

SPIS TREŚCI:

1.	PRZEDMIOT OPRACOWANIA	3
2.	ZAKRES OPRACOWANIA	3
3.	PODSTAWY TECHNICZNE I OPRACOWANIA ZWIĄZANE	3
4.	OPIS TECHNICZNY PODKONSTRUKCJI WSPORCZYCH	5
5.	PRZYJĘTE ZAŁOŻENIA	8
5.1.	OBCIĄŻENIA STAŁE	8
5.2.	OBCIĄŻENIA ZMIENNE	8
5.2.1.	Obciążenie śniegiem	8
5.2.2.	Obciążenie wiatrem	10
5.3.	WSPÓŁCZYNNIKI BEZPIECZEŃSTWA	13
5.4.	ZAŁOŻENIA MATERIAŁOWE	14
6.	ANALIZA STATYCZNO-WYTRZYMAŁOŚCIOWA PODKONSTRUKCJI WSPORCZEJ	15
6.1.	PRZYPADKI OBCIĄŻEŃ	15
6.2.	KOMBINACJE OBCIĄŻEŃ	15
6.3.	KOMBINACJE WYNIKÓW	21
7.	PRZEKROJE POPRZECZNE ELEMENTÓW	21
8.	WYNIKI OBLICZEŃ KONSTRUKCYJNYCH	22
9.	POSADOWIENIE	22
10.	WNIOSKI	25

Spis szkiców

<i>SZKIC 1. PODZIAŁ POLSKI NA STREFY OBCIĄŻENIA ŚNIEGIEM GRUNTU</i>	<i>8</i>
<i>SZKIC 2. PODZIAŁ POLSKI NA STREFY OBCIĄŻENIA WIATREM</i>	<i>10</i>

Spis tabel

TABELA 1. OBCIĄŻENIA STAŁE	8
TABELA 2. SCHEMATY OBCIĄŻENIA ŚNIEGIEM	9
TABELA 3. SCHEMATY OBCIĄŻENIA WIATREM	11
TABELA 4. PREZENTACJA NAJWIĘKSZEJ WARTOŚCI CHROPOWATOŚCI KAŻDEJ KATEGORII TERENU	12
TABELA 5. WSPÓŁCZYNNIKI SIŁY I CIŚNIENIA NETTO DLA WIAT JEDNOSPADOWCYH	13
TABELA 6. DEFINICJA KLAS KONSEKWENCJI	13
TABELA 7. WARTOŚCI WSPÓŁCZYNNIKÓW K_{FI} DO ODDZIAŁYWAŃI	14

Spis rysunków:

RYS. R1 KONSTRUKCJA POD 35 MODUŁÓW PV

RYS. R1 KONSTRUKCJA POD 100 MODUŁÓW PV

RYS. R1 KONSTRUKCJA POD 120 MODUŁÓWPV

Spis załączników:

ZAŁ 1 OBLICZENIA KONSTRUKCJI POD 35 MODUŁÓW PV "OBL_RSC-4_10DEG_5Hx_W2S2_H=19_3.6m"

ZAŁ 2 OBLICZENIA KONSTRUKCJI POD 100 MODUŁÓW PV "OBL_RSC-4_10DEG_5Hx_W2S2_H=19_5.6m"

ZAŁ 3 OBLICZENIA KONSTRUKCJI POD 120 MODUŁÓW PV " OBL_RSC-4_10DEG_5Hx_W2S2_H=19_5.6m+3.6m"

ZAŁ 4. OŚWIADCZENIE PROJEKTANTA

ZAŁ 5. UPRAWNIENIA PROJEKTANTA

ZAŁ.6 ZAŚWIADCZENIE O PRZNALEŻNOŚCI DO IZBY PROJETANTA

ZAŁ. 7 OPINIA GEOTECHNICZNA - GOLENIÓW, UL. NIEPODLEGŁOŚCI - INSTALACJA FOTOWOLTAICZNA NA DZ. NR 94_4 I 15_5

1. PRZEDMIOT OPRACOWANIA

Przedmiotem opracowania są konstrukcje wsporcze pod instalację fotowoltaiczną „basen”, o mocy 146,625 kWp

2. ZAKRES OPRACOWANIA

Opracowanie obejmuje:

- Opis techniczny, obliczenia statyczne, szkieletowe rysunki podkonstrukcji wsporczej pod panele fotowoltaiczne

3. PODSTAWY TECHNICZNE I OPRACOWANIA ZWIĄZANE

NORMY PROJEKTOWE:

ODDZIAŁYWANIA NA KONSTRUKCJĘ:

- PN-EN 1990:2004 EUROCOD : „ Podstawy projektowania konstrukcji”
- PN-EN 1991-1-1:2004 EUROCOD 1 : „ Oddziaływanie na konstrukcje. Część 1-1: Oddziaływania ogólne. Ciężar objętościowy, ciężar własny, obciążenia użytkowe w budynkach”
- PN-EN 1991-1-3:2003 EUROCOD 1 : „ Oddziaływanie na konstrukcje. Część 1-3: Oddziaływania ogólne. Oddziaływanie śniegiem”
- PN-EN 1991-1-4:2008 EUROCOD 1 : „ Oddziaływanie na konstrukcje. Część 1-4: Oddziaływania ogólne. Oddziaływania wiatru”
- PN-EN 1991-1-6:2008 EUROCOD 1 : „ Oddziaływanie na konstrukcje. Część 1-4: Oddziaływania ogólne. Oddziaływania w czasie wykonywania konstrukcji”

POSADOWIENIE OBIEKTÓW I ROBOTY ZIEMNE:

- PN-EN 1997-1 EUROCOD 7 : „ Projektowanie geotechniczne. Zasady ogólne.”
- PN-EN 1997-1 EUROCOD 7: „ Projektowanie geotechniczne. Rozpoznanie i badanie podłoża gruntowego.”

KONSTRUKCJE STALOWE:

- PN-EN 1993-1-1:2005 EUROCOD 3 : „ Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków”
- PN-EN 1993-1-3:2008 EUROCOD 3 : „ Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-3: Reguły ogólne. Reguły uzupełniające dla konstrukcji z kształtowników i blach profilowanych na zimno”
- PN-EN 1993-1-5:2008 EUROCOD 3 : „ Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-5: Blachownice.”
- PN-EN 1993-1-8:2006 EUROCOD 3 : „ Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-8: Projektowanie węzłów.”

- PN-EN 1993-1-9:2007 EUROCOD 3 : „ *Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-9: Zmęczenie.*”
- PN-EN 1993-1-10:2007 EUROCOD 3 : „ *Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-10: Dobór stali ze względu na odporność na kruche pękanie i ciągliwość międzywarstwową.*”
- PN-EN 1090-2:2008: „ *Konstrukcje stalowe. Warunki wykonania i odbioru*”.
- PN-EN 10204:2006: „ *Wyroby metalowe - Rodzaje dokumentów kontroli*”.
- DIN 931: „*Śruby z łbem sześciokątnym Klasa dokładności C*”.
- DIN 934: „*Nakrętki sześciokątne Klasa dokładności C*”.
- DIN 126: „*Podkładki okrągłe Szereg normalny Klasa dokładności C*”.
- DIN 6914: „ *Śruby z łbem sześciokątnym do połączeń sprężonych*”.
- DIN 6915: „*Nakrętki sześciokątne powiększone do połączeń sprężonych*”.
- DIN 6916: „*Podkładki okrągłe do połączeń sprężanych*”.

