

Катедра "Информационни системи и технологии"

Факултет по Информационни науки



УНИВЕРСИТЕТ ПО БИБЛИОТЕКОЗНАНИЕ И ИНФОРМАЦИОННИ ТЕХНОЛОГИИ

# ЕДНО- И МНОГОКРИТЕРИАЛНИ МОДЕЛИ ЗА ОПТИМАЛНО ПРОЕКТИРАНЕ НА ВЕТРОЕНЕРГИЙНИ ПАРКОВЕ

доц. д.н. Даниела Борисова

## ИЗСЛЕДВАНЕ НА ОПЕРАЦИИТЕ

- **Информационните технологии** са дял на **техниката**, чиято основна задача е автоматизиране и систематизиране на работата с информация с помощта на **изчислителна техника (компютри)**.
- Изследване на операции (ИО) е **научен подход** към анализиране на проблеми за вземане на решение. Цел на ИО е осигуряване на **рационална база за вземане на решение**, позволяваща предсказване поведението на системите и подобряване на тяхното използване.
- ИО е **интердисциплинарен** клон на приложната математика, който използва съвременни аналитични методи като математическо моделиране, статистически анализ и математическа оптимизация за определяне на оптимални или близки до оптималните решения на сложни проблеми, свързани с вземане на решения.
- Често тези проблеми се свеждат до определяне на **оптимална стойност** – максимална печалба или минимални разходи по отношение на реални **критерии за ефективност**.

- Крайъгълен камък в ИО е **математическото моделиране**. То е необходимо за прилагане на количествени методи за изследване на обектите или процесите.
- При построяване на математически модел се определят най-важните зависимости на системата, описани с помощта на адекватен математически апарат. Определят се **количествените връзки, параметрите на решението и изходни резултати**, използвани като индикатор за ефективността на решението.
- Общи методи за построяването на математическите модели не съществуват.
- За всеки конкретен случай се изгражда конкретен модел, изхождайки от спецификата на проблема.

Броят на ВТ в еди  
Разположението на Б  
различни ограничения,  
основните ограничения с  
пространство, където скоростта на вятъра намалява и интензивността на турбулентността на въздуха се увеличава.

ограничен в  
с пр  
даг взет.  
та, че зад всяка  
е формира

ена площ.  
ществуват  
Едно от

# ОЦЕНКА НА ВЕТРЕНА ЕНЕРГИЯ

Често се използва за оценка на ветрената енергия, която може да бъде генерирана от даден вятърен парк, се използва следната формула:

$$P = \frac{1}{2} \rho A v^3$$

където:

- $P$  е мощността на вятъра (W);
- $\rho$  е плътността на въздуха ( $\text{kg/m}^3$ );
- $A$  е площта на вятърната турбина ( $\text{m}^2$ );
- $v$  е скоростта на вятъра ( $\text{m/s}$ ).

# ОПТИМАЛНО ПРОЕКТИРАНЕ НА ВЕТРОЕНЕРГИЙНИ ПАРКОВЕ – ЕДНОКРИТЕРИАЛЕН ОПТИМИЗАЦИОНЕН МОДЕЛ

За целите на проектирането на този клас системи е предложен еднокритериален оптимизационен модел, определящ едновременно **типа, броя и разположението** на ВТ и целящ минимизиране на отношението между разходи и инсталирана мощност.

