Evaluation Technique de Produits et Matériaux, du fait qu'elle ne vise qu'à déterminer des caractéristiques intrinsèques d'un produit ou d'un matériau, n'a pas de valeur d'Avis Technique au sens de l'arrêté modifié du 21 mars 2012. Elle ne dispense pas de vérifier l'aptitude du produit ou matériau à être incorporé dans un ouvrage déterminé, par consultation de documents de références de l'application considérée (NF-DTU, CPT, Avis Technique, ...).



## EVALUATION TECHNIQUE

### Définition succincte

Le revêtement métallique Magnélis® est destiné à la protection contre la corrosion des tôles en acier utilisées pour la réalisation de bardages et de couvertures. L'utilisation de bobines d'acier avec le revêtement Magnélis® comme parement de panneau sandwich est exclue.

Le revêtement métallique Magnélis® est constitué d'un alliage d'aluminium, de zinc et de magnésium.

Le grammage de revêtement Magnélis® est de 70, 90, 120, 175, 200, 250, 310 ou 430 g/m<sup>2</sup> double face en version brute.

### Evaluation technique

L'ensemble des essais réalisés est indiqué en partie B du Dossier Technique.

L'analyse des essais effectués conclut à un comportement à la corrosion du revêtement MAGNELIS® identique ou supérieur à un revêtement galvanisé zinc selon NF P34-310 à domaine d'application identique.

L'amélioration de ce comportement justifie les grammages proposés inférieurs à ceux requis pour la galvanisation à chaud Z275, selon la norme NF EN 10346.

L'acier DX51D est utilisé uniquement pour la fabrication des accessoires, produit en conformité avec la norme NF EN 10346.

Les tableaux 1 et 2 en fin de rapport donnent, dans le cadre d'une durée de vie comparable à celle des ouvrages de référence, les expositions pour laquelle la tôle revêtue Magnélis® est adaptée.

### Contrôles

La fabrication fait l'objet de contrôles portant sur la régularité de la fabrication. Les contrôles sont décrits aux paragraphes 3.2 du Dossier Technique.

La composition a été déposée au CSTB lors de la première demande d'ETPM en 2011, et tout changement concernant le revêtement Magnélis® doit être signalé au CSTB pendant toute la durée de cette évaluation. Cette composition est conforme à la note 1 du paragraphe 3.4 de la norme NF EN 10346 : 2015.

### Conclusions

Les éléments du Dossier Technique n'ont pas fait apparaître d'incompatibilité de nature à écarter l'utilisation de ce revêtement pour la réalisation de bardages, façades et couvertures, dans le cadre de la présente évaluation.

Il est rappelé que cette Evaluation Technique Préable de Matériau n'a pas pour vocation à couvrir l'ensemble des critères d'aptitude à l'emploi pour chacune des applications envisagées. C'est normalement l'objet des DTU, des règles professionnelles et des recommandations professionnelles RAGE/PACTE pour le domaine traditionnel, et l'objet des Avis Techniques ou Documents Techniques d'Application, qui pourront être instruits sur la base de la présente Evaluation Technique Préable de Matériau et des éventuelles justifications complémentaires nécessaires, pour le domaine non traditionnel.

Validité : jusqu'au 30 09 2024

Le Responsable de la Division  
Façades, Couvertures et Toitures,



Stéphane GILLIOT

## DOSSIER TECHNIQUE ETABLI PAR LE DEMANDEUR

### A. Description

#### 1. Généralités

Le revêtement métallique Magnelis® est destiné à la protection contre la corrosion des bobines d'acier. Ces bobines d'acier avec revêtement Magnelis® peuvent être utilisées pour la fabrication de plaques nervurées, tôles d'acier nervurée et plateaux. L'utilisation de bobines d'acier avec le revêtement Magnelis® comme parement de panneau sandwich est exclue.

Le revêtement métallique Magnelis® est constitué d'un alliage de Zinc, de Magnésium et d'Aluminium.

La composition a été déposée au CSTB lors de la première demande d'ETPM en 2011, et tout changement concernant le revêtement Magnelis® doit être signalé au CSTB pendant toute la durée de cette évaluation. Cette composition est conforme à la note 1 du paragraphe 3.4 de la norme NF EN 10346 : 2015.

La fabrication d'éléments pliés à base de tôles revêtues Magnelis® doit être compatible avec les spécifications du § 4.2 du Dossier Technique.

Le grammage de revêtement Magnelis® est de 70, 90, 120, 175, 200, 250, 310 ou 430 g/m² double face en version brute.

#### 2. Matériaux

##### 2.1 Caractéristiques techniques

###### 2.11 Caractéristiques du support acier

L'acier utilisé pour la fabrication des tôles nervurées destinées à la couverture ou au bardage est de nuance : S220 GD, S250 GD, S280 GD, S320 GD, S350 GD, S390 GD, S420 GD, S450 GD, S550 GD, produit en conformité avec la NF EN 10346.

L'acier utilisé uniquement pour la fabrication des accessoires est de nuance : DX51D, produit en conformité avec la norme NF EN 10346.

###### 2.12 Caractéristiques du revêtement Magnelis®

La masse surfacique nominale double face du revêtement est de 70 g/m², 90 g/m², 120 g/m², 175 g/m², 200 g/m², 250 g/m², 310 g/m² ou 430 g/m².

Les masses de revêtement Magnelis® pour bardages et couvertures sont données dans le tableau 3 en fin de dossier.

###### 2.2 Aspect de surface du revêtement Magnelis®

Suite au processus normal de solidification du revêtement, la surface a un aspect métallique et peut voir un aspect entre légèrement mat à brillant. La surface peut aussi présenter des variations d'aspect et des tendances au noircissement.

Un aspect non skin-passé est possible sur demande.

#### 3. Fabrication, contrôles et conditionnement des bandes revêtues Magnelis®

##### 3.1 Fabrication

La fabrication s'apparente à celle des tôles d'acier galvanisées à chaud en continu. Les bobines de tôles d'acier revêtues Magnelis® sont fabriquées en continu dans l'usine de RAMET en Belgique.

Une passivation sans chrome VI est appliquée. L'huilage est possible sur demande.

##### 3.2 Contrôles

Les contrôles effectués par le fabricant paraissent de nature à assurer une constance de qualité satisfaisante.

###### 3.21 Contrôles sur ligne de mise en œuvre du revêtement

Cf tableau 4 en fin de Dossier Technique.

###### 3.22 Contrôles sur produits finis

Cf tableau 5 en fin de Dossier Technique.



### 3.3 Conditionnement et stockage

#### 3.31 Conditionnement

Les bobines et tôles Magnelis® doivent être protégées contre l'humidité (intempéries, condensation) et contre toutes les agressions extérieures. A cette fin, elles seront munies d'un emballage adapté aux risques encourus pendant le transport et le stockage à la durée de ceux-ci.

#### 3.32 Transport et stockage

Les bobines doivent être transportées, stockées et manutentionnées dans des conditions qui préservent le matériel des déformations permanentes, ou d'endommagements mettant en cause l'aspect et la durabilité du revêtement. Ces précautions de transport et stockage sont identiques à celles employées pour tous les types de bobines d'acier possédant un revêtement métallique usuel.

---

## 4. Mise en œuvre (formage) des bandes Magnelis®

---

### 4.1 Profilage

Les tôles d'acier revêtues Magnelis® présentent une aptitude au formage et au profilage identique à celle des tôles galvanisées classiques.

Le profilage doit être réalisé sur une machine à galets polis. Afin d'éviter le marquage en surface, il est préférable d'utiliser une huile évanescence.

### 4.2 Rayons de pliage/profilage et épaisseur

Le rayon minimal de pliage et de profilage à respecter pour l'acier est conforme aux normes NF P 34-310.

Ce rayon est compatible avec la réalisation de tôles nervurées pour l'utilisation en bardage et en couverture.

L'épaisseur maximale de la tôle d'acier utilisé est de 2 mm.

---

## 5. Durabilité et guide de choix des matériaux et revêtements en fonction des atmosphères

---

La définition des ambiances intérieures et des atmosphères extérieures est donnée dans la norme NF P 34-310 d'avril 2017- annexe B.

Les tableaux 1 et 2 en fin de dossier donnent, dans le cadre d'une durée de vie comparable à celle des ouvrages de référence pour chaque type d'exposition défini précédemment, les expositions pour laquelle la tôle revêtue Magnelis® est adaptée.

---

## 6. Mise en œuvre et entretien

---

### 6.1 Mise en œuvre

Les dispositions de mise en œuvre des éléments de couverture ou de bardages en tôles revêtues Magnelis® sont celles prévues dans le domaine traditionnel pour les mêmes éléments en tôles d'acier galvanisées, ou celles précisées dans les Avis Techniques ou Documents Techniques d'Application le cas échéant.

### 6.2 Entretien

Les conditions d'entretien des tôles d'acier revêtues Magnelis® ne diffèrent pas de celles en tôles d'acier galvanisées.

## B. Résultats expérimentaux

- Essai brouillard salin et Kesternich sur association Magnelis®, inox et aluminium – Origine ArcelorMittal R&D.
- Essai de couplage galvanique inox, aluminium, plomb, cuivre – Origine ArcelorMittal R&D.
- Essais en brouillard salin 1000 heures – Origine ArcelorMittal R&D.
- Rapport de vieillissement naturel de 18 mois sur site classé C4 (Brest) – Institut Français de la Corrosion – Rapport n° IC 89770-2.
- Rapport de vieillissement naturel de 24 mois sur site classé C5M acier (Brest) – Institut Français de la Corrosion – Rapport n° IC 89713-6 – 25/05/2011.
- Rapport de vieillissement naturel de 60 mois sur site classé C5M acier (Brest) – Institut Français de la Corrosion – Rapport n° IC 89713-9 – 20/06-2014.
- Rapport d'exposition extérieure du revêtement Magnelis® en atmosphère marine de 6 ans - Institut Français de la Corrosion – Rapport n° IC 820003 – 03/07/2019.

## C. Références

La production de Magnelis® a débuté en 2008. De 2008 à fin 2018, sa production globale cumulée a été de 1.000.000T.



## TABLEAUX DU DOSSIER TECHNIQUE

**Tableau 1 – Finitions intérieures (classifiées suivant la NF P34-301)**

Ambiance saine					Ambiance agressive
Métallique	Marque	Hygrométrie faible	Hygrométrie moyenne	Hygrométrie forte	
Magnelis® ZM 70 à 90	Magnelis®	■	—	—	—
Magnelis® ZM 120	Magnelis®	■	■	O	O
Magnelis® ZM175	Magnelis®	■	■	■	O
Magnelis® ZM 200	Magnelis®	■	■	■	O
Magnelis® ZM 250	Magnelis®	■	■	■	O
Magnelis® ZM 310	Magnelis®	■	■	■	O
Magnelis® ZM 430	Magnelis®	■	■	■	O

■ Revêtements adaptés à l'exposition.  
O Revêtements dont le choix définitif ainsi que les caractéristiques particulières doivent être arrêtées après consultations et accord fabricant.  
— Revêtements non adaptés.

**Tableau 2 – Finitions extérieures (classifiées suivant la NF P34-301)**

Métallique	Marque	ATMOSPHERES EXTERIEURES								
		Rurale non polluée	Urbaine et Industrielle		Marine				Spéciale	
			Normale	Sévère	20 à 10 km	10 à 3 km	Bord de mer ( < 3 km) <sup>1</sup>	Mixte	Forts U.V	Particulière
Magnelis® ZM120	Magnelis®	O	O	—	—	—	—	—	ND	—
Magnelis® ZM175	Magnelis®	■	O	—	O	—	—	—	ND	—
Magnelis® ZM200	Magnelis®	■	■	O	■	O	O	O	ND	O
Magnelis® ZM250	Magnelis®	■	■	O	■	O	O	O	ND	O
Magnelis® ZM310	Magnelis®	■	■	O	■	■	■	O	ND	O
Magnelis® ZM430	Magnelis®	■	■	O	■	■	■	O	ND	O

■ Revêtements adaptés à l'exposition.  
O Revêtements dont le choix définitif ainsi que les caractéristiques particulières doivent être arrêtées après consultations et accord fabricant.  
— Revêtements non adaptés.  
ND : Non déterminant pour le choix des tôles et bandes revêtues de Magnelis®. Se reporter aux autres colonnes.  
(1) A l'exclusion du front de mer pour lequel l'appréciation définitive ou la définition de dispositions particulières doit être arrêtée après consultation et accord du producteur.

**Tableau 3 – Masse de revêtement livrables pour bardages et couvertures**

Désignation du revêtement	Masse de revêtement minimale, en g/m <sup>2</sup> , total des deux faces		Valeurs indicatives théoriques pour l'épaisseur de revêtement par surface dans l'essai en un point, en µm	
	Essai en trois points	Essai en un point	Valeur caractéristique	Etendue
Magnelis® 70 g/m <sup>2</sup>	70	60	5,5	4 à 8
Magnelis® 90 g/m <sup>2</sup>	90	75	7	5 à 10
Magnelis® 120 g/m <sup>2</sup>	120	100	9	6 à 14
Magnelis® 175 g/m <sup>2</sup>	175	145	13	9 à 18
Magnelis® 200 g/m <sup>2</sup>	200	170	15	10 à 20
Magnelis® 250 g/m <sup>2</sup>	250	215	19	13 à 25
Magnelis® 310 g/m <sup>2</sup>	310	265	24	18 à 31
Magnelis® 430 g/m <sup>2</sup>	430	365	35	26 à 46

**Tableau 4 – Contrôles sur ligne d'application du revêtement brut**

Fréquence	Contrôle	Référentiel
<b>Epaisseur entrée</b>	Jauge RX – En continu Micromètre – En manuel – toutes les bobines – quand jauge en panne	Méthode interne
<b>Largeur entrée</b>	Mètres – en manuel – 1 x par bobine	Méthode interne
<b>Poids entrée</b>	Bascule – 1 x par bobine	Méthode interne
<b>Température de recuit</b>	Pyromètre IR – en continu	Méthode interne
<b>Test Erichsen</b>	Machine Erichsen – 1 x par 5 bobines	Méthode interne
<b>Adhérence</b>	Machine de pliage à 90° – 1x par 5 bobines	Méthode interne
<b>Etanchéité du four de recuit</b>	Détecteur de gaz de type Distalarm – 1 x par pause	Méthode interne
<b>Température bain de Magnelis</b>	Thermocouple – en continu	Méthode interne
<b>Vitesse ligne</b>	Tachymètre – en continu	Méthode interne
<b>Aspect de surface</b>	Pression d'essorage – en continu	Méthode interne
<b>Charge de zinc</b>	Jauge RX en ligne – en continu – balayage de chaque face Jauge RX hors ligne – 1 x par 5 bobines ou à chaque changement de charge	EN10346 : 2015
<b>Force de serrage au Skin Pass/Planeuse</b>	Tensiomètre – en continu	Méthode interne
<b>Ecart-type au Skin Pass</b>	Tensiomètre – en continu	Méthode interne
<b>Aspect de surface</b>	Caméras haute résolution – en continu	Méthode interne
<b>Rugosité</b>	Rugosimètre – 1 x par 5 bobines	Méthode interne
<b>Planéité</b>	Tensiomètre – 1x par 2 bobines	EN10143 - 2006
<b>Huilage</b>	Balance de précision – 1 x par jour Appareil de mesure par IR – 1 x par pause Débitmètre – en continu	Méthode interne
<b>Chromatage sans Cr6</b>	Test détection visuel – 1x par bobine	Méthode interne
<b>Marquage</b>	Visuel – 1 x par bobine	Méthode interne
<b>Epaisseur finale</b>	Jauge RX – en continu	Méthode interne
<b>Poids</b>	Bascule – 1 x par bobine	Méthode Interne

**Tableau 5 – Contrôles sur produits finis après application du revêtement brut**

Fréquence	Contrôle	Norme
1 x par bobine	Propriétés mécaniques - Traction	Référentiel interne
1 x par bobine	Rugosité - Rugosimètre - sur échantillon	Référentiel interne
1 x par 5 bobines ou à chaque changement de charge	Revêtement - Jauge RX off-line - sur échantillon - 1 x par 5 bobines ou à chaque changement de charge	EN10346 : 2015
1 x par bobine	Epaisseur finale - Micromètre - sur échantillon	EN10143 - 2006



# Magnelis ZM310, Corrosion protection

Holder/Issued to

## ArcelorMittal Europe - Flat Products

24-26 boulevard d'Avranches, L-1160 Luxembourg

Organisation number/VAT number: LU19172014

Web: <https://flateurope.arcelormittal.com/>

### Information supplied by

ArcelorMittal Europe – Flat Products, Rue Verte voie, 49, BE- 4400 Sclessin, Belgium

Tel: +32 4 236 31 99, E-mail: [corinne.dieu@arcelormittal.com](mailto:corinne.dieu@arcelormittal.com).

### Product description

Corrosion protection coating, Magnelis ZM310, is a special coating composed by an alloy of zinc, aluminium and magnesium.

### Intended use

Intended as corrosion protection of steel sheet for indoor- and outdoor applications.

The corrosion protection is suitable for corrosivity class C5\*, according to in SS-EN ISO 12944-2 described class, based on a deemed expected lifetime of 15 years.

\*See Comments

### Trade name

Magnelis ZM310.

### Approval

The product satisfy the requirements set forth in chapter 8, 4 § 1 PBL, in respect to and under conditions stated in this certificate, and are therefore approved in accordance with the provisions of the following sections of Boverket mandatory provisions on application of the European construction standards (Eurocodes), (EKS):

EKS

Durability

Durability

Section A, 16 §

Section G, 4 §

### Associated documents

-

### Control

The factory production control (FPC) is monitored by an independent inspection body.

Control agreement: Appendix dated 2014-03-28, Inspection body: Karlsruher Institut für Technologie.

Control agreement: 210-14-0161, Inspection body: RISE Research Institutes of Sweden AB.

Type approval SC0559-13| 2019-11-26

RISE Research Institutes of Sweden AB | Certification  
Box 857, SE-501 15 Borås, Sweden  
Phone: +46 10-516 50 00  
[certifiering@ri.se](mailto:certifiering@ri.se) | [www.ri.se](http://www.ri.se)




When the building proprietor performs inspection at the building site, markings shall be checked to ensure that the correct products have been supplied and that they are used in accordance with the conditions in this approval. Further the product shall be accompanied by a manufacturer's assurance, certifying that the product has been manufactured in accordance with the documents on which this approval is based.

#### Manufacturing places

Production control includes the following places:  
ArcelorMittal Liège, Yvoz-Ramet, Belgium  
ArcelorMittal Bremen, Bremen, Germany

#### Marking

Products coated with a corrosion protection according to this approval shall be marked. The marking consists of a label on every packing supplied and includes:

Approval holder/Coating plant	ArcelorMittal / Liège or Bremen
Boverket's registered trade mark	
Certification body and accreditation number	RISE Certifiering 1002
Product type designation/trade name	Magnelis ZM310
Technical Approval number	SC0559-13
Description/ Properties	Typgodkänt rostskydd klass C5
Consecutive manufacture no./date of production	nr/date
Inspection body	KIT/RISE

#### Basis for assessment/approval

Report No. 3P05801A from SP Technical Research Institute of Sweden.  
Report IC 820003 rev 00 from French Corrosion Institute.  
Report Nr. 1942010-1 from Karlsruher Institut für Technologie (KIT).  
Report 8P05884-02 from RISE Research Institutes of Sweden AB.