4. OPIS TECHNICZNY PODKONSTRUKCJI WSPORCZYCH

Konstrukcja pod instalację PV składa się z ram poprzecznych o rozpiętości podpór 3,5m rozstawionych w zależności od typu konstrukcji co 3,6m lub 5,6m. Kat nachylenia rygla ramy poprzecznej wynosi 10°. Rygle ramy poprzecznej są podparte zastrzałami w celu usztywnienia konstrukcji w kierunku poprzecznym. Płatwie w rozstawie co 1,1m stanowią belki ciągłe wieloprzęstowe. Przy rozpiętościach podpór płatwi (rozstaw rygli poprzecznych) większym niż 3,6m na wewnętrznych podporach płatwie są wzmacniane dodatkowym profilem o długości L=2m (po 1m na każde przęsło). Usztywnienie w kierunku podłużnym zapewniają stężenia pionowe w płaszczyźnie niższych słupów. Lokalizacja stężanych pól wg schematycznych rysunków.

Blacha trapezowa TRB 35 gr. 0.7mm usztywnia konstrukcję w płaszczyźnie połaci i jest mocowana w każdej fałdzie do płatwi.

Słupy wymagają zastosowania barier energochłonnych zabezpieczających przed uderzeniem pojazdem samochodowym

Schematy konstrukcji różnią się od między sobą rozstawem słupów w kierunku podłużnym zestawu, a co za tym idzie ilością paneli fotowoltaicznych, które mają być ułożone na płatwiach

GEOMETRIA UKŁADÓW	RSC-4 35 mod. PV	RSC-4 100 mod. PV	RSC-4 120 mod. PV
[JEDNOSTKA WYMIARU]	[mm]	[mm]	[mm]
ROZSTAW PŁATWI	1100	1100	1100
PRZEWIESZENIE PŁATWI	832.5	570	565
WYSOKOŚĆ SŁUPKA - PRZÓD	2226	2226	2226
WYSOKOŚĆ SŁUPKA - TYŁ	2850	2850	2850
ROZSTAW SŁUPKÓW W PRZEKROJU	3500	3500	3500
ROZSTAW RAM	4x3600	8x5600	9x5600+3600
KĄT NACHYLENIA BELKI	10°	10°	10°
ILOŚĆ PANELI FV	5x7	5x20	5x24

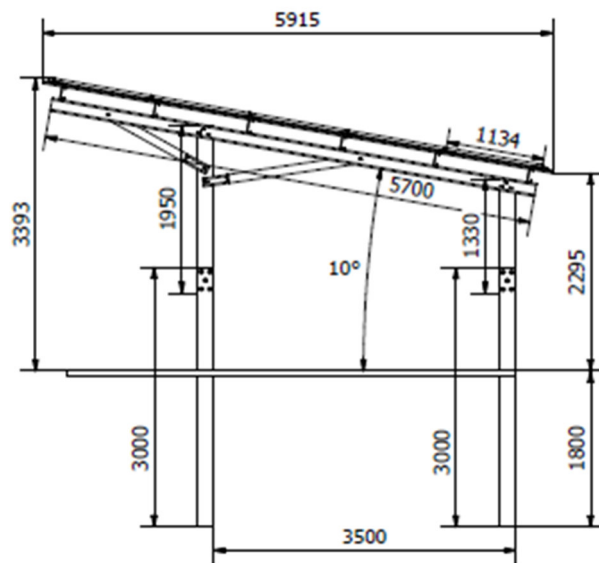
Podkonstrukcje wsporcze wolnostojące przeznaczone do mocowania modułów fotowoltaicznych w układzie horyzontalnym oparte na stalowych podporach z profili zimnogiętych wbijanych w podłoże w układach jako belki wieloprzęstowe z przewieszeniem

Podkonstrukcja szkieletowa z profili zimnogiętych typu „C” zaprojektowana tak aby umożliwiała montaż 5 rzędów paneli fotowoltaicznych nachylonych pod kątem 10°.

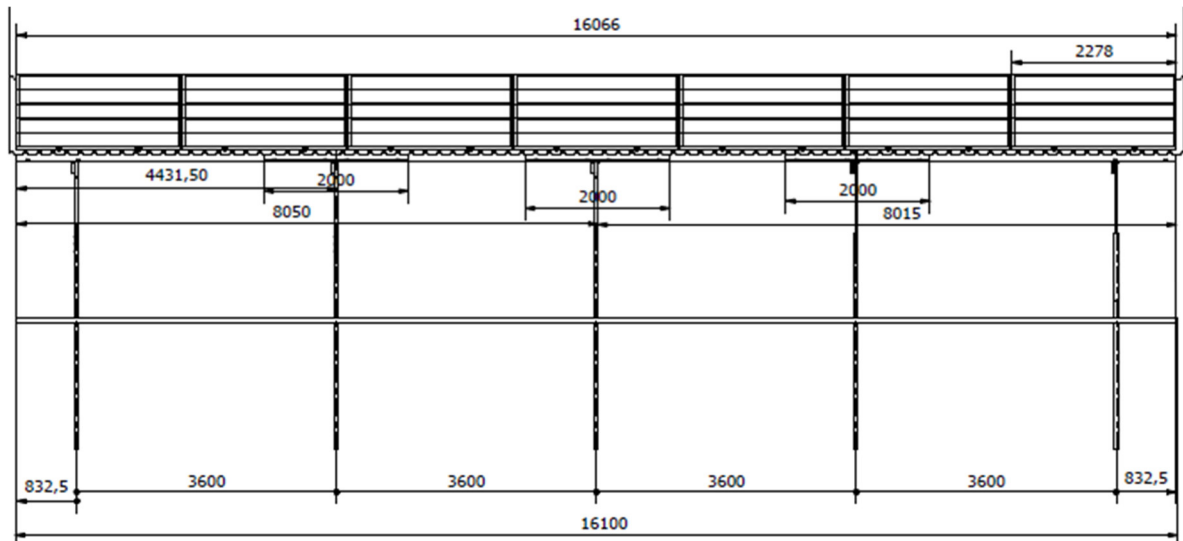
Podkonstrukcja wsporcza – elementy typu „C”, do której będą mocowane moduły zaprojektowana ze stali S320GD pokryta warstwą powłoki antykorozyjnej typu ZM310. Naziemna część podkonstrukcji wsporczej zaprojektowana na połączenia śrubowe. Śruby do łączenia elementów - ze stali nierdzewnej. Podpory wykonane są ze sztywnych zimnogiętych przekrojów typu „C”, dzięki czemu zminimalizowano ryzyko ich uszkodzenia podczas wbijania w podłoże, również w przypadku natrafienia na twardą przeszkodę. Minimalna głębokość wbicia podpór w podłoże wstępnie ustalono na - **1,8m** (uzależniona jest od lokalnie występujących warunków gruntowych).

Elementy wsporcze podkonstrukcji (wbijane w ziemię) zaprojektowano ze stali S320GD pokrytej warstwą powłoki antykorozyjnej typu ZM430. Podpory umieszczane w podłożu przy użyciu kafara.