$$\min \left( \frac{costs}{P} \right)$$

при ограничения

$$costs = N \left( \frac{2}{3} + \frac{1}{3} \exp(-0.00174 N^2) \right)$$

$$P = h_y \eta N P_{wt}$$

$$N = N_{row} N_{col}, \text{ integer}$$

$$N_{row} = \frac{L_x}{k_{row} D} + 1$$

$$N_{col} = \frac{L_y}{k_{col} D} + 1$$

$$k_{row}^{\min} \leq k_{row} \leq k_{row}^{\max}, k_{row} > 0$$

$$k_{col}^{\min} \leq k_{col} \leq k_{col}^{\max}, k_{col} > 0$$

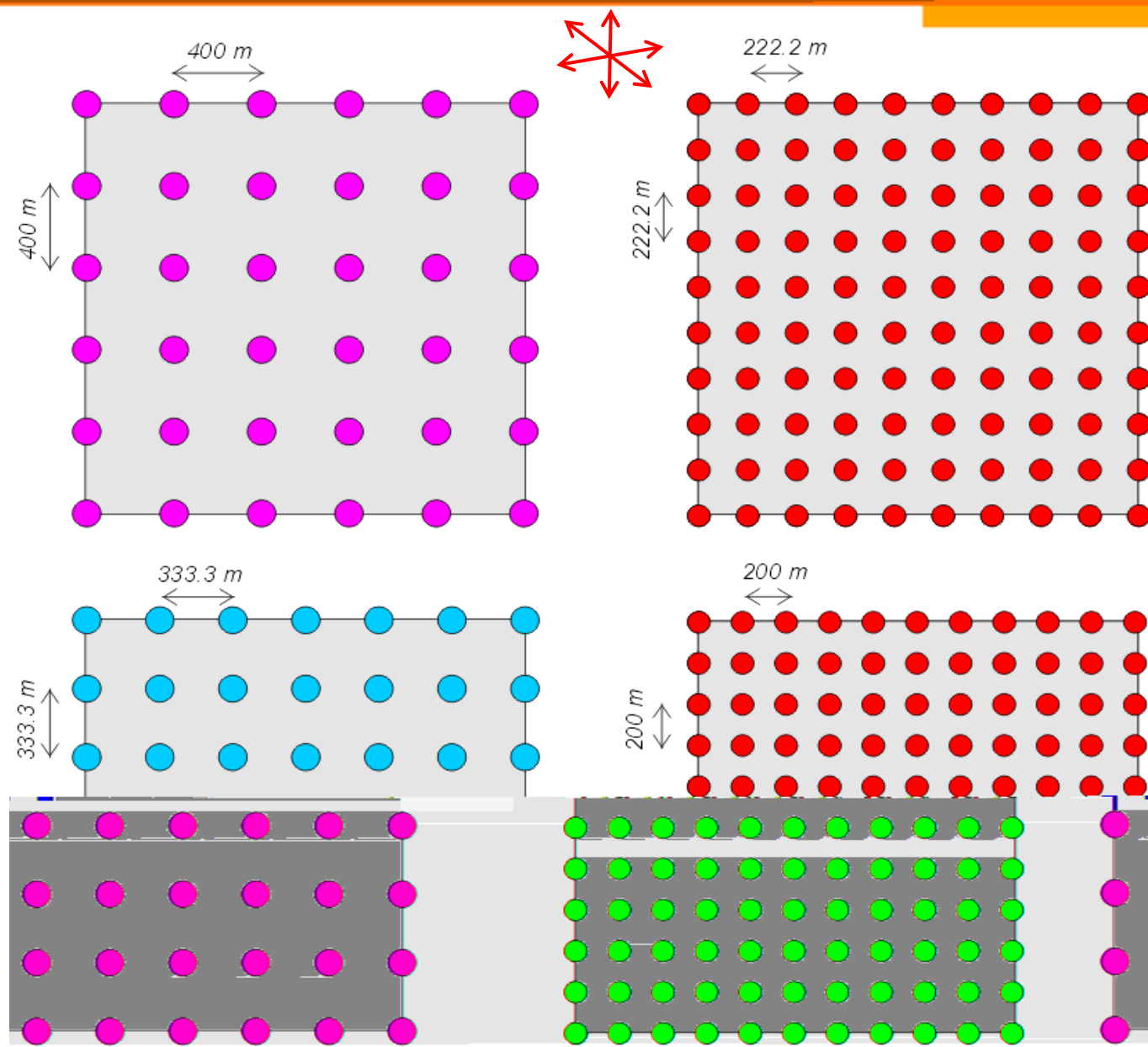
$$P_{wt} = \sum_i^m x_i P_{wt}^i$$

$$D = \sum_i^m x_i D_{wt}^i$$

$$\sum_i^m x_i = 1, x \in \{0,1\}$$

# ОПТИМАЛНО ПРОЕКТИРАНЕ НА ВЕТРОЕНЕРГИЙНИ ПАРКОВЕ – ЕДНОКРИТЕРИАЛЕН ОПТИМИЗАЦИОНЕН МОДЕЛ

Square shape  
*with dimensions*  
*2 km x 2 km,*  
different restrictions  
and uniform wind  
directions.

