

Metoda planowania misji lotów BSP odpornych na zmienne warunki pogodowe

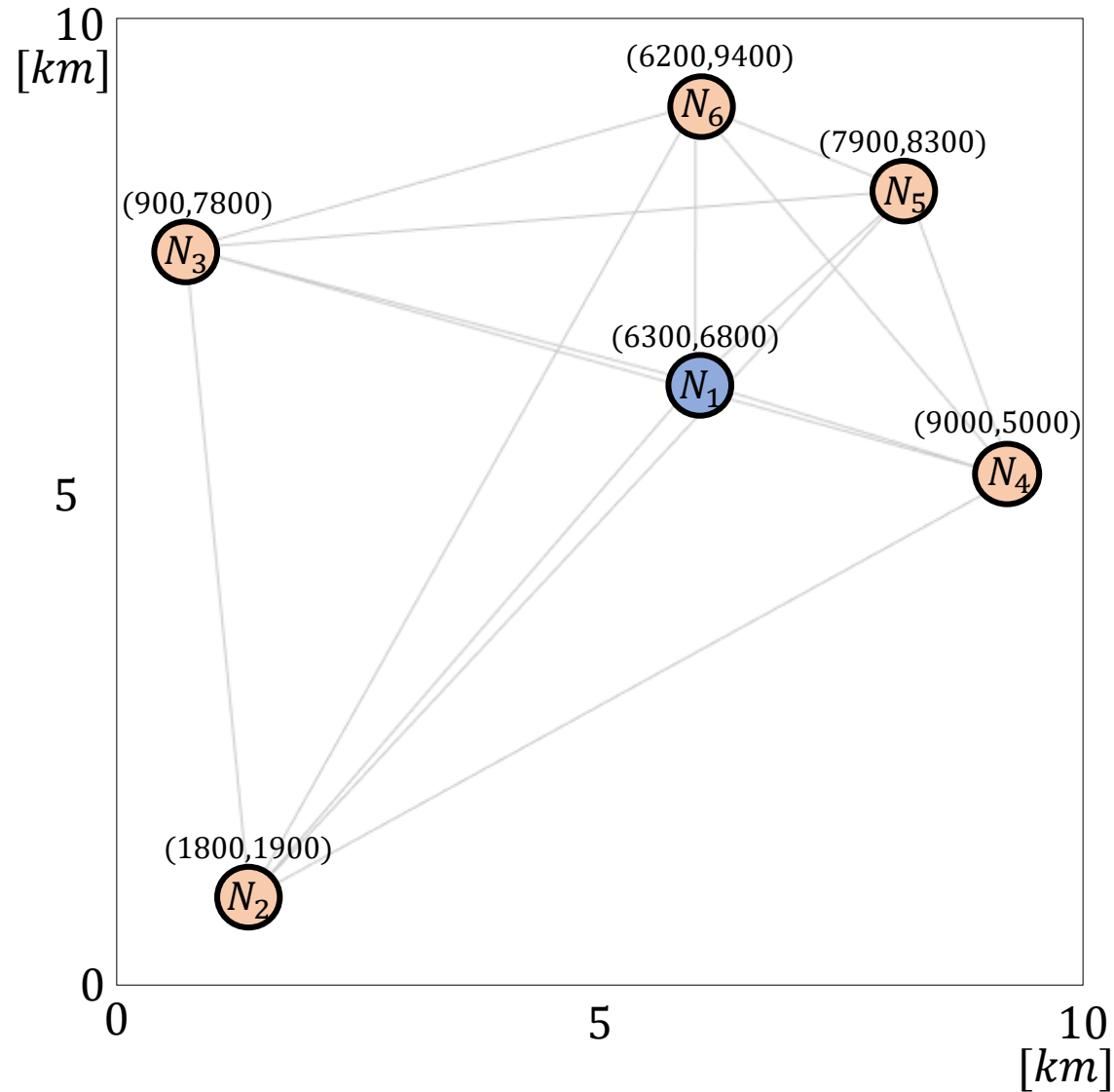
Autor: mgr inż. Grzegorz Radzki

Opiekun: dr hab. inż. Grzegorz Bocewicz, prof. PK

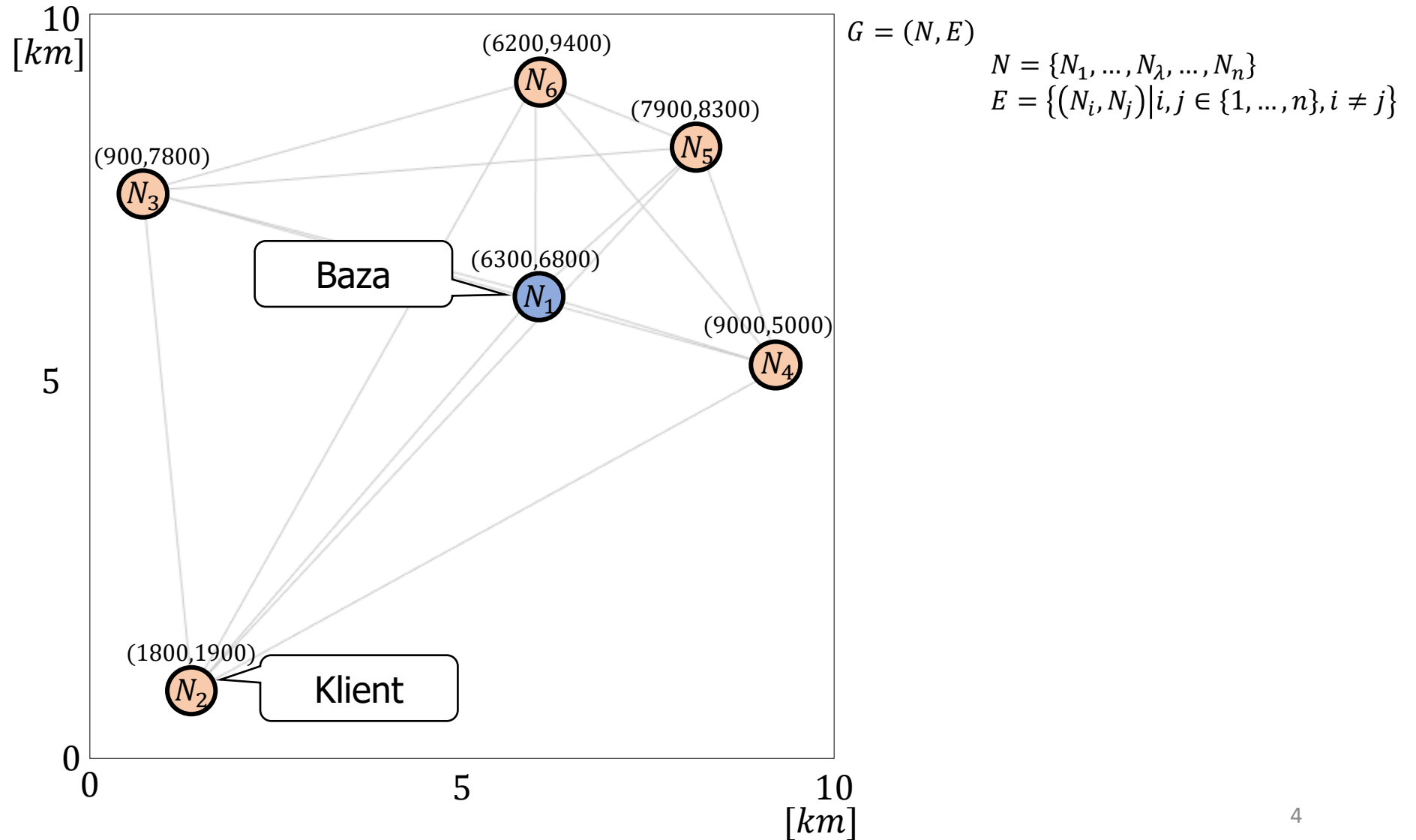
Agenda

- Motywacja
- Sformułowanie Problemu
- Cel badań
- Model
- Metoda
- Rezultaty i wnioski
- Kierunki przyszłych prac