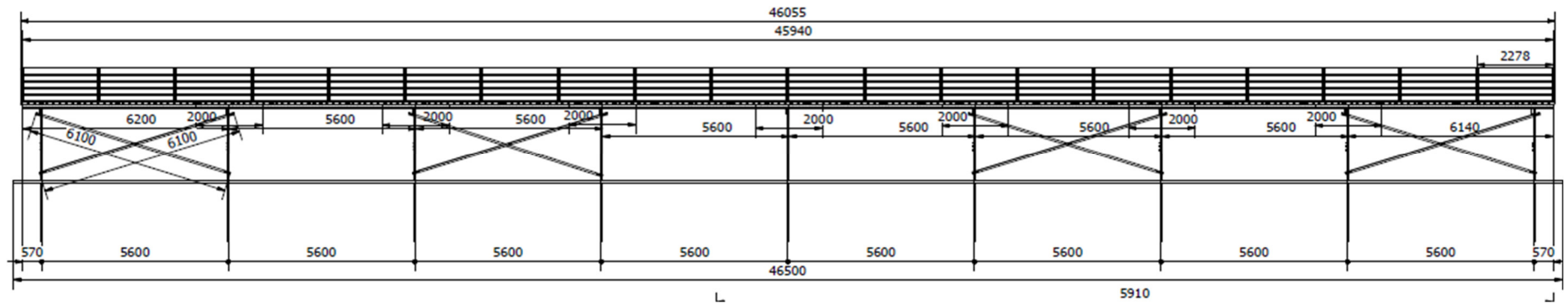
- Przekrój poprzeczny:



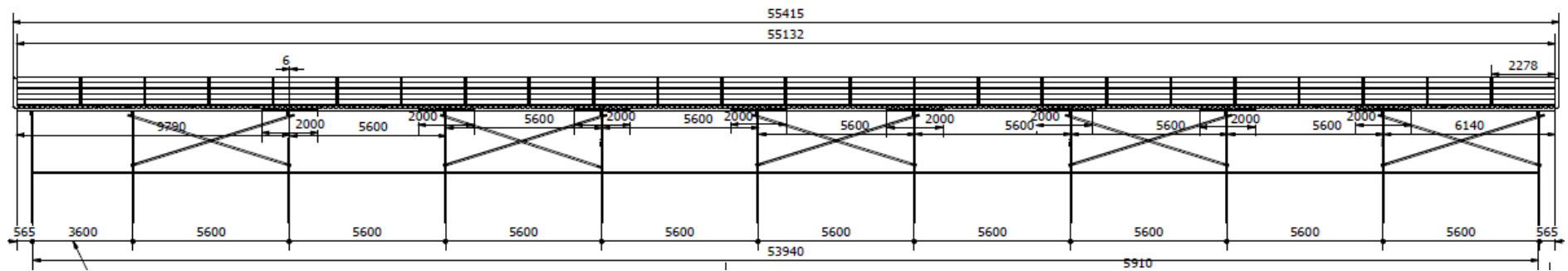
- Przekrój podłużny zestawu pod 35modułów PV



- Przekrój podłużny zestawu pod 100 modułów PV:



- Przekrój podłużny zestawu pod 120 modułów PV:



5. PRZYJĘTE ZAŁOŻENIA

Podkonstrukcja wsporcza pod moduły fotowoltaiczne będzie montowana w następujących strefach na terytorium Rzeczypospolitej Polskiej: wiatr - W2, śnieg – S2.

5.1. OBCIĄŻENIA STAŁE

- Przyjęto do opracowania ciężary modułów PV równy 12.5kg/m²
- Przyjęto do opracowania ciężary blachy trapezowej na poszycia równy 5,5kg/m²

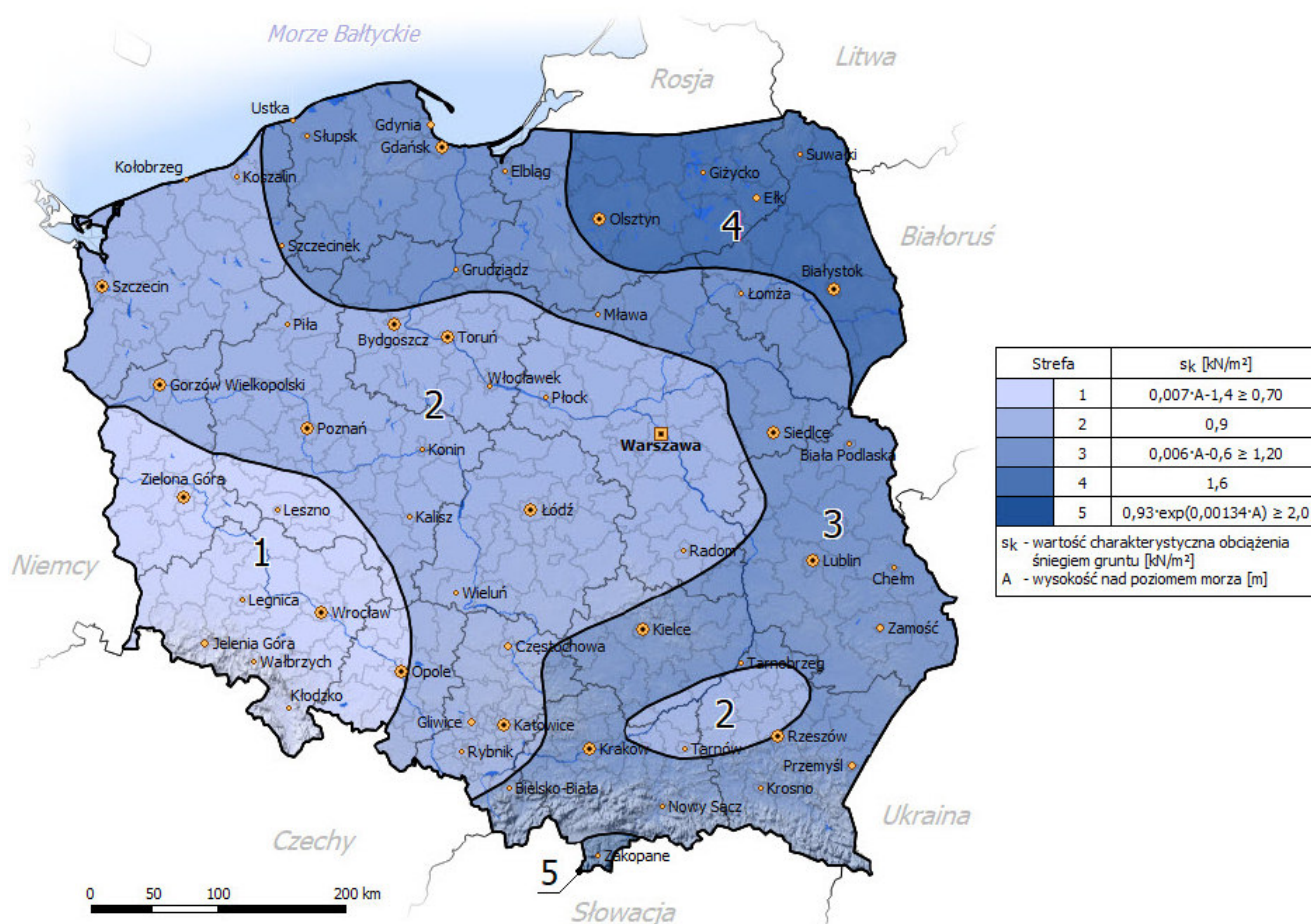
RODZAJ OBCIĄŻENIA	OBCIĄŻENIE RAZEM [kN/m ²]
OBCIĄŻENIA STAŁE	0,18