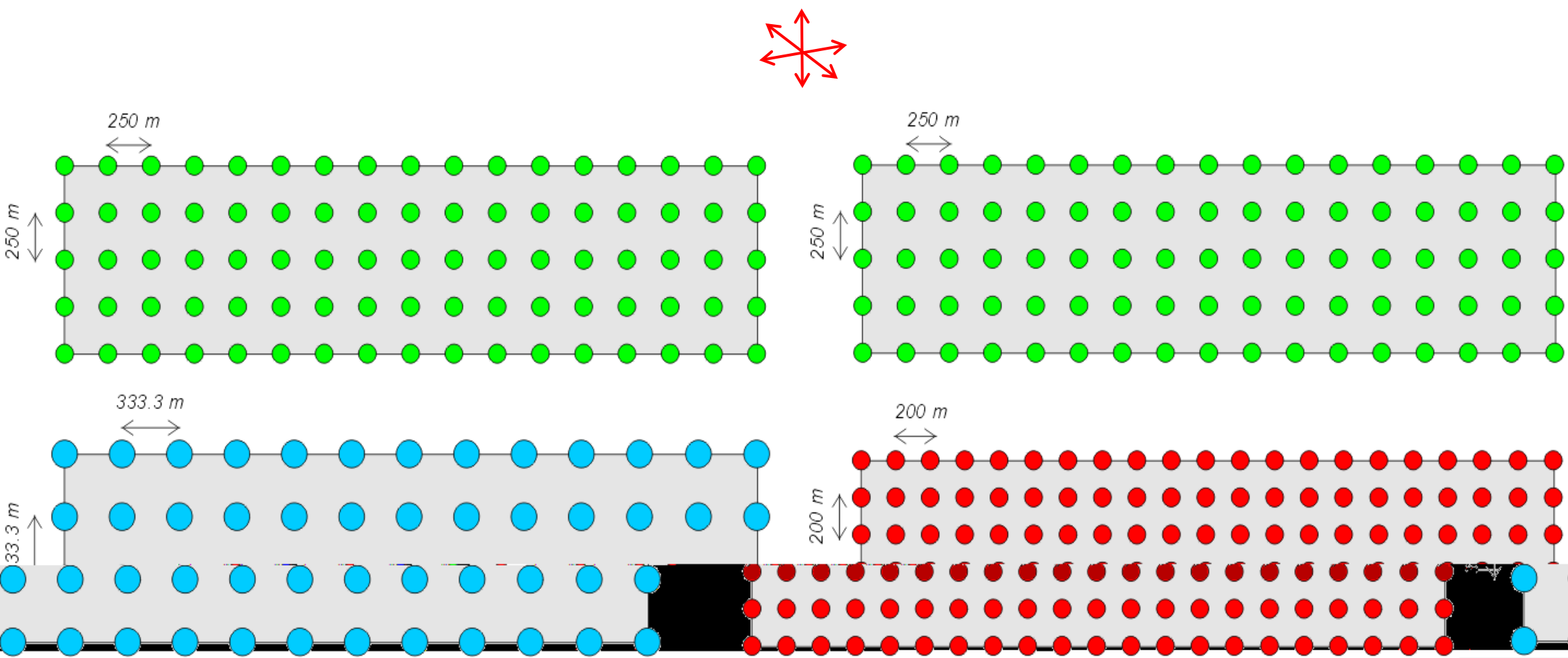


Фиг. 2. Разположение на ВТ при вятър от всички посоки и  
квадратна форма на ВЕП



# ОПТИМАЛНО ПРОЕКТИРАНЕ НА ВЕТРОЕНЕРГИЙНИ ПАРКОВЕ – ЕДНОКРИТЕРИАЛЕН ОПТИМИЗАЦИОНЕН МОДЕЛ

Rectangular shape with dimensions **4 km x 1 km**  
and different restrictions.