#### Comments

The evaluation of corrosivity class C5 is performed according to NORDTEST method NT MAT 003 with reference panels of steel and zinc. References for aluminium and magnesium is not part of this evaluation. Corrosivity class C5 requires an intact corrosion protection after installation. This approval supersedes the previous approval with the same number dated 2014-06-05, valid through 2019-06-04.

#### Validity

Valid through 2020-11-25.

The validity of this approval expires when the characteristics included in this approval shall be CE-marked according to the Construction Products Regulation (EU) 305/2011.

Stefan Coric

*This is a translation from the Swedish original document. In the event of any dispute as to its content, the Swedish text shall take precedence.*



**Temat:** Konstrukcja instalacji fotowoltaicznej STRUNOBETON



**Zakres:** Konstrukcja wsporcza pod panele fotowoltaiczne

**Faza:** Obliczenia statyczne

**Branża:** Konstrukcja

**Lokalizacja:** Polkowice, SUW Sucha Górna

**Warunki:** 1 strefa wiatrowa, 1 strefa śniegowa.

Zakres opracowania	Imię i nazwisko	branża	Nr uprawnień	Data	Podpis
Projektant	mgr inż. Arkadiusz Kodłubaj	konstrukcja	LOD/1772/POOK/11		<i>mgr inż. Arkadiusz Kodłubaj</i> upr. bud. do projektowania bez ogr. w specjalności konstrukcyjno-budowlanej Nr ewid. LOD/1772/POOK
Opracował	mgr inż. Michał Świątek	konstrukcja	-		

Lódź, 01.2022 r.

**mgr inż. Sebastian Jagodziński**  
uprawnienia do projektowania i kierowania  
robotami budowlanymi bez ograniczeń  
w specjalności konstrukcyjno-budowlanej  
nr ewidencyjny LOD/2136/PWOK/43

## Spis treści

<b>1</b>	<b>Wstęp</b>	<b>2</b>
1.1	Przedmiot i zakres opracowania . . . . .	2
1.2	Cel opracowania . . . . .	3
1.3	Podstawa opracowania . . . . .	3
1.4	Lokalizacja obiektu . . . . .	3
<b>2</b>	<b>Dane ogólne</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Schematy statyczne elementów konstrukcyjnych</b>	<b>3</b>
<b>4</b>	<b>Oddziaływania na konstrukcje</b>	<b>3</b>
4.1	Oddziaływania na konstrukcje: Ciężar własny . . . . .	4
4.2	Obciążenie śniegiem . . . . .	4
<b>5</b>	<b>Kombinacje działań na trwałe lub przejściowe sytuacje projektowe</b>	<b>7</b>
<b>6</b>	<b>Model obliczeniowy</b>	<b>9</b>
6.1	Model obliczeniowy - rama . . . . .	9
6.2	Model obliczeniowy - płatew . . . . .	9
<b>7</b>	<b>Oddziaływania</b>	<b>10</b>
7.1	Oddziaływania - rama . . . . .	10
7.2	Oddziaływania - płatew . . . . .	12
<b>8</b>	<b>Wyniki</b>	<b>13</b>
8.1	Rama - wartości obliczeniowe . . . . .	13
8.2	Płatew - wartości obliczeniowe . . . . .	14
<b>9</b>	<b>Stany graniczne - wypis z obliczeń statycznych</b>	<b>15</b>
9.1	Płatew – Poz. E003 . . . . .	15
9.2	Zastrzał – Poz. E002 . . . . .	15
9.3	Rygiel - Poz. E004 . . . . .	16
9.4	Łącznik - Poz. L001 . . . . .	17
9.5	Słup SR – Poz. E001 . . . . .	18
9.6	Obliczenie wytrzymałości Słupków Rollform . . . . .	21

## 1 Wstęp

### 1.1 Przedmiot i zakres opracowania

Przedmiotem niniejszego opracowania są obliczenia statyczne konstrukcji pod moduły fotowoltaiczne w układzie N2V /cztery panele w poziomie/. Opracowanie obejmuje swoim zakresem weryfikację nośności konstrukcji złożonej ze strunobetonowych słupów posadowionych w gruncie i profili zinnogiętych z blach. Projekt opracowano wg aktualnych norm i przepisów konstrukcyjno-budowlanych w zakresie umożliwiającym realizację wszystkich elementów konstrukcji.



## 1.2 Cel opracowania

Celem opracowania jest weryfikacja nośności i ugięć oraz sporządzenie dokumentacji z obliczeń statycznych i wymiarowania konstrukcji stalowej pod panele fotowoltaiczne.

## 1.3 Podstawa opracowania

Dokumentację opracowano na podstawie:

1. Literatury i norm przedmiotowych [spis na końcu opracowania],
2. Projektu Budowlanego.

## 1.4 Lokalizacja obiektu

Projektowana konstrukcja jest zlokalizowana na obszarze objętym

- 1 strefą wiatrową,
- 3 strefą śniegową.

## 2 Dane ogólne

Projektuje się konstrukcję stalową na słupach strunobetonowych do montażu paneli fotowoltaicznych, posadowioną w gruncie. Słupy zagłębione w gruncie projektuje się jako strunobetonowe. Pozostałe elementy konstrukcyjne zaprojektowano z profili zimnogiętych. Konstrukcja umożliwia montaż modułów pod kątem  $25 - 35^\circ$  do poziomu. Schemat statyczny konstrukcji ramy przedstawiono na Rys. 7, natomiast schemat statyczny płatwi na Rys. 8. Analizuje się dwie grupy elementów: ramę i płatwie, wśród których wyszczególniono cztery typy elementów konstrukcyjnych:

- rama: słup krótki, słup długi,
- płatwie, rygiel.

## 3 Schematy statyczne elementów konstrukcyjnych

Do obliczeń przyjęto następujące schematy konstrukcyjne:

- rama: rama o przegubowych węzłach, o słupach utwierdzonych w gruncie w sposób sprężysty,
- płatwie: w schemacie statycznym belki wolnopodpartej, jednoprzęsłowej (jako niekorzystny przypadek belki ciągłej wieloprzęsłowej).

## 4 Oddziaływania na konstrukcje

Obciążenia zostały obliczone zgodnie z [1, 2, 3].

baj  
nieze  
dane  
1)

**Temat:** Konstrukcja POLKOWICE strumobeton

**Projektant** mgr inż. Arkadiusz Kodłubaj

**Strona**

4/28

**Wykonał** mgr inż. Michał Świątek

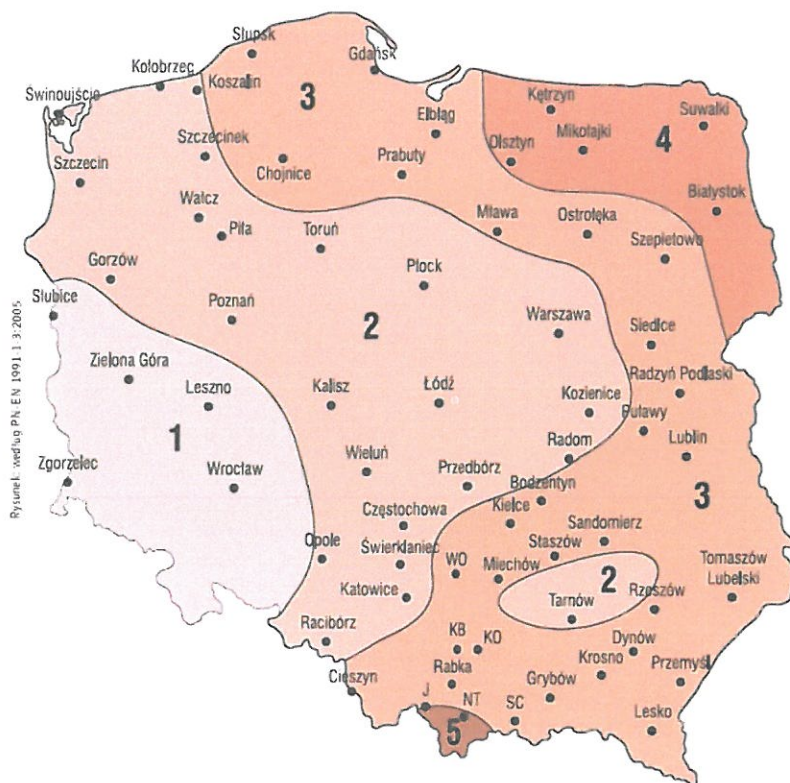
**Data**

01.2022 r.

**Faza** Obliczenia statyczne

**Branża**

Konstrukcyjna



Rysunek 1: Strefy śniegowe

#### 4.1 Oddziaływania na konstrukcje: Ciężar własny

Ciężar własny konstrukcji składa się z obciążenia ciężarem konstrukcji i elementów niekonstrukcyjnych. Ciężar własny konstrukcji został obliczony jako całkowita masa konstrukcji podzielona przez pole powierzchni zajmowane przez konstrukcję (średnia gęstość konstrukcji). Masa moduły fotowoltaicznych wynosi 19.0 kg, a powierzchnia 1.70 m<sup>2</sup>.

Symbol	Typ obciążenia	Wart. charakt. kN/m <sup>2</sup>
STA1	Obciążenie ciężarem wł. konstrukcji	0.12
STA2	Moduł fotowoltaiczny 19.0 kg / 1.7 m <sup>2</sup>	0.12

#### 4.2 Obciążenie śniegiem

##### Ogólne założenia

Przyjęto obszar oddziaływania "śnieg #1".

Eurocode 1991-1-3: Obciążenie śniegiem zawiera wytyczne w celu określenia wartości obciążeń ze względu na śnieg, które mają być użyte do konstrukcji konstrukcyjnych budynków i obiektów inżynierii lądowej i wodnej.

Projektowana konstrukcja zlokalizowana jest w 3 strefie (obejmuje również strefy 1 i 2) obciążenia śniegiem gruntu w Polsce. Przyjęto nachylenie paneli solarnych pod kątem  $\alpha = 25^\circ$   $\mu = 0.8$ . Wartość charakterystyczna obciążenia śniegiem gruntu

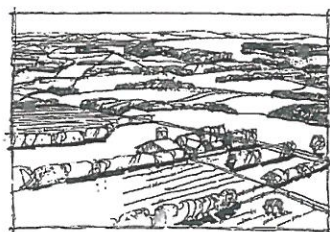




Rysunek 2: Strefy wiatrowe

**Kategoria terenu II**

Obszary z niską roślinnością, taką jak trawa, oraz pojedynczymi przeszkodami (drzewa, budynki) oddalonymi od siebie na odległość nie mniejszą niż 20 ich wysokości



Rysunek 3: Kategoria terenu

Symbol	Typ oddziaływania	Oddziaływanie charakt. kN/m <sup>2</sup>
SN1	Śnieg	$1.2 \times 0.8 = 0.96$

**4.2.1 Strefy wiatrowe**

Przyjęto obszar oddziaływania "wiatr #1":

Przyjęto II kategorię rzeźby terenu Figure 3.

Średnia prędkość wiatru  $v_m(z)$  na wysokości  $z$  ponad powierzchnią terenu zależy od chropowatości terenu i prędkości bazowej wiatru,  $v_b$ .

Prędkość wiatru bazowa,  $v_{b,0}$ , jest charakterystyczną 10-minutową średnią prędkością wiatru, niezależnie od kierunku wiatru i pory roku, na wysokości 10m nad poziomem gruntu na otwartym terenie, nisko-porośniętym. Prędkość wiatru bazowa,  $v_{b,0}$  jest opisana w Załączniku Krajowym.

Wysokość n.p.m  $A = 150\text{ m}$

$$v_{b,0} = 22 \cdot (1 + 0.0006[A - 300]) = 20.02\text{ m/s}$$

Współczynnik kierunku wiatru ma duże znaczenie w przypadku oddziaływania na instalację fotowoltaiczną. Wiatr uznany za niebezpieczny oddziałuje z kierunków 12.1.2.6.7.8. Rysunek 4.

$$c_{dir} = 0.81$$

Współczynnik sezonowości  $c_{season} = 1.0$ .

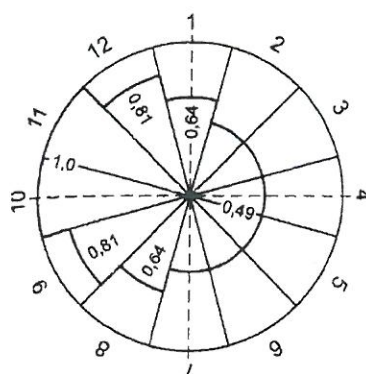
$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} = 16.22\text{ m/s}$$

EN1991-1-4

4.3.1

EN1991-1-4

NA.1.



Rysunek 4:  $c_{dir}$  Współczynnik kierunku

Współczynnik chropowatości,  $c_r(z)$ , uwzględnia zmienność średniej prędkości wiatru w miejscu budowy ze względu na: wysokość nad poziomem gruntu i chropowatość podłoża terenu pod górę konstrukcji w kierunku wiatru.

Wysokość  $z$  ponad powierzchnią terenu  $z = 2.00 \text{ m}$

Chropowatość  $z_0 = 0.05 \text{ m}$

Współczynnik terenu zależy od  $z_0$  i został obliczony  $k_r = 0.19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,11}}\right)^{0.17} = 0.19$

Współczynnik orografii terenu, przyjęto  $c_0(z) = 1.00$

$$c_r(z = 2.00) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) = 0.70$$

$$v_m(z = 2.00) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b = 11.35 \text{ m/s}$$

$\rho = 1.25 \text{ kg/m}^3$  to gęstość powietrza, która zależy od wysokości, temperatury i ciśnienia barometrycznego, jakie należy spodziewać się w regionie podczas porywów wiatru.

Intensywność turbulencji  $I_v(z)$  na wysokości  $z$  jest zdefiniowana jako odchylenie standardowe turbulencji dzielonej przez średnią prędkość wiatru.

$k_1 = 1.0$  jest współczynnikiem turbulencji.

$$I_v(z = 2.00) = \frac{k_1}{c_0(z) \cdot \ln(z/z_0)} = 0.27$$

Szczytowe ciśnienie wiatru  $q_p(z)$  na wysokości  $z$ , obejmujące średnie i krótkoterminowe fluktuacje prędkości:

$$q_p(z = 2.00) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = 233 \text{ Pa} = 0.23 \text{ kN/m}^2$$

#### Działanie wiatru na wiaty

Przyjmuje się, że rozważana struktura jest typem konstrukcji zadaszona wiaty. Dach wiaty definiuje się jako dach konstrukcji, która nie ma stałych ścian, takich jak stacje benzynowe itp.

Stopień zabudowania wiaty  $\varphi = 0$ , co odpowiada pustej wiacie.

Wartości  $c_{p,net}$  i  $c_f$ :

Przyjęto  $\alpha = 25^\circ$ :  $c_{p,net}^+ = +2.00$ ,  $c_{p,net}^- = -2.60$ .

Współczynniki ciśnienia  $c_f^+ = 1.0$ ,  $c_f^- = -1.6$ .

, gdzie wartości dodatnie "+" oznaczają oddziaływanie dociskające, a "-" oznacza oddziaływanie wiatru unoszące.

EN1991-1-4

4.3.2

EN1991-1-4

4.3.1

EN1991-1-4

4.5

EN1991-1-4

4.4

EN1991-1-4

7.3

EN1991-1-4

T.7.6

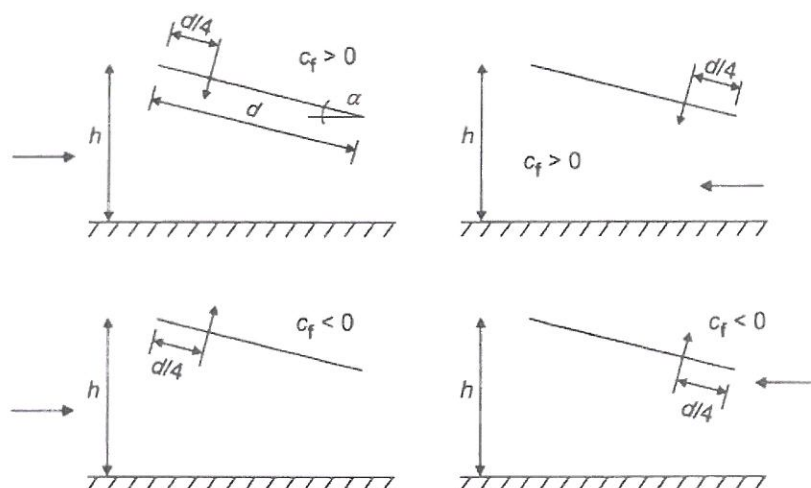


Figure 7.16 — Location of the centre of force for monopitch canopies

Rysunek 5: Lokalizacja sił przykładanych do ramy

### Ciśnienie wiatru na powierzchnie

Oddziaływanie wiatru na powierzchnie zewnętrzne,  $w_e$ , otrzymano:

$$w^+ = q_p(z) \cdot c_{p,net} = 0,23 \cdot 2,00 = 0,46 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$w^- = q_p(z) \cdot c_{p,net} = 0,23 \cdot (-2,60) = -0,60 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Symbol	Oddziaływanie wiatru	Wartości charakterystyczne $\text{kN/m}^2$
W1	Wiatr dociskający	0.46
W2	Wiatr unoszący	-0.60

## 5 Kombinacje działań na trwałe lub przejściowe sytuacje projektowe

Połączenie efektów działań, które należy rozważyć, powinno opierać się na

- wartość obliczeniową wiodących działań zmiennych, oraz
- wartości kombinacji konstrukcyjnych towarzyszących zmiennych działań:

Dla stanów granicznych STR, mniej korzystne z dwóch następujących wyrażeń:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (\text{EN1990}) 6.10a \\ \sum \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (\text{EN1990}) 6.10b \end{array} \right.$$

Przyjmuje się:



**Combinations of actions**

34 (K)	$SGN/1=1*1.35 + 2*1.35 + 3*0.75$
35 (K)	$SGN/2=1*1.35 + 2*1.35$
36 (K)	$SGN/3=1*1.35 + 2*1.35 + 4*0.90 + 3*0.75$
37 (K)	$SGN/4=1*1.35 + 2*1.35 + 4*0.90$
38 (K)	$SGN/5=1*1.35 + 2*1.35 + 32*0.90 + 3*0.75$
39 (K)	$SGN/6=1*1.35 + 2*1.35 + 32*0.90$
40 (K)	$SGN/7=1*1.35 + 2*1.35 + 5*0.90 + 3*0.75$
41 (K)	$SGN/8=1*1.35 + 2*1.35 + 5*0.90$
42 (K)	$SGN/9=1*1.35 + 2*1.35 + 33*0.90 + 3*0.75$
43 (K)	$SGN/10=1*1.35 + 2*1.35 + 33*0.90$
44 (K)	$SGN/11=1*1.00 + 2*1.00 + 3*0.75$
45 (K)	$SGN/12=1*1.00 + 2*1.00$
46 (K)	$SGN/13=1*1.00 + 2*1.00 + 4*0.90 + 3*0.75$
47 (K)	$SGN/14=1*1.00 + 2*1.00 + 4*0.90$
48 (K)	$SGN/15=1*1.00 + 2*1.00 + 32*0.90 + 3*0.75$
49 (K)	$SGN/16=1*1.00 + 2*1.00 + 32*0.90$
50 (K)	$SGN/17=1*1.00 + 2*1.00 + 5*0.90 + 3*0.75$
51 (K)	$SGN/18=1*1.00 + 2*1.00 + 5*0.90$
52 (K)	$SGN/19=1*1.00 + 2*1.00 + 33*0.90 + 3*0.75$
53 (K)	$SGN/20=1*1.00 + 2*1.00 + 33*0.90$
54 (K)	$SGN/21=1*1.15 + 2*1.15$
55 (K)	$SGN/22=1*1.15 + 2*1.15 + 4*1.50 + 3*0.75$
56 (K)	$SGN/23=1*1.15 + 2*1.15 + 4*1.50$
57 (K)	$SGN/24=1*1.15 + 2*1.15 + 32*1.50 + 3*0.75$
58 (K)	$SGN/25=1*1.15 + 2*1.15 + 32*1.50$
59 (K)	$SGN/26=1*1.15 + 2*1.15 + 5*1.50 + 3*0.75$
60 (K)	$SGN/27=1*1.15 + 2*1.15 + 5*1.50$
61 (K)	$SGN/28=1*1.15 + 2*1.15 + 33*1.50 + 3*0.75$
62 (K)	$SGN/29=1*1.15 + 2*1.15 + 33*1.50$
63 (K)	$SGN/30=1*1.00 + 2*1.00$
64 (K)	$SGN/31=1*1.00 + 2*1.00 + 4*1.50 + 3*0.75$
65 (K)	$SGN/32=1*1.00 + 2*1.00 + 4*1.50$
66 (K)	$SGN/33=1*1.00 + 2*1.00 + 32*1.50 + 3*0.75$
67 (K)	$SGN/34=1*1.00 + 2*1.00 + 32*1.50$
68 (K)	$SGN/35=1*1.00 + 2*1.00 + 5*1.50 + 3*0.75$
69 (K)	$SGN/36=1*1.00 + 2*1.00 + 5*1.50$
70 (K)	$SGN/37=1*1.00 + 2*1.00 + 33*1.50 + 3*0.75$
71 (K)	$SGN/38=1*1.00 + 2*1.00 + 33*1.50$
72 (K)	$SGN/39=1*1.15 + 2*1.15 + 3*1.50$
73 (K)	$SGN/40=1*1.15 + 2*1.15 + 4*0.90 + 3*1.50$
74 (K)	$SGN/41=1*1.15 + 2*1.15 + 32*0.90 + 3*1.50$
75 (K)	$SGN/42=1*1.15 + 2*1.15 + 5*0.90 + 3*1.50$
76 (K)	$SGN/43=1*1.15 + 2*1.15 + 33*0.90 + 3*1.50$
77 (K)	$SGN/44=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.50$
78 (K)	$SGN/45=1*1.00 + 2*1.00 + 4*0.90 + 3*1.50$
79 (K)	$SGN/46=1*1.00 + 2*1.00 + 32*0.90 + 3*1.50$
80 (K)	$SGN/47=1*1.00 + 2*1.00 + 5*0.90 + 3*1.50$
81 (K)	$SGN/48=1*1.00 + 2*1.00 + 33*0.90 + 3*1.50$
82 (K)	$SGU:CHR/1=1*1.00 + 2*1.00$
83 (K)	$SGU:CHR/2=1*1.00 + 2*1.00 + 4*1.00 + 3*0.50$
84 (K)	$SGU:CHR/3=1*1.00 + 2*1.00 + 4*1.00$
85 (K)	$SGU:CHR/4=1*1.00 + 2*1.00 + 32*1.00 + 3*0.50$
86 (K)	$SGU:CHR/5=1*1.00 + 2*1.00 + 32*1.00$
87 (K)	$SGU:CHR/6=1*1.00 + 2*1.00 + 5*1.00 + 3*0.50$
88 (K)	$SGU:CHR/7=1*1.00 + 2*1.00 + 5*1.00$
89 (K)	$SGU:CHR/8=1*1.00 + 2*1.00 + 33*1.00 + 3*0.50$
90 (K)	$SGU:CHR/9=1*1.00 + 2*1.00 + 33*1.00$
91 (K)	$SGU:CHR/10=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00$
92 (K)	$SGU:CHR/11=1*1.00 + 2*1.00 + 4*0.60 + 3*1.00$
93 (K)	$SGU:CHR/12=1*1.00 + 2*1.00 + 32*0.60 + 3*1.00$
94 (K)	$SGU:CHR/13=1*1.00 + 2*1.00 + 5*0.60 + 3*1.00$
95 (K)	$SGU:CHR/14=1*1.00 + 2*1.00 + 33*0.60 + 3*1.00$
96 (K)	$SGU:FRE/15=1*1.00 + 2*1.00$
97 (K)	$SGU:FRE/16=1*1.00 + 2*1.00 + 4*0.20$
98 (K)	$SGU:FRE/17=1*1.00 + 2*1.00 + 32*0.20$
99 (K)	$SGU:FRE/18=1*1.00 + 2*1.00 + 5*0.20$
100 (K)	$SGU:FRE/19=1*1.00 + 2*1.00 + 33*0.20$
101 (K)	$SGU:FRE/20=1*1.00 + 2*1.00 + 3*0.20$
102 (K)	$SGU:QPR/21=1*1.00 + 2*1.00$

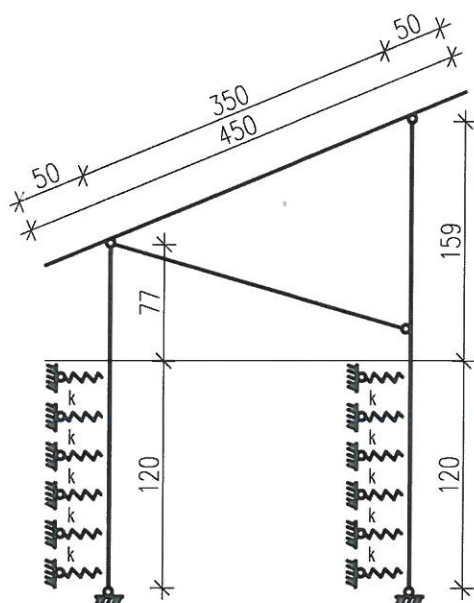
Rysunek 6: Kombinacje oddziaływań

## 6 Model obliczeniowy

Modele obliczeniowe przyjęte do obliczeń.

### 6.1 Model obliczeniowy - rama

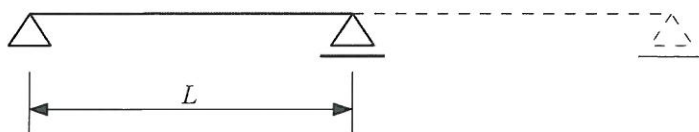
Ramę oblicza się jako ustrój statycznie wyznaczalny połączony przegubowo w węzłach. Ciągły rygiel połączony jest ze słupami konstrukcji za pomocą obejm stalowych, które statycznie stanowią przegub. słupy konstrukcji łączy się ponadto przegubowym zastrzałem stalowym, montowanym do słupów za pomocą obejm stalowych.



Rysunek 7: Model obliczeniowy

### 6.2 Model obliczeniowy - płatew

Płatwie konstrukcji będą występowały w konstrukcji jako belki wieloprzęsłowe mocowane do słupów. Jako przypadek niekorzystny z pośród wszystkich reprezentatywnych przypadków przyjęto schemat statyczny belki jednoprzęsłowej, wolnopodpartej.

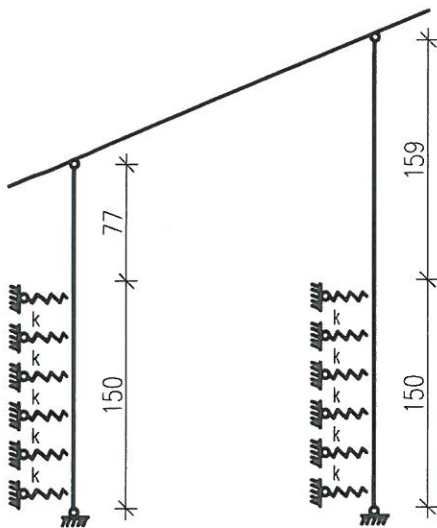


Rysunek 8: Model obliczeniowy

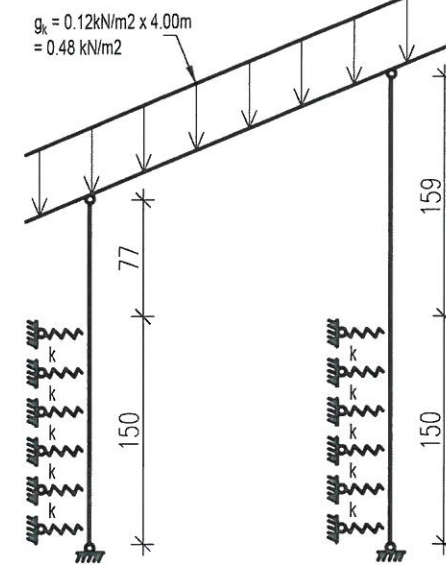
## 7 Oddziaływania

### 7.1 Oddziaływania - rama

1: STA1



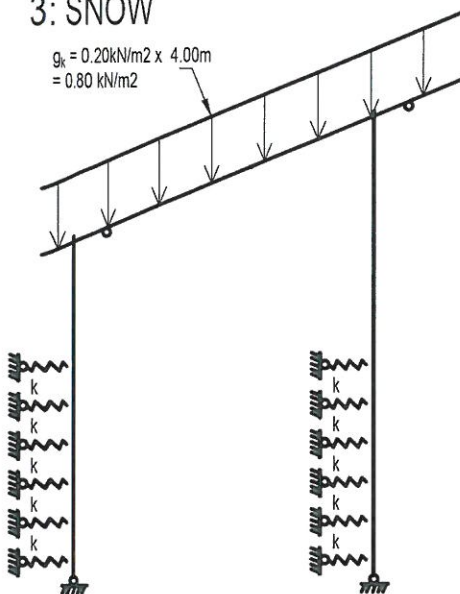
2: STA\_pv



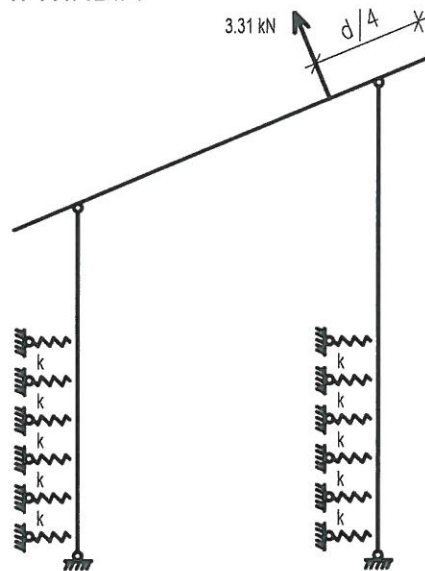
Rysunek 9: Ciężar własny (1); obciążenie modułem PV (2)

3: SNOW

$$g_k = 0.20 \text{ kN/m}^2 \times 4.00 \text{ m} = 0.80 \text{ kN/m}^2$$



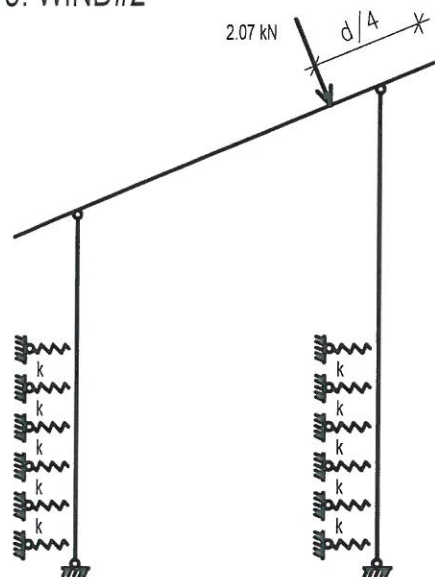
4: WIND#1



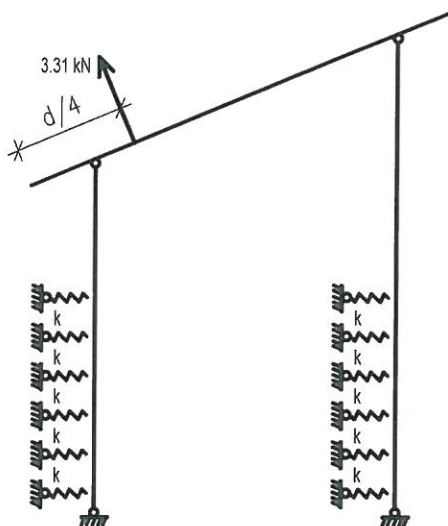
Rysunek 10: Obciążenie wiatrem (3); Obciążenie wiatrem #1 (4)



5: WIND#2

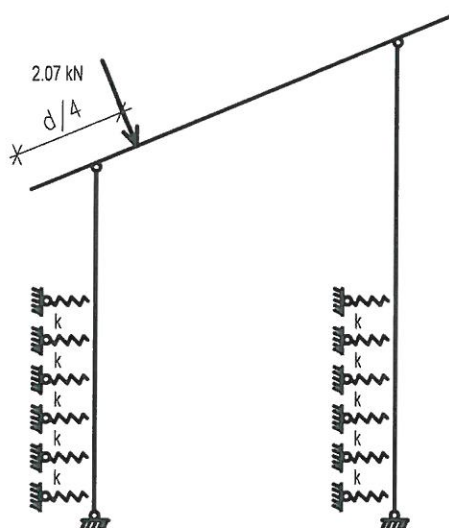


6: WIND#3



Rysunek 11: Obciążenie wiatrem #2 (5); Obciążenie wiatrem #3 (6)

7: WIND#4



Rysunek 12: Obciążenie wiatrem #4 (7)

**Temat:** Konstrukcja POLKOWICE strunobeton

**Projektant** mgr inż. Arkadiusz Kodłubaj

**Strona**

12/28

**Wykonał** mgr inż. Michał Świątek

**Data**

01.2022 r.

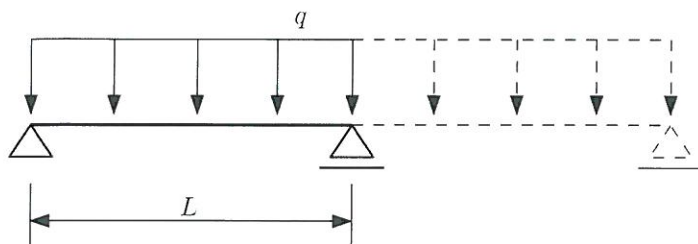
**Faza** Obliczenia statyczne

**Branża**

Konstrukcyjna

**ROLLFORM**  
KONSTRUKCJE FOTOWOLTAICZNE

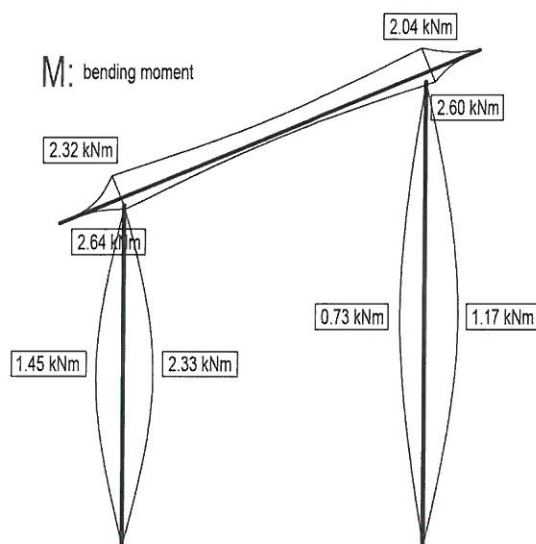
## 7.2 Oddziaływania - płytew



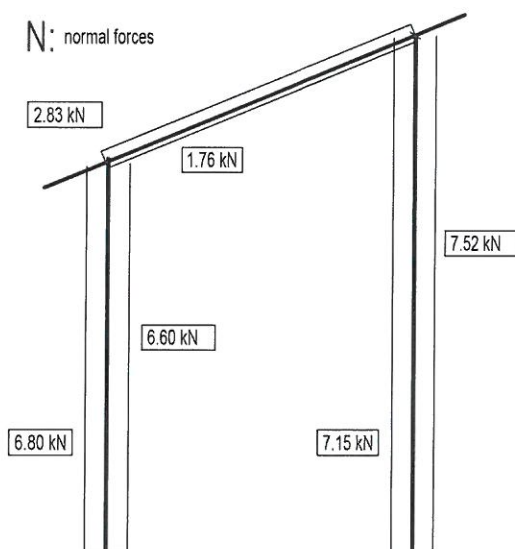
Rysunek 13: Obciążenia rygiel

## 8 Wyniki

### 8.1 Rama - wartości obliczeniowe



Rysunek 14: Moment zginający ( $M_{Ed}$ )



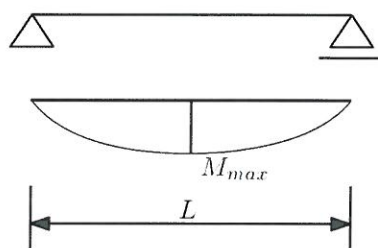
Rysunek 15: Siła normalna ( $N_{Ed}$ )



Element	Siła	Wartość	Jdn	Element	Siła	Wartość	Jdn
Rygiel	$M_{ryg1}$	2.55/3	kNm	Słup	$N_{slup}$	7.52	kN
Słup	$M_{slup1}$	0.00	kNm				
	$M_{slup2}$	0.00	kNm				

Tablica 1: Wartości obliczeniowe sił

## 8.2 Płatew - wartości obliczeniowe



Rysunek 16: Wyniki - Wartości obliczeniowe

Element	Siła	Wartość	Jdn
Rygiel	$M_{max}$	3.40	kNm

Tablica 2: Wartości obliczeniowe sił

## 9 Stany graniczne - wypis z obliczeń statycznych

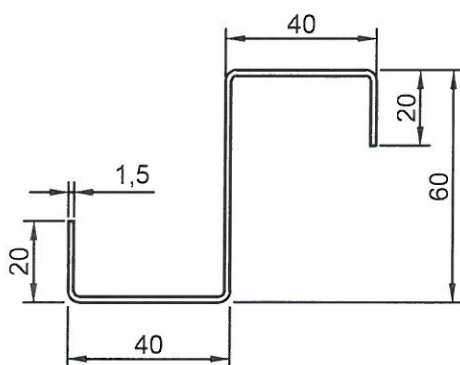
### 9.1 Płatew – Poz. E003

#### 9.1.1 Dane

gatunek stali S320GD,  $f_{yb} = 320$  MPa

moduł sprężystości Younga  $E = 205$  GPa

grubość nominalna blachy  $t_{nom} = 1.5$  mm



Rysunek 17: Przekrój kształtownika

#### 9.1.2 Charakterystyka przekroju

pole przekroju brutto  $A_g = 2.64$  cm<sup>2</sup>

moment bezwładności przekroju brutto  $I_x = 271980$  mm<sup>4</sup>

moment bezwładności przekroju brutto  $I_y = 39196$  mm<sup>4</sup>

wskaźnik przekroju na zginanie  $W_{eff,x} = \frac{I_x}{y} = \frac{271980}{30} = 9066$  mm<sup>3</sup>

#### 9.1.3 Nośność przekroju przy zginaniu

$$M_{c,Rd} = W_{eff,x} f_{yb} / \gamma_{M0} = 9066 \cdot 320 = 2.90 \text{ kNm}$$

#### 9.1.4 Wymiarowanie przekrojów

Warunek nośności w przekroju podporowym niewrażliwym na zwichrzenie:

$$\frac{M_{Ed,max}}{M_{c,Rd}} = \frac{0.85 \text{ kNm}}{2.90 \text{ kNm}} = 29\%$$

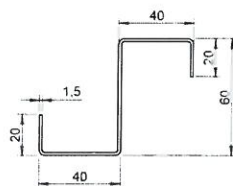
Ugięcie: SGU: 7.8 mm

### 9.2 Zastrzał – Poz. E002

#### 9.2.1 Dane

gatunek stali S350gd,  $f_{yb} = 320$  MPa. Moduł Younga  $E = 205$  GPa. Grubość  $t_{nom} = 1.5$  mm.