TABELA 1. OBCIĄŻENIA STAŁE

5.2. OBCIĄŻENIA ZMIENNE

5.2.1. Obciążenie śniegiem

Mapa obciążenia śniegiem wg PN-EN 1991-1-3



Szkic 1. Podział Polski na strefy obciążenia śniegiem gruntu

warunki lokalizacyjne: normalne, przypadek A (brak wyjątkowo obfitych opadów śniegu i brak wyjątkowych zamieci)		
Nachylenie [deg]	10	
A [m]	19	wysokość nad poziomem morza
Strefa	2	strefa obciążenia śniegiem
μ	0,8	współczynnik kształtu
s_k	0,9	wartość charakterystyczna obciążenia śniegiem gruntu w Polsce (Tab. NB.1)
C_e	1	współczynnik ekspozycji
C_t	1	współczynnik termiczny
s_{25}/s_{50}	0,943	współczynnik redukcyjny (okres powrotu 25 lat)
s	0,679	wartość obciążenia śniegiem w sytuacji trwałej i przejściowej

TABELA 2. SCHEMTY OBCIĄŻENIA ŚNIEGIEM

5.2.2. Obciążenie wiatrem

Mapa obciążenia wiatrem wg PN-EN 1991-1-4

Zone	$v_{b,0}$ [m/s]		$q_{b,0}$	$q_{b,0}$ [kN/m ²]	
	$A \leq 300$ m	$A > 300$ m		$A \leq 300$ m	$A > 300$ m
1	22	$22 \cdot [1 + 0.0006 (A - 300)]$	0.30	$0.30 \cdot [1 + 0.0006 (A - 300)]^2$	
2	26	26	0.42	0.42	
3	22	$22 \cdot [1 + 0.0006 (A - 300)]$	0.30	$0.30 \cdot [1 + 0.0006 (A - 300)]^2$	$\left[\frac{20\,000 - A}{20\,000 + A} \right]$



Szkic 2. Podział Polski na strefy obciążenia wiatrem

Kategoria terenu	2	
A [m]	20	wysokość nad poziomem morza
Strefa	2	strefa obciążenia wiatrem
H [m]	3,11	maksymalna wysokość konstrukcji
C_{dir}	1	współczynnik kierunkowy (północ)
C_{season}	1	współczynnik sezonowy
$z_{0,II}$ [m]	0,05	(kategoria terenu II, Tab. 4.1, PN-EN-1991-4)
$v_{b,0}$ [m/s]	26	wartość podstawowa bazowej prędkości wiatru (Tab. NB.1, PN-EN-1991-4)
Z_0 [m]	0,05	parametr zależny od kategorii terenu (Tab. 4.1, PN-EN-1991-4)
Z_{min} [m]	2	wysokość minimalna (Tab. 4.1, PN-EN-1991-4)
Z [m]	3,11	wysokość nad poziomem gruntu
k_1	1	współczynnik turbulencji
$c_0(z)$	1	współczynnik rzeźby terenu (pkt. 4.3.3, PN-EN-1991-4)
$I_v(z)$	0,242	intensywność turbulencji (wz. 4.7, PN-EN-1991-4)
ρ [kg/m ³]	1,25	gęstość powietrza
k_r	0,190	(wz. 4.5, PN-EN-1991-4)
$c_r(z)$	0,7848	współczynnik chropowatości (pkt. 4.3.2, PN-EN-1991-4)
C_{prob}	0,9597	współczynnik prawdopodobieństwa (okres powrotu 25lat)
v_b [m/s]	24,95	bazowa prędkość wiatru (wz. 4.1, PN-EN-1991-4)
v_m [m/s]	19,58	średnia prędkość wiatru na wysokości (wz. 4.3, PN-EN-1991-4)
$q_p(z)$ [kN/m ²]	0,646	wartość szczytowa ciśnienia prędkości (wz. 4.8, PN-EN-1991-4)
$C_s C_d$	1	współczynnik konstrukcyjny (zgodnie z pkt 6.2(1)a)

TABELA 3. SCHEMATY OBCIĄŻENIA WIATREM





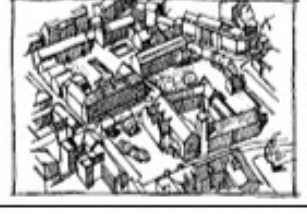
Kategorie terenu		Wizualizacja
0	Obszary morskie i przybrzeżne wystawione na otwarte morze	
I	Jeziora lub tereny płaskie, poziome, o nieznacznej roślinności i bez przeszkód terenowych	
II	Tereny o niskiej roślinności takiej jak trawa i o pojedynczych przeszkodach (drzewa, budynki) oddalonych od siebie na odległość równą co najmniej ich 20 wysokościami	
III	Tereny regularnie pokryte roślinnością lub budynkami albo o pojedynczych przeszkodach oddalonych od siebie najwyżej na odległość równą ich 20 wysokościami (takie jak wsie, tereny podmiejskie, stałe lasy)	
IV	Tereny, których przynajmniej 15% powierzchni jest pokryte budynkami o średniej wysokości przekraczającej 15 metrów	

TABELA 4. PREZENTACJA NAJWIĘKSZEJ WARTOŚCI CHROPOWATOŚCI KAŻDEJ KATEGORII TERENU

Kąt spadku α	Współczynnik blokowania φ	Globalny współczynnik siły c_r	Współczynniki ciśnienia netto $c_{p,net}$		
			pole A	pole B	pole C
0°	maksimum, wszystkie φ	+0,2	+0,5	+1,8	+1,1
	minimum $\varphi = 0$	-0,5	-0,6	-1,3	-1,4
	minimum $\varphi = 1$	-1,3	-1,5	-1,8	-2,2
5°	maksimum, wszystkie φ	+0,4	+0,8	+2,1	+1,3
	minimum $\varphi = 0$	-0,7	-1,1	-1,7	-1,8
	minimum $\varphi = 1$	-1,4	-1,6	-2,2	-2,5
10°	maksimum, wszystkie φ	+0,5	+1,2	+2,4	+1,6
	minimum $\varphi = 0$	-0,9	-1,5	-2,0	-2,1
	minimum $\varphi = 1$	-1,4	-2,1	-2,6	-2,7
15°	maksimum, wszystkie φ	+0,7	+1,4	+2,7	+1,8
	minimum $\varphi = 0$	-1,1	-1,8	-2,4	-2,5
	minimum $\varphi = 1$	-1,4	-1,6	-2,9	-3,0
20°	maksimum, wszystkie φ	+0,8	+1,7	+2,9	+2,1
	minimum $\varphi = 0$	-1,3	-2,2	-2,8	-2,9
	minimum $\varphi = 1$	-1,4	-1,6	-2,9	-3,0
25°	maksimum, wszystkie φ	+1,0	+2,0	+3,1	+2,3
	minimum $\varphi = 0$	-1,6	-2,6	-3,2	-3,2
	minimum $\varphi = 1$	-1,4	-1,5	-2,5	-2,8
30°	maksimum, wszystkie φ	+1,2	+2,2	+3,2	+2,4
	minimum $\varphi = 0$	-1,8	-3,0	-3,8	-3,6
	minimum $\varphi = 1$	-1,4	-1,5	-2,2	-2,7

TABELA 5. WSPÓŁCZYNNIKI SIŁY I CIŚNIENIA NETTO DLA WIAT JEDNOSPADOWYCH

5.3. WSPÓŁCZYNNIKI BEZPIECZEŃSTWA

Dla konstrukcji przyjęto klasę konsekwencji CC1 co jest tożsame z klasą niezawodności RC1.