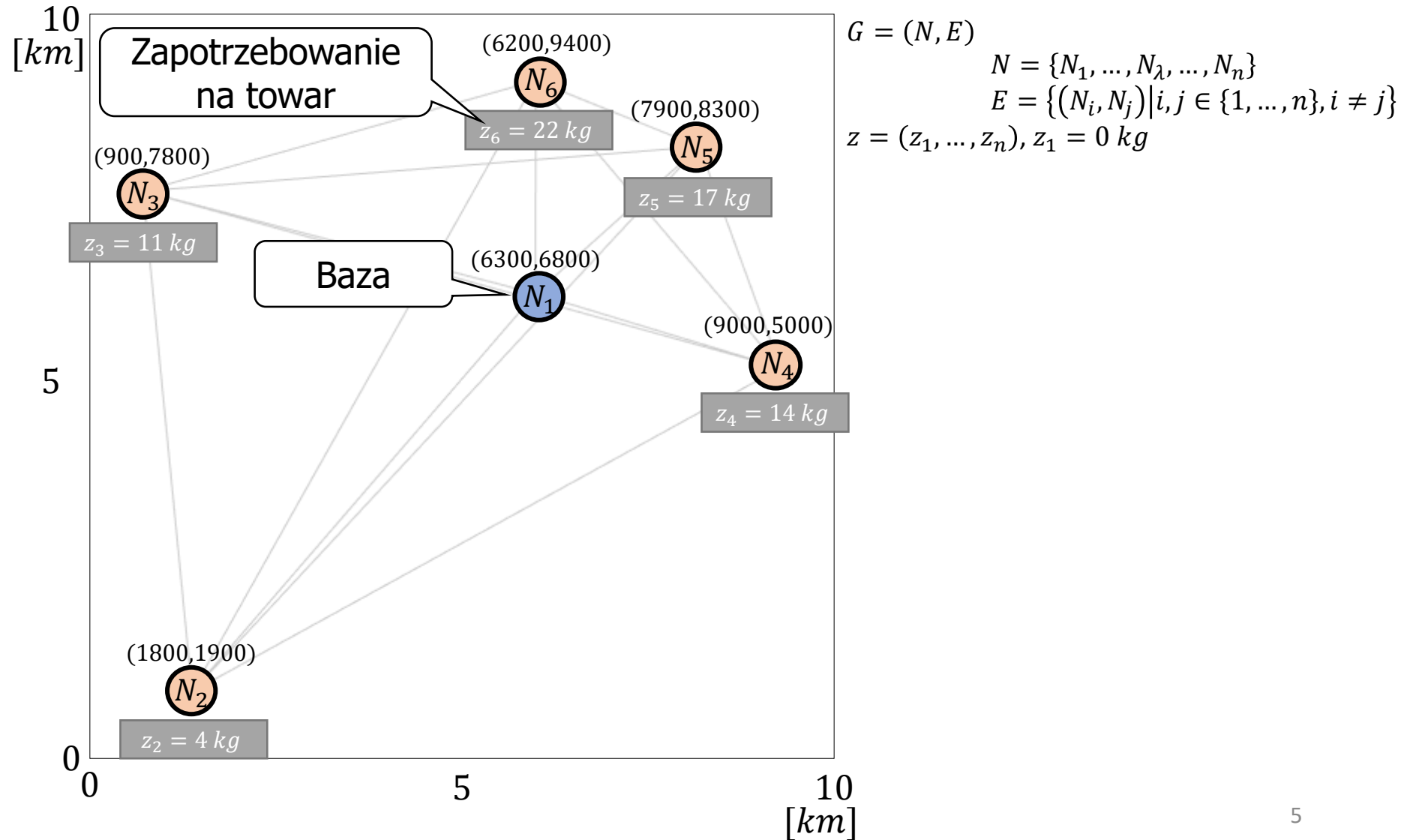
Motywacja – przykład wprowadzający



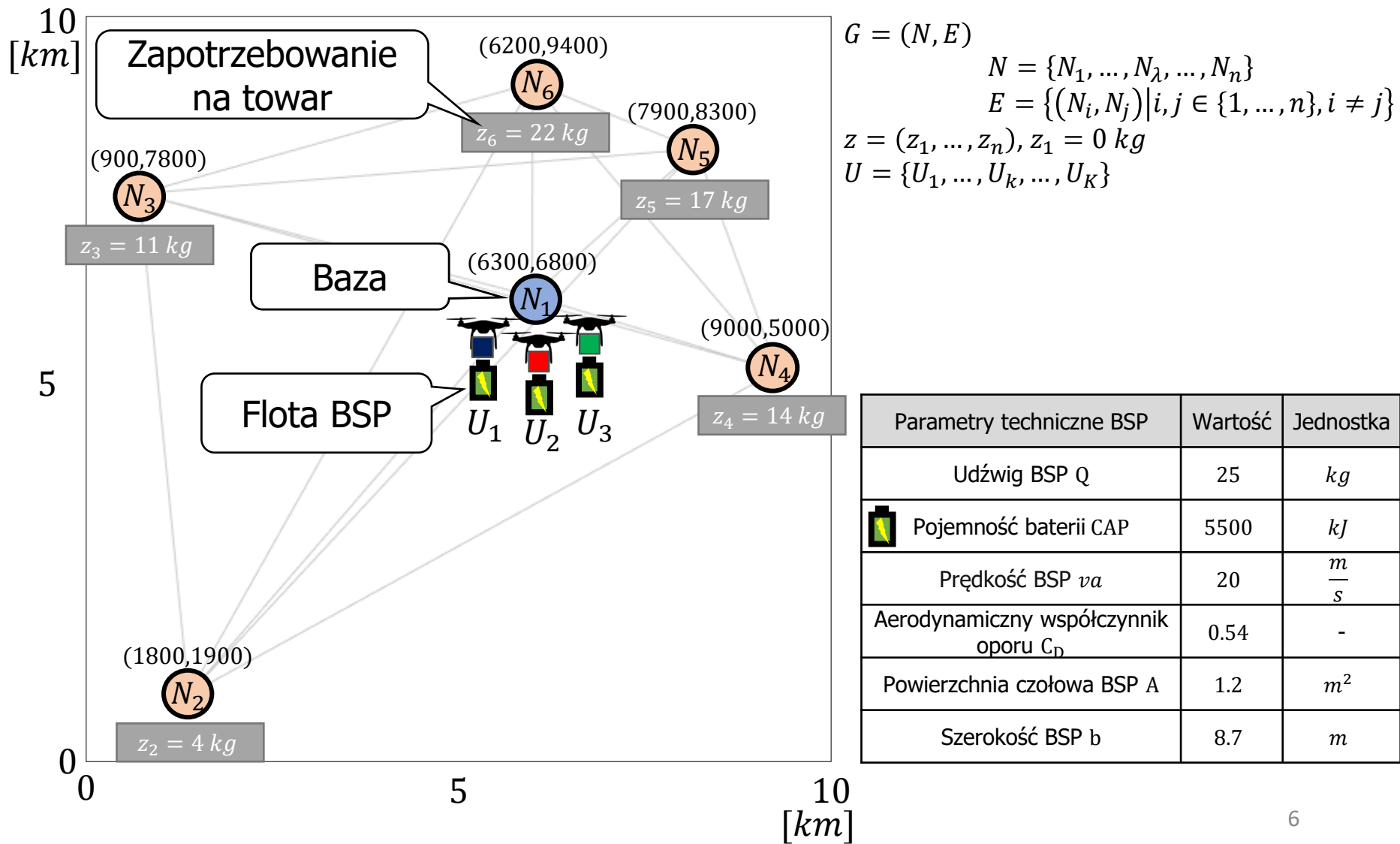
Motywacja – przykład wprowadzający



Motywacja – przykład wprowadzający

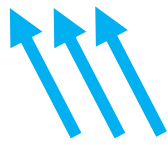


Motywacja – przykład wprowadzający

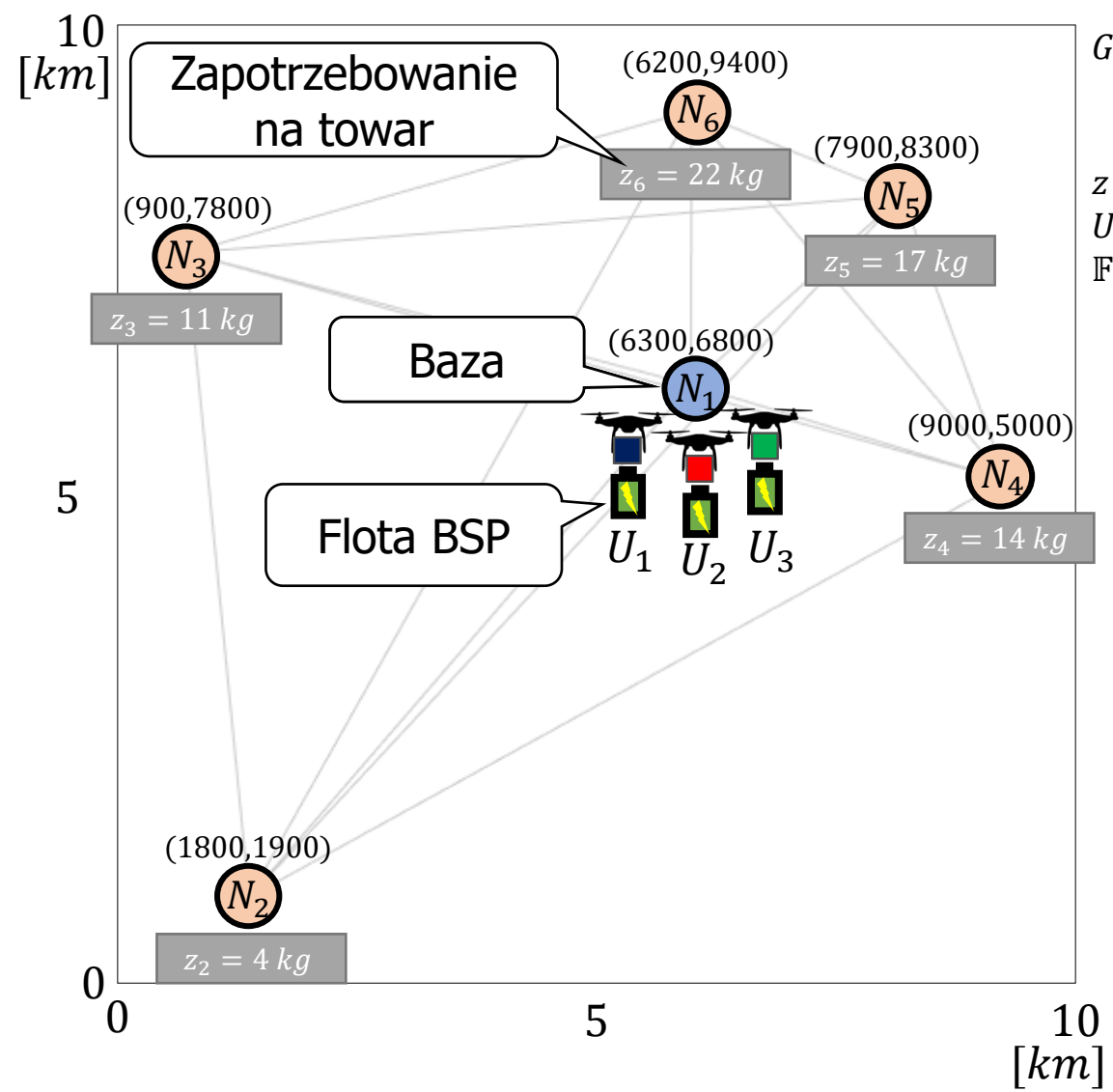


Motywacja – przykład wprowadzający

$\vec{Z} = (\theta, vw)$



Warunki pogodowe
 $\vec{Z} \in \mathbb{F}$



$G = (N, E)$

$N = \{N_1, \dots, N_\lambda, \dots, N_n\}$

$E = \{(N_i, N_j) | i, j \in \{1, \dots, n\}, i \neq j\}$

$z = (z_1, \dots, z_n), z_1 = 0 \text{ kg}$

$U = \{U_1, \dots, U_k, \dots, U_K\}$

$\mathbb{F} = \{(\theta, vw) | \theta \in [0^\circ, 360^\circ], vw \in [0, \mathcal{F}(\theta)]\}$

Parametry techniczne BSP	Wartość	Jednostka
Udźwig BSP Q	25	kg
 Pojemność baterii CAP	5500	kJ
Prędkość BSP va	20	$\frac{m}{s}$
Aerodynamiczny współczynnik oporu C _D	0.54	-
Powierzchnia czołowa BSP A	1.2	m ²
Szerokość BSP b	8.7	m

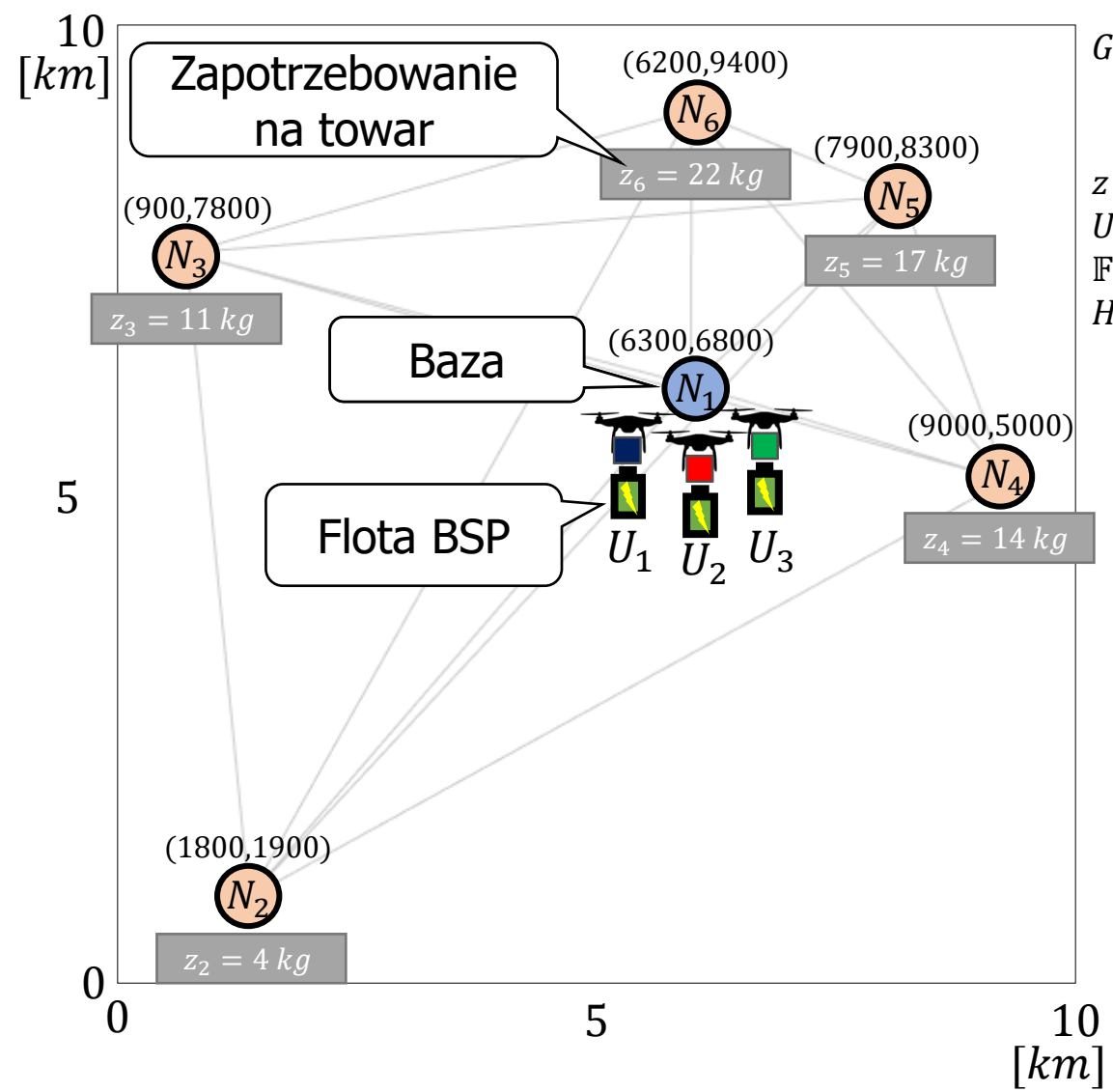
Motywacja – przykład wprowadzający

$\vec{Z} = (\theta, vw)$

Warunki pogodowe
 $\vec{Z} \in \mathbb{F}$

H=3h

Okno czasowe



$G = (N, E)$

$N = \{N_1, \dots, N_\lambda, \dots, N_n\}$

$E = \{(N_i, N_j) | i, j \in \{1, \dots, n\}, i \neq j\}$

$z = (z_1, \dots, z_n), z_1 = 0 \text{ kg}$

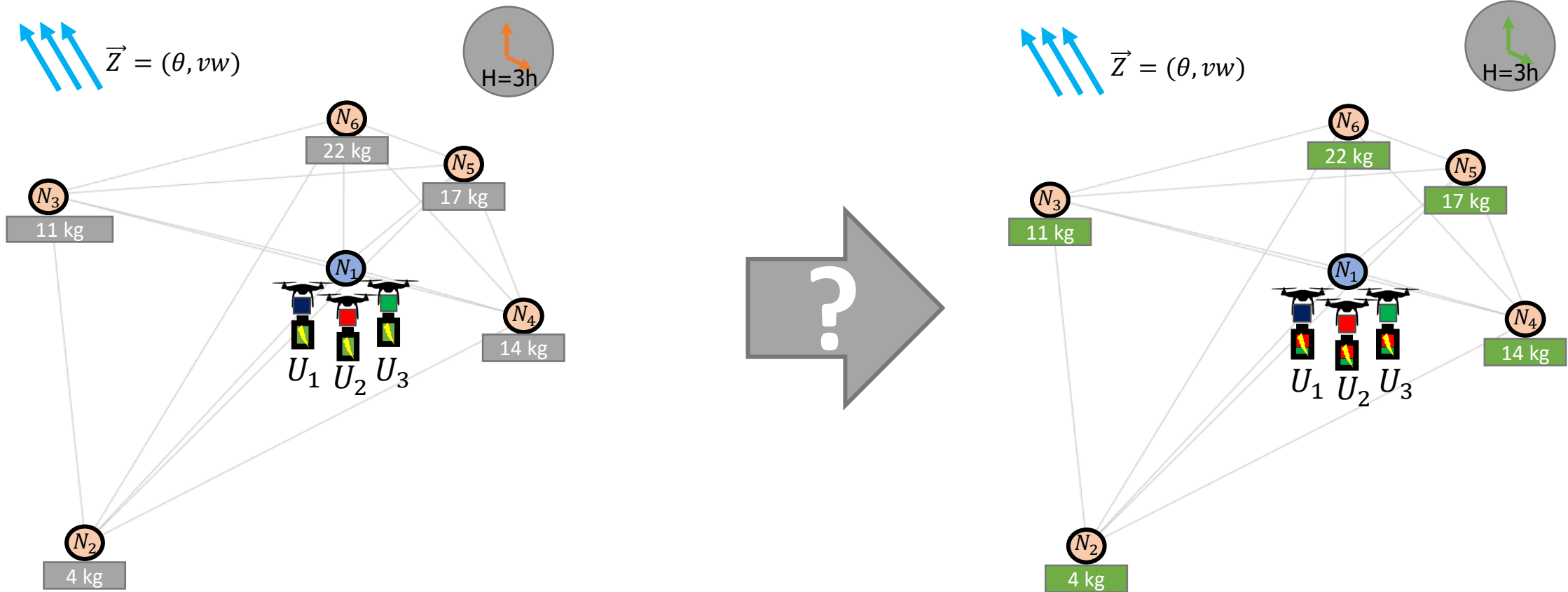
$U = \{U_1, \dots, U_k, \dots, U_K\}$

$\mathbb{F} = \{(\theta, vw) | \theta \in [0^\circ, 360^\circ], vw \in [0, \mathcal{F}(\theta)]\}$