SGN = 29%



Rysunek 18: Przekrój kształtownika

### 9.2.2 Charakterystyka przekroju

pole przekroju brutto  $A_g = 2.64 \text{ cm}^2$ . Moment bezwładności  $I_x = 271980 \text{ mm}^4$   $I_y = 39196 \text{ mm}^4$ .  
wskaźnik przekroju na zginanie  $N = \frac{A_g}{y} = \frac{271980}{30} = 9066 \text{ mm}^3$

### 9.2.3 Nośność przekroju przy zginaniu

$$N_{Rd} = A \cdot f_{yb} / \gamma_{M0} = 2.64 \cdot 320 = 8.44 \text{ kN}$$

### 9.2.4 Wymiarowanie przekrojów

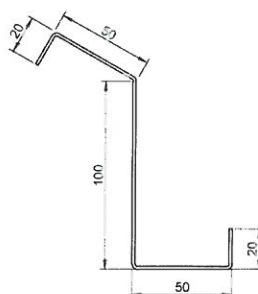
Warunek nośności w przekroju podporowym niewrażliwym na zwichrzenie:  $\frac{N_{Ed, max}}{N_{Rd}} = \frac{3.20 \text{ kNm}}{8.44 \text{ kNm}} = 38\%$

SGN = 38%

## 9.3 Rygiel - Poz. E004

### 9.3.1 Dane

gatunek stali S320GD,  $f_{yb} = 320 \text{ MPa}$ . moduł Younga  $E = 205 \text{ GPa}$ . grubość blachy  $t_{nom} = 2.0 \text{ mm}$



Rysunek 19: Przekrój kształtownika

### 9.3.2 Charakterystyka przekroju

pole przekroju brutto  $A_g = 356 \text{ mm}^2$ , moment bezwładności przekroju brutto  $I_x = 941391 \text{ mm}^4$ ,  $I_y = 728834 \text{ mm}^4$

wskaźnik przekroju na zginanie  $W_x = \frac{I_x}{y} = \frac{941391}{50} = 18827 \text{ mm}^3$



### 9.3.3 Nośność przekroju przy zginaniu

$$M_{Rd} = W_x f_{yb} / \gamma_{M0} = 18827 \cdot 320 / 1.0 = 6.02 \text{ kNm}$$

### 9.3.4 Stan graniczny nośności

Warunek nośności w przekroju podporowym niewrażliwym na zwichrzenie:  $\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} = \frac{3.40 \text{ kNm}}{6.02 \text{ kNm}} = 56\%$  SGN 56%

## 9.4 Łącznik - Poz. L001

### 9.4.1 Dane

gatunek stali S320GD,  $f_{yb} = 320 \text{ MPa}$ . Moduł Younga  $E = 205 \text{ GPa}$ . Grubość blachy  $t_{nom} = 1.5 \text{ mm}$



Rysunek 20: Przekrój kształtownika

### 9.4.2 Charakterystyka przekroju

pole przekroju brutto  $A_g = 216 \text{ mm}^2$ . Moment bezwładności przekroju  $I_x = 282800 \text{ mm}^4$ .  $I_y = 25852 \text{ mm}^4$

Wskaźnik przekroju na zginanie  $W_x = \frac{I_x}{y} = \frac{282800}{50} = 4873 \text{ mm}^3$

### 9.4.3 Nośność przekroju przy zginaniu

$$M_{Rd} = W_x f_{yb} / \gamma_{M0} = 5656 \cdot 320 / 1.0 = 1.81 \text{ kNm}$$

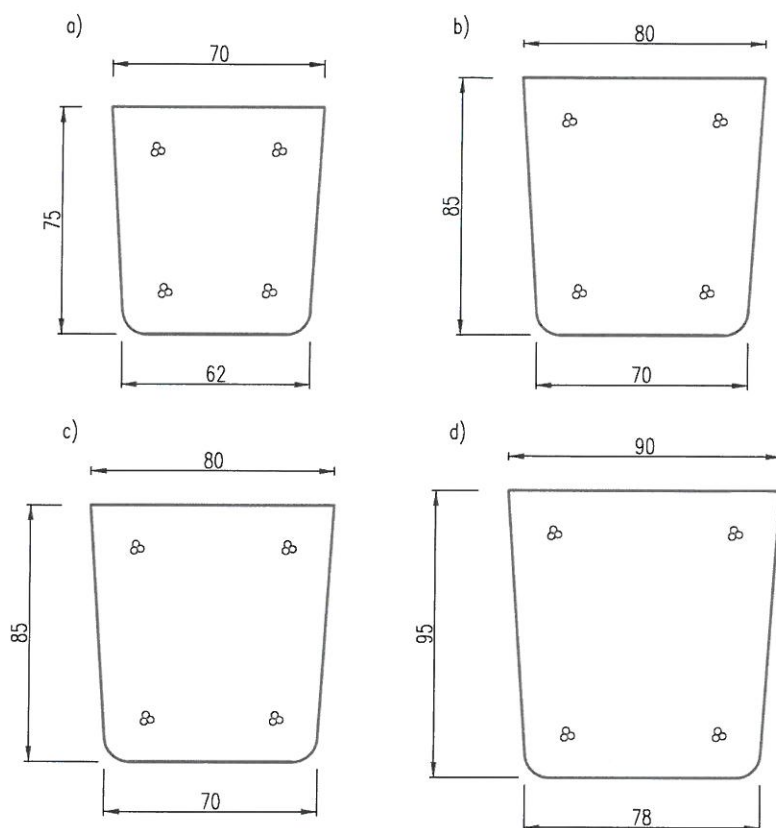
### 9.4.4 Stan graniczny nośności

Łączniki lokalizuje się poza strefą podporową i przęsłową w miejscach dla których  $M_{Ed}^{Łącznik} \leq 0.5 \cdot$

$M_{Ed}^{Płatow} = 1.70 \text{ kNm}$  Warunek nośności w przekroju podporowym niewrażliwym na zwichrzenie:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} = \frac{1.70 \text{ kNm}}{1.81 \text{ kNm}} = 94\%$$

SGN 94%



Rysunek 21: Słup SR-70, SR-80, SR-90

## 9.5 Słup SR – Poz. E001

### 9.5.1 Przekroje poprzeczne i zbrojenie Słupów Rollform SR

Strunobetonowe Słupów Rollform SR-70 są sprężone splotami trzy-drutowymi rozłożonymi symetrycznie przy bocznych krawędziach (Rys. 21). Stosuje się zbrojenie sprężające w postaci splotów 3x2.25 mm o średnicy obrysowej  $\phi 4.9\text{ mm}$ , oznaczone symbolem Y1860 S3-4.9. Do produkcji Słupów Rollform SR-80 i SR-90 (Rys. 21) stosuje się sploty 3x2.4 mm ( $\phi 5.2\text{ mm}$ ) o symbolu Y2060 S3-5.2. Naciąg strun jest grupowy dwoma siłownikami zlokalizowanymi po stronie czynnej toru naciągowego. W strunobetonowych Słupach Rollform SR nie stosuje się zbrojenia zwykłego. Beton w Słupach Rollform SR projektuje się klasy C40/50.

### 9.5.2 Trwałość Słupów Rollform SR

Dla Słupów Rollform SR przyjęto jako normę do określenia parametrów trwałości normę PN-EN 12839:2021 *Prefabrykaty z betonu*. [?], gdyż elementy te są eksploatowane w identycznych warunkach środowiskowych i pełnią podobną funkcję jak elementy ogrodzeń. Według normy [?] trwałość w klasie 1 (odpowiadająca trzydziestoletniej trwałości według normy [1]) dla prefabrykatów z betonu eksploatowanych w warunkach bezpośredniego oddziaływania czynników atmosferycznych zapewniona jest grubością otuliny zbrojenia oraz wytrzymałością charakterystyczną betonu na ściskanie i nasiąkliwością betonu (ten ostatni czynnik decyduje o odporności betonu na cykliczne zamrażanie / odmrażanie). Zgodnie z punktem 4.3.7.1 normy [?] minimalne otulenie cięgien sprężających ze względu na warunki środowiska nie powinno być mniejsze niż:

- $c_{min,dur} = 15\text{ mm}$ , z możliwością zmniejszenia grubości otulenia do  $c_{min,dur} = 10\text{ mm}$ , jeżeli wymiar przekroju elementu nie przekracza  $100\text{ mm}$  przy średnicy zbrojenia do  $10\text{ mm}$ ;
- maksymalny wymiar ziarna kruszywa.

Ze względu na przyczepność (zakotwienie) splotów sprężających w betonie norma [1] określa otulinę  $c_{min,b}$  równą 1,5-krotnej średnicy drutu sprężającego, podana w punkcie 4.3.1.2 normy [?], nie dotyczy splotów).

Zgodnie z wymaganiami normy [1] jako minimalną klasę betonu dla elementów strunobetonowych eksploatowanych w klasie ekspozycji XC4 [1] (środowisko cyklicznie mokre i suche oddziaływujące na powierzchnię betonu a w konsekwencji powodujące korozję stali w wyniku karbonatyzacji betonu) jako minimalną klasę betonu należy przyjąć C30/37 (tabl.E.1N w Zał E1 normy [1]). W projektowanych Słupach Rollform SR strunobetonowych przyjęto beton klasy minimum C40/50 (co jest zgodne z tabl.1 normy [?]). Ze względu na małą wartość otuliny  $c_{min,dur} = 10\text{ mm}$  oraz brak zbrojenia poprzecznego i osiowe sprężenie słupków zalecenie powyższe (podane w poprzedniej wersji normy [?]) jest jak najbardziej zasadne.

Trwałość w klasie 1 [?] dla strunobetonowych Słupów Rollform SR poddawanych procesom cyklicznego zamrażania / odmrężania zapewniona jest maksymalną nasiąkliwością betonu, która nie powinna przekraczać 6.5% dla kwantyla 5% (punkt 4.7.3.1 normy [?]). Ponadto nasiąkliwość żadnej z badanych próbek nie powinna być większa niż 6.8%.

Podsumowując powyższe rozważania należy stwierdzić, że trwałość (nośność) trzydziestoletnia (klasa 1 według normy [?]) strunobetonowych Słupów Rollform SR eksploatowanych w naturalnych warunkach środowiska atmosferycznego (klasa ekspozycji XC4 według [1] - środowisko cyklicznie mokre i suche, wywołujące karbonatyzację powierzchni zewnętrznej betonu oraz cykliczne zamrażanie i odmrężanie) zapewniona jest przez charakterystyczną wytrzymałość betonu na ściskanie (klasa betonu minimum C40/50), minimalną otulinę zbrojenia sprężającego  $c_{min} = 10\text{ mm}$  [?] i maksymalną nasiąkliwość betonu 6.5% [?].

### 9.5.3 Zbrojenie Słupów Rollform SR

Strunobetonowe słupy SR-70, SR-80 i SR-90 o przekrojach na Rys. 21 zbrojone są podłużnie ciągłymi sprężającymi w postaci trzy-drutowych splotów  $3 \times 2.25\text{ mm}$  (średnica obrysowa  $\phi 4.9\text{ mm}$ ) o symbolu Y1860 S3-4.9 lub  $3 \times 2.4\text{ mm}$  (średnica obrysowa  $\phi 5.2\text{ mm}$ ) o symbolu Y2060 S3-5.2.

Właściwości mechaniczne splotu Y1860 S3-4.9 według danych katalogowych są następujące:

$A_p = 11.93\text{ mm}^2$  - pole przekroju splotu  $\phi 4.9\text{ mm}$ ,

$F_m = F_{pk} = 22.2\text{ kN}$  - charakterystyczna siła zrywająca splot,

$R_m = f_{pk} = F_m/A_p = 22200/11.93 = 1860\text{ MPa}$  - charakterystyczna wytrzymałość splotu na rozciąganie,

$F_{p0.2k}/A_p = 19900/11.93 = 11668.1\text{ MPa} = 1670\text{ MPa}$  - charakterystyczna wartość umownej 0.2% granicy plastyczności stali sprężającej,

$E_p = 196\text{ GPa}$  - moduł sprężystości stali sprężającej w splotcie  $3\phi 2.25$ .

Właściwości techniczne splotu Y2060 S2-5.2 według danych Aprobaty [3] są następujące:

$A_p = 13.60\text{ mm}^2$  - pole przekroju splotu  $\phi 5.2\text{ mm}$ ,

$F_m = F_{pk} = 28.0\text{ kN}$  - charakterystyczna siła zrywająca splot,

$R_m = f_{pk} = F_m/A_p = 28000/13.60 = 2060\text{ MPa}$  - charakterystyczna wytrzymałość splotu  $3\phi 2.4\text{ mm}$  na rozciąganie,



$F_{p0.1} = F_{p0.1k} = 24.9 \text{ kN}$  - siła charakterystyczna odpowiadająca umownej 0.1% granicy plastyczności stali sprężającej.

$f_{p0.1k} = F_{p0.1k} / A_p = 24900 / 13.6 = 1831 \text{ MPa}$  - charakterystyczna wartość umownej 0.1% granicy plastyczności stali sprężającej.

$E_p = 195 \text{ GPa}$  - moduł sprężystości stali sprężającej w splocie 3φ2.4.

Zgodnie z normą [1] siła początkowa siła sprężająca  $P_{01}$  w ciągu 3φ2.25 mm (Y1860 S3-4.9) mogłaby wynosić  $P_{01} = 0.8 \cdot A_p \cdot f_{pk} = 0.8 \cdot 11.93 \cdot 1860 \cdot 10^3 = 17.75 \text{ kN}$ . Siła  $P_{01}$  wywołuje naprężenia w ciągu równe  $\sigma_{p,max} = k_1 \cdot f_{pk} = 0.8 \cdot 1860 = 1488 \text{ kN}$ , które nie przekraczają  $\sigma'_{p,max} = k_2 \cdot f_{p0.2k} = 0.9 \cdot 1668 = 1501 \text{ MPa}$ . Ze względu na ograniczenia technologiczne ogranicza się naciąg strun do wartości:

$$\cdot P_{0.1eff} = [(l_{z1} - \Delta l_{str}) / \Delta l_p] P_{01} = [(405 - 35) / 500] \cdot 17.75 = 0.74 \cdot 17.75 = 13.14 \text{ kN},$$

$$\cdot P_{0.2eff} = [(l_{z2} - \Delta l_{str}) / \Delta l_p] P_{01} = [(450 - 35) / 500] \cdot 17.75 = 0.83 \cdot 17.75 = 14.73 \text{ kN}.$$

Powyższe wartości uzyskano dla zakładki siłowników o długości  $l_{z1} = 405 \text{ mm}$  i  $l_{z2} = 450 \text{ mm}$ . Obniżenie się siły sprężającej podczas grupowego naciągu strun na torze wskutek odkształceń sprężystych toru i luzów w zakotwieniach wyrażono w postaci odkształcenia  $\Delta l_{str} = 35 \text{ mm}$ . Sprężyste wydłużenie  $\Delta l_p$  strun Y1860 S3-4.9 o długości  $l_p = 65.5 \text{ mm}$  wywołane siłą sprężającą  $P_{01} = 17.75 \text{ kN}$  wynosi  $\Delta l_p = (l_p \cdot P_{01}) / (A_p \cdot E_p) = (65.5 \cdot 17.75 \cdot 10^6) / (11.93 \cdot 196 \cdot 10^3) = 497.2 \cong 500 \text{ mm}$ .

#### 9.5.4 Beton Słupów Rollform SR

W obliczeniach nośności strunobetonowych Słupów Rollform SR przyjęto beton klasy C40/50 o cechach wytrzymałościowych  $f_{ck} = 40.0 \text{ MPa}$ ,  $f_{cd} = 40.0 / 1.4 = 28.57 \text{ MPa}$  i module  $E_{cm} = 35 \text{ GPa}$  jak w normie [1]. Współczynnik pełzania betonu  $\varphi(t, t_0) = 2.4$  i odkształcenie skurczowe  $\varepsilon_{csd} = 0.00023$  przyjęto wg normy PN-B-03264:1984 Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone. Obliczenia statyczne i projektowanie jak dla elementów poddanych przyspieszonemu twardnieniu betonu przez naparzenie. Składniki użyte do wykonania mieszanki betonowej powinny spełniać wymagania jakościowe określone przez stosowne normy i aprobaty. Jako kruszywo należy stosować kompozycje płukanych kruszyw łamanych (granit, bazalt lub dolomit) oraz żwiru i piasku naturalnego. Maksymalne ziarno kruszywa nie powinno przekraczać średnicy 10 mm.

Do wykonania mieszanki betonowej zaleca się stosować cement klasy minimum CEM 42.5 [9], przeznaczony do betonu narażonego na oddziaływanie czynników atmosferycznych. Minimalna zawartość cementu według normy [5] dla klasy ekspozycji środowiska XC4 i XF1 powinna wynosić  $300 \text{ kg/m}^3$ , a maksymalny wskaźnik  $w/c = 0.50$ . Receptę mieszanki betonowej należy określić metodą empiryczną, dostosowując proporcje składników do warunków procesu technologicznego. Właściwości mieszanki betonowej (konsystencja, urabialność) oraz właściwości techniczne stwardniałego betonu (wytrzymałość charakterystyczna betonu na ściskanie  $f_{ck}$  oraz jego nasiąkliwość) decydujące o trwałości Słupów Rollform SR eksploatowanych w środowisku klas XC4 i XF1 powinny być zgodne z [?, 1, 5].