Klasa konsekwencji	Opis	Przykłady konstrukcji budowlanych i inżynierskich
CC3	Wysokie zagrożenie życia ludzkiego lub bardzo duże konsekwencje ekonomiczne, społeczne i środowiskowe	Widownie, budynki użyteczności publicznej których konsekwencje zniszczenia są wysokie
CC2	Przeciętne zagrożenie życia ludzkiego lub znaczne konsekwencje ekonomiczne, społeczne i środowiskowe	budynki mieszkalne i biurowe oraz budynki użyteczności publicznej których konsekwencje zniszczenia są przeciętne
CC1	Niskie zagrożenie życia ludzkiego lub małe lub nieznaczne konsekwencje społeczne, ekonomiczne i środowiskowe	budynki rolnicze, w których ludzie zazwyczaj nie przebywają oraz szklarnie

TABELA 6. DEFINICJA KLAS KONSEKWENCJI

Współczynnik K_{Fi} zmniejszający współczynniki częściowe γ_F przyjęty na podstawie klasy niezawodności RC1 zgodnie z tabelą B3 z PN-EN 1990

Współczynnik K_{Fi} do oddziaływań	Klasy niezawodności		
	RC1	RC2	RC3
K_{Fi}	0,9	1,0	1,1

TABELA 7. WARTOŚCI WSPÓŁCZYNNIKÓW K_{Fi} DO ODDZIAŁYWAŃ

5.4. ZAŁOŻENIA MATERIAŁOWE

ELEMENT KONSTRUKCJI	PRZEKRÓJ PROFILU	MATERIAŁ	UWAGI:
Słup wysoki (cz. dolna)	C-PAR 190/48/3/20/3°	S350GD + ZM430	
Słup wysoki (cz. górna)	C-PAR 182/40/3/20/3°	S350GD + ZM310	
Słup niski (cz. dolna)	C-PAR 190/48/3/20/3°	S350GD + ZM430	
Słup niski (cz. górna)	C-PAR 182/40/3/20/3°	S350GD + ZM310	
Belka	C-PAR 190/48/2.5/20/2°	S350GD + ZM310	dla rozpiętości płatwi 5,6m
Belka	C-PAR 160/48/2.5/20/2°	S350GD + ZM310	dla rozpiętości płatwi 3,6m
Płatew	C-PAR 150/48/2/20/3°	S350GD + ZM310	dla rozpiętości płatwi 5,6m
Płatew	C-PAR 130/48/2/20/3°	S350GD + ZM310	dla rozpiętości płatwi 3,6m
Wzmocnienie płatwi	C-PAR 143/41/2/20/2°	S350GD + ZM310	5,6m - wewnętrzne podpory
Zastrzały słupów	C-PAR 80/48/2/20/3°	S350GD + ZM310	
Stężenia słupów	KL-PAR 60/2/3°	S350GD + ZM310	

6. ANALIZA STATYCZNO-WYTRZYMAŁOŚCIOWA PODKONSTRUKCJI WSPORCZEJ

Z uwagi na równe rozpiętości między ramami poprzecznymi modele obliczeniowe ograniczono do czterech przęseł. Zamodelowano mimośrodowe połączenia zastrzałów, rygli i słupów zgodnie z rzeczywistą pracą elementów. Elementy konstrukcji wykonane z cienkościennych profili są podatne na zwichrzenie. Górny pas płatwi zabezpieczony jest przed zwichrzeniem blachą trapezową, natomiast dolny zabezpieczenia nie posiada, w związku z czym zwichrzenie może nastąpić dla ujemnych momentów występujących w pobliżu słupków.

Moment krytyczny został wyznaczony metodą wartości (postaci) własnej układu MES w sposób automatyczny. Założono destabilizujące działanie przyłożonego obciążenia.

Przeprowadza analizę wyboczenia giętno-skrętnego prętów zgodnie z teorią drugiego rzędu (P-Delta) z wykorzystaniem 7 stopni swobody i przy zastosowaniu imperfekcji w odniesieniu do kształtów drgań

Wymiarowanie wykonano wg norm PN-EN 1993-1-1:2006 oraz PN-EN 1993-1-3:2008

6.1. PRZYPADKI OBCIĄŻEŃ

PO	Przypadek obciążenia Opis	EN 1990 PN Kategoria oddziaływania	Ciężar własny - Współczynnik w kierunku			
			Aktywny	X	Y	Z
PO1	CW	Stałe	x	0.000	0.000	1.000
PO2	DL	Stałe/Użytkowe	-			
PO3	Śnieg	Śnieg ($H \leq 1000$ m n.p.m.)	-			
PO4	Wiatr N	Wiatr	-			
PO5	Wiatr W	Wiatr	-			
PO6	Wiatr S	Wiatr	-			
PO7	Imperf. X	Imperfekcja	-			
PO8	Imperf. Y	Imperfekcja	-			

6.2. KOMBINACJE OBCIĄŻEŃ

Obc. komb.	Kombinacja obciążeń		nr	Współ.	Przypadek obciążenia	
	SO	Opis				
KO1	ULS'	1.22*PO1	1	1.22	PO1	CW
KO2	ULS'	1.22*PO1 + 1.22*PO2	1	1.22	PO1	CW
			2	1.22	PO2	DL
KO3	ULS'	1.22*PO1 + 0.67*PO3	1	1.22	PO1	CW
			2	0.67	PO3	Śnieg
KO4	ULS'	1.22*PO1 + 1.22*PO2 + 0.67*PO3	1	1.22	PO1	CW
			2	1.22	PO2	DL
			3	0.67	PO3	Śnieg
KO5	ULS'	1.22*PO1 + 1.22*PO2 + 0.67*PO3 + 0.81*PO4	1	1.22	PO1	CW