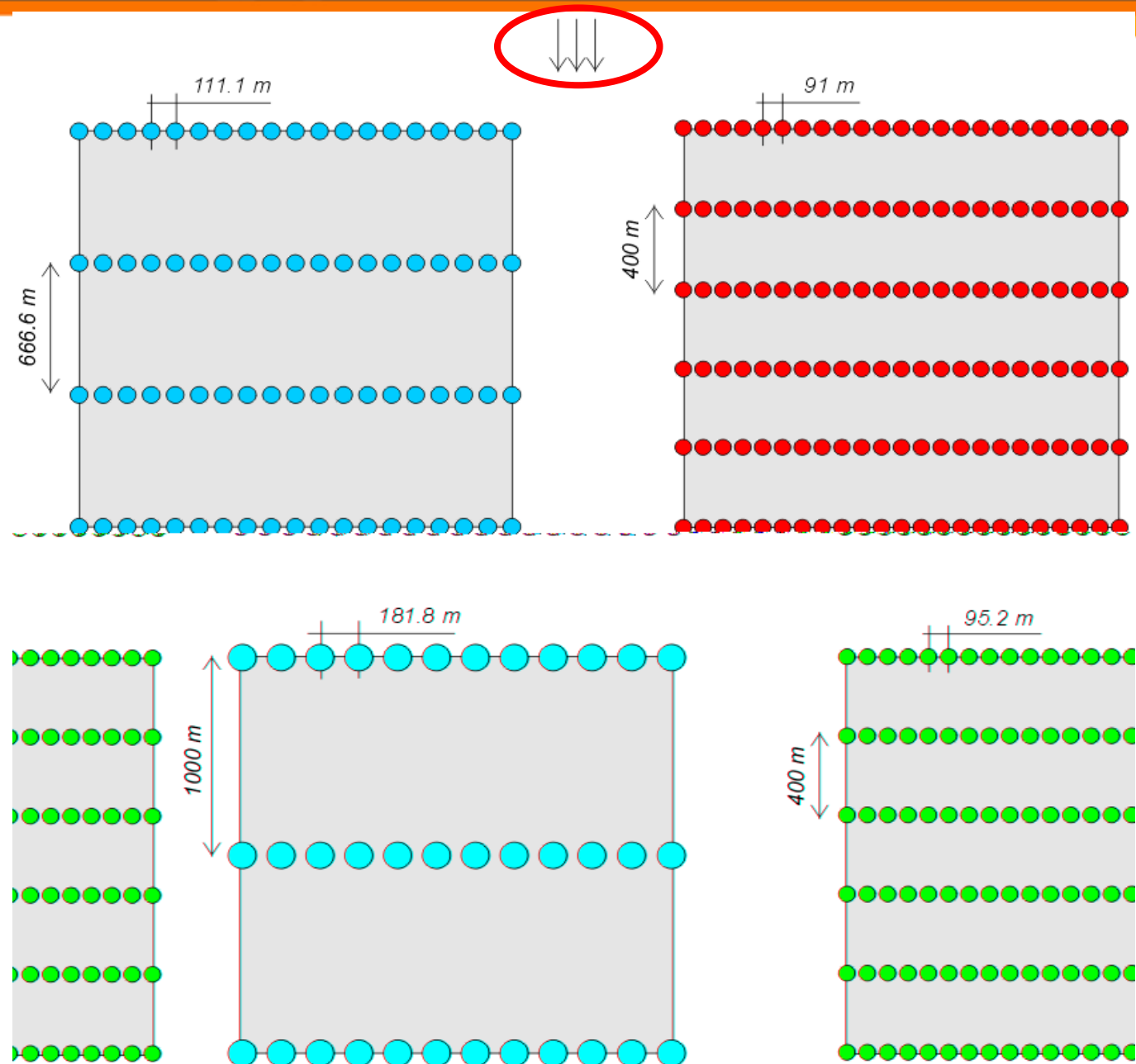


*Fog. 3. Location of WT within wind farm with uniform wind directions and rectangular shape*



# ОПТИМАЛНО ПРОЕКТИРАНЕ НА ВЕТРОЕНЕРГИЙНИ ПАРКОВЕ – ЕДНОКРИТЕРИАЛЕН ОПТИМИЗАЦИОНЕН МОДЕЛ

Square shape  
*with dimensions*  
*2 km x 2 km,*  
different restrictions  
and predominant wind  
direction.



Фиг. 4. Location of WT within wind farm with predominant wind direction and square shape