$H \in \mathbb{N}$

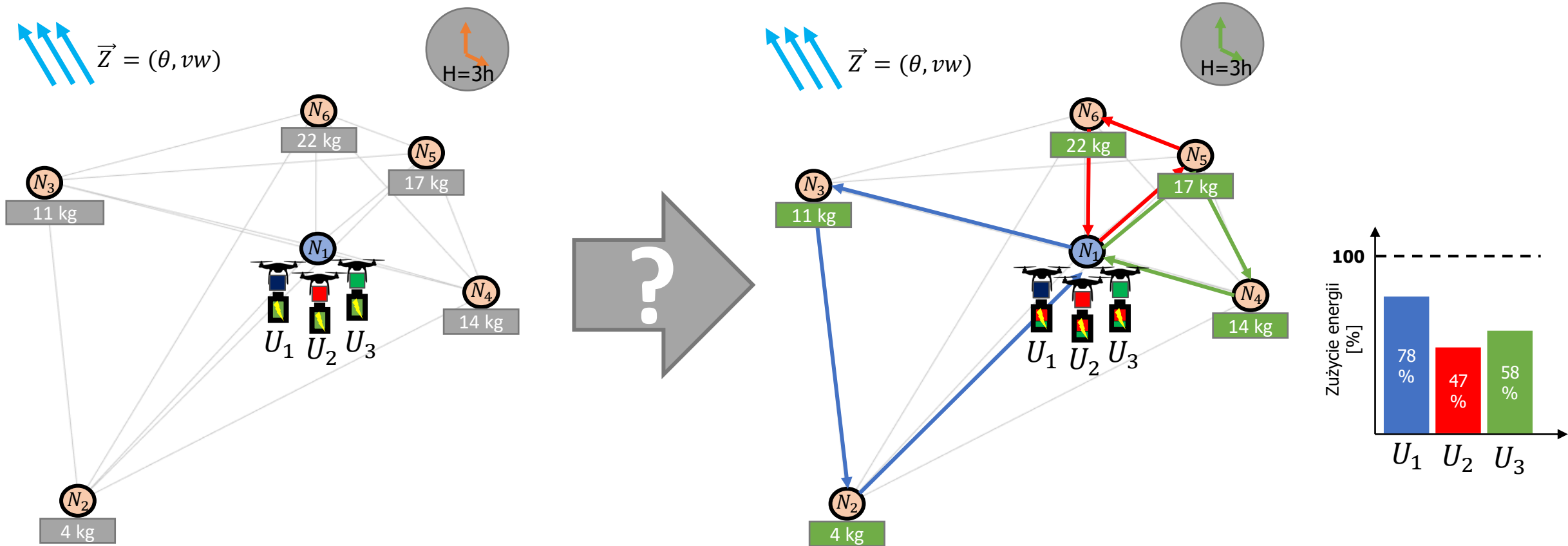
Parametry techniczne BSP	Wartość	Jednostka
Udźwig BSP Q	25	kg
 Pojemność baterii CAP	5500	kJ
Prędkość BSP va	20	$\frac{m}{s}$
Aerodynamiczny współczynnik oporu C _D	0.54	-
Powierzchnia czołowa BSP A	1.2	m ²
Szerokość BSP b	8.7	m

Motywacja – przykład wprowadzający



Czy dostępna flota BSP gwarantuje realizację wszystkich zamówień przy danych warunkach pogodowych w danym oknie czasowym?

Motywacja – przykład wprowadzający

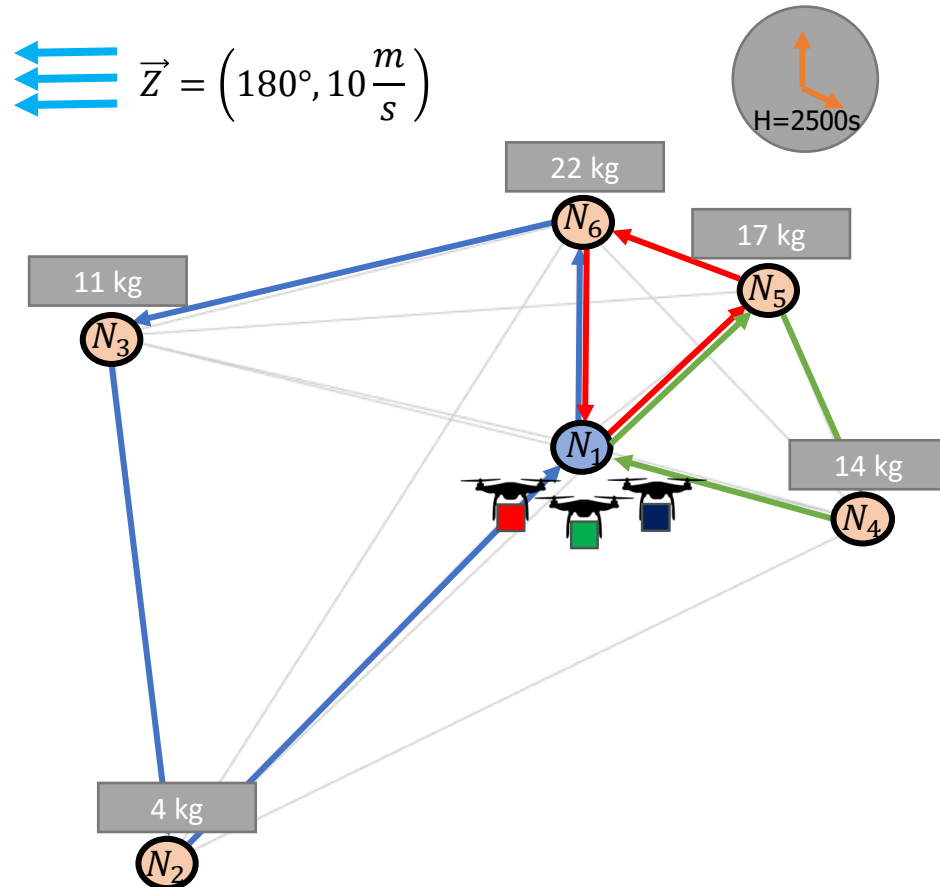


Czy dostępna flota BSP gwarantuje realizację wszystkich zamówień przy danych warunkach pogodowych w danym oknie czasowym?

Motywacja - literatura

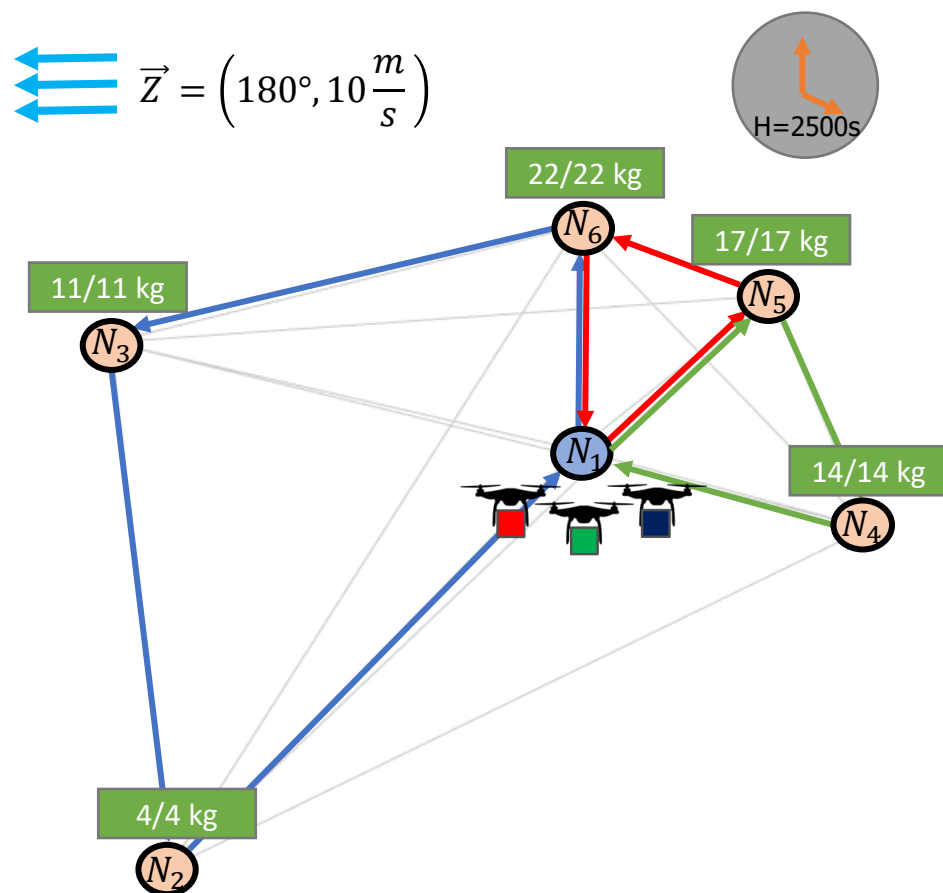
- Rozważane zagadnienie należy do klasy problemów marszrutyzacji pojazdów (ang. *MVRP*)
- Luki w istniejącej literaturze
 - nieliniowa charakterystyka zużycia energii zależna od warunków pogodowych
 - nieuwzględnianie fizycznych parametrów BSP w aspekcie zużycia energii
 - poszukiwanie marszrut z uwzględnieniem warunków pogodowych – odporność misji lotów BSP