Średnia wytrzymałość betonu w chwili sprężania o rozformowania słupków badana na próbach sześciennych o bokach 150 mm powinna wynosić  $f_{cm,15} \geq 40.0 \text{ MPa}$  (minimalna  $f_{cm,15} = 37 \text{ MPa}$ ). Badania wytrzymałości kostkowej betonu na ściskanie  $f_{cm,15}$  należy wykonać na próbkach z betonu produkcyjnego dojrzewającego pod przykryciem na torze razem ze słupami. Można badać wytrzymałość technologiczną betonu na próbach sześciennych o bokach 10 cm, uzyskaną w ten sposób wytrzymałość  $f_{cm,10}$  należy zmniejszać do wartości  $f_{cm,15} = 0.9 \cdot f_{cm,10}$ . Średnia wytrzymałość

technologiczna betonu badana na próbkach sześciennych o bokach 10 cm powinna więc wynosić  $f_{cm,10} > 44.5 \text{ MPa}$  (minimalna  $f_{cm,10} = 41 \text{ MPa}$ ).

### 9.5.5 Wyposażenie Słupów Rollform

Na strunobetonowych Słupach Rollform SR o małych wymiarach (np. SR-70: 70 x 75 mm i SR-80: 80 x 85 mm) nie wykonuje się żadnych otworów. W związku z tym konstrukcja pod moduły fotowoltaiczne mocowana jest do Słupów Rollform pomocą ocynkowanych lub nierdzewnych stalowych uchwytów i obejm.

### 9.5.6 Zamocowanie Słupów Rollform w gruncie

Strunobetonowe Słupy Rollform mogą być osadzone bezpośrednio w gruncie w otworze wierconym, kopanym lub mogą zostać zakafarowane na głębokość min. 1.2m, potwierdzoną obliczeniami dla danych warunków gruntowych lub zweryfikowane metodą prób palowania. Rozmieszczenie słupów zaleca się wykonać w sposób geodezyjny.

Beton w przedmiotowych Słupach Rollform ma zapewnione zabezpieczenie strukturalne przed korozją w środowisku naturalnym (klasy ekspozycji XC4 i XF1 wg. [1]). Ponieważ farmy fotowoltaiczne nie są posadawiane w rejonach, w których grunt lub wody gruntowe mogą być agresywne, nie ma potrzeby obowiązkowego powleknięcia środkami izolacyjnymi odziomkowej części Słupów na etapie produkcji prefabrykatów lub podczas ich montażu.

## 9.6 Obliczenie wytrzymałości Słupków Rollform

### 9.6.1 Faza produkcji, składowania i podnoszenia

Pola przekroju Słupów Rollform SR-70  $A_{c1} = 48.85 \text{ cm}^2$ , SR-80  $A_{c2} = 63.48 \text{ cm}^2$ , SR-90  $A_{c3} = 79.53 \text{ cm}^2$ .

**Faza składowania i podnoszenia Słupów** Charakterystyczne i obliczeniowe momenty zginające Słupy Rollform SR-70 i SR-80 w fazie składowania i podnoszenia (uwzględniono współczynnik dynamiczny  $\varphi = 1.3$ ) są następujące:

$$M_{Ek1} = 0.125 \cdot g_{k1} \cdot \varphi \cdot l^2 = 0.125 \cdot 0.122 \cdot 1.3 \cdot 5^2 = 0.496 \text{ kNm}$$

$$M_{Ek1} = 0.125 \cdot 0.159 \cdot 1.3 \cdot 5^2 = 0.646 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed2} = 0.125 \cdot g_{k1} \cdot \varphi \cdot \gamma_G \cdot l^2 = 0.125 \cdot 0.122 \cdot 1.3 \cdot 1.35 \cdot 5^2 = 0.669 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed2} = 0.125 \cdot 0.159 \cdot 1.3 \cdot 1.35 \cdot 5^2 = 0.872 \text{ kNm}$$

Charakterystyczny i obliczeniowy moment zginający Słup Rollform SR-90 w fazie składowania i podnoszenia (uwzględniono współczynnik dynamiczny  $\varphi = 1.3$ ) jest następujący:

$$M_{Ek3} = 0.125 \cdot g_{k3} \cdot \varphi \cdot l^2 = 0.125 \cdot 0.199 \cdot 1.3 \cdot 5^2 = 0.808 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed3} = 0.125 \cdot g_{k3} \cdot \varphi \cdot \gamma_G \cdot l^2 = 0.125 \cdot 0.199 \cdot 1.3 \cdot 1.35 \cdot 5^2 = 1.091 \text{ kNm}$$

**Faza eksploatacyjna** Dla fazy eksploatacyjnej przyjęto, że Słup zamocowany jest w sprężystym gruncie. W płaszczyźnie prostopadłej do rzędu paneli fotowoltaicznych Słup obciążony jest w wyniku parcia lub ssania wiatru oddziałujące na moduły fotowoltaiczne.

### 9.6.2 Stan graniczny nośności na zginanie

Nośność obliczeniową na zginanie  $M_{Rd}$  dla strunobetonowych Słupów Rollform o przekrojach jak na Rys. 21 określono dla prostokątnych przekrojów zastępczych o wymiarach jak niżej:



- Słup Rollform SR-70  $70 \times 75$  mm - przekrój zastępczy  $b_z \times h = (4885/75) \times 75 = 65.1 \times 75$  mm.
- Słup Rollform SR-80  $80 \times 85$  mm - przekrój zastępczy  $b_z \times h = (6347.5/85) \times 85 = 74.7 \times 85$  mm.
- Słup Rollform SR-90  $90 \times 95$  mm - przekrój zastępczy  $b_z \times h = (7952.5/95) \times 95 = 83.7 \times 95$  mm.

gdzie  $b_z$  jest średnią szerokością przekroju prostokątnego, wynikającą z zamiany pola przekroju rzeczywistego (wyznaczonego w pkt. 9.6.1 dla przekrojów jak na Rys. 21) na przekrój zastępczy.

Słupy Rollform zbrojone są cięgnami Y1860 S3-4.9 o przekroju  $A_{p1} = 11.93 \text{ mm}^2$ , charakterystycznej sile zrywającej splot  $F_{pk} = 22.2 \text{ kN}$ , sile charakterystycznej  $F_{p0.2k} = 19.9 \text{ kN}$  odpowiadającej charakterystycznej granicy plastyczności stali  $f_{p0.2k} = 1668 \text{ MPa}$ , wytrzymałości obliczeniowej stali w splotach  $f_{pd} = f_{p0.2k}/\gamma_s = 1668/1.15 = 1450 \text{ MPa}$ , i module sprężystości  $E_p = 196 \text{ GPa}$ . Słupy Rollform SR-70 i SR-80 zbrojone są czterema splotami umieszczonymi symetrycznie po jednym splocie w narożu (Rys. 21a,b), a słupki wersji wzmocnionej SR-80 i SR-90 sześcioma splotami umieszczonymi po trzy przy bocznych ściankach przekroju (Rys. 21c,d). Grubość średnią nominalnej otuliny cięgien sprężających przyjęto równą  $c_{nom} = 12 \text{ mm}$ , co odpowiada odległości od cięgien  $a_{p1} = a_{p2} = 12 + 0.5 \cdot 4.9 = 14.4 \text{ mm}$ . W obliczeniach nośności  $M_{Rd}$  słupków przyjęto beton klasy C40/50 ( $f_{ck} = 40.0 \text{ MPa}$ ,  $f_{cd} = 40.0/1.4 = 28.57 \text{ MPa}$ ).

Początkową siłę sprężającą  $P_0$  w jednym cięgnię przyjęto równą  $P_{01} = P_{01,eff} = 13.14 \text{ kN}$  i  $P_{02} = P_{02,eff} = 14.73 \text{ kN}$ , co stanowi odpowiednio 59.2% i 66.4% siły  $F_{pk} = 22.2 \text{ kN}$ . Wartości  $P_{01} = 13.14 \text{ kN}$  i  $P_{02} = 14.73 \text{ kN}$  wynikają z założeń konstrukcyjnych dla torów naciagowych i przyjętych splotów Y1860 S3-4.9 do produkcji Słupów Rollform. Zgodnie z tabl. K.1. normy [5] dla naprężeń  $\sigma_{0,max} = 0.6 \cdot f_{pk}$  straty sił sprężających dla torów można przyjąć równe ok. 15%. Średnia wartość siły sprężającej po stratach:

$$P_{mt,1} = 0.85 \cdot P_{0,1} = 0.85 \cdot 13.14 = 11.17 \text{ kN}$$

$$P_{mt,2} = 0.85 \cdot P_{0,2} = 0.85 \cdot 14.73 = 12.23 \text{ kN}$$

Naprężenia w cięgnach po zakotwieniu i uwzględnieniu strat doraźnych wynoszą:

$$\cdot \text{ na torze nr 1 - } \sigma_{pm0,1} = 0.95 \cdot P_{01}/A_{p1} = 0.95 \cdot 13.14 \cdot 10^3/11.93 = 1046 \text{ MPa},$$

$$\cdot \text{ na torze nr 2 - } \sigma_{pm0,2} = 0.93 \cdot P_{02}/A_{p2} = 0.93 \cdot 14.73 \cdot 10^3/11.93 = 1148 \text{ MPa}.$$

Naprężenia w cięgnach po uwzględnieniu strat całkowitych wynoszą:

$$\cdot \text{ na torze nr 1 - } \sigma_{pm1} = P_{mt1}/A_{p1} = 11.17 \cdot 10^3/11.93 = 936 \text{ MPa}, (50.3\% \text{ wytrzymałości } f_{pk} = 1860 \text{ MPa})$$

$$\cdot \text{ na torze nr 2 - } \sigma_{pm2} = P_{mt2}/A_{p2} = 12.23 \cdot 10^3/11.93 = 1025 \text{ MPa}, (55.1\% \text{ wytrzymałości } f_{pk} = 1860 \text{ MPa}).$$

**Słupy Rollform SR-70** Początkowa siła sprężająca w czterech splotach  $\phi 4.9 \text{ mm}$  wynosi  $P_0 = n \cdot P_{01} = 4 \cdot 13.14 = 52.56 \text{ kN}$ .

Siła sprężająca po uwzględnieniu strat całkowitych:  $P_{mt} = n \cdot P_{mt1} = 4 \cdot 11.17 = 44.68 \text{ kN}$

W stanie granicznym nośności na zginanie naprężenia w cięgnach w strefie ściskanej wynoszą  $\sigma_{p2} = 400 - \sigma_{pm0,1} = 400 - 1046 = -646 \text{ MPa}$ .

Graniczna wartość względnej wysokości strefy ściskanej  $\xi_{eff,lim}$  dla prostokątnego wykresu naprężeń w betonie zginanego elementu strunobetonowego według normy [1] wynosi:  $\xi_{eff,lim} = 0.8 \cdot \varepsilon_{cu} / (\varepsilon_{cu} - \Delta \varepsilon_p) = 0.8 \cdot 0.0035 / [0.0035 - (-0.0031)] = 0.424$  przyjmując odkształcenie graniczne betonu przy ściskaniu  $\varepsilon_{cu} = 0.0035$  i  $\Delta \varepsilon_p = -(f_{pd}/E_p) \cdot [1 - 0.9 \cdot (\sigma_{pm1}/f_{pd})] = -(1450/196000) \cdot [1 - 0.9 \cdot (936/1450)] = -0.0031$ .



technologiczna betonu badana na próbkach sześciennych o bokach 10 cm powinna więc wynosić  $f_{cm,10} > 44.5 \text{ MPa}$  (minimalna  $f_{cm,10} = 41 \text{ MPa}$ ).

### 9.5.5 Wyposażenie Słupów Rollform

Na strunobetonowych Słupach Rollform SR o małych wymiarach (np. SR-70: 70 x 75 mm i SR-80: 80 x 85 mm) nie wykonuje się żadnych otworów. W związku z tym konstrukcja pod moduły fotowoltaiczne mocowana jest do Słupów Rollform pomocą ocynkowanych lub nierdzewnych stalowych uchwytów i obejm.

### 9.5.6 Zamocowanie Słupów Rollform w gruncie

Strunobetonowe Słupy Rollform mogą być osadzone bezpośrednio w gruncie w otworze wierconym, kopanym lub mogą zostać zakafarowane na głębokość min. 1.2m, potwierdzoną obliczeniami dla danych warunków gruntowych lub zweryfikowane metodą prób palowania. Rozmieszczenie słupów zaleca się wykonać w sposób geodezyjny.

Beton w przedmiotowych Słupach Rollform ma zapewnione zabezpieczenie strukturalne przed korozją w środowisku naturalnym (klasy ekspozycji XC4 i XF1 wg. [1]). Ponieważ farmy fotowoltaiczne nie są posadawiane w rejonach, w których grunt lub wody gruntowe mogą być agresywne, nie ma potrzeby obowiązkowego powlekania środkami izolacyjnymi odziomkowej części Słupów na etapie produkcji prefabrykatów lub podczas ich montażu.

## 9.6 Obliczenie wytrzymałości Słupków Rollform

### 9.6.1 Faza produkcji, składowania i podnoszenia

Pola przekroju Słupów Rollform SR-70  $A_{c1} = 48.85 \text{ cm}^2$ , SR-80  $A_{c2} = 63.48 \text{ cm}^2$ , SR-90  $A_{c3} = 79.53 \text{ cm}^2$ .

**Faza składowania i podnoszenia Słupów** Charakterystyczne i obliczeniowe momenty zginające Słupy Rollform SR-70 i SR-80 w fazie składowania i podnoszenia (uwzględniono współczynnik dynamiczny  $\varphi = 1.3$ ) są następujące:

$$M_{Ek1} = 0.125 \cdot g_{k1} \cdot \varphi \cdot l^2 = 0.125 \cdot 0.122 \cdot 1.3 \cdot 5^2 = 0.496 \text{ kNm}$$

$$M_{Ek1} = 0.125 \cdot 0.159 \cdot 1.3 \cdot 5^2 = 0.646 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed2} = 0.125 \cdot g_{k1} \cdot \varphi \cdot \gamma_G \cdot l^2 = 0.125 \cdot 0.122 \cdot 1.3 \cdot 1.35 \cdot 5^2 = 0.669 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed2} = 0.125 \cdot 0.159 \cdot 1.3 \cdot 1.35 \cdot 5^2 = 0.872 \text{ kNm}$$

Charakterystyczny i obliczeniowy moment zginający Słup Rollform SR-90 w fazie składowania i podnoszenia (uwzględniono współczynnik dynamiczny  $\varphi = 1.3$ ) jest następujący:

$$M_{Ek3} = 0.125 \cdot g_{k3} \cdot \varphi \cdot l^2 = 0.125 \cdot 0.199 \cdot 1.3 \cdot 5^2 = 0.808 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed3} = 0.125 \cdot g_{k3} \cdot \varphi \cdot \gamma_G \cdot l^2 = 0.125 \cdot 0.199 \cdot 1.3 \cdot 1.35 \cdot 5^2 = 1.091 \text{ kNm}$$

**Faza eksploatacyjna** Dla fazy eksploatacyjnej przyjęto, że Słup zamocowany jest w sprężystości gruncie. W płaszczyźnie prostopadłej do rzędu paneli fotowoltaicznych Słup obciążony jest w wyniku parcia lub ssania wiatru oddziałujące na moduły fotowoltaiczne.

### 9.6.2 Stan graniczny nośności na zginanie

Nośność obliczeniową na zginanie  $M_{Rd}$  dla strunobetonowych Słupów Rollform o przekrojach jak na Rys. 21 określono dla prostokątnych przekrojów zastępczych o wymiarach jak niżej:

**Temat:** Konstrukcja POLKOWICE strunobeton

**Projektant** mgr inż. Arkadiusz Kodłubaj

**Wykonał** mgr inż. Michał Świątek

**Faza** Obliczenia statyczne

**Strona**

23/28

**Data**

01.2022 r.

**Branża**

Konstrukcyjna



Odległości  $a_{p1}$  i  $a_{p2}$  osi zbrojenia rozciąganego i ściskanego przyjęto z Rys. 21:

$$a_{p1} = 38.6 - 22.5 = 16.1 \text{ mm},$$

$$a_{p2} = 36.4 - 22.5 = 13.9 \text{ mm}.$$

Wartość średnia wynosi  $a_{p1} = a_{p2} = 15.0 \text{ mm}$ .

Średnia szerokość przekroju w strefie ściskanej betonu dla  $a_{p1} = 16.1 \text{ mm}$  i  $a_{p1} = 13.9 \text{ mm}$  Rys. 21a wynosi  $b_m = 70.0 - (70 - 61) \cdot 13.9/75 = 70 - 1.67 = 68 \text{ mm}$ .

Wysokości użytecznej części przekroju jak na Rys. 21a zginanego w płaszczyźnie pionowej lub poziomej jest odpowiednio równa:

$$d_1 = h - a_{p1} = 75 - 16.1 = 58.9 \text{ mm} = 0.0589 \text{ m},$$

$$d_2 = b_z - a'_{p1} = 65.1 - 14.2 = 50.9 \text{ mm} = 0.0509 \text{ m}.$$

Graniczna wartość strefy ściskanej betonu:

$$\chi_{eff,lim} = d_1 \cdot \xi_{eff,lim} = 0.0589 \cdot 0.424 = 0.0250 \text{ m},$$

$$\chi_{eff,lim} = d_1 \cdot \xi_{eff,lim} = 0.0509 \cdot 0.424 = 0.0216 \text{ m}.$$

Zasięg strefy ściskanej z warunku sumy rzutów sił przy zginaniu słupka strunobetonowego w płaszczyźnie większej lub mniejszej wartości:

$$\chi_{eff,1} = [2 \cdot A_{p1} \cdot (f_{pd} - \sigma_{p2})] / (b_m \cdot f_{cd}) = [2 \cdot 11.93 \cdot 10^{-6} \cdot (1450 + 646)] / (0.068 \cdot 28.57) = 0.0257 \text{ m},$$

$$\chi_{eff,1} = 0.0257 \text{ m} > \chi_{eff,lim} = 0.025 \text{ m}$$

$$\chi_{eff,2} = [2 \cdot A_{p2} \cdot (f_{pd} - \sigma_{p2})] / (b_m \cdot f_{cd}) = [2 \cdot 11.93 \cdot 10^{-6} \cdot (1450 + 646)] / (0.075 \cdot 28.57) = 0.0235 \text{ m},$$

$$\chi_{eff,2} = 0.0235 \text{ m} > \chi_{eff,lim} = 0.0216 \text{ m}.$$

Z względu na stan graniczny nośności na zginanie słupki wykonane z betonu klasy C40/50 w obu płaszczyznach pracy są przebrożone ( $\chi_{eff} > \chi_{eff,lim}$ ). Do dalszych obliczeń przyjęto zasięg strefy ściskanej równy wartości granicznej, odpowiednio  $\chi_{eff,lim1} = 0.025 \text{ m}$  i  $\chi_{eff,lim2} = 0.0216 \text{ m}$ .