# ОПТИМАЛНО ПРОЕКТИРАНЕ НА ВЕТРОЕНЕРГИЙНИ ПАРКОВЕ – ЕДНОКРИТЕРИАЛЕН ОПТИМИЗАЦИОНЕН МОДЕЛ

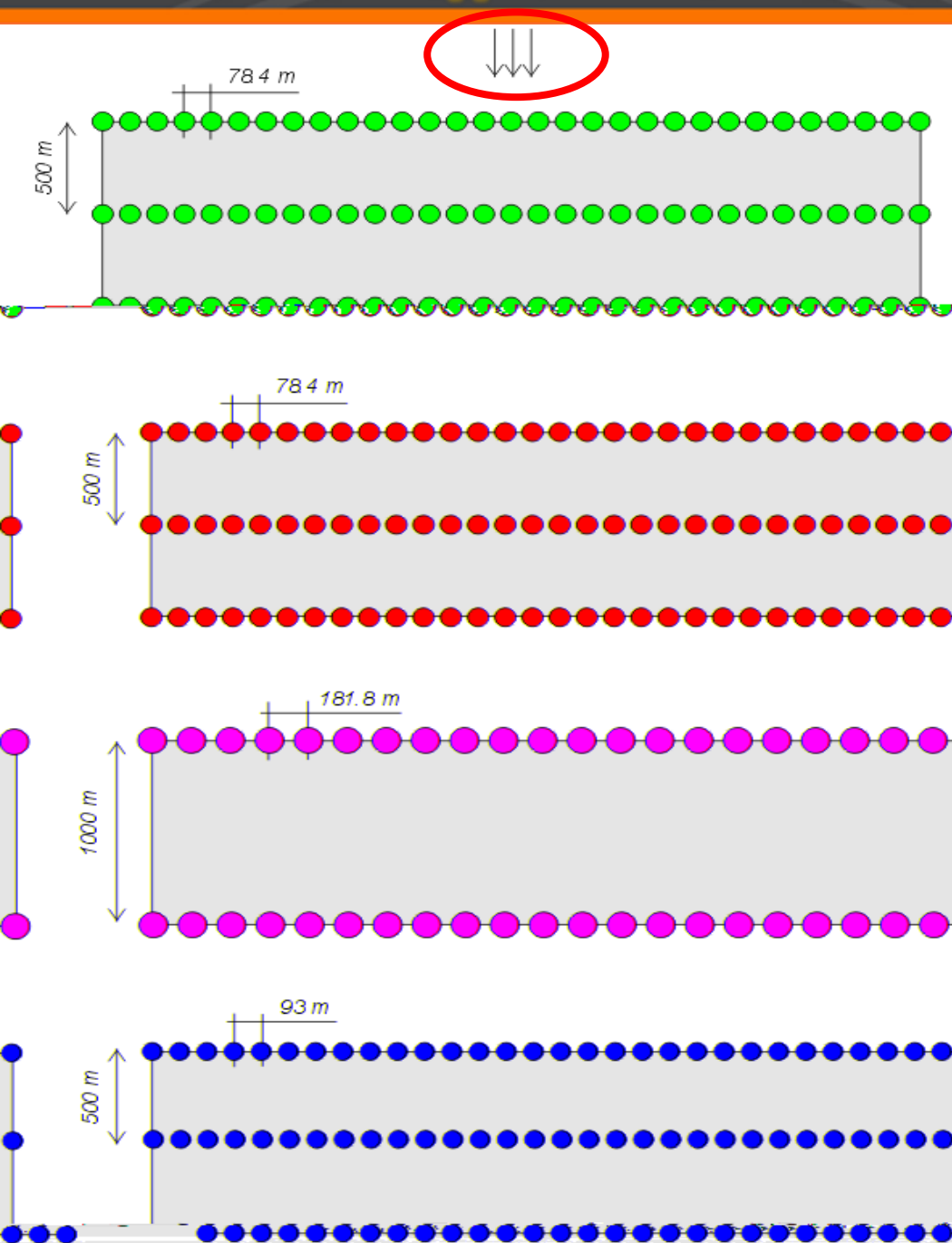


Fig. 5. Location of WT within wind farm with predominant wind direction and rectangular shape



Fig. 6. Location of WT within wind farm with predominant wind direction and rectangular shape

# ОПТИМАЛНО ПРОЕКТИРАНЕ НА ВЕТРОЕНЕРГИЙНИ ПАРКОВЕ – МНОГОКРИТЕРИАЛЕН ОПТИМИЗАЦИОНЕН МОДЕЛ

A multicriteria model for designing of wind farm solving by following solution methods:

- *weighted sum method*

$$\max \left( w_p \left( \frac{Power - Power^{min}}{Power^{max} - Power^{min}} \right) + w_c \left( \frac{Costs^{max} - Costs}{Costs^{max} - Costs^{min}} \right) \right)$$