Motywacja – odporność misji lotu

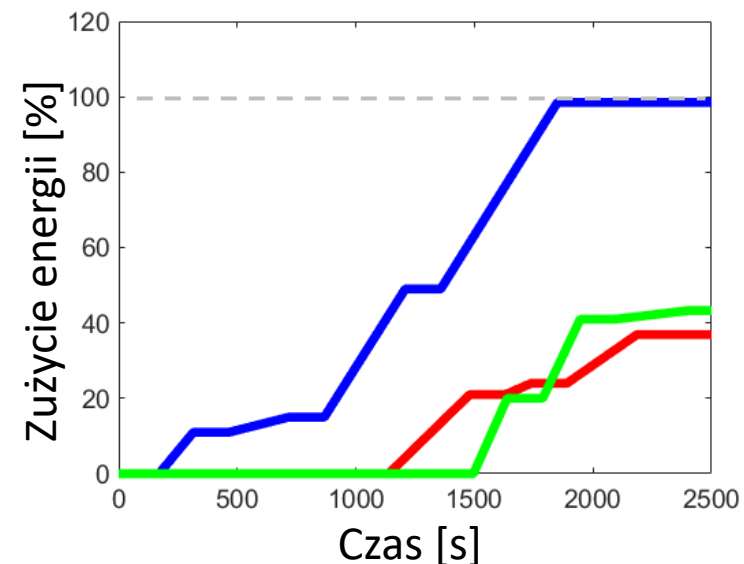


Motywacja – odporność misji lotu

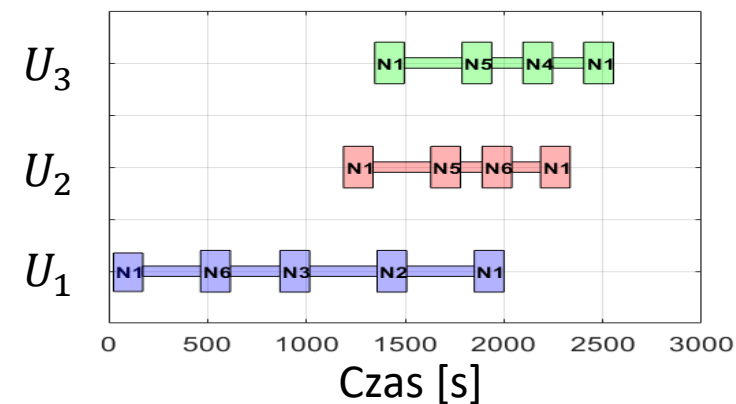
Plan OK



Zużycie baterii BSP

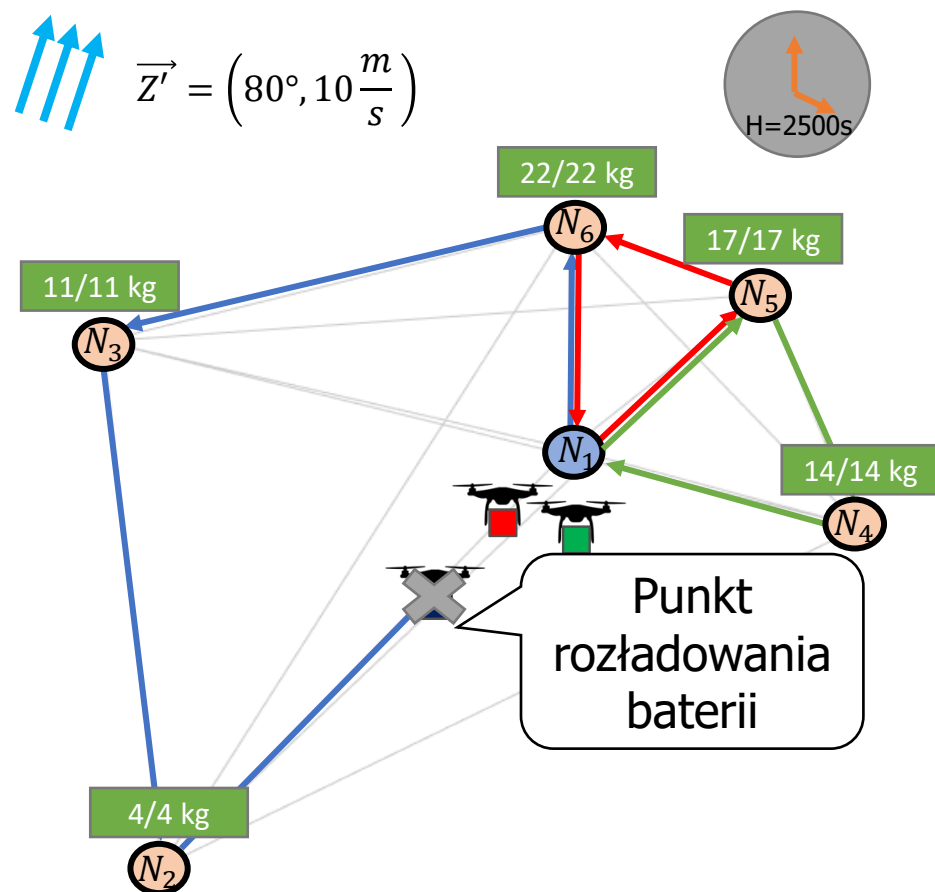


Harmonogram misji

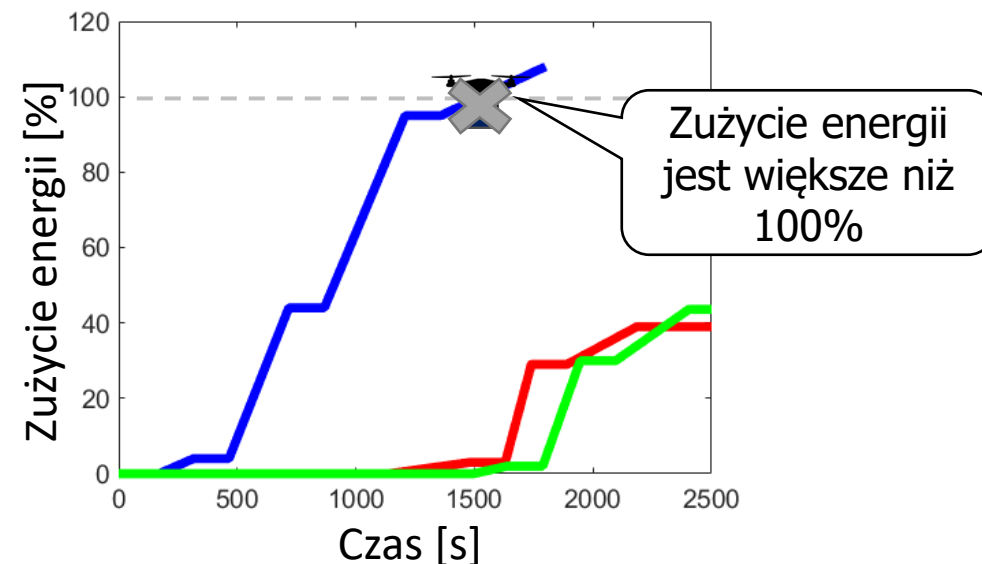


Motywacja – odporność misji lotu

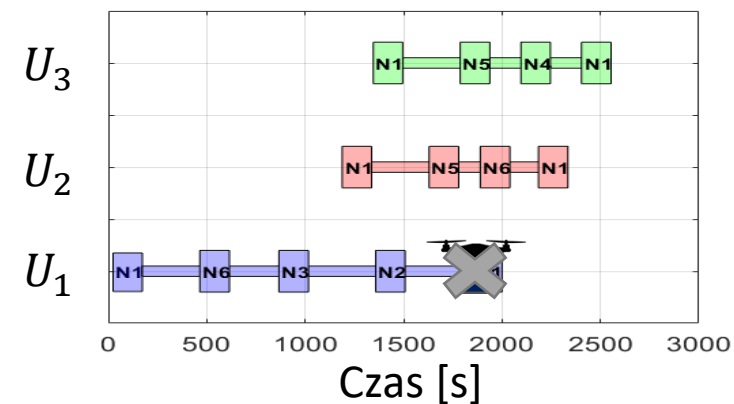
Plan NOK



Zużycie baterii BSP

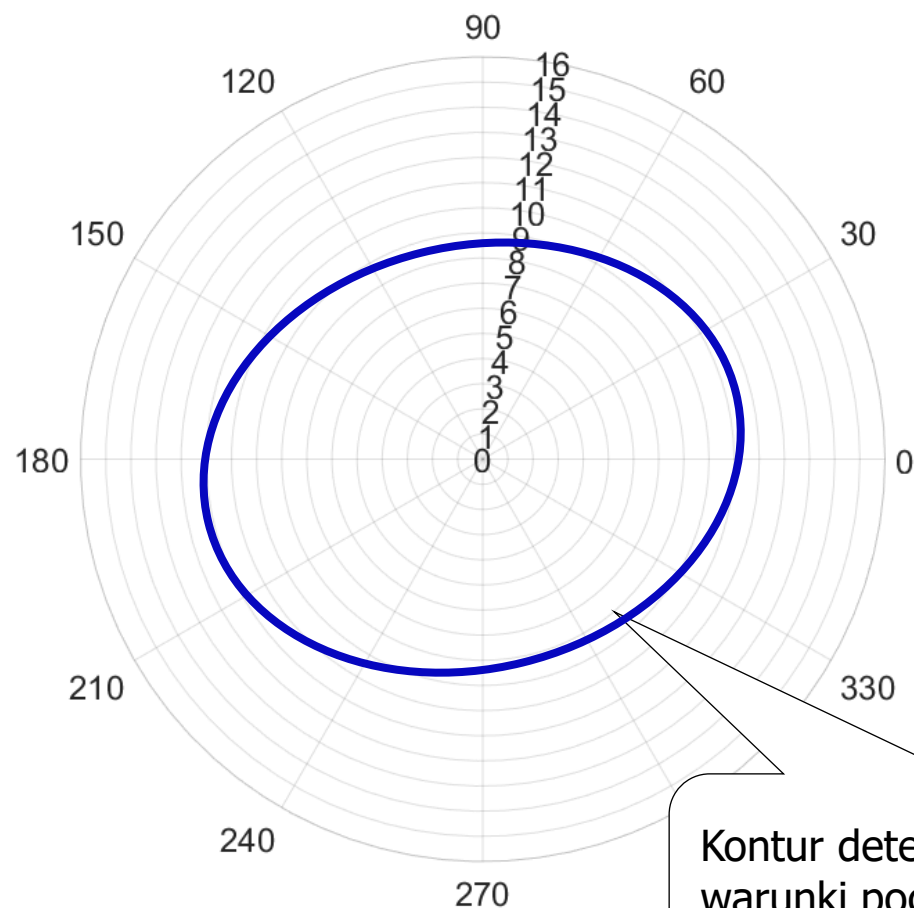


Harmonogram misji



Motywacja – odporność misji lotu

$\gamma_k(\theta)$ – funkcja odporności



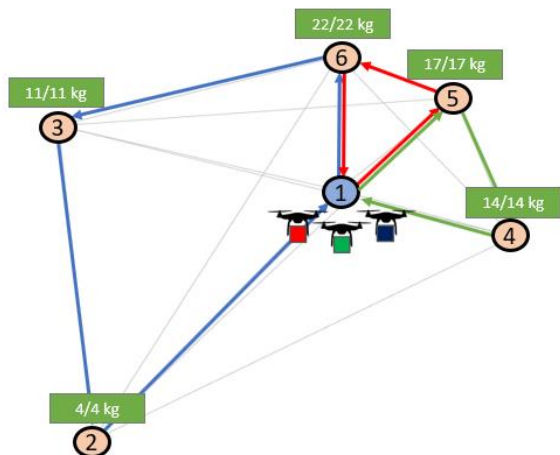
Kontur determinuje graniczne warunki pogodowe gwarantujące wykonanie misji

Motywacja – odporność misji lotu

$\gamma_k(\theta)$ – funkcja odporności
 $Z(\theta): \forall U_k \in u \forall \theta \in [0^\circ, 360^\circ) \gamma_k(\theta) \geq \mathcal{F}(\theta)$

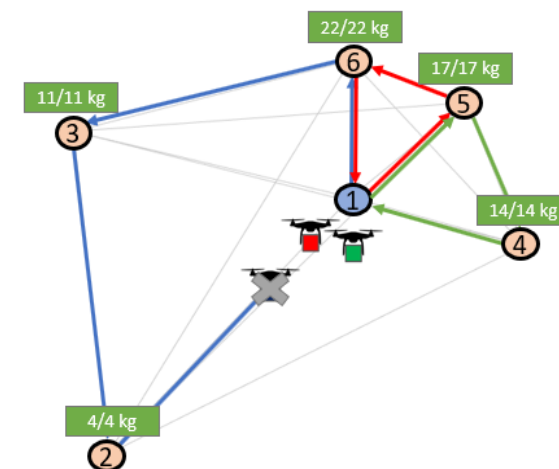
Plan OK

$$\vec{Z} = \left(180^\circ, 10 \frac{m}{s}\right)$$



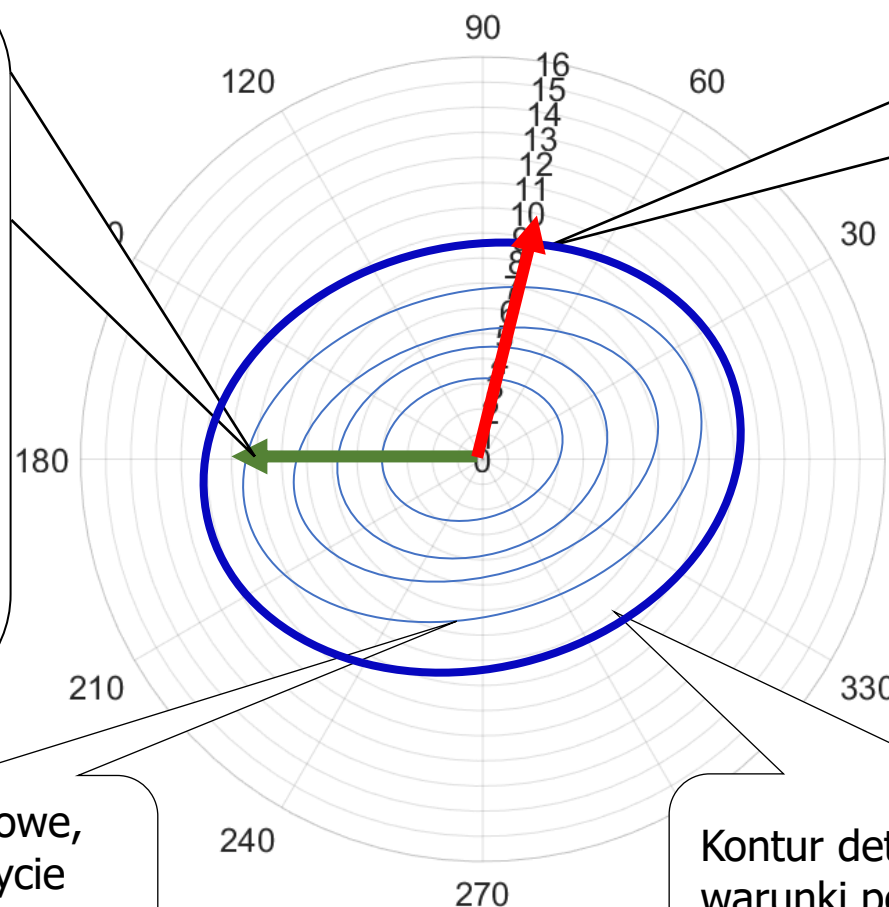
Plan NOK

$$\vec{Z}' = \left(80^\circ, 10 \frac{m}{s}\right)$$



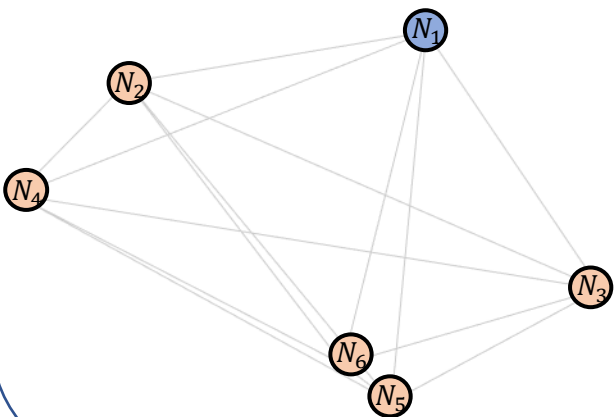
Warunki pogodowe,
dla których zużycie
energii nie przekracza
100%

Kontur determinuje graniczne
warunki pogodowe gwarantujące
wykonanie misji

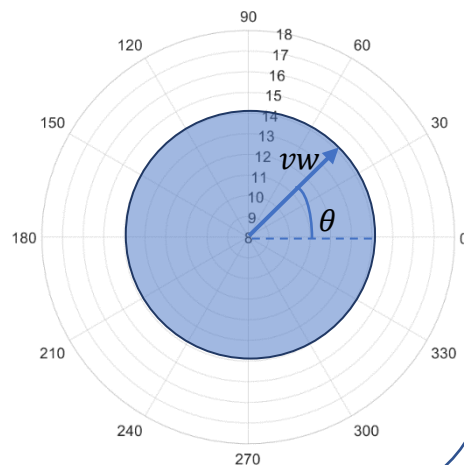


Sformułowanie problemu

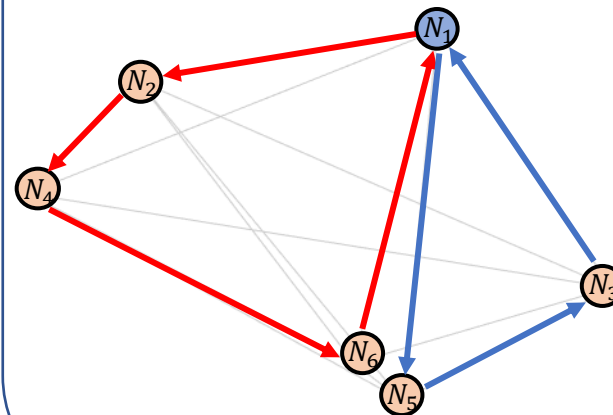
Sieć transportowa
 $G = (N, E)$



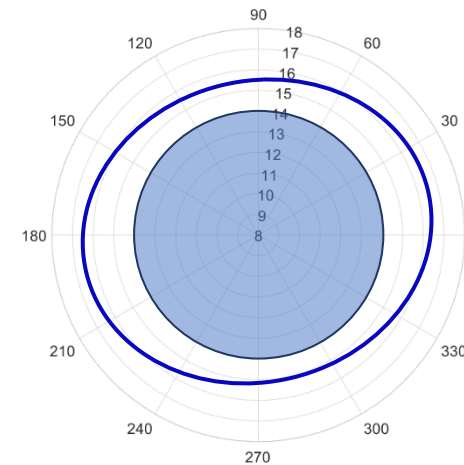
Prognozowane
warunki pogodowe
 $Z(\theta)$



Plan misji lotu
 S



Odporność misji lotu
 $\Upsilon_{USG}(\theta) \geq Z(\theta)$



Czy istnieje misja lotów BSP gwarantująca realizację wszystkich zamówień
w zadanych warunkach pogodowych?

Cel badań

Cel: Opracowanie metody planowania misji lotów BSP odpornych na zmienne warunki pogodowe.

Założenia:

- Plan misji lotu jest bezkolizyjny
- Zużycie energii opisane jest funkcją nieliniową
- Flota BSP jest jednorodna
- Rozpatrywany jest jeden rodzaj towaru
- Możliwość powrotu do bazy w celu wymiany/naładowania baterii
- Dostarczenie towarów do klienta może być realizowane przez całą flotę BSP
- Klient może być obsługiwany tylko przez 1 BSP w danym momencie czasu

Teza: Wykorzystanie technik obliczeniowych bazujących na paradygmacie programowania deklaratywnego pozwala na syntezę planów misji lotów BSP odpornych na zmienne warunki pogodowe w trybie online.