Nośność przekroju określono z warunku sumy momentów względem środka ciężkości zbrojenia rozciąganego:

$$M_{Rd1} = b_m \cdot \chi_{eff,lim1} \cdot f_{cd} \cdot (d_1 - 0.5 \cdot \chi_{eff,lim1}) + n \cdot A_{p1} \cdot \sigma_{p2} \cdot (d_1 - a_{p2})$$

$$M_{Rd1} = 0.068 \cdot 0.025 \cdot 28.57 \cdot (0.0589 - 0.5 \cdot 0.025) \cdot 10^3 - 2 \cdot 11.93 \cdot 646 \cdot 10^3 \cdot (0.0589 - 0.0139)$$

$$M_{Rd1} = 2.2536 - 0.6936 = 1.56 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd2} = h \cdot \chi_{eff,lim2} \cdot f_{cd} \cdot (d_2 - 0.5 \cdot \chi_{eff,lim2}) + n \cdot A_{p1} \cdot \sigma_{p2} \cdot (d_1 - a_{p2})$$

$$M_{Rd2} = 0.075 \cdot 0.0216 \cdot 28.57 \cdot (0.0509 - 0.5 \cdot 0.0216) \cdot 10^3 - 2 \cdot 11.93 \cdot 646 \cdot 10^3 \cdot (0.0509 - 0.0139)$$

$$M_{Rd2} = 1.8560 - 0.5703 = 1.286 \text{ kNm}.$$

Obliczeniowy moment zginający Słup Rollform SR-70 ( $M_{01} = 0.669 \text{ kNm}$ ) w fazie składowania i podnoszenia:

$$M_{01} = 0.669 \text{ kNm} < M_{Rd1} = 1.560 \text{ kNm},$$

$$M_{01} = 0.669 \text{ kNm} < M_{Rd2} = 1.296 \text{ kNm}.$$

W fazie składowania i podnoszenia warunek nośności granicznej Słupa SR-70 został zachowany w obu płaszczyznach pracy.

Obliczeniowy moment zginający Słup Rollform na poziomie gruntu w fazie eksploatacji pokazano na **Rys. obliczeń statycznych**

$$M_{Ed} = 0 \text{ kNm} < M_{Rd1} = 1.560 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = 0 \text{ kNm} < M_{Rd2} = 1.286 \text{ kNm}.$$

**Słupy Rollform SR-90** Początkowa siła sprężająca w sześciu splotach  $\phi 4.9 \text{ mm}$ :  $P_0 = n \cdot P_{01} = 6 \cdot 13.14 = 78.84 \text{ kN}$ .

Siła po uwzględnieniu strat całkowitych:  $P_{mt} = n \cdot P_{mt1} = 6 \cdot 11.17 = 67.02 \text{ kN}$ .

$$\varepsilon_{cu} = 0.0035$$



$$\Delta \varepsilon_p = -(f_{pd}/E_p) \cdot [1 - 0.9 \cdot (\sigma_{pmt}/f_{pd})] = -(1450/196000) \cdot [1 - 0.9 \cdot (936/1450)] = -0.0031$$

Graniczna względna wysokość strefy ściskanej:

$$\xi_{eff,lim} = 0.8 \cdot \varepsilon_{cu} / (\varepsilon_{cu} \cdot \Delta \varepsilon_p) = 0.8 \cdot 0.0035 / [0.0035 - (-0.0031)] = 0.424$$

$$a_{p1} = 48.9 - 31.7 = 17.2 \text{ mm}$$

$$a_{p2} = 46.1 - 31.7 = 14.4 \text{ mm}$$

Wartość średnia wynosi  $a_{p1} = a_{p2} = 15.8 \text{ mm}$ .

Średnia szerokość przekroju w strefie ściskanej betonu dla  $a_{p1} = 17.2 \text{ mm}$  i  $a_{p2} = 14.4 \text{ mm}$  Rys. 21d wynosi  $b_m = 90.0 - 14.4/95 = 90 - 1.82 = 88 \text{ mm}$ .

Wysokość użytecznej części przekroju jak na 21d zginanego w płaszczyźnie pionowej lub poziomej jest odpowiednio równa:

$$d_1 = h - a_{p1} = 95 - 17.2 = 77.8 \text{ mm} = 0.0778 \text{ m}$$

$$d_2 = b_m - a_{p2} = 88 - 14.2 = 69.5 \text{ mm} = 0.0695 \text{ m}.$$

Graniczna wartość strefy ściskanej:

$$\chi_{eff,lim1} = d_1 \cdot \xi_{eff,lim} = 0.0778 \cdot 0.424 = 0.0330 \text{ m}$$

$$\chi_{eff,lim2} = d_2 \cdot \xi_{eff,lim} = 0.0695 \cdot 0.424 = 0.0295 \text{ m}.$$

Zasięg strefy ściskanej z warunku sumy rzutów sił przy zginaniu Słupa Rollform w płaszczyźnie większej lub mniejszej sztywności:

$$\chi_{eff,1} = [2 \cdot A_{p1} \cdot (f_{pd} + \sigma_p - \sigma_{p2})] / (b_m \cdot f_{cd})$$

$$\chi_{eff,1} = [2 \cdot 11.9 \cdot 10^{-6} \cdot (1450 + 980 + 646)] / (0.088 \cdot 28.57) = 0.0292 \text{ m} < \chi_{eff,lim1} = 0.033 \text{ m}.$$

$$\chi_{eff,2} = [2 \cdot A_{p1} \cdot (f_{pd} - \sigma_{p2})] / (h \cdot f_{cd})$$

$$\chi_{eff,2} = [2 \cdot 11.9 \cdot 10^{-6} \cdot (1450 + 646)] / (0.095 \cdot 28.57) = 0.0276 \text{ m} < \chi_{eff,lim1} = 0.0295 \text{ m}.$$

Ponieważ Słupy Rollform w obu płaszczyznach pracy nie są przebrożone z względu na stan graniczny nośności na zginanie ( $\chi_{eff} < \chi_{eff,lim}$ ) do dalszych obliczeń zasięg strefy ściskanej przyjęto równy wartościom granicznym, odpowiednio  $\chi_{eff,1} = 0.0292 \text{ m}$  i  $\chi_{eff,2} = 0.0276 \text{ m}$ .

Nośność przekroju określono z warunku sumy momentów względem środka ciężkości zbrojenia rozciąganego:

$$M_{Rd1} = b_m \cdot \chi_{eff,1} \cdot f_{cd} \cdot (d_1 - 0.5 \cdot \chi_{eff,1}) + 2 \cdot A_{p1} \cdot \sigma_{p2} \cdot (d_1 - a_{p1}) + 2 \cdot A_{p1} \cdot \sigma_p \cdot (\gamma_d - a_{p1})$$

$$M_{Rd1} = 0.088 \cdot 0.0292 \cdot 28.57 \cdot 10^3 \cdot (0.0778 - 0.5 \cdot 0.0292) - 2 \cdot 11.93 \cdot 10^3 \cdot 646 \cdot (0.0778 - 0.0144) - 2 \cdot 11.93 \cdot 10^3 \cdot 980 \cdot (0.0489 - 0.0172) = 2.922 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd2} = h \cdot \chi_{eff,2} \cdot f_{cd} \cdot (d_2 - 0.5 \cdot \chi_{eff,2}) + n \cdot A_{p1} \cdot \sigma_{p2} \cdot (d_2 - a_{p1})$$

$$M_{Rd2} = 0.095 \cdot 0.0276 \cdot 28.57 \cdot 10^3 \cdot (0.0695 - 0.5 \cdot 0.0276) - 3 \cdot 11.93 \cdot 10^3 \cdot 646 \cdot (0.0695 - 0.0142)$$

$$M_{Rd2} = 4.173 - 1.279 = 2.894 \text{ kNm}$$

Obliczeniowy moment zginający Słup Rollform SR-90 w fazie składowania i podnoszenia:

$$M_{03} = 1.091 \text{ kNm} < M_{Rd1} = 2.922 \text{ kNm}$$

$$M_{03} = 1.091 \text{ kNm} < M_{Rd2} = 2.894 \text{ kNm}$$

W fazie składowania i podnoszenia warunek nośności jest spełniony w obu płaszczyznach pracy słupa.

Obliczeniowy moment zginający słup SR-90 w płaszczyźnie prostopadłej do rzędów modułów fotowoltaicznych w fazie eksploatacji pokazano na **Rys. Obliczeń stat.**

$$M_{Ed,8} = 0 \text{ kNm} < M_{Rd1} = 2.922 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,8} = 0 \text{ kNm} < M_{Rd2} = 2.894 \text{ kNm}$$

W fazie eksploatacji warunek nośności granicznej na zginanie Słupów Rollform SR-90 jest spełniony w obu płaszczyznach pracy.



### 9.6.3 Stan graniczny nośności przy ścinaniu

W strunobetonowych Słupach Rollform nie stosuje się zbrojenia poprzecznego. Ze względu na dużą smukłość ścinania  $M_{Ed}/(V_{Ed} \cdot d_2) = 1.440/(1.104 \cdot 0.0509) = 25.6 > 6$  elementy nie uzbrojone poprzecznie niszczyć się będą ze względu na naprężenia normalne wywołane działaniem momentu. Wpływ siły poprzecznej przeważa przy małych smukłościach ścinania do około 4.5.

**Słup Rollform SR-70** Początkowa siła sprężająca:  $P_0 = n \cdot P_{01} = 4 \cdot 13.14 = 52.56 \text{ kN}$

Siła sprężająca po uwzględnieniu strat całkowitych:  $P_{mt} = n \cdot P_{mt1} = 4 \cdot 11.17 = 44.68 \text{ kN}$

Pole przekroju słupka  $A_{c1} = 4885 \text{ mm}^2 = 0.004885 \text{ m}^2$

Charakterystyczna i obliczeniowa wytrzymałość betonu C40/50 na ściskanie:

$f_{ck} = 40.0 \text{ MPa}$ ,  $f_{cd} = 28.57 \text{ MPa}$ .

Naprężenia w betonie wywołane sprężeniem siłą  $P_{mt} = 44.63 \text{ kN}$ :

$\sigma_{cp} = P_{mt}/A_{c1} = 44.68/0.004885 = 9146 \text{ kPa} = 9.146 \text{ MPa} > 0.2 \cdot f_{cd} = 0.2 \cdot 28.57 = 5.714 \text{ MPa}$

Do dalszych obliczeń przyjęto więc  $\sigma_{cp} = 5.714 \text{ MPa}$ .

Współczynnik:  $k_1 = 0.15$ ;  $C_{Ed,c} = 0.18/\gamma_c = 0.129$  według normy [1].

Średnia szerokość przekroju trapezowego:

$b_m = 0.5 \cdot (61 + 70) = 65.5 \text{ mm}$ .

$d_1 = h - a_{p1} = 75 - 16.1 = 58.9 \text{ mm} = 0.0589 \text{ m}$

$d_2 = b_m - a_{p1} = 65.5 - 14.2 = 51.3 \text{ mm} = 0.0513 \text{ m}$

$k' = 1 + \sqrt{200/d_1} = 1 + \sqrt{200/58.9} = 2.84 > 2.0$

$k'' = 1 + \sqrt{200/d_2} = 1 + \sqrt{200/51.3} = 2.97 > 2.0$

przyjęto  $k' = k'' = k = 2.0$ .

Stopień zbrojenia Słupa Rollform wynosi  $\rho_l = (4 \cdot A_p)/A_{c1} = (4 \cdot 11.93)/4885 = 0.0098 < 0.02$ .

Obliczeniowa nośność przekroju na ścinanie według normy [1]:

$V_{Rd,c1} = (C_{Rd,c} \cdot k \cdot \sqrt[3]{100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck}} + k_1 + \sigma_{cp}) \cdot b_m \cdot d_1 = (\nu + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_m \cdot d_1$

$\nu = 0.129 \cdot 2.0 \cdot \sqrt[3]{100 \cdot 0.0098 \cdot 40} = 0.8764 \text{ MPa}$

$V_{Rd,c2} = (\nu + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b \cdot d_2$

$V_{Rd,c2} = (0.8764 + 0.15 \cdot 5.714) \cdot 75 \cdot 51.3 = 6.670 \text{ kN}$

Obliczeniowa nośność przekroju na ścinanie nie może być jednak mniejsza niż:

$V_{Rd,c1} = (\nu_{min} \cdot k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b \cdot d$

$\nu_{min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot \sqrt{f_{ck}} = 0.035 \cdot 2.0^{3/2} \cdot \sqrt{40.0} = 0.626 \text{ MPa} < \nu = 0.8764 \text{ MPa}$

Obliczeniowa nośność przekroju na ścinanie obliczona wyżej jest większa od minimalnej.

Obliczeniowa siła poprzeczna w Słupie Rollform SR-70 w fazie eksploatacji:

$V_{Rd,c1} = 6.698 \text{ kN}$

$V_{Rd,c2} = 6.670 \text{ kN}$

W słupach SR-70 warunek nośności na ścinanie jest spełniony ze znacznym zapasem w obu płaszczyznach pracy.

**Słup Rollform SR-90** Początkowa siła sprężająca:  $P_0 = n \cdot P_{01} = 6 \cdot 13.14 = 78.84 \text{ kN}$

Siła po uwzględnieniu strat całkowitych:  $P_{mt} = n \cdot P_{mt1} = 6 \cdot 11.17 = 67.02 \text{ kN}$

Pole przekroju Słupa Rollform SR-90  $A_{c2} = 7952.5 \text{ mm}^2 = 0.0079525 \text{ m}^2$

Charakterystyczna i obliczeniowa wytrzymałość betonu C40/50 na ściskanie:

$f_{ck} = 40.0 \text{ MPa}$ ,  $f_{cd} = 28.57 \text{ MPa}$ .

Naprężenia w przekroju wywołane sprężeniem:

$\sigma_{cp} = P_{mt}/A_{c1} = 67020/7952.5 = 8.428 \text{ kPa} > 0.2 \cdot f_{cd} = 0.2 \cdot 28.57 = 5.714 \text{ MPa}$

Do dalszych obliczeń przyjęto więc  $\sigma_{cp} = 5.714 \text{ MPa}$

Współczynniki:  $k_1 = 0.15$ ;  $C_{Ed,c} = 0.18/\gamma_c = 0.129$  według normy [1].

Średnia szerokość przekroju trapezowego:

$$b_m = 0.5 \cdot (78 + 90) = 84 \text{ mm}$$

$$d_1 = h - a_{p1} = 95 - 17.2 = 77.8 \text{ mm} = 0.0778 \text{ m}$$

$$d_2 = b_m - a_{p1} = 84 - 14.2 = 69.8 \text{ mm} = 0.0698 \text{ m}$$

$$k' = 1 + \sqrt{200/d_1} = 1 + \sqrt{200/77.8} = 2.60 > 2.0$$

$$k'' = 1 + \sqrt{200/d_2} = 1 + \sqrt{200/69.8} = 2.69 > 2.0$$

przyjęto  $k' = k'' = k = 2.0$ .

Stopień zbrojenia Słupa Rollform wynosi  $\rho_l = (6 \cdot A_p) / A_{c1} = (6 \cdot 11.93) / 7952.5 = 0.009 < 0.02$ .

Obliczeniowa nośność przekroju na ścinanie według normy [1]:

$$V_{Rd,c1} = (C_{Rd,c} \cdot k \cdot \sqrt[3]{100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck}} + k_1 + \sigma_{cp}) \cdot b_m \cdot d_1 = (\nu + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_m \cdot d_1$$

$$\nu = 0.129 \cdot 2.0 \cdot \sqrt[3]{100 \cdot 0.009 \cdot 40} = 0.8519 \text{ MPa}$$

$$V_{Rd,c1} = (0.8519 + 0.15 \cdot 5.714) \cdot 84 \cdot 77.8 = 11.169 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c2} = (\nu + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b \cdot d_2$$

$$V_{Rd,c2} = (0.8519 + 0.15 \cdot 5.714) \cdot 95 \cdot 69.8 = 11.332 \text{ kN}$$

Obliczeniowa nośność przekroju na ścinanie nie może być jednak mniejsza niż:

$$V_{Rd,c1} = (\nu_{min} \cdot k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b \cdot d$$

$$\nu_{min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot \sqrt{f_{ck}} = 0.035 \cdot 2.0^{3/2} \cdot \sqrt{40.0} = 0.626 \text{ MPa} < \nu = 0.8519 \text{ MPa}$$

Obliczeniowa nośność przekroju na ścinanie obliczona wyżej jest większa od minimalnej.

Obliczeniowa siła poprzeczna w Słupie Rollform SR-90 w fazie eksploatacji:

$$V_{Rd,c1} = 11.169 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c2} = 11.332 \text{ kN}$$

W słupach SR-90 warunek nośności na ścinanie jest spełniony ze znacznym zapasem w obu płaszczyznach pracy.

#### 9.6.4 Stan graniczny zarysowania

**Słupy Rollform SR-70** Siła sprężająca po uwzględnieniu strac całkowitych:  $P_{mt} = n \cdot P_{mt1} = 4 \cdot 11.17 = 44.68 \text{ kN}$

Pole przekroju Słupa SR-70:  $A_{c1} = 4885 \text{ mm}^2$

Średnia wytrzymałość betonu C40/50 na rozciąganie:  $f_{ctm} = 3.5 \text{ MPa}$ ,  $f_{ctm0.05} = 2.5 \text{ MPa}$

Prostokątny przekrój zastępczy  $b_z \times h = 65.13 \times 75$  o polu  $A_{c1} = 4885 \text{ mm}^2$  dla przekroju rzeczywistego jak na Rys. 21a.

Moment rysujący w obu płaszczyznach zginania słupa:

$$M'_{cr} = (b_z \cdot h^2/6) \cdot (P_{mt}/A_{c1} + f_{ctm}) = (65.13 \cdot 75^2/6) \cdot (44680/4885 + 3.5) \cdot 10^{-6} = 0.772 \text{ kNm}$$

$$M''_{cr} = (h \cdot b_z^2/6) \cdot (P_{mt}/A_{c1} + f_{ctm}) = (75 \cdot 65.13^2/6) \cdot (44680/4885 + 3.5) \cdot 10^{-6} = 0.671 \text{ kNm}$$

Charakterystyczny moment zginający Słup Rollform SR-70 w fazie składowania i podnoszenia (uwzględniono współczynnik dynamiczny  $\varphi = 1.3$ ):

$$M_{k1} = 0.125 \cdot g_{k1} \cdot \varphi \cdot l^2 = 0.125 \cdot 0.122 \cdot 1.3 \cdot 5^2 = 0.4956 \text{ kNm}$$

$$M_{k1} = 0.4956 \text{ kNm} < M'_{cr} = 0.772 \text{ kNm}$$

$$M_{k1} = 0.4956 \text{ kNm} < M''_{cr} = 0.671 \text{ kNm}$$

W fazie składowania i podnoszenia Słup Rollform SR-70 nie ulegnie zarysowaniu w obu płaszczyznach pracy.