$$w_p + w_c = 1$$

$$\max Power$$

$$\min Costs$$

при ограничения

$$Power = h_y \eta N P_{wt},$$

$$Costs = N \left( \frac{2}{3} + \frac{1}{3} e^{-0.00174 V^2} \right),$$

$$SD_x = k_x D_{wt} \quad SD_y = k_y D_{wt}$$

$$SD_y = k_y D_{wt}$$

$$N = N_x N_y$$

$$N_x = (L_x / SD_x) + 1, N_x - \text{integer}$$

$$N_y = (L_y / SD_y) + 1, N_y - \text{integer}$$

$$k_y^{\min} \leq k_y \leq k_y^{\max}, k_y > 0$$

$$k_x^{\min} \leq k_x \leq k_x^{\max}, k_x > 0$$

$$P_{wt} = \sum_i^m x_i P_{wt}^i$$

$$D_{wt} = \sum_i^m x_i D_{wt}^i$$

$$\sum_i^m x_i = 1, x \in \{0,1\}$$

# ОПТИМАЛНО ПРОЕКТИРАНЕ НА ВЕТРОЕНЕРГИЙНИ ПАРКОВЕ – МНОГОКРИТЕРИАЛЕН ОПТИМИЗАЦИОНЕН МОДЕЛ

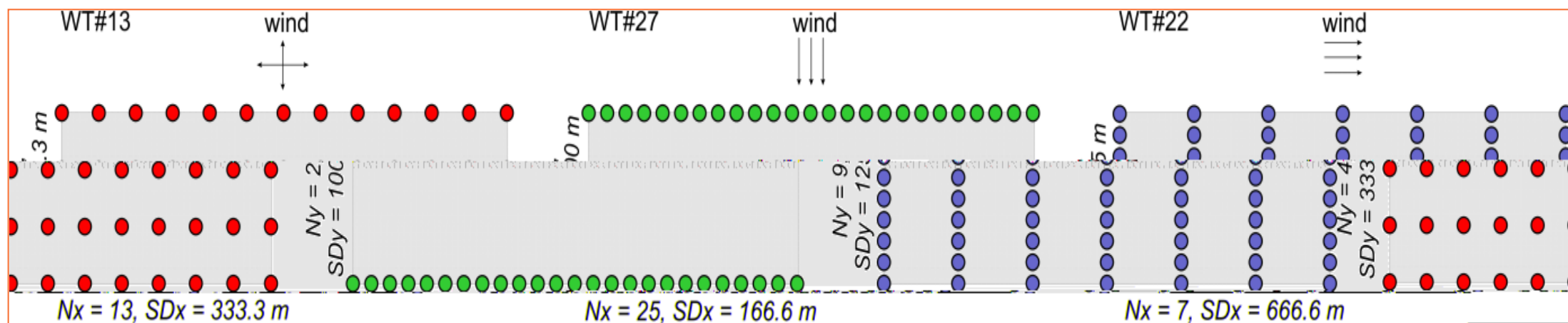


Fig. 7. Location of WT for different wind directions and  $w_c=0.1$ ,  $w_p=0.9$