Obc.	Kombinacja obciążeń		nr	Współ.	Przypadek obciążenia	
komb.	SO	Opis				
KO6	ULS'	$1.22 \cdot PO1 + 1.22 \cdot PO2 + 0.67 \cdot PO3 + 0.81 \cdot PO5$	2	1.22	PO2	DL
			3	0.67	PO3	Śnieg
			4	0.81	PO4	Wiatr N
			1	1.22	PO1	CW
KO7	ULS'	$1.22 \cdot PO1 + 1.22 \cdot PO2 + 0.67 \cdot PO3 + 0.81 \cdot PO6$	2	1.22	PO2	DL
			3	0.67	PO3	Śnieg
			4	0.81	PO5	Wiatr W
			1	1.22	PO1	CW
KO8	ULS'	$1.22 \cdot PO1 + 0.67 \cdot PO3 + 0.81 \cdot PO4$	2	1.22	PO2	DL
			3	0.67	PO3	Śnieg
			4	0.81	PO6	Wiatr S
			1	1.22	PO1	CW
KO9	ULS'	$1.22 \cdot PO1 + 0.67 \cdot PO3 + 0.81 \cdot PO5$	2	0.67	PO3	Śnieg
			3	0.81	PO4	Wiatr N
			1	1.22	PO1	CW
			2	0.67	PO3	Śnieg
KO10	ULS'	$1.22 \cdot PO1 + 0.67 \cdot PO3 + 0.81 \cdot PO6$	3	0.81	PO5	Wiatr W
			1	1.22	PO1	CW
			2	0.67	PO3	Śnieg
			3	0.81	PO6	Wiatr S
KO11	ULS'	$1.22 \cdot PO1 + 0.81 \cdot PO4$	1	1.22	PO1	CW
			2	0.81	PO4	Wiatr N
KO12	ULS'	$1.22 \cdot PO1 + 0.81 \cdot PO5$	1	1.22	PO1	CW
			2	0.81	PO5	Wiatr W
KO13	ULS'	$1.22 \cdot PO1 + 0.81 \cdot PO6$	1	1.22	PO1	CW
			2	0.81	PO6	Wiatr S
KO14	ULS'	$1.22 \cdot PO1 + 1.22 \cdot PO2 + 0.81 \cdot PO4$	1	1.22	PO1	CW
			2	1.22	PO2	DL
			3	0.81	PO4	Wiatr N
KO15	ULS'	$1.22 \cdot PO1 + 1.22 \cdot PO2 + 0.81 \cdot PO5$	1	1.22	PO1	CW
			2	1.22	PO2	DL
			3	0.81	PO5	Wiatr W
KO16	ULS'	$1.22 \cdot PO1 + 1.22 \cdot PO2 + 0.81 \cdot PO6$	1	1.22	PO1	CW
			2	1.22	PO2	DL

Obc.	Kombinacja obciążeń		nr	Współ.	Przypadek obciążenia	
komb.	SO	Opis				
KO17	ULS'	$1.03 \cdot PO1 + 1.03 \cdot PO2$	3	0.81	PO6	Wiatr S
			1	1.03	PO1	CW
			2	1.03	PO2	DL
KO18	ULS'	$1.03 \cdot PO1 + 1.35 \cdot PO3$	1	1.03	PO1	CW
			2	1.35	PO3	Śnieg
KO19	ULS'	$1.03 \cdot PO1 + 1.03 \cdot PO2 + 1.35 \cdot PO3$	1	1.03	PO1	CW
			2	1.03	PO2	DL
			3	1.35	PO3	Śnieg
KO20	ULS'	$1.03 \cdot PO1 + 1.03 \cdot PO2 + 1.35 \cdot PO3 + 0.81 \cdot PO4$	1	1.03	PO1	CW
			2	1.03	PO2	DL
			3	1.35	PO3	Śnieg
			4	0.81	PO4	Wiatr N
KO21	ULS'	$1.03 \cdot PO1 + 1.03 \cdot PO2 + 1.35 \cdot PO3 + 0.81 \cdot PO5$	1	1.03	PO1	CW
			2	1.03	PO2	DL
			3	1.35	PO3	Śnieg
			4	0.81	PO5	Wiatr W
KO22	ULS'	$1.03 \cdot PO1 + 1.03 \cdot PO2 + 1.35 \cdot PO3 + 0.81 \cdot PO6$	1	1.03	PO1	CW
			2	1.03	PO2	DL
			3	1.35	PO3	Śnieg
			4	0.81	PO6	Wiatr S
KO23	ULS'	$1.03 \cdot PO1 + 1.35 \cdot PO3 + 0.81 \cdot PO4$	1	1.03	PO1	CW
			2	1.35	PO3	Śnieg
			3	0.81	PO4	Wiatr N
KO24	ULS'	$1.03 \cdot PO1 + 1.35 \cdot PO3 + 0.81 \cdot PO5$	1	1.03	PO1	CW
			2	1.35	PO3	Śnieg
			3	0.81	PO5	Wiatr W
KO25	ULS'	$1.03 \cdot PO1 + 1.35 \cdot PO3 + 0.81 \cdot PO6$	1	1.03	PO1	CW
			2	1.35	PO3	Śnieg
			3	0.81	PO6	Wiatr S
KO26	ULS'	$1.03 \cdot PO1 + 1.35 \cdot PO4$	1	1.03	PO1	CW
			2	1.35	PO4	Wiatr N
KO27	ULS'	$1.03 \cdot PO1 + 1.35 \cdot PO5$	1	1.03	PO1	CW
			2	1.35	PO5	Wiatr W
KO28	ULS'	$1.03 \cdot PO1 + 1.35 \cdot PO6$	1	1.03	PO1	CW

Obc.	Kombinacja obciążeń		nr	Współ.	Przypadek obciążenia	
komb.	SO	Opis				
KO29	ULS'	$1.03 \cdot PO1 + 1.03 \cdot PO2 + 1.35 \cdot PO4$	2	1.35	PO6	Wiatr S
			1	1.03	PO1	CW
			2	1.03	PO2	DL
KO30	ULS'	$1.03 \cdot PO1 + 1.03 \cdot PO2 + 1.35 \cdot PO5$	3	1.35	PO4	Wiatr N
			1	1.03	PO1	CW
			2	1.03	PO2	DL
KO31	ULS'	$1.03 \cdot PO1 + 1.03 \cdot PO2 + 1.35 \cdot PO6$	3	1.35	PO5	Wiatr W
			1	1.03	PO1	CW
			2	1.03	PO2	DL
KO32	ULS'	$1.03 \cdot PO1 + 1.03 \cdot PO2 + 0.67 \cdot PO3 + 1.35 \cdot PO4$	3	1.35	PO6	Wiatr S
			1	1.03	PO1	CW
			2	1.03	PO2	DL
			3	0.67	PO3	Śnieg
KO33	ULS'	$1.03 \cdot PO1 + 1.03 \cdot PO2 + 0.67 \cdot PO3 + 1.35 \cdot PO5$	4	1.35	PO4	Wiatr N
			1	1.03	PO1	CW
			2	1.03	PO2	DL
			3	0.67	PO3	Śnieg
KO34	ULS'	$1.03 \cdot PO1 + 1.03 \cdot PO2 + 0.67 \cdot PO3 + 1.35 \cdot PO6$	4	1.35	PO5	Wiatr W
			1	1.03	PO1	CW
			2	1.03	PO2	DL
			3	0.67	PO3	Śnieg
KO35	ULS'	$1.03 \cdot PO1 + 0.67 \cdot PO3 + 1.35 \cdot PO4$	4	1.35	PO6	Wiatr S
			1	1.03	PO1	CW
			2	0.67	PO3	Śnieg
KO36	ULS'	$1.03 \cdot PO1 + 0.67 \cdot PO3 + 1.35 \cdot PO5$	3	1.35	PO4	Wiatr N
			1	1.03	PO1	CW
			2	0.67	PO3	Śnieg
KO37	ULS'	$1.03 \cdot PO1 + 0.67 \cdot PO3 + 1.35 \cdot PO6$	3	1.35	PO5	Wiatr W
			1	1.03	PO1	CW
			2	0.67	PO3	Śnieg
KO38	S Ch	PO1	3	1.35	PO6	Wiatr S
			1	1.00	PO1	CW
KO39	S Ch	PO1 + PO2	1	1.00	PO1	CW
			2	1.00	PO2	DL