Charakterystyczny moment zginający Słup Rollform SR-70 w płaszczyźnie prostopadłej do rzędów modułów fotowoltaicznych w fazie eksploatacji:



$$M_{k,max} = 0 \text{ kNm} < M'_{cr} = 0.772 \text{ kNm} \quad M_{k,max} = 0 \text{ kNm} < M''_{cr} = 0.671 \text{ kNm}$$

W instalacjach fotowoltaicznych Słupy Rollform SR-70 w fazie pracy na zginanie w płaszczyźnie prostopadłej do rzędów modułów fotowoltaicznych nie ulegną zarysowaniu w obu płaszczyznach pracy.

**Słupy Rollform SR-90** Siła sprężająca po uwzględnieniu strac całkowitych:  $P_{mt} = n \cdot P_{mt1} = 6 \cdot 11.17 = 67.02 \text{ kN}$

Pole przekroju Słupa SR-70:  $A_{c3} = 7952.5 \text{ mm}^2$

Średnia wytrzymałość betonu C40/50 na rozciąganie:  $f_{ctm} = 3.5 \text{ MPa}$ ,  $f_{ctm0,05} = 2.5 \text{ MPa}$

Prostokątny przekrój zastępczy  $b_z \times h = 83.71 \times 95$  o polu  $A_{c1} = 7952.5 \text{ mm}^2$  dla przekroju rzeczywistego jak na Rys. 21d.

Moment rysujący w obu płaszczyznach zginania słupa:

$$M'_{cr} = (b_z \cdot h^2/6) \cdot (P_{mt}/A_{c1} + f_{ctm}) = (83.72 \cdot 95^2/6) \cdot (67020/7952.5 + 3.5) \cdot 10^{-6} = 1.502 \text{ kNm}$$

$$M''_{cr} = (h \cdot b_z^2/6) \cdot (P_{mt}/A_{c1} + f_{ctm}) = (95 \cdot 83.72^2/6) \cdot (67020/7952.5 + 3.5) \cdot 10^{-6} = 1.323 \text{ kNm}$$

Charakterystyczny moment zginający Słup Rollform SR-90 w fazie składowania i podnoszenia (uwzględniono współczynnik dynamiczny  $\varphi = 1.3$ ):

$$M_{k1} = 0.125 \cdot g_{k1} \cdot \varphi \cdot l^2 = 0.125 \cdot 0.199 \cdot 1.3 \cdot 5^2 = 0.808 \text{ kNm}$$

$$M_{k1} = 0.808 \text{ kNm} < M'_{cr} = 1.502 \text{ kNm}$$

$$M_{k1} = 0.808 \text{ kNm} < M''_{cr} = 1.323 \text{ kNm}$$

W fazie składowania i podnoszenia Słup Rollform SR-90 nie ulegnie zarysowaniu w obu płaszczyznach pracy.

Charakterystyczny moment zginający Słup Rollform SR-90 w płaszczyźnie prostopadłej do rzędów modułów fotowoltaicznych w fazie eksploatacji:

$$M_{k,max} = 0 \text{ kNm} < M'_{cr} = 1.502 \text{ kNm} \quad M_{k,max} = 0 \text{ kNm} < M''_{cr} = 1.323 \text{ kNm}$$

W instalacjach fotowoltaicznych Słupy Rollform SR-90 w fazie pracy na zginanie w płaszczyźnie prostopadłej do rzędów modułów fotowoltaicznych nie ulegną zarysowaniu w obu płaszczyznach pracy.

#### 9.6.5 Wnioski i zalecenia

1. Słupy Rollform SR-70 wykonane ze strunobetonu mogą być stosowane bez ograniczeń w rozstawie przewidzianym w niniejszym dokumencie.
2. Strunobetonowe Słupy Rollform SR powinny być wykonane z betonu klasy co najmniej C40/50.



**Temat:** Konstrukcja POLKOWICE strunobeton

**Projektant** mgr inż. Arkadiusz Kodłubaj

**Strona**

28/28

**Wykonał** mgr inż. Michał Świątek

**Data**

01.2022 r.

**Faza** Obliczenia statyczne

**Branża**

Konstrukcyjna



## Literatura

- [1] PN-EN 1990:2004 Eurokod 0 – Podstawy projektowania konstrukcji
- [2] PN-EN 1991-1-3 Eurokod 1 – Oddziaływanie na konstrukcje, Część 1-3: Oddziaływania ogólne – Obciążenie śniegiem.
- [3] PN-EN 1991-1-4 Eurokod 1 – Oddziaływanie na konstrukcje, Część 1-4: Oddziaływania ogólne – Oddziaływania wiatru
- [4] PN-EN 1993-1-1:2006P Eurokod 3 – Projektowanie konstrukcji stalowych – Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków
- [5] PN-EN 1993-1-3:2008P Eurokod 3 – Projektowanie konstrukcji stalowych – Część 1-3: Reguły ogólne – Reguły uzupełniające dla konstrukcji z kształtowników i blach profilowanych na zimno
- [6] PN-EN 1993-1-5:2008P Eurokod 3 – Projektowanie konstrukcji stalowych – Część 1-5: Blachownic
- [7] Goczek J., Przykłady obliczeń konstrukcji stalowych, Politechnika Łódzka, Łódź 2011.
- [8] Goczek J., Belki z kształtowników giętych stężone poszyciem z blach fałdowych, Politechnika Łódzka, Łódź 2013.
- [9] Goczek J., Supel L., Kształtowniki gięte w obudowie hal, Politechnika Łódzka, Łódź 2007.
- [1] PN-EN 1992-1-1:2008: Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków.
- [2] PN-EN 12839:2021 Prefabrykaty z betonu. Elementy ogrodzeń.
- [3] Aprobata Techniczna ITB AT-15-8850/2012 Stalowe sploty sprężające Arcelor Mittal Wire France S.A. z drutów gładkich lub ryflowanych.
- [4] PN-EN 13369:2005 (z aneksami A1:2008 i AC:2008). Wspólne wymagania dla prefabrykatów z betonu.
- [5] PN-B-03264:1984 Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone. Obliczenia statyczne i projektowanie
- [6] PN-EN 197-1:2012 Cement - Część 1: Skład, wymagania i kryteria zgodności dotyczące cementów powszechnego użytku



Solisys Marcin Świątek  
ul. Bułgarska 19A/1

**Przedsiębiorstwo Gospodarki Miejskiej w  
Polkowicach**

ul. Dąbrowskiego 2, 59-100 Polkowice

Tytuł projektu: OŚ Polkowice

18.02.2022

## Twój system fotowoltaiczny Solisys Marcin Świątek

Adres instalacji

ul. Strefowa 11, 59-100 Polkowice



**PGM  
POLKOWICE**

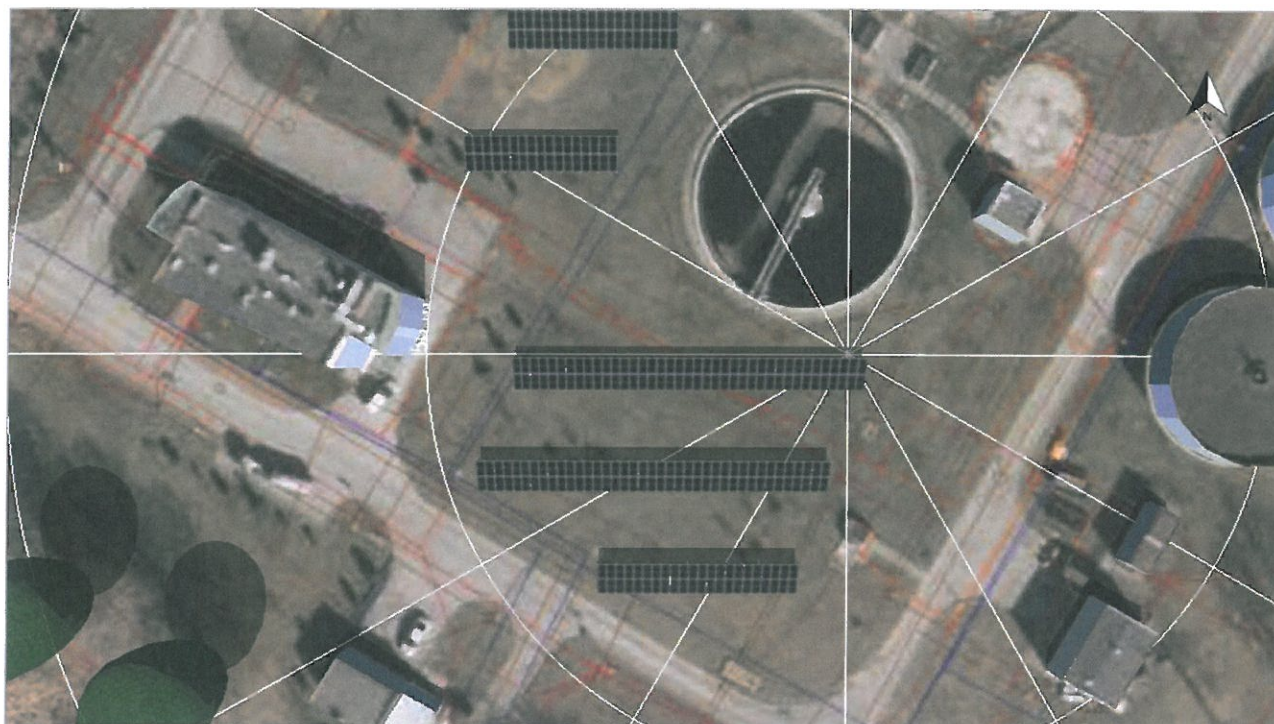
Przedsiębiorstwo Gospodarki Miejskiej Sp. z o.o.

Opis projektu:

Budowa instalacji fotowoltaicznej o mocy 122,4kW.



## Przegląd projektu



Ilustracja: Obraz przegląd, Projektowanie 3D

## Zysk

### Zysk

Energia wyprodukowana przez system PV (sieć AC)	133 603 kWh
Konsumpcja własna energii bezpośrednio	106 269 kWh
Energia oddana do sieci	27 334 kWh
Regulacja w punkcie zasilania	0 kWh
Udział konsumpcja własna energii	79,5 %
Udział energii słonecznej w pokryciu zapotrzebowania	22,5 %
Spec. uzysk roczny	1 091,34 kWh/kWp
Stosunek wydajności (PR)	88,8 %
Zmniejszenie uzysku na skutek zacinienia	4,9 %/Rok
Emisja CO <sub>2</sub> , której dało się uniknąć:	62 783 kg / rok

Wyniki zostały ustalone w oparciu o matematyczny model obliczeniowy firmy Valentin Software GmbH (algorytm PV\*SOL). Uzysk rzeczywisty instalacji solarnej może być inny ze względu na wahania pogodowe, współczynniki sprawności modułów oraz falownika jak również inne czynniki.



# Struktura instalacji

## Przebieg

Dane instalacji  
 Rodzaj instalacji 3D, Podłączona do sieci instalacja fotowoltaiczna (PV) z  
 Włączenie do eksploatacji 07.02.2022

Dane klimatyczne  
 Lokalizacja LEGNICA BARTOSZOW, POL (1991 - 2010)  
 Rozdzielczość danych 1 min  
 Zastosowane modele symulacji:  
 - Promieniowanie rozproszone na powierzchni poziomej  
 - Następczenie powierzchni nachylonej  
 Zużycie  
 Zużycie całkowite  
 Profil obciążenia ze stałym zużyciem prądu przez cały rok

Maksimum obciążenia  
 472526 kWh  
 472526 kWh  
 54 kW



## Powierzchnie modułów

### 1. Powierzchnię modułu - Wolna powierzchnia (Wycinek mapy)-Powierzchnia Południe

#### Generator PV, 1. Powierzchnię modułu - Wolna powierzchnia (Wycinek mapy)-Powierzchnia Południe

Nazwa	Wolna powierzchnia (Wycinek mapy)-Powierzchnia Południe
Moduły PV	272 x LR4-72 HPH 450 M G2 (v4)
Producent	LONGI Solar
Nachylenie	25 °
Orientacja	Południe 180 °
Rodzaj montażu	Wolnostojący na gruncie
Powierzchnia generatora PV	591,2 m <sup>2</sup>



Ilustracja: 1. Powierzchnię modułu - Wolna powierzchnia (Wycinek mapy)-Powierzchnia Południe

## Konfigurację falownika

### Konfiguracja 1

Powierzchnię modułu	Wolna powierzchnia (Wycinek mapy)-Powierzchnia Południe
Falownik 1	
Model	SUN2000-60KTL-M0 (400Vac) (v2)
Producent	Huawei Technologies
Liczba	1
Współczynnik wymiarowania	91,4 %
Konfiguracja	MPP 1: 1 x 19 MPP 2: 1 x 19 MPP 3: 1 x 17 MPP 4: 1 x 17 MPP 5: 2 x 15 MPP 6: 2 x 16
Falownik 2	
Model	SUN2000-60KTL-M0 (400Vac) (v2)
Producent	Huawei Technologies
Liczba	1
Współczynnik wymiarowania	94,1 %
Konfiguracja	MPP 1: 2 x 15 MPP 2: 1 x 16 MPP 3: 1 x 16 MPP 4: 2 x 16 MPP 5: 1 x 14 MPP 6: 2 x 15

## Sieć AC

### Sieć AC

Liczba faz	3
Napięcie sieciowe (jednofazowe)	230 V
Współczynnik mocy (cos phi)	+/- 1



## Wyniki symulacji

### Wyniki Cała instalacja

#### Instalacja PV

Moc generatora PV	122,4 kWp
Spec. uzysk roczny	1 091,34 kWh/kWp
Stosunek wydajności (PR)	88,8 %
Zmniejszenie uzysku na skutek zacinienia	4,9 %/Rok
Energia wyprodukowana przez system PV (sieć AC)	133 603 kWh/Rok
Konsumpcja własna energii	106 269 kWh/Rok
Regulacja w punkcie zasilania	0 kWh/Rok
Energia oddana do sieci	27 334 kWh/Rok
Udział konsumpcja własna energii	79,5 %
Emisja CO <sub>2</sub> , której udało się uniknąć:	62 783 kg / rok

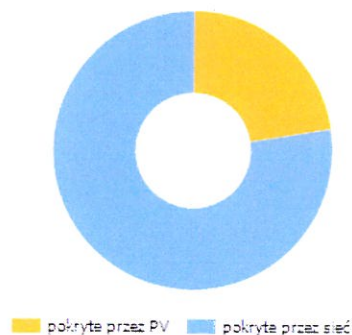
Energia wyprodukowana przez system PV (sieć AC)



#### Urządzenie

Urządzenie	472 526 kWh/Rok
Pobór w trybie czuwania (Falownik)	23 kWh/Rok
Zużycie całkowite	472 549 kWh/Rok
pokryte przez PV	106 269 kWh/Rok
pokryte przez sieć	366 280 kWh/Rok
Udział energii słonecznej w pokryciu zapotrzebowania	22,5 %

Zużycie całkowite



#### Stopień samowystarczalności

Zużycie całkowite	472 549 kWh/Rok
pokryte przez sieć	366 280 kWh/Rok
Stopień samowystarczalności	22,5 %