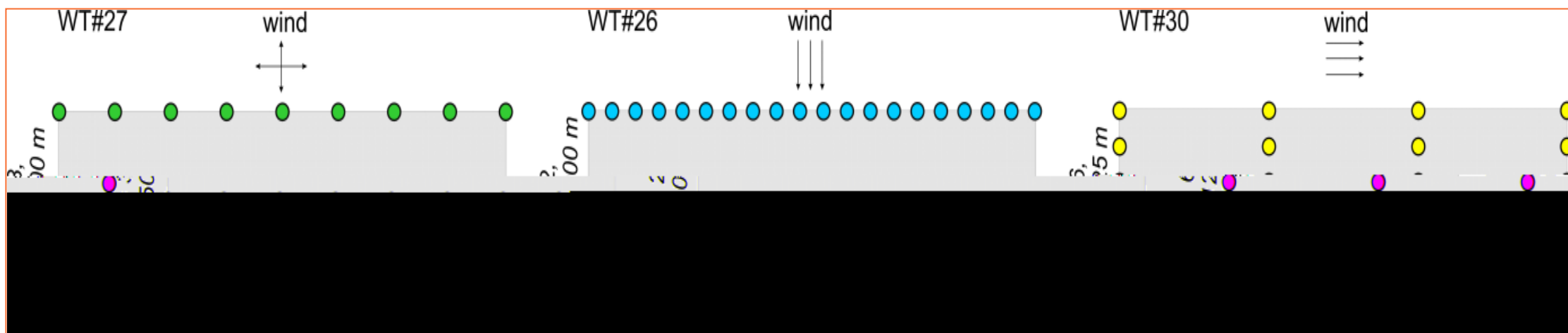


Fig. 8. Location of WT for different wind directions and  $w_c=0.9$ ,  $w_p=0.1$

# ОПТИМАЛНО ПРОЕКТИРАНЕ НА ВЕТРОЕНЕРГИЙНИ ПАРКОВЕ – МНОГОКРИТЕРИАЛЕН ОПТИМИЗАЦИОНЕН МОДЕЛ

- *Lexicographic Method:*



# ОПТИМАЛНО ПРОЕКТИРАНЕ НА ВЕТРОЕНЕРГИЙНИ ПАРКОВЕ – МНОГОКРИТЕРИАЛЕН ОПТИМИЗАЦИОНЕН МОДЕЛ

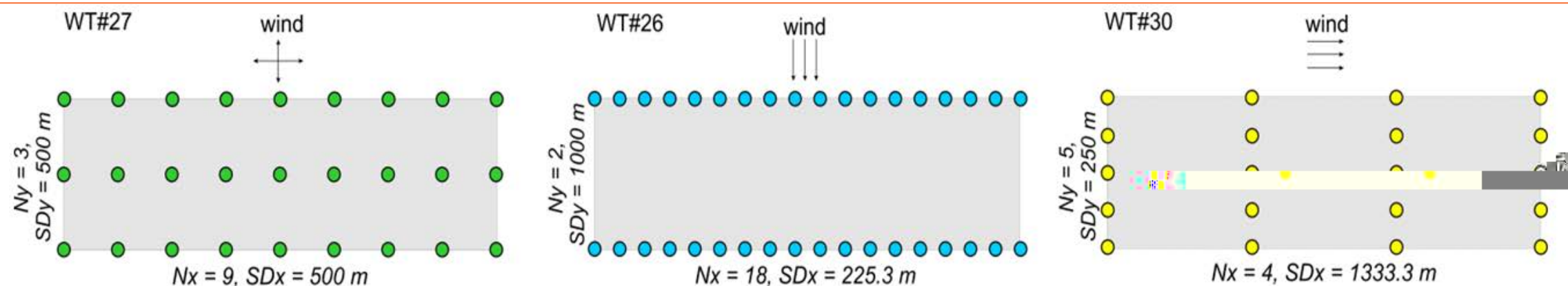


Fig. 9. Lexicographic order Power, Costs and  $\varepsilon = 0.7$

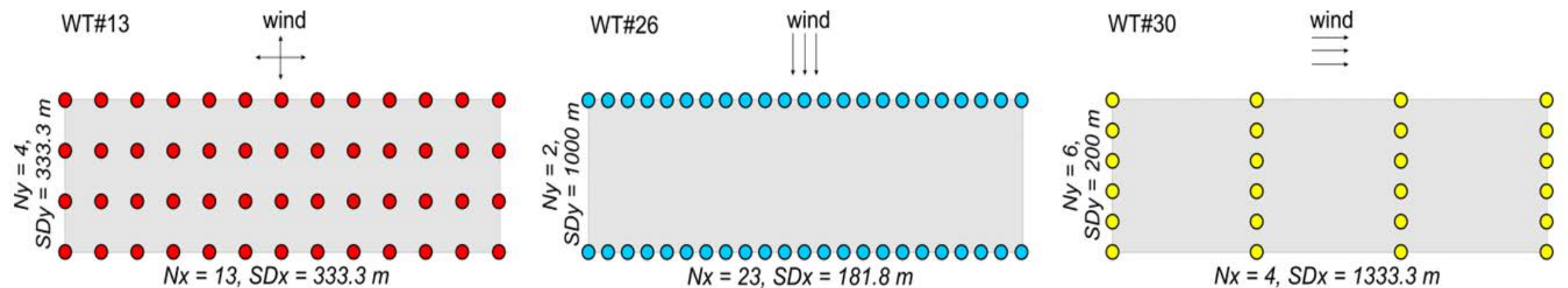


Fig. 10. Lexicographic order Power, Costs and  $\varepsilon = 0.9$

# ОПТИМАЛНО ПРОЕКТИРАНЕ НА ВЕТРОЕНЕРГИЙНИ ПАРКОВЕ – МНОГОКРИТЕРИАЛЕН ОПТИМИЗАЦИОНЕН МОДЕЛ

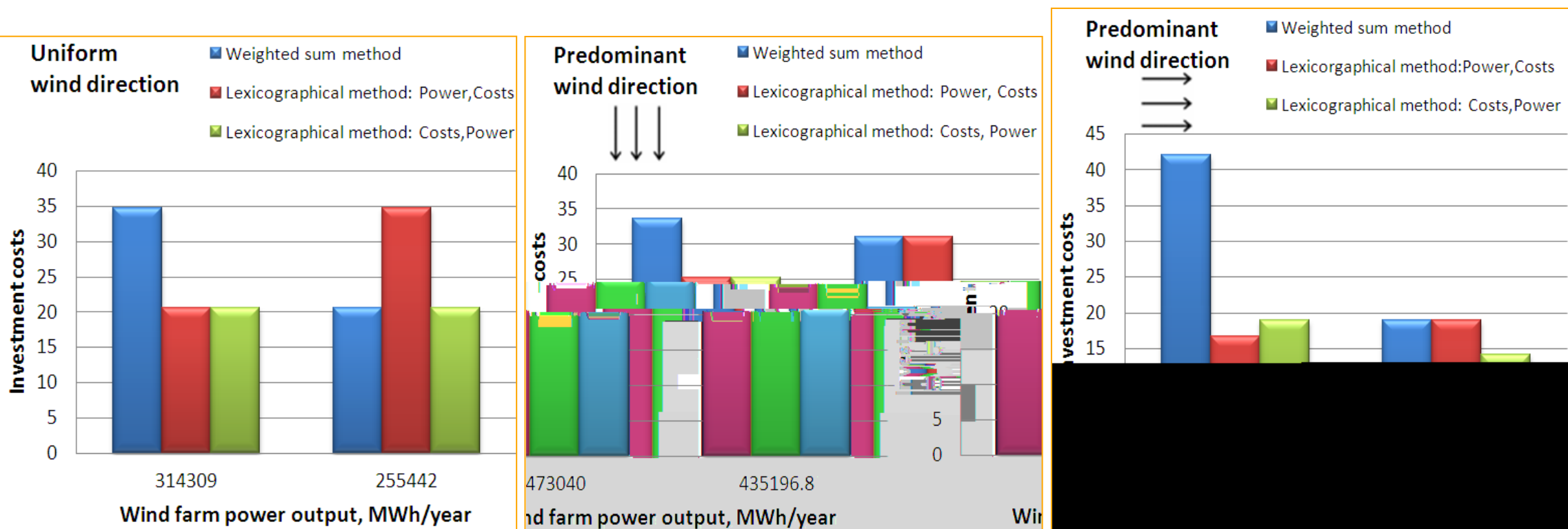


Fig. 11. Comparison of investment costs and expected power at various DM preferences



## A TWO-STAGE ALGORITHM FOR DETERMINATION OF DESIGN ALTERNATIVES AND CHOICE OF THE MOST SUITABLE ONE

A two-stage placement algorithm with multi-objective optimization and group decision making.

# A TWO-STAGE ALGORITHM FOR DETERMINATION OF DESIGN ALTERNATIVES AND CHOICE OF THE MOST SUITABLE ONE

**Step 1.2.** uses multi-objective combinatorial optimization as an analytical simulation tool for generation of different wind farm layout design alternatives:

**Step 2.3.** uses single criterion optimization modelling:

$$\max \sum_{i=1}^M \sum_{k=1}^K \alpha^k w_i^k A_i^k$$

subject to

$$\forall i = 1, 2, \dots, M: (\forall k = 1, 2, \dots, K: A_i^k = \sum_{j=1}^J a_{i,j}^k x_j)$$

$$\sum_{j=1}^J x_j = 1, x_j \in \{0, 1\}$$

$$\alpha^k \in (0, 1)$$

$$\max_{N_x, N_y, SD_x, SD_y} P_{wt} = \sum_{i=1}^m x_i P_{wt}^i$$

$$\min_{N_x, N_y, SD_x, SD_y} Cost = \sum_{i=1}^m x_i Cost^i$$

subject to

$$N_x = (L_x / SD_x) + 1$$

$$N_y = (L_y / SD_y) + 1$$

$$SD_x = k_x D_{wt}$$

$$SD_y = k_y D_{wt}$$

$$k_x^{\min} \leq k_x \leq k_x^{\max}, k_x \geq 0$$

$$k_y^{\min} \leq k_y \leq k_y^{\max}, k_y \geq 0$$

$$\sum_{i=1}^m x_i = 1, x_i \in \{0, 1\}$$

$$P_{wt} = \sum_{i=1}^m x_i P_{wt}^i$$

$$D_{wt} = \sum_{i=1}^m x_i D_{wt}^i$$

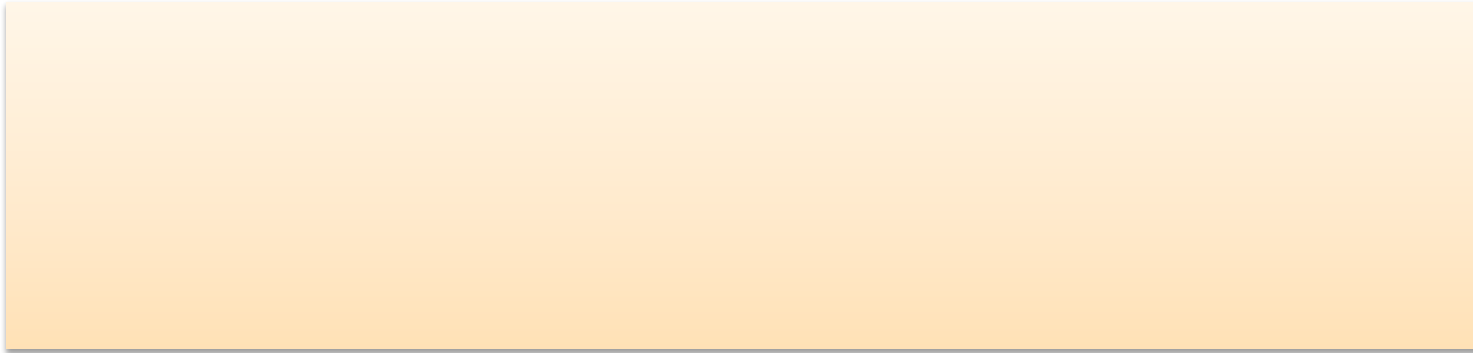
$$\sum_{i=1}^m x_i = 1, x_i \in \{0, 1\}$$

## **A TWO-STAGE ALGORITHM FOR DETERMINATION OF DESIGN ALTERNATIVES AND CHOICE OF THE MOST SUITABLE ONE**

The identical alternatives for different wind directions are visualized as overlapping circles:

# A TWO-STAGE ALGORITHM FOR DETERMINATION OF DESIGN ALTERNATIVES AND CHOICE OF THE MOST SUITABLE ONE