Obc.	Kombinacja obciążeń		nr	Współ.	Przypadek obciążenia	
komb.	SO	Opis				
KO40	S Ch	PO1 + PO3	1	1.00	PO1	CW
			2	1.00	PO3	Śnieg
KO41	S Ch	PO1 + PO2 + PO3	1	1.00	PO1	CW
			2	1.00	PO2	DL
			3	1.00	PO3	Śnieg
KO42	S Ch	PO1 + PO2 + PO3 + 0.6*PO4	1	1.00	PO1	CW
			2	1.00	PO2	DL
			3	1.00	PO3	Śnieg
			4	0.60	PO4	Wiatr N
KO43	S Ch	PO1 + PO2 + PO3 + 0.6*PO5	1	1.00	PO1	CW
			2	1.00	PO2	DL
			3	1.00	PO3	Śnieg
			4	0.60	PO5	Wiatr W
KO44	S Ch	PO1 + PO2 + PO3 + 0.6*PO6	1	1.00	PO1	CW
			2	1.00	PO2	DL
			3	1.00	PO3	Śnieg
			4	0.60	PO6	Wiatr S
KO45	S Ch	PO1 + PO3 + 0.6*PO4	1	1.00	PO1	CW
			2	1.00	PO3	Śnieg
			3	0.60	PO4	Wiatr N
KO46	S Ch	PO1 + PO3 + 0.6*PO5	1	1.00	PO1	CW
			2	1.00	PO3	Śnieg
			3	0.60	PO5	Wiatr W
KO47	S Ch	PO1 + PO3 + 0.6*PO6	1	1.00	PO1	CW
			2	1.00	PO3	Śnieg
			3	0.60	PO6	Wiatr S
KO48	S Ch	PO1 + PO4	1	1.00	PO1	CW
			2	1.00	PO4	Wiatr N
KO49	S Ch	PO1 + PO5	1	1.00	PO1	CW
			2	1.00	PO5	Wiatr W
KO50	S Ch	PO1 + PO6	1	1.00	PO1	CW
			2	1.00	PO6	Wiatr S
KO51	S Ch	PO1 + PO2 + PO4	1	1.00	PO1	CW
			2	1.00	PO2	DL

Obc.	Kombinacja obciążeń		nr	Współ.	Przypadek obciążenia	
komb.	SO	Opis				
K052	S Ch	PO1 + PO2 + PO5	3	1.00	PO4	Wiatr N
			1	1.00	PO1	CW
			2	1.00	PO2	DL
K053	S Ch	PO1 + PO2 + PO6	3	1.00	PO5	Wiatr W
			1	1.00	PO1	CW
			2	1.00	PO2	DL
K054	S Ch	PO1 + PO2 + 0.5*PO3 + PO4	3	1.00	PO6	Wiatr S
			1	1.00	PO1	CW
			2	1.00	PO2	DL
K055	S Ch	PO1 + PO2 + 0.5*PO3 + PO5	3	0.50	PO3	Śnieg
			4	1.00	PO4	Wiatr N
			1	1.00	PO1	CW
			2	1.00	PO2	DL
K056	S Ch	PO1 + PO2 + 0.5*PO3 + PO6	3	0.50	PO3	Śnieg
			4	1.00	PO5	Wiatr W
			1	1.00	PO1	CW
			2	1.00	PO2	DL
K057	S Ch	PO1 + 0.5*PO3 + PO4	3	0.50	PO3	Śnieg
			4	1.00	PO6	Wiatr S
			1	1.00	PO1	CW
			2	0.50	PO3	Śnieg
K058	S Ch	PO1 + 0.5*PO3 + PO5	3	1.00	PO4	Wiatr N
			1	1.00	PO1	CW
			2	0.50	PO3	Śnieg
K059	S Ch	PO1 + 0.5*PO3 + PO6	3	1.00	PO5	Wiatr W
			1	1.00	PO1	CW
			2	0.50	PO3	Śnieg
K060	S Fr	PO1	1	1.00	PO1	CW
K061	S Fr	PO1 + PO2	1	1.00	PO1	CW
			2	1.00	PO2	DL
K062	S Fr	PO1 + 0.2*PO3	1	1.00	PO1	CW
			2	0.20	PO3	Śnieg
K063	S Fr	PO1 + PO2 + 0.2*PO3	1	1.00	PO1	CW

Obc.	Kombinacja obciążeń		nr	Współ.	Przypadek obciążenia	
komb.	SO	Opis				
KO64	S Fr	$PO1 + 0.2 \cdot PO4$	2	1.00	PO2	DL
			3	0.20	PO3	Śnieg
			1	1.00	PO1	CW
			2	0.20	PO4	Wiatr N
KO65	S Fr	$PO1 + 0.2 \cdot PO5$	1	1.00	PO1	CW
			2	0.20	PO5	Wiatr W
KO66	S Fr	$PO1 + 0.2 \cdot PO6$	1	1.00	PO1	CW
			2	0.20	PO6	Wiatr S
KO67	S Fr	$PO1 + PO2 + 0.2 \cdot PO4$	1	1.00	PO1	CW
			2	1.00	PO2	DL
			3	0.20	PO4	Wiatr N
KO68	S Fr	$PO1 + PO2 + 0.2 \cdot PO5$	1	1.00	PO1	CW
			2	1.00	PO2	DL
			3	0.20	PO5	Wiatr W
KO69	S Fr	$PO1 + PO2 + 0.2 \cdot PO6$	1	1.00	PO1	CW
			2	1.00	PO2	DL
			3	0.20	PO6	Wiatr S
KO70	S Qp	PO1	1	1.00	PO1	CW
KO71	S Qp	$PO1 + PO2$	1	1.00	PO1	CW
			2	1.00	PO2	DL

6.3. KOMBINACJE WYNIKÓW

Kom.	Opis	Obciążenie
wynikó w		
KW1	SGN (STR/GEO) - Stały / przejściowy - Rów. 6.10a i 6.10b	KO1/s lub do KO37
KW2	SGU - Charakterystyczny	KO38/s lub do KO59
KW3	SGU - Częste	KO60/s lub do KO69
KW4	SGU - Quasi-stałe	KO70/s lub KO71/s

7. PRZEKROJE POPRZECZNE ELEMENTÓW

SZCZEGÓŁOWE PARAMETRY PROFILI ZASTOSOWANYCH W POSZCZEGÓLNYCH ZESTAWACH PODKONSTRUKCJI PRZEDSTAWIONE SĄ W ZAŁĄCZNIKACH NR 1, 2 i 3

8. WYNIKI OBLICZEŃ KONSTRUKCYJNYCH

SZCZEGÓŁOWE RAPORTY Z OBLICZEŃ DLA POSZCZEGÓLNYCH ZESTAWÓW PODKONSTRUKCJI PRZEDSTAWIONE SĄ W ZAŁĄCZNIKACH NR 1, 2 i 3

9. POSADOWIENIE

W obliczeniach dla poszczególnych typów konstrukcji wyliczono maksymalne wartości reakcji.