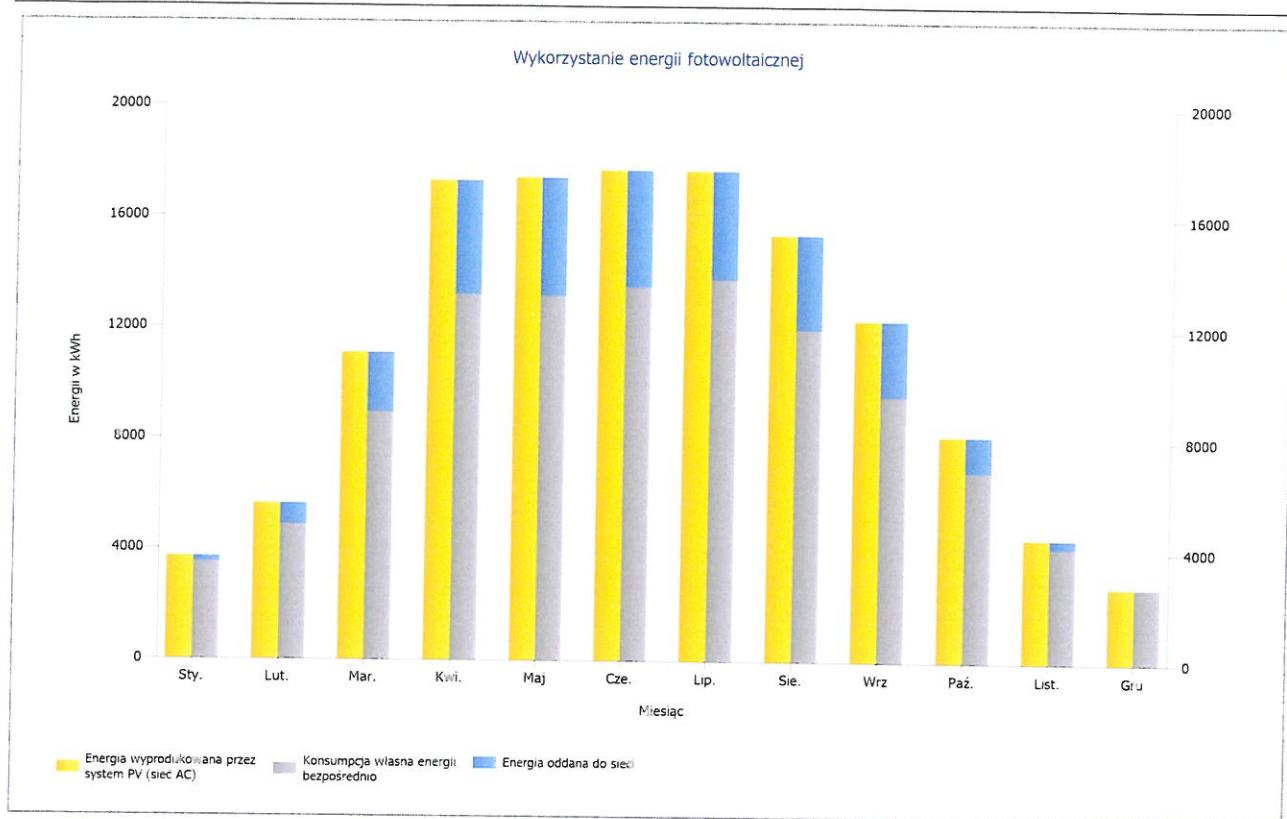
## Schemat przepływu energii

Projekt: OŚ Polkowice

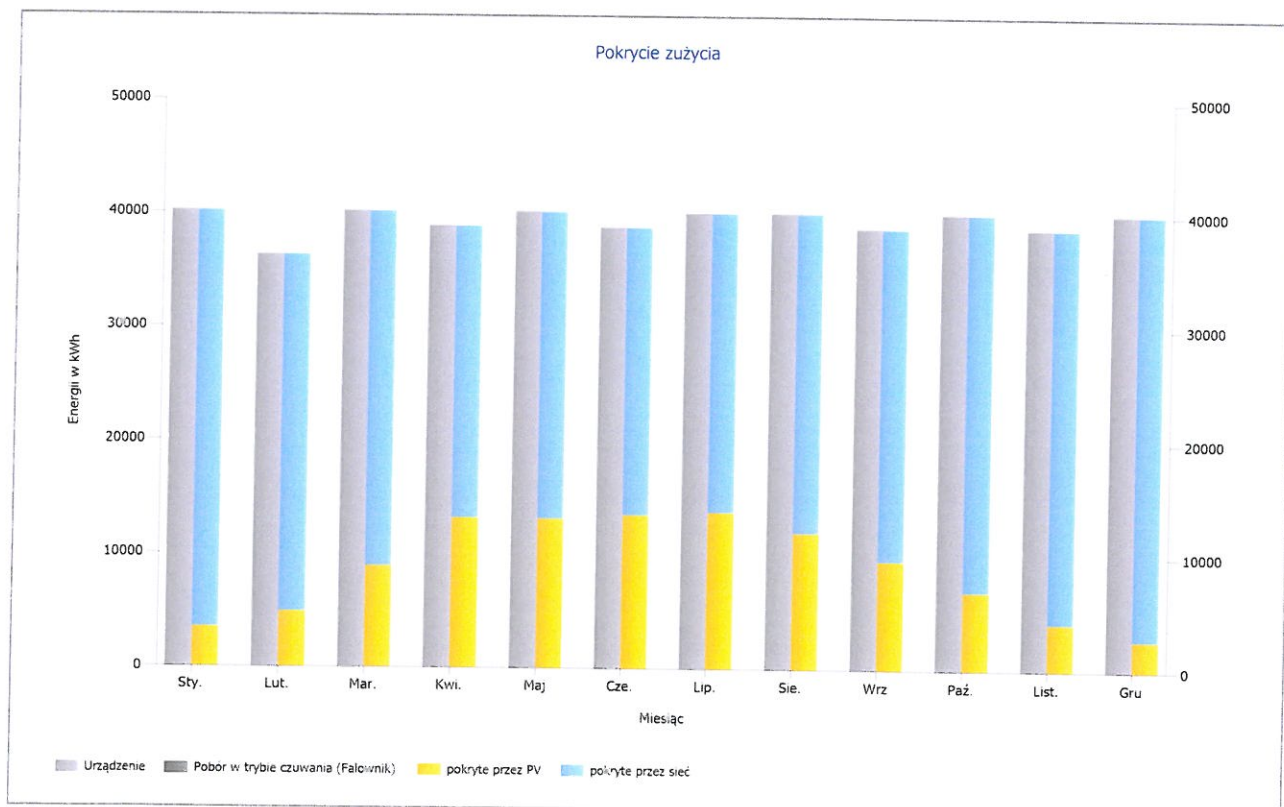


Wszystkie wartości w kWh  
Z uwagi na zaokrąglanie wartości mogą nie być idealnie zbilansowane

Ilustracja: Schemat przepływu energii



Ilustracja: Wykorzystanie energii fotowoltaicznej

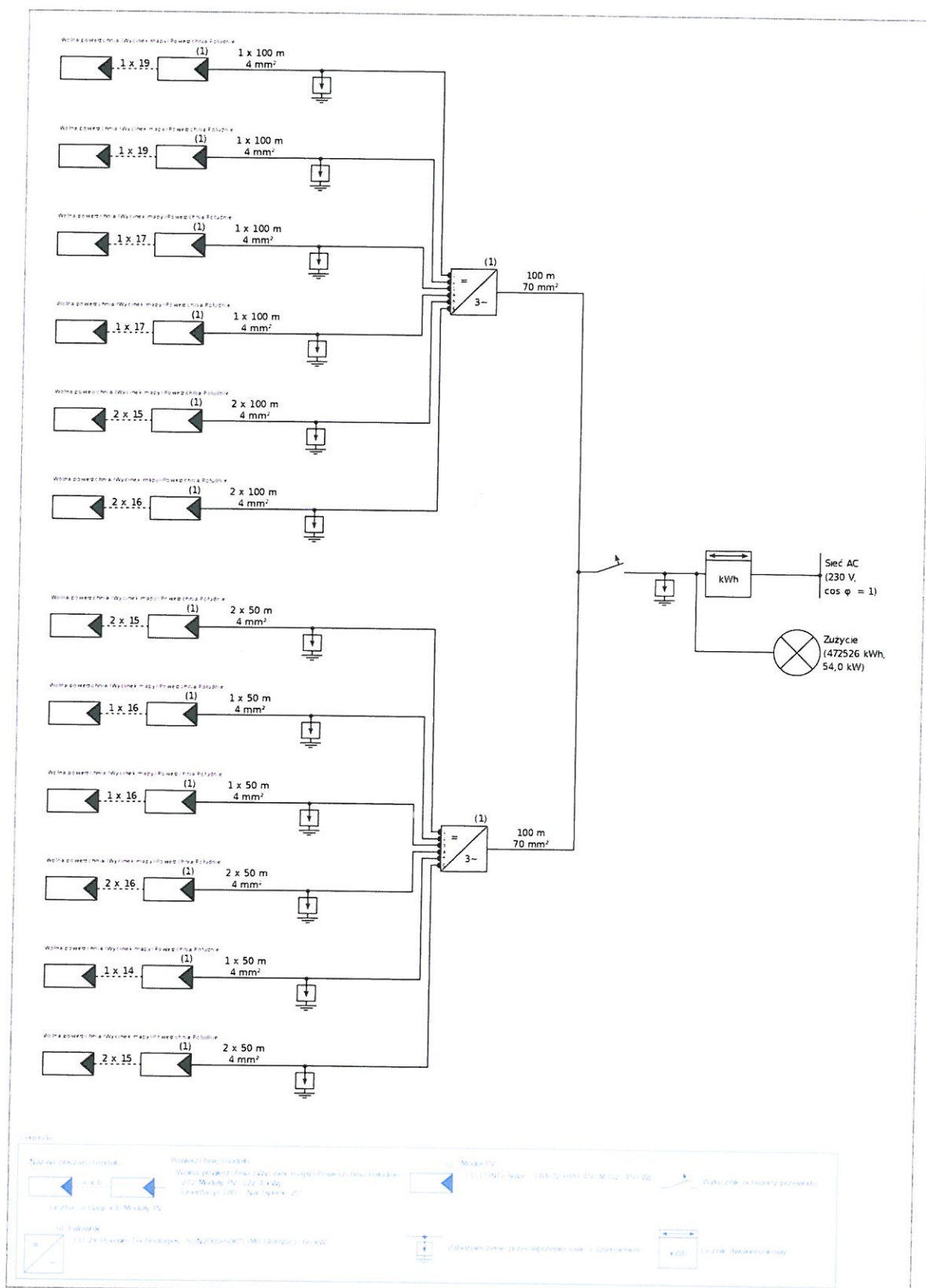


Ilustracja: Pokrycie zużycia



## Plany i listy części

## Schemat połączeń



Ilustracja: Schemat połączeń

## Lista części

## Lista części

#	Typ	Numer pozycji	Producent	Nazwa	Ilość	Jednostka
1	Moduł PV		LONGI Solar	LR4-72 HPH 450 M G2	272	Sztuka
2	Falownik		Huawei Technologies	SUN2000-60KTL-M0 (400Vac)	2	Sztuka

## Zrzuty ekranu, Projektowanie 3D

### Otoczenie



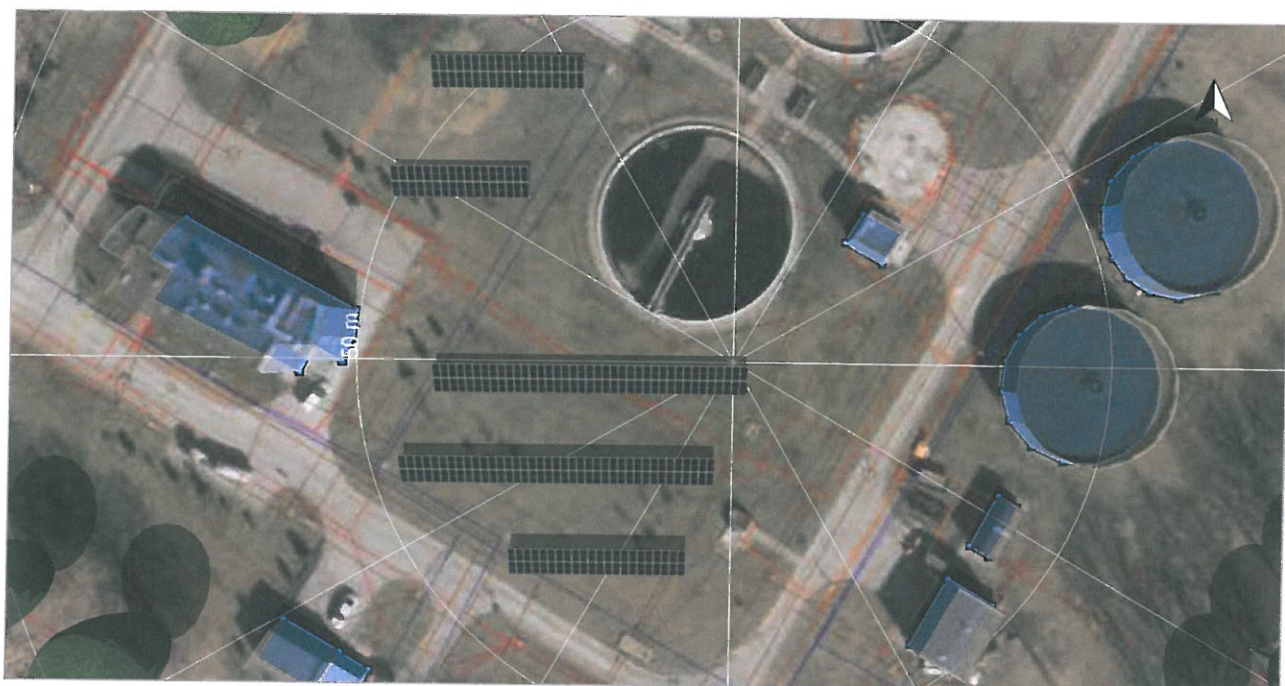
Ilustracja: Zrzut ekranu01



Ilustracja: Zrzut ekranu02

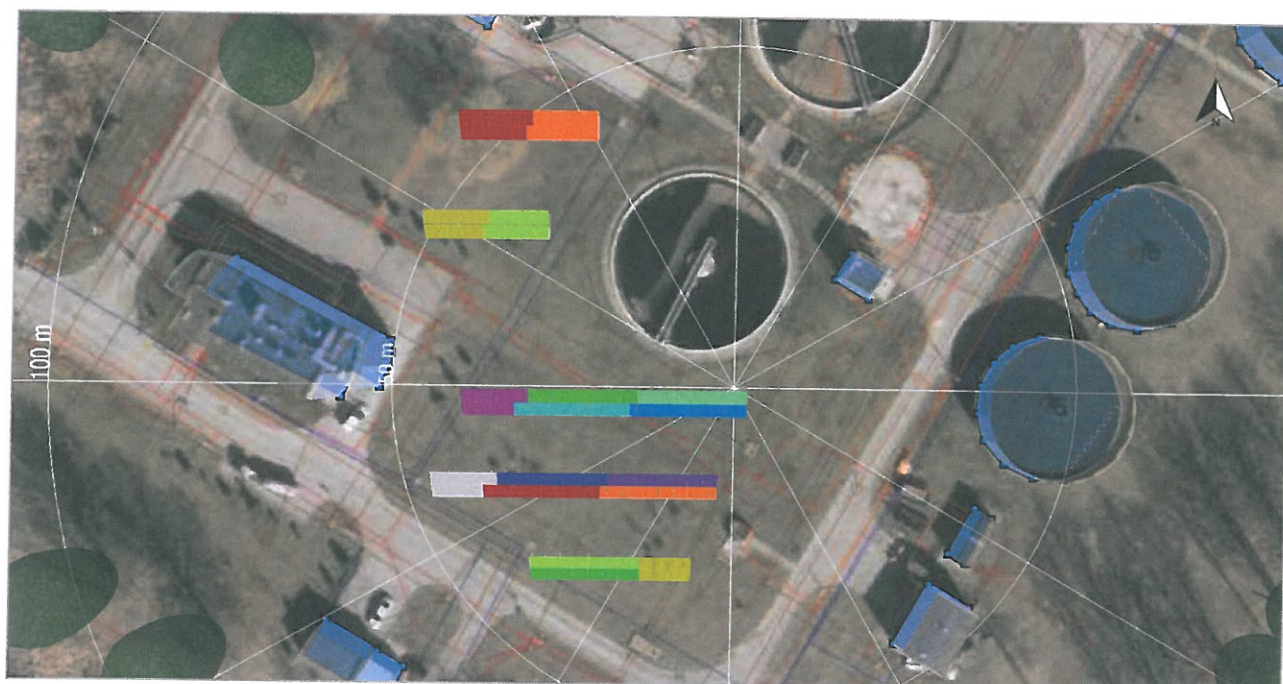


## Powierzchnie modułów



Ilustracja: Zrzut ekranu03

## Konfiguracja



Ilustracja: Zrzut ekranu06





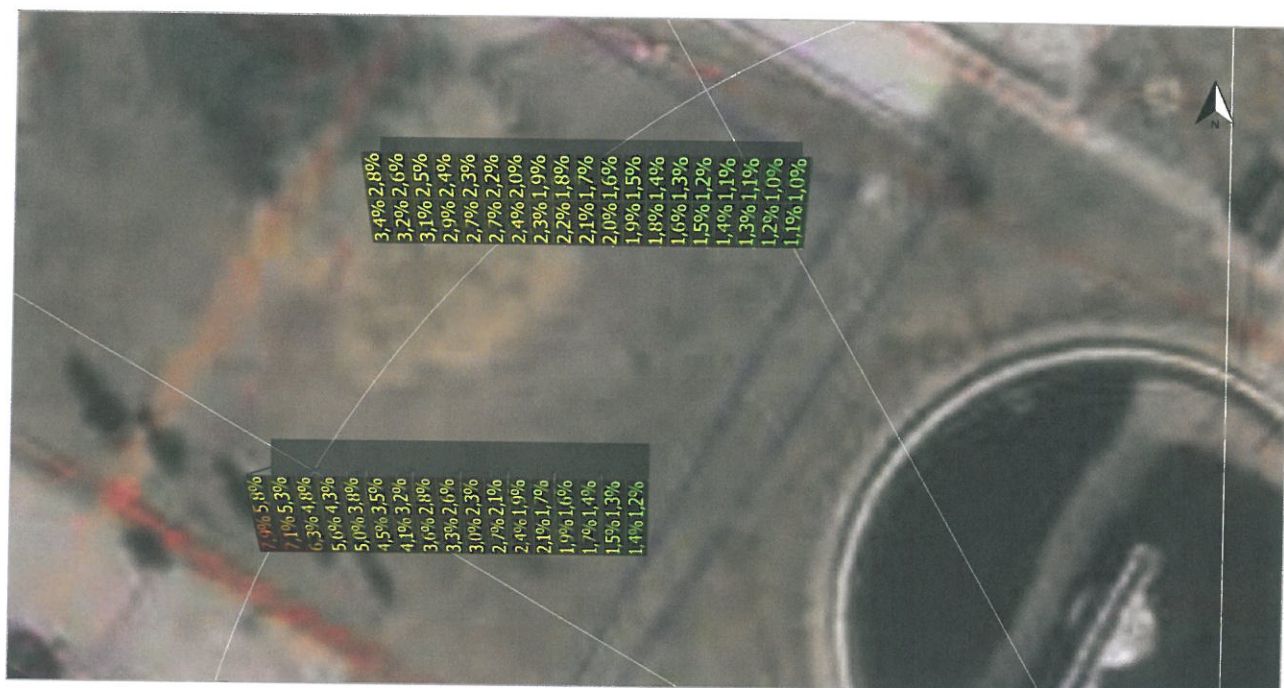
Ilustracija: Zrnut ekranu07



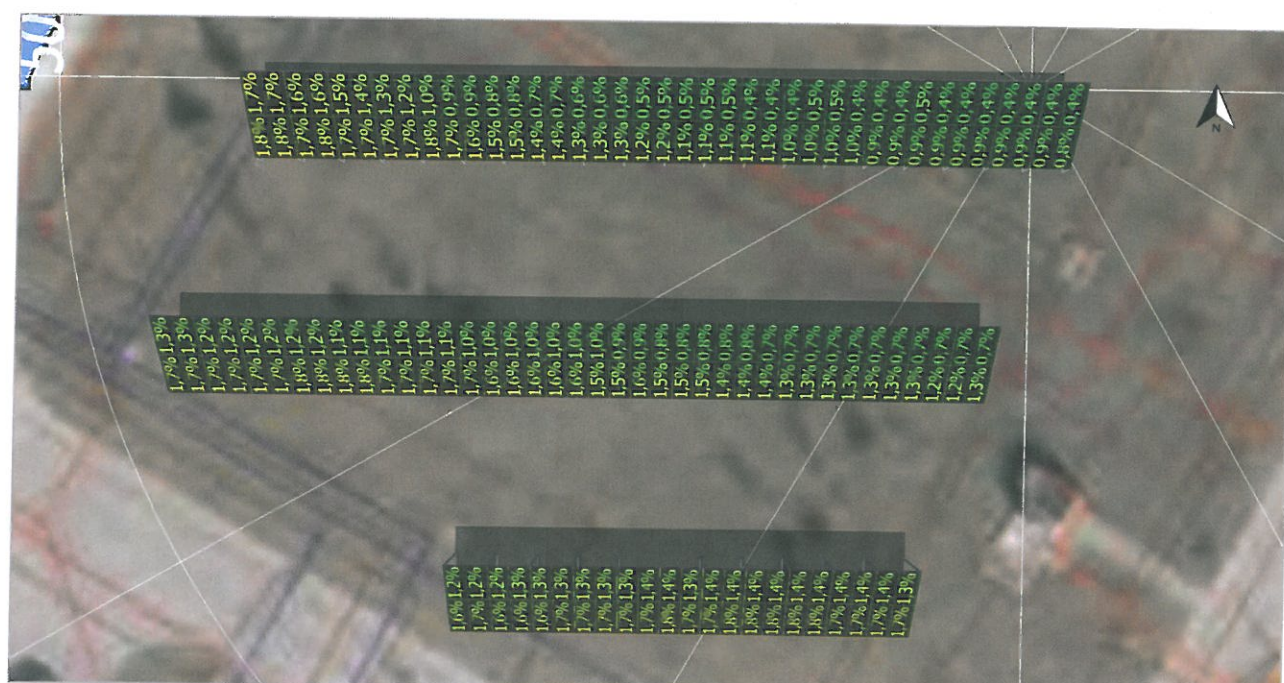
Ilustracija: Zrnut ekranu08



## Zacienienie



Ilustracja: Zrzut ekranu04



Ilustracja: Zrzut ekranu05