Model

Zmienne decyzyjne

Misja lotu

- $x_{i,j}^k$: przelot U_k z N_i do N_j
- y_i^k : moment czasu przybycia U_k do N_i
- π^k : marszruta U_k
- Π : zbiór marszrut
- Y : zbiór harmonogramów

Dostarczanie towarów

- c_i^k : waga towaru dostarczona przez U_k do N_i
- $f_{i,j}^k$: waga ładunku transportowanego między N_i a N_j przez U_k
- C : zbiór dostaw

Zużycie energii

- bat^k : łączna wartość energii zużytej przez U_k
- $P_{i,j}^k$: zużycie energii na jednostkę czasu podczas przelotu z N_i do N_j przez U_k

Parametry

- G : graf reprezentujący sieć transportową
- N : zbiór węzłów
- E : zbiór krawędzi grafu
- $d_{i,j}$: odległość między N_i a N_j

- D : gęstość powietrza
- g : przyciąganie ziemskie
- $\mathcal{F}(\theta)$: funkcja określająca maksymalną prędkość wiatru ws dla danego kierunku wiania wiatru θ
- $Y(\theta)$: funkcja odporności misji lotu
- $Z(\theta)$: funkcja prognozowanych warunków pogodowych
- $\vdots$
- b : szerokość U_k
- CAP : pojemność baterii U_k
- ep : masa własna U_k
- $block$: unikanie kolizji

Ograniczenia

$$\sum_{j=1}^n x_{i,j}^k = 1; \quad k = 1 \dots K$$

$$\sum_{k=1}^K c_i^k = z_i; \quad i = 1 \dots n$$

$$Y^k(\theta) \geq \mathcal{F}(\theta); \quad \forall \theta \in [0^\circ, 360^\circ]$$

$$\vdots$$
$$P_{i,j}^k(\theta, vw) = \frac{1}{2} C_D \times A \times D \times \left(va_{i,j}(\theta, vw) \right)^3 + \frac{\left((ep + f_{i,j}^k) \times g \right)^2}{D \times b \times va_{i,j}(\theta, vw)}$$

$$va_{i,j}(\theta, vw) = \sqrt{\left(vg_{i,j} \times \cos \vartheta_{i,j} - vw \times \cos \theta \right)^2 + \left(vg_{i,j} \times \sin \vartheta_{i,j} - vw \times \sin \theta \right)^2}$$

Pytanie

$$(\Pi = ?, Y = ?, C = ?) \Leftrightarrow (Y(\theta) \geq Z(\theta))$$

Model

Zmienne decyzyjne

Misja lotu

$x_{i,j}^k$: przelot U_k z N_i do N_j

y_i^k : moment czasu przybycia U_k do N_i

π^k : marszruta U_k

Π : **zbiór marszrut**

Y : **zbiór harmonogramów**

Dostarczanie towarów

c_i^k : waga towaru dostarczona przez U_k do N_i

$f_{i,j}^k$: waga ładunku transportowanego między N_i a N_j przez U_k

C : **zbiór dostaw**

Zużycie energii

bat^k : łączna wartość energii zużytej przez U_k

$P_{i,j}^k$: zużycie energii na jednostkę czasu podczas przelotu z N_i do N_j przez U_k

Parametry

G : graf reprezentujący sieć transportową

N : zbiór węzłów

E : zbiór krawędzi grafu

$d_{i,j}$: odległość między N_i a N_j

D : gęstość powietrza

g : przyciąganie ziemskie

$\mathcal{F}(\theta)$: funkcja określająca maksymalną prędkość wiatru ws dla danego kierunku wiania wiatru θ

$Y(\theta)$: **funkcja odporności misji lotu**

$Z(\theta)$: **funkcja prognozowanych warunków pogodowych**

$\vdots$

b : szerokość U_k

CAP : pojemność baterii U_k

ep : masa własna U_k

$block$: unikanie kolizji

Ograniczenia

$$\sum_{j=1}^n x_{i,j}^k = 1; \quad k = 1 \dots K$$

$$\sum_{k=1}^K c_i^k = z_i; \quad i = 1 \dots n$$

$$Y^k(\theta) \geq \mathcal{F}(\theta); \quad \forall \theta \in [0^\circ, 360^\circ)$$

$\vdots$

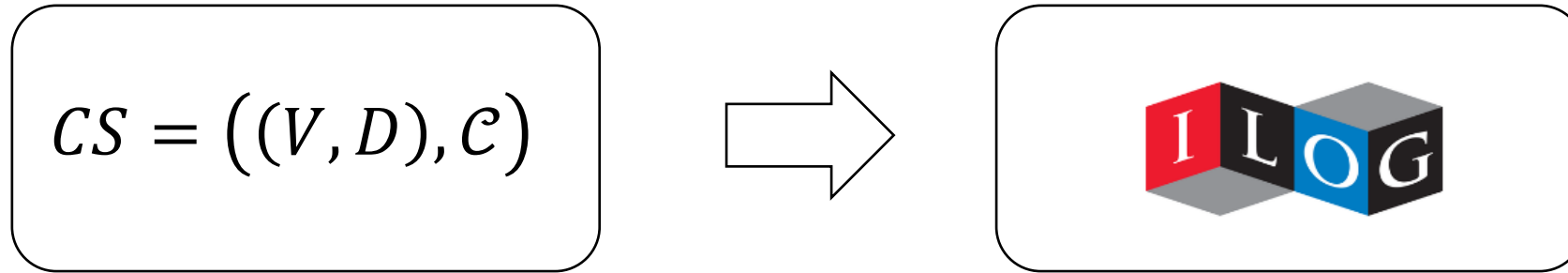
$$P_{i,j}^k(\theta, vw) = \frac{1}{2} C_D \times A \times D \times \left(va_{i,j}(\theta, vw) \right)^3 + \frac{\left((ep + f_{i,j}^k) \times g \right)^2}{D \times b \times va_{i,j}(\theta, vw)}$$

$$va_{i,j}(\theta, vw) = \sqrt{\left(vg_{i,j} \times \cos \vartheta_{i,j} - vw \times \cos \theta \right)^2 + \left(vg_{i,j} \times \sin \vartheta_{i,j} - vw \times \sin \theta \right)^2}$$

Pytanie

$$(\Pi = ?, Y = ?, C = ?) \Leftrightarrow (Y(\theta) \geq Z(\theta))$$

Model



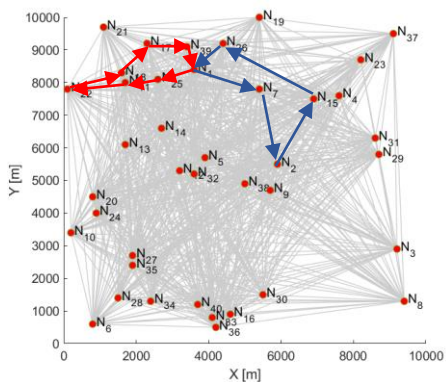
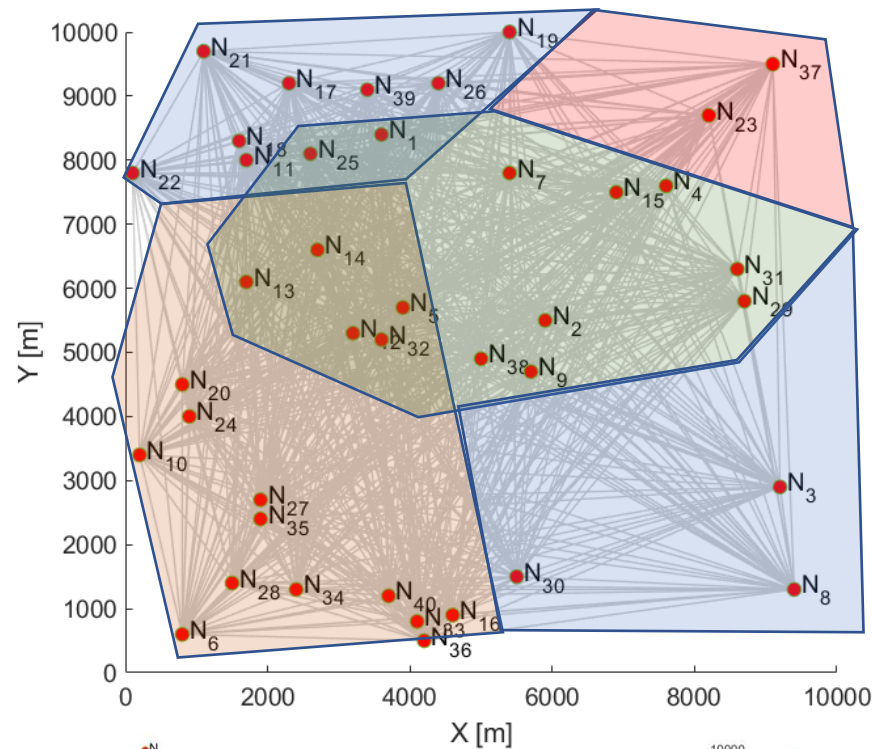
Maksymalny rozmiar problemu dla jednej instancji problemu:

- 3 drony
- 11 węzłów

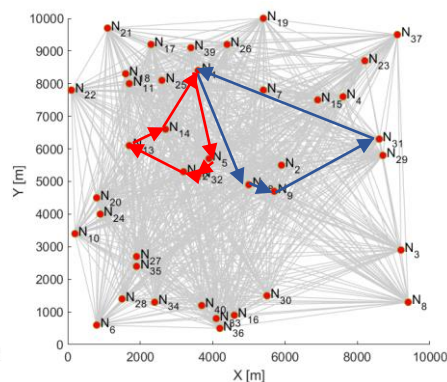
Ograniczenia skalowalności:

- Rozmiar sieci transportowej
- Ograniczenie opisujące nieliniowe zużycie energii

Metoda – dekompozycja problemu

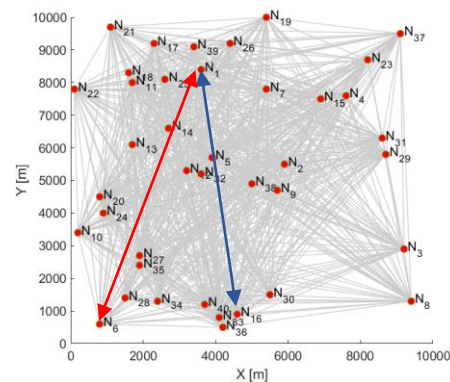


$1S$

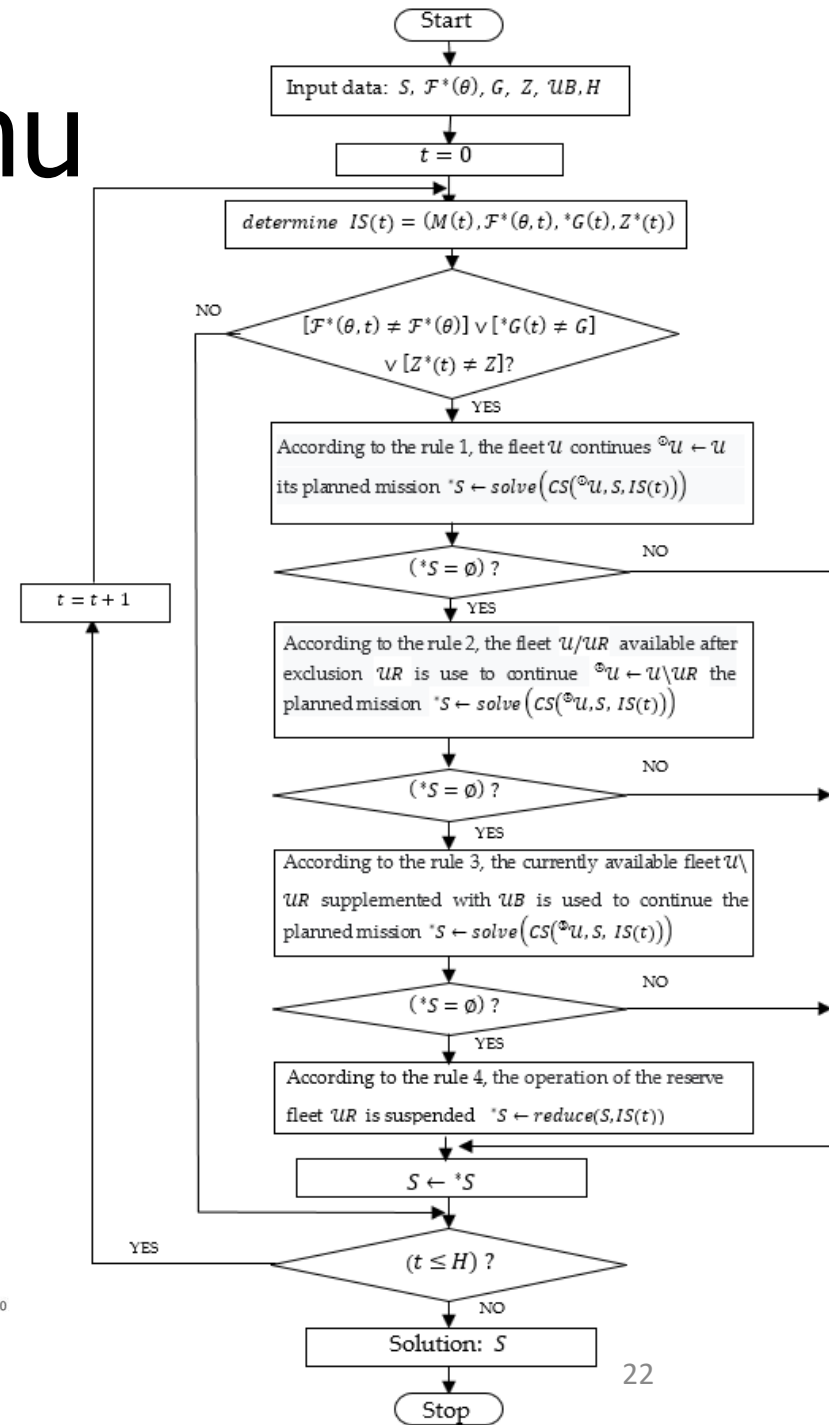


$2S$

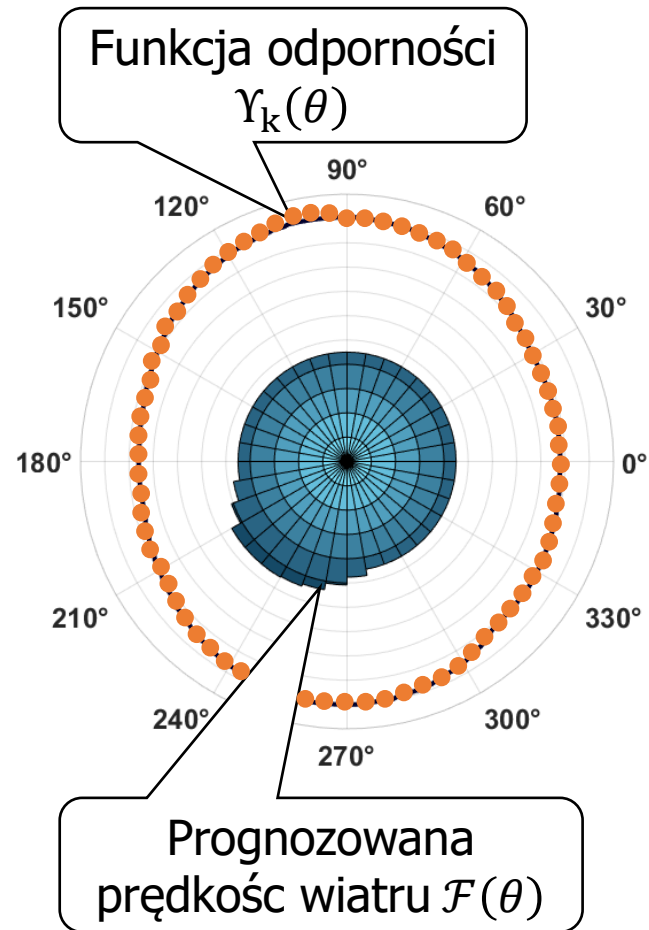
...



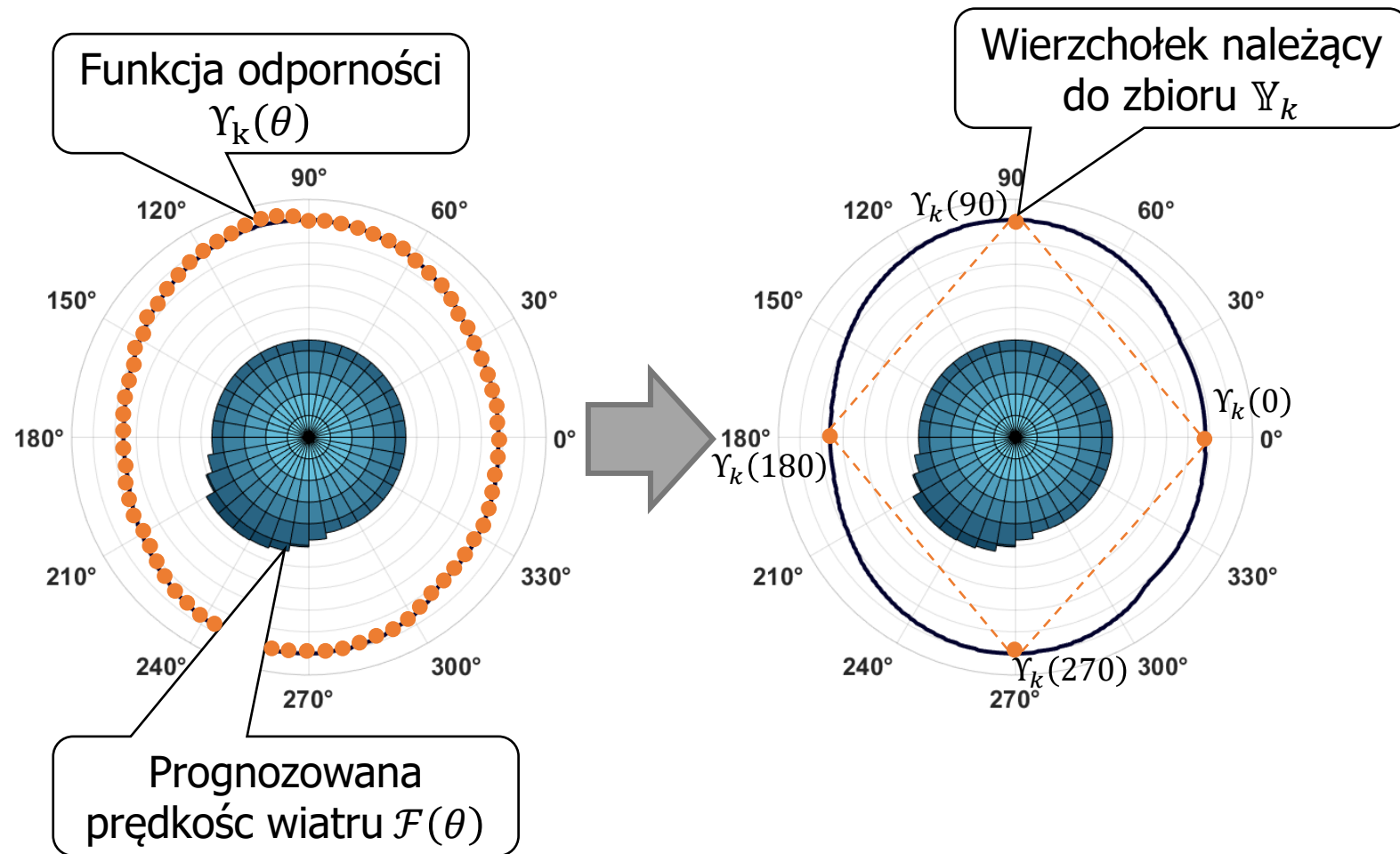
lS



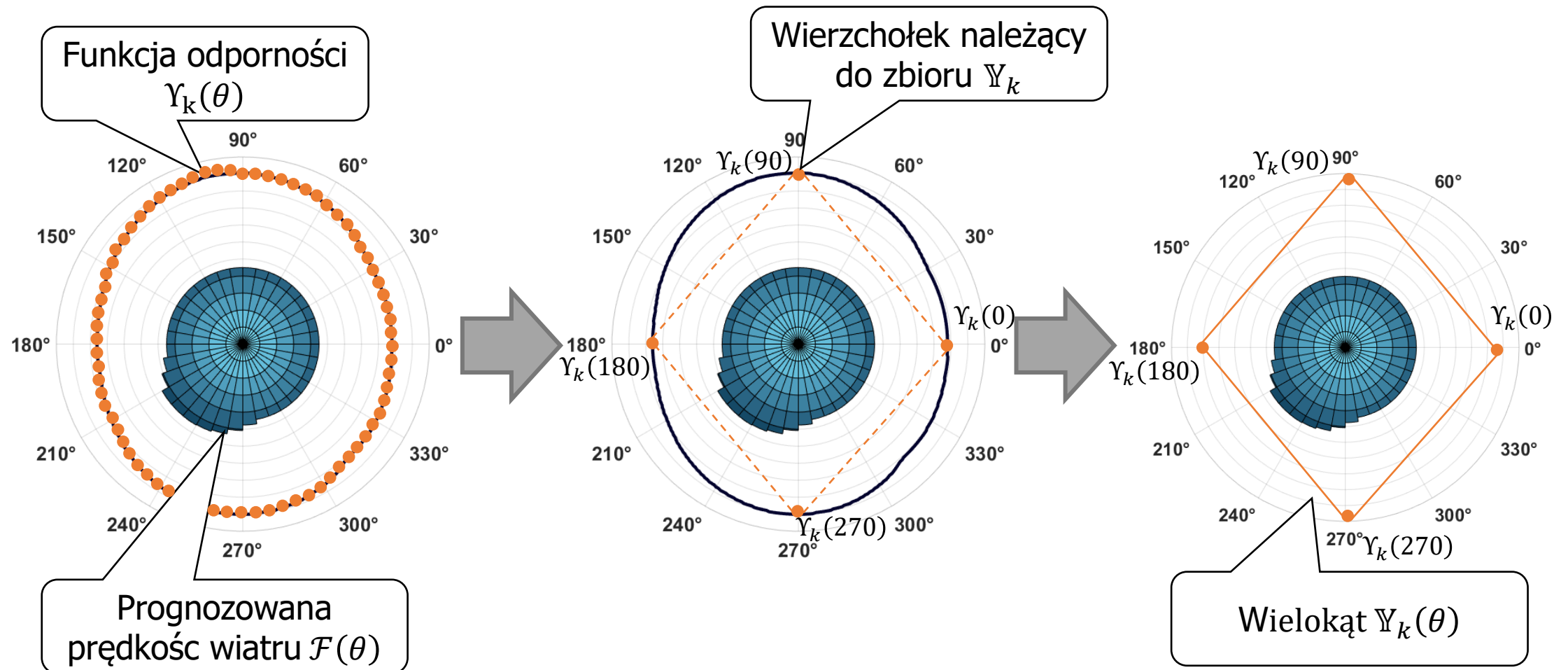
Metoda – relaksacja ograniczeń



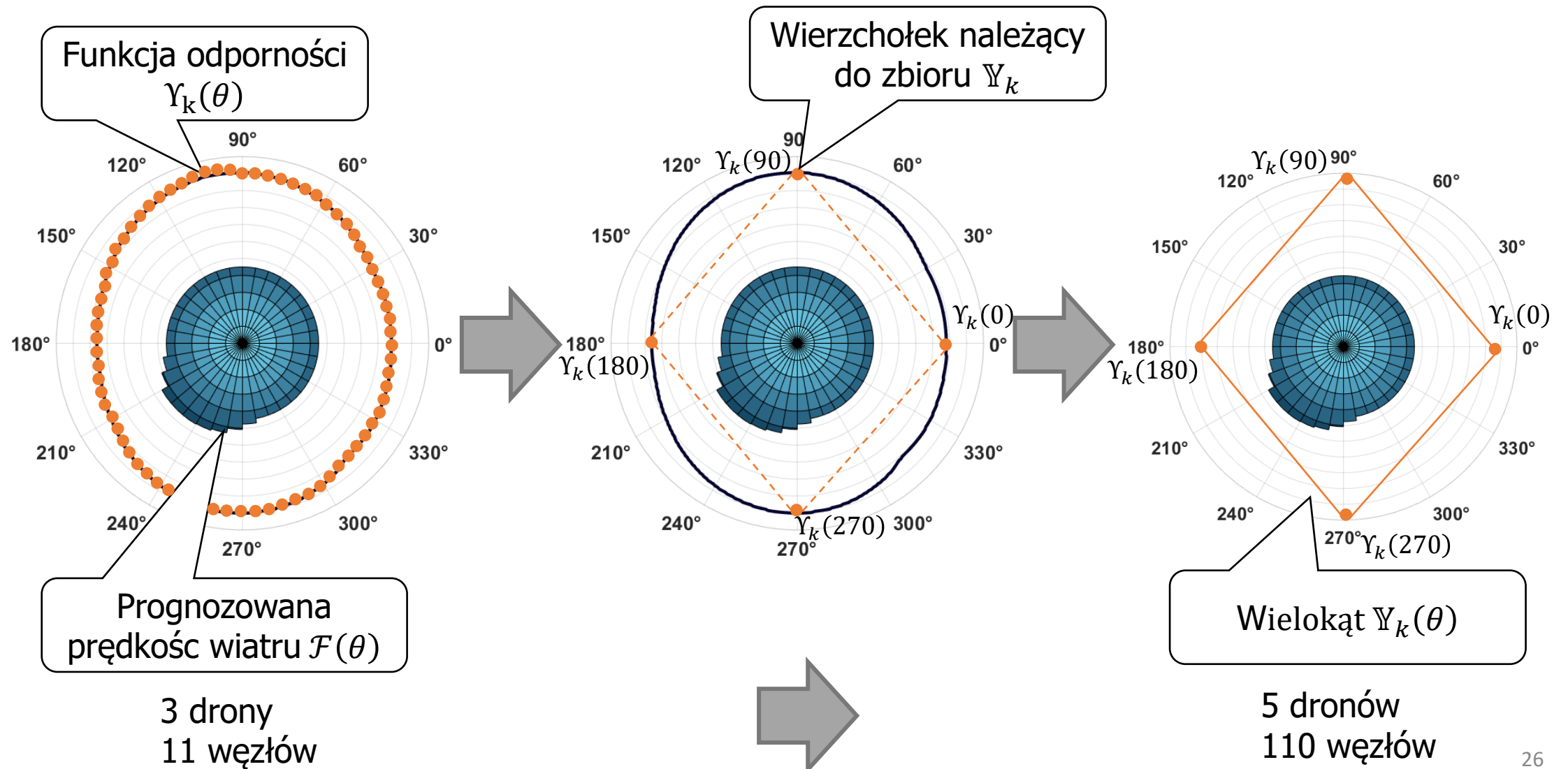
Metoda – relaksacja ograniczeń



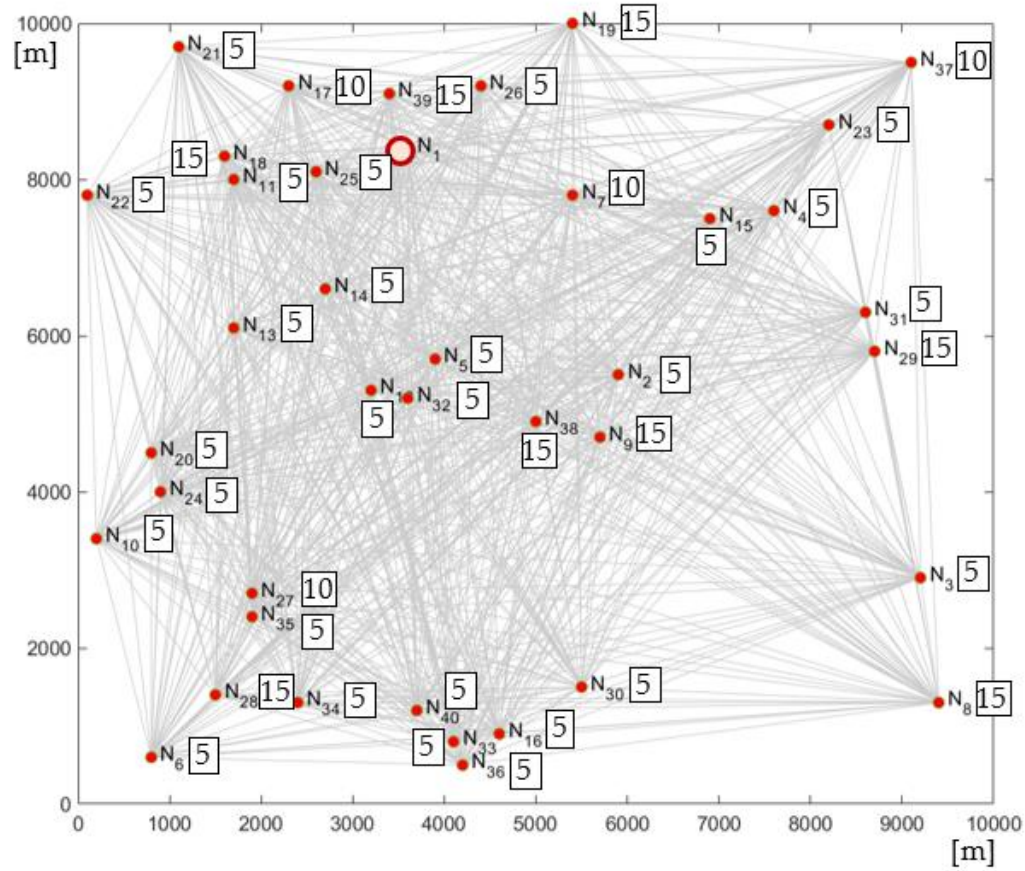
Metoda – relaksacja ograniczeń



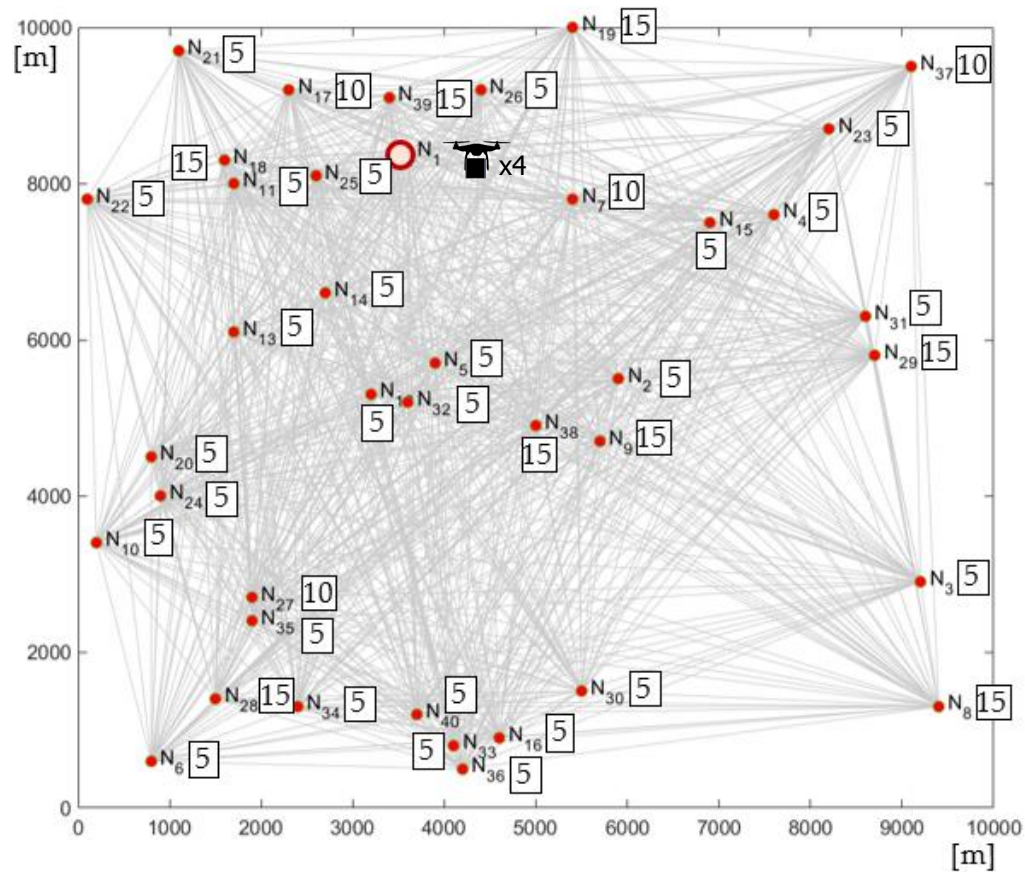
Metoda – relaksacja ograniczeń



Metoda - przykład

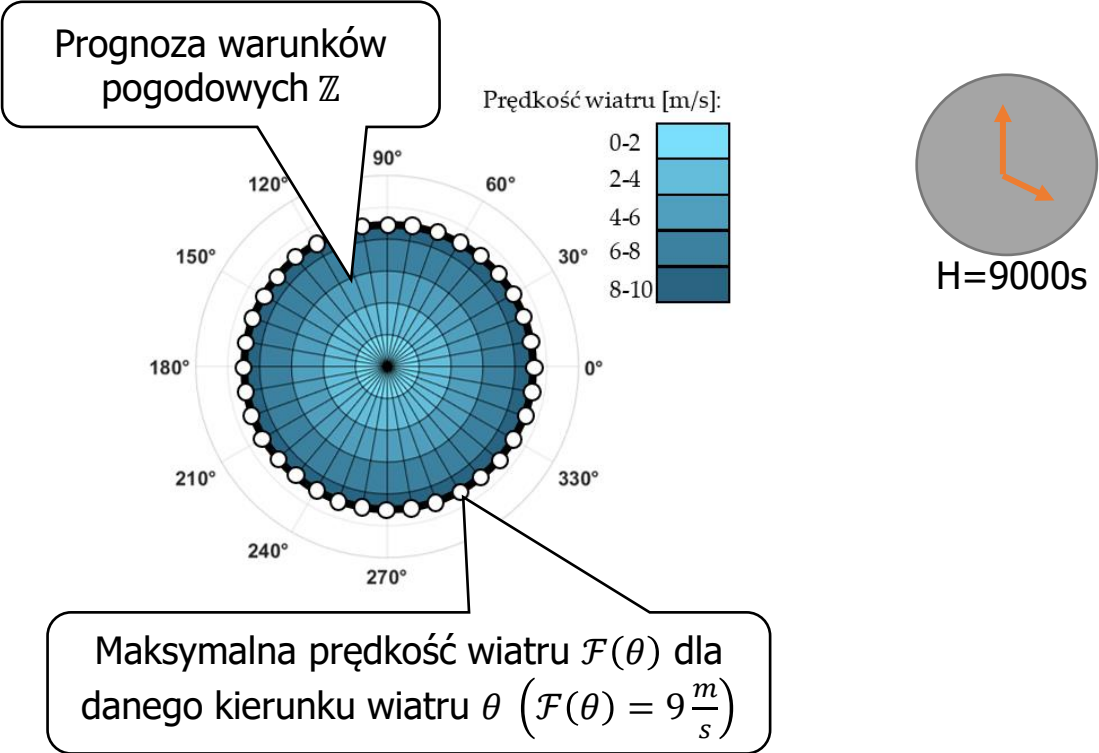
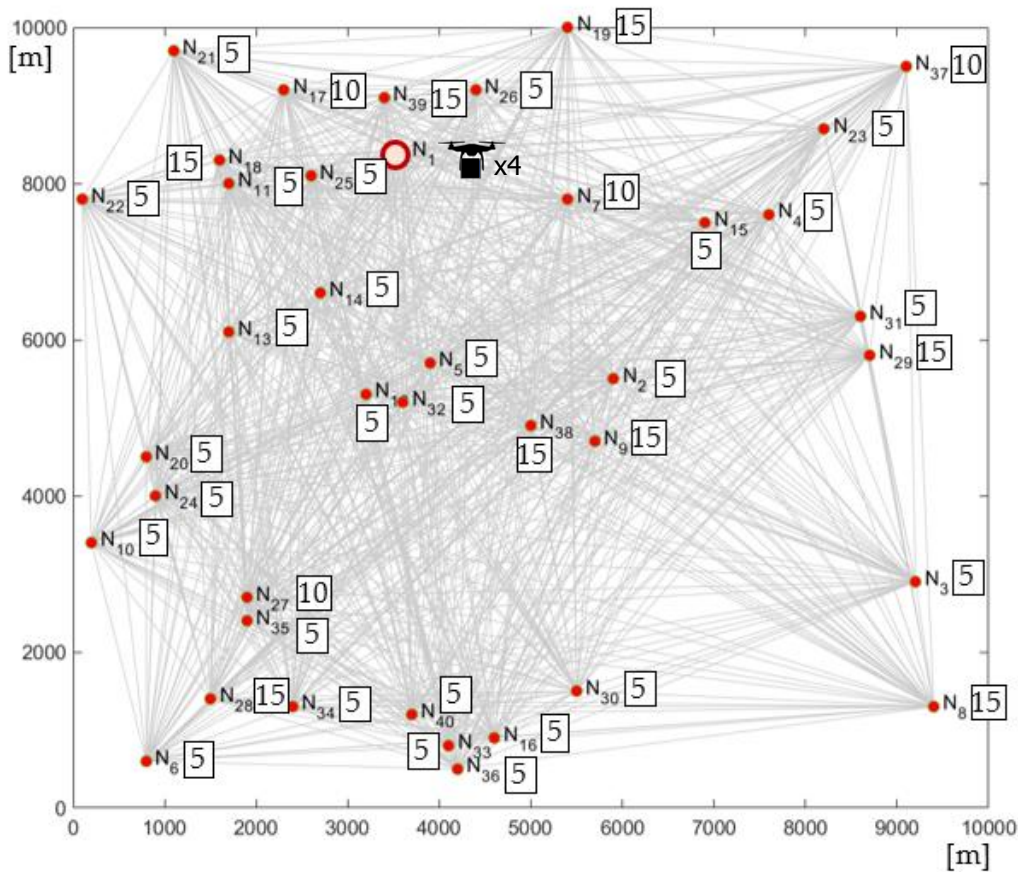


Metoda - przykład



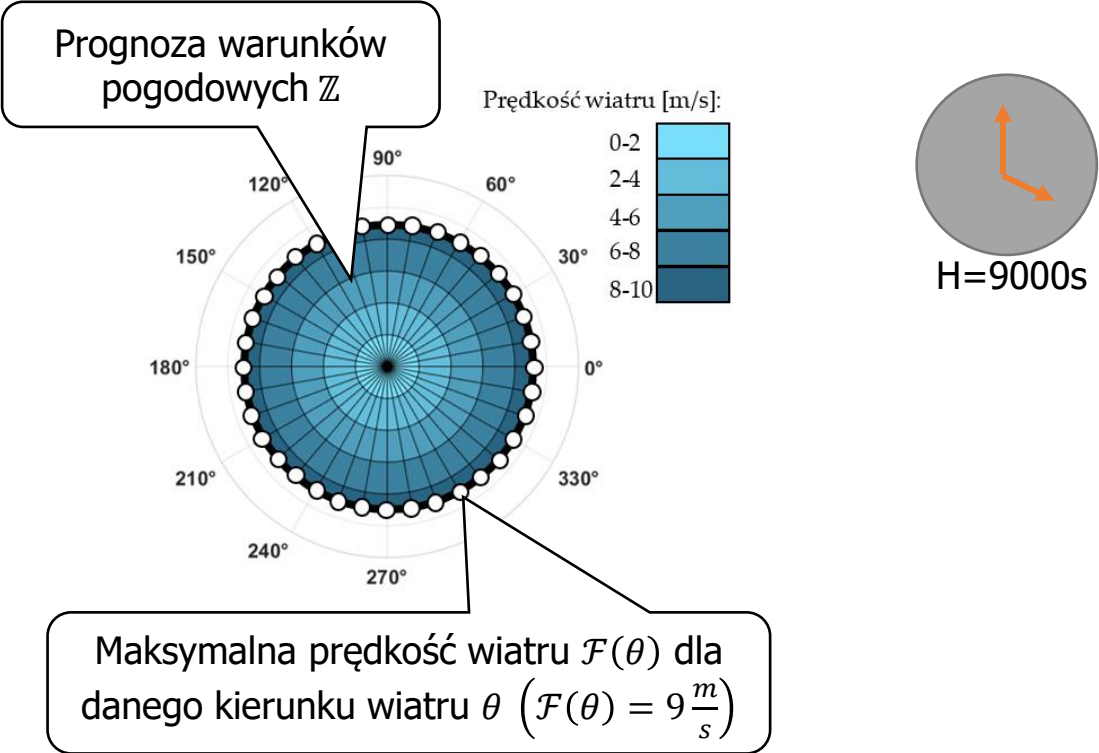
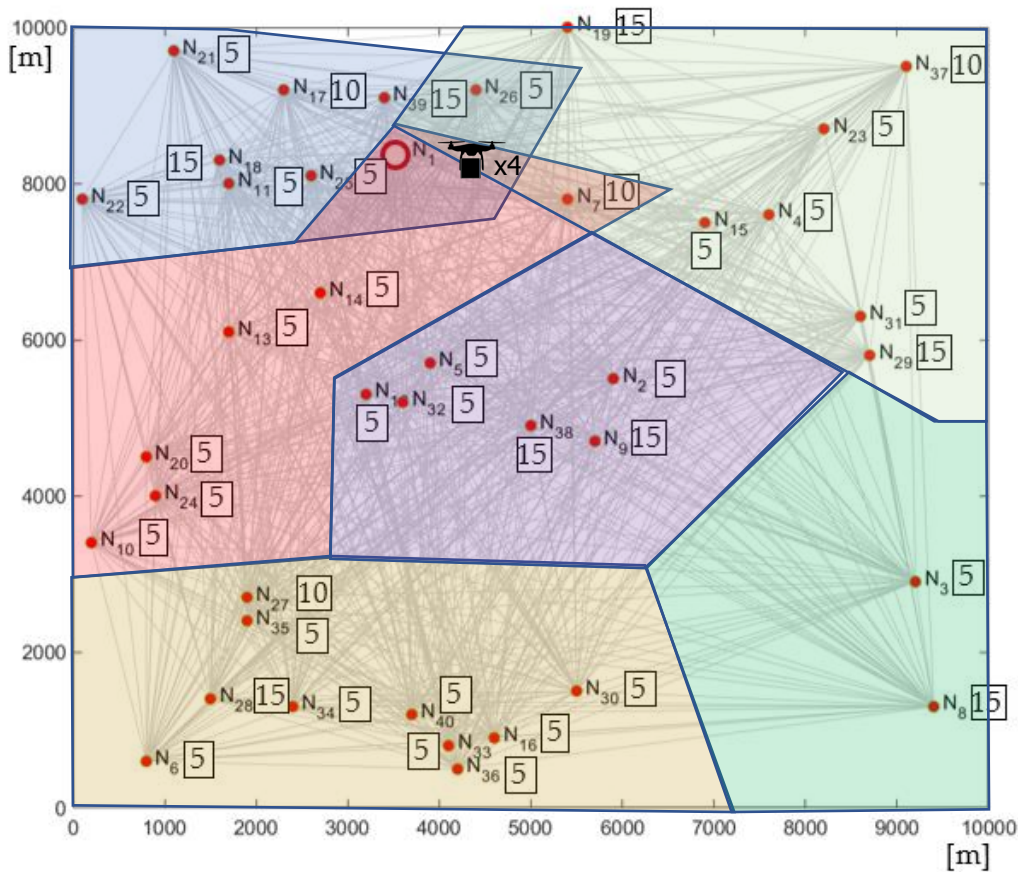
Parametry techniczne BSP	Wartość	Jednostka
Udźwig BSP Q	25	kg
 Pojemność baterii CAP	7500	kJ
Prędkość BSP v_a	20	$\frac{m}{s}$
Aerodynamiczny współczynnik oporu C_D	0.54	-
Powierzchnia czołowa BSP A	1.2	m^2
Szerokość BSP b	8.7	m

Metoda - przykład



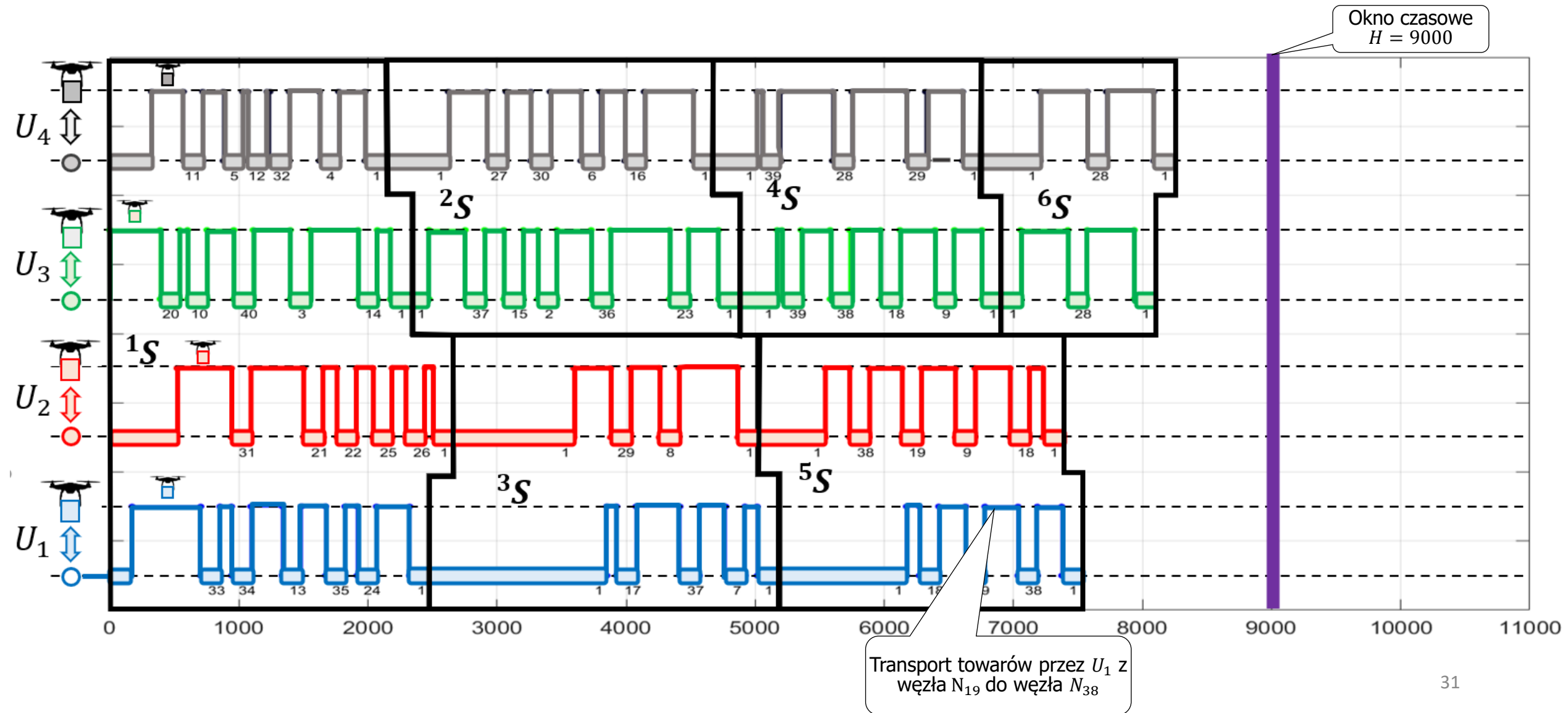
Parametry techniczne BSP	Wartość	Jednostka
Udźwig BSP Q	25	kg
 Pojemność baterii CAP	7500	kJ
Prędkość BSP v_a	20	$\frac{m}{s}$
Aerodynamiczny współczynnik oporu C_D	0.54	-
Powierzchnia czołowa BSP A	1.2	m^2
Szerokość BSP b	8.7	m

Metoda - przykład

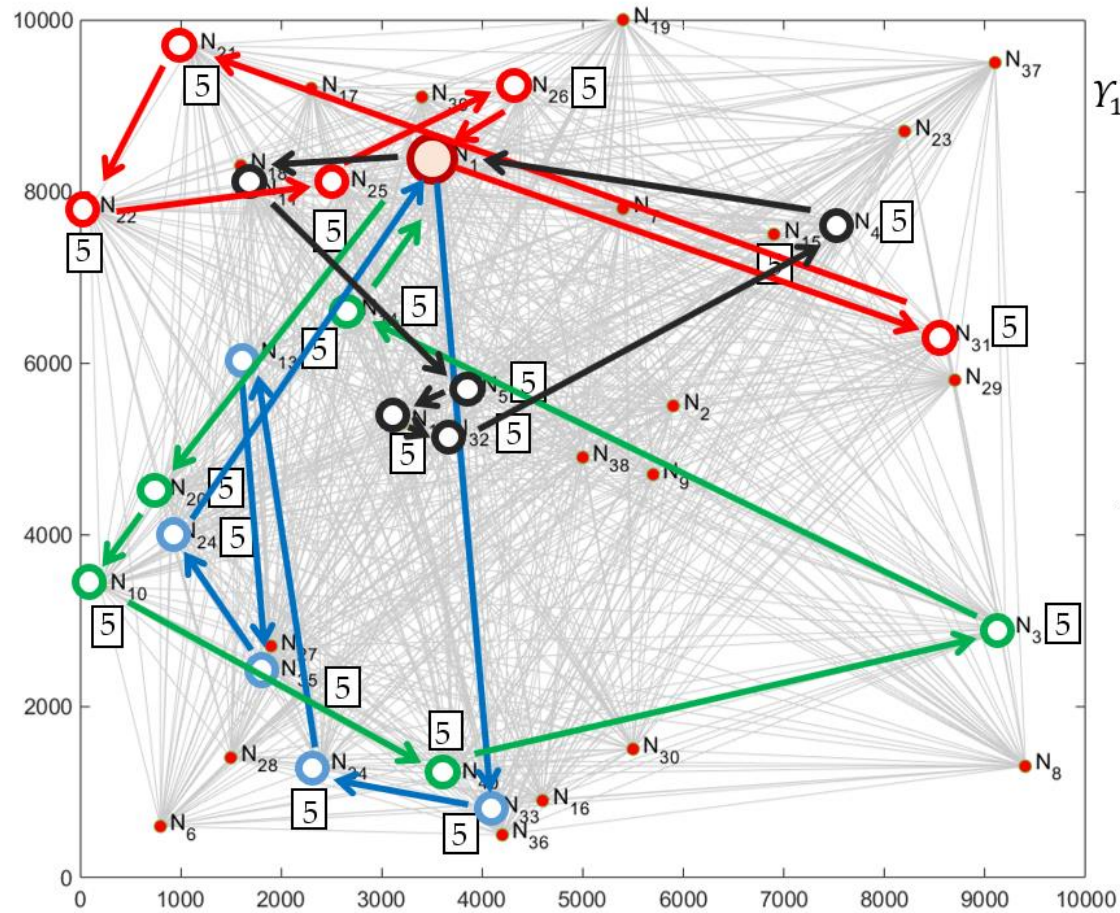


Parametry techniczne BSP	Wartość	Jednostka
Udźwig BSP Q	25	kg
 Pojemność baterii CAP	7500	kJ
Prędkość BSP v_a	20	$\frac{m}{s}$
Aerodynamiczny współczynnik oporu C_D	0.54	-
Powierzchnia czołowa BSP A	1.2	m^2
Szerokość BSP b	8.7	m

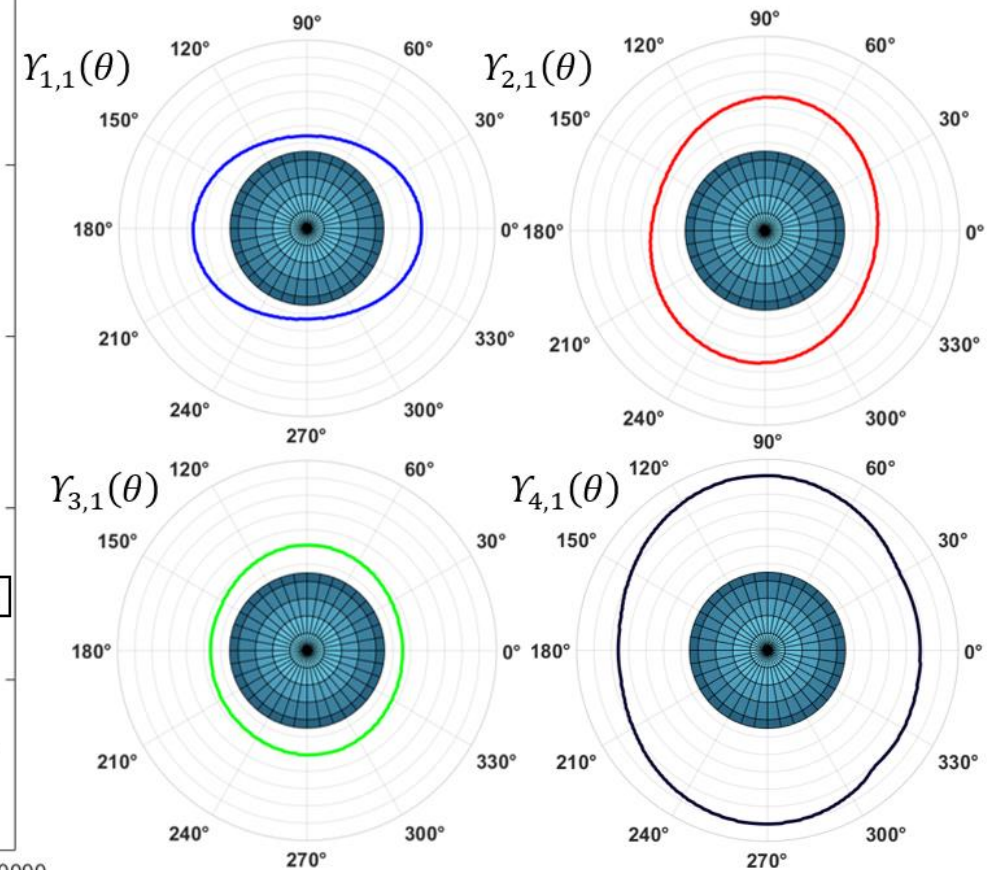
Metoda - przykład



Metoda - przykład



1_S



Rezultaty i wnioski

Rezultaty i wnioski

- Propozycja autorskiej miary odporności misji lotów BSP
- Opracowany model może być zaimplementowany w środowiskach programowania deklaratywnego (np. IBM ILOG CPLEX)
- Maksymalny rozmiar sieci: 5 dronów i 110 węzłów.

Przyszłe prace

- Zredagowanie rozprawy
 - Eksperymenty umożliwiające porównanie metody z innymi środowiskami
 - Dopracowanie twierdzenia
-
- Opracowanie metody reaktywnego wyznaczania misji lotów BSP
 - Wykorzystanie hybrydowych metod minimalizacji liczby zmiennych decyzyjnych i ograniczeń

Działalność naukowa – artykuły

Artykuł	Punktacja
Radzki G., Bocewicz G., Golińska-Dawson P., Jasiulewicz-Kaczmarek M., Witczak M., Banaszak Z. (2021) <i>Periodic Planning of UAVs' fleet mission with the uncertainty of travel parameters</i> (Konferencja FUZZ-IEEE 2021 - Przyjęty)	140
Radzki, G., Nielsen, I., Golińska-Dawson, P., Bocewicz, G., Banaszak, Z. (2021) <i>Reactive UAV Fleet's Mission Planning in Highly Dynamic and Unpredictable Environments. Sustainability</i> 2021, 13, 5228. https://doi.org/10.3390/su13095228	70
Thibbotuwawa, A.; Bocewicz, G.; Radzki, G.; Nielsen, P.; Banaszak, Z. (2020) UAV Mission Planning Resistant to Weather Uncertainty. <i>Sensors</i> 2020, 20, 515. https://doi.org/10.3390/s20020515	100
Radzki G., Nielsen P., Thibbotuwawa A., Bocewicz G., Banaszak Z. (2020) Declarative UAVs Fleet Mission Planning: A Dynamic VRP Approach. In: Nguyen N.T., Hoang B.H., Huynh C.P., Hwang D., Trawiński B., Vossen G. (eds) <i>Computational Collective Intelligence. ICCCI 2020. Lecture Notes in Computer Science</i> , vol 12496. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-63007-2_15	20

Działalność naukowa – artykuły w recenzji

Artykuł	Punktacja
Radzki G., Relich M., Bocewicz G., Banaszak Z. (2021) <i>Declarative Approach to UAVs Mission Contingency Planning in Dynamic Environments (Konferencja DCAI 2021: Special Session on AI-driven methods for Multimodal Networks and Processes Modelling (AIMPM 2021))</i>	20
Radzki G., Golinska-Dawson P., Bocewicz G., Banaszak Z. (2021) <i>Modelling robust delivery scenarios for a fleet of unmanned aerial vehicles in disaster relief missions. Journal of Intelligent&Robotic systems</i>	100

Działalność naukowa – wystąpienia

Wystąpienie	Punktacja
12th International Conference ICCCI 2020: „Declarative UAV’s fleet mission planning: A dynamic VRP approach”	20
17th International Conference DCAI 2020 – Advances in Intelligent System and Computing: „UAV’s fleet mission planning subject to robustness constraint”	20
XVII Krajowa Konferencja Studentów i Młodych Pracowników Nauki: „Planowanie misji BSP odpornych na zmiany warunków pogodowych”	-
IFAC World Congress 2020: „UAV’s mission planning robust to changing weather conditions”	20
XVI Krajowa Konferencja Studentów i Młodych Pracowników Nauki: „Problem marszrutyzacji floty dronów”	-

Dziękuję za uwagę