W projekcie jako załącznik przedstawiono opinię geotechniczną.

Wartość charakterystyczną nośności pala wyciąganego najlepiej jest określać na podstawie prób palowania. Bazując na danych otrzymanych z raportu wg wzoru 7.14 PN-EN 1997-1:2004:

$$R_{t,k} = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{t,m})_{\text{mean}}}{\xi_1}, \frac{(R_{t,m})_{\text{min}}}{\xi_2} \right\}$$

w którym ξ_1 i ξ_2 są współczynnikami korelacyjnymi zależnymi od liczby badanych pali n , stosowanymi odpowiednio do wartości średniej $(R_{t,m})_{\text{mean}}$ i najniższej $(R_{t,m})_{\text{min}}$ z wartości pomierzonych nośności pali wyciąganych. W praktyce $R_{t,k}$ odpowiada wartości minimalnej.

Tablica A.9 – Współczynniki korelacyjne ξ do wyznaczania wartości charakterystycznych na podstawie próbných obciążeń pali (n – liczba badanych pali)

ξ dla $n =$	1	2	3	4	≥ 5
ξ_1	1,40	1,30	1,20	1,10	1,00
ξ_2	1,40	1,20	1,05	1,00	1,00

Nośność obliczeniową pala wyciąganego $R_{t,d}$ należy wyznaczać z zależności 7.13 EN 1997- 1:2004:

$$R_{t,d} = R_{t,k} / \gamma_{s;t}$$

Tablica A.6 – Współczynniki częściowe do nośności (γ_R) dotyczące pali wbijanych

Nośność	Symbol	Zestaw			
		$R1$	$R2$	$R3$	$R4$
Podstawa	γ_b	1,0	1,1	1,0	1,3
Pobocznica (przy wciskaniu)	γ_s	1,0	1,1	1,0	1,3
Całkowita (przy wciskaniu)	γ_t	1,0	1,1	1,0	1,3
Pobocznica (przy wyciąganiu)	$\gamma_{s;t}$	1,25	1,15	1,1	1,6

Z analizy dokumentacji geotechnicznej wynika że grunty nośne występują dopiero na głębokości od 1.3 do 2.9m. Pierwotnie założona głębokość posadowienia pali na głębokości 1,8m może okazać się niewystarczająca.

Z uwagi na koszty określanie nośności pali dla podkonstrukcji pod moduły PV dopiero od poziomu gruntów nośnych może okazać się nieekonomiczne. Z uwagi na brak możliwości określenia parametrów geotechnicznych dla nasypów antropogenicznych zaleca się przyjąć następującą metodologię postępowania:

- 1) Zwiększyć głębokość posadowienia pali do głębokości minimalnej 2,5m.
- 2) W trakcie zabijania pali wykonać próbę wyrywania (minimum 5 sztuk pali)
- 3) Na podstawie otrzymanych wartości z wyrywania (dla konkretnego miejsca) należy określić wartość charakterystyczną $R_{t,k}$ nośności pala wyrywanego (w praktyce $R_{t,k}$ będzie odpowiadało wartości otrzymanej z badania jeśli zostanie wykonanych minimum 5 prób wyrywania dla 5 różnych pali)
- 4) Określić nośność obliczeniową pala wyrywanego (dla zalecanego podejścia R3), czyli wartość charakterystyczną nośności pala wyrywanego $R_{t,k}$ należy podzielić przez 1,1. Otrzymany wynik to nośność obliczeniowa pala na wyrywanie $R_{t,d}$. Wartość ta musi być \geq od wartości reakcji podporowej podanej w obliczeniach dla danego słupa i typu stołu.
- 5) W przypadku gdy wartość nośności obliczeniowej pala wyrywanego (słupa) jest mniejsza od wymaganej (podanej w obliczeniach w sekcji „REAKCJE PODPOROWE” wartość „Min P-Z”), należy zwiększyć głębokość zabicia słupa lub wykonać fundament betonowy balastujący swoim ciężarem własnym wartość reakcji wyrywającej „Min P-Z”. Z uwagi na brak parametrów geotechnicznych nasypów nie należy uwzględniać tarcia na poboczniczy fundamentu betonowego.

W przypadku zaistnienia konieczności wykonania fundamentów betonowych (np. z uwagi na kolizję z infrastrukturą podziemną, lub z uwagi na zbyt niską nośność otrzymaną z prób wyrywania) należy zamienić pal wbijany na betonowy fundament wg następującej procedury:

- Przyjąć do obliczeń ciężar własny betonu $q_b = 25 \text{ kN/m}^3$;
- Z uwagi na brak parametrów geotechnicznych nasypów nie uwzględniać tarcia na poboczniczy fundament betonowy/grunt;
- Ciężar własny fundamentu Q [kN] musi być większy lub równy od wartości reakcji „Min P-Z” [kN] podanej w obliczeniach dla danego słupach w zależności od typu konstrukcji
- Ciężar własny fundamentu betonowego wynosi $Q = V \cdot q_b$
- Kształt fundamentu może być dowolny z zachowaniem głębokości posadowienia min. 0,8m
- Słup stalowy konstrukcji pod moduły PV należy kotwić w fundamencie na głębokości min. 0,75m

Dla 3szt. słupów tzw. „niskich” w konstrukcji pod 100szt. modułów PV istnieje ryzyko kolizji zabijanych słupów z istniejącą kanalizacją deszczową. Lokalizacja miejsc zaznaczona została na PZT oraz na poniższym schemacie:

10. WNIOSKI

- Analizowane konstrukcje są wrażliwe na oddziaływania klimatyczne. Siły wymiarujące są wynikiem kombinacji obciążeń stałych, obciążenia wiatrem oraz obciążenia śniegiem.
- Dla przyjętych obciążeń zweryfikowano założone wymiary poszczególnych elementów. Przyjęte profile są poprawne.
- W przypadku 3szt. słupów (w konstrukcji pod 100szt. modułów PV) należy wykonać fundamenty betonowe z uwagi na potencjalną kolizję z istniejącą infrastrukturą podziemną (kanalizacja deszczowa). Wymiary fundamentów oraz ich lokalizacja wg pkt. 9 „Posadowienie”
- Po przeanalizowaniu otrzymanej dokumentacji geotechnicznej z uwagi na głębokie zaleganie ($1,3 \div 2,9\text{m}$) warstw nasypów antropogenicznych dla których nie można określić parametrów geotechnicznych zwiększono minimalną głębokość posadowienia słupów na 2,5m.
- Przed docelowym montażem konstrukcji w trakcie zabijania słupów zaleca się wykonanie minimum 5 szt. prób wyrywania pali (słupów) w celu weryfikacji nośności obliczeniowej pali wyrywanych.

Krzysztof Czechowski
MAP/0014/PWOK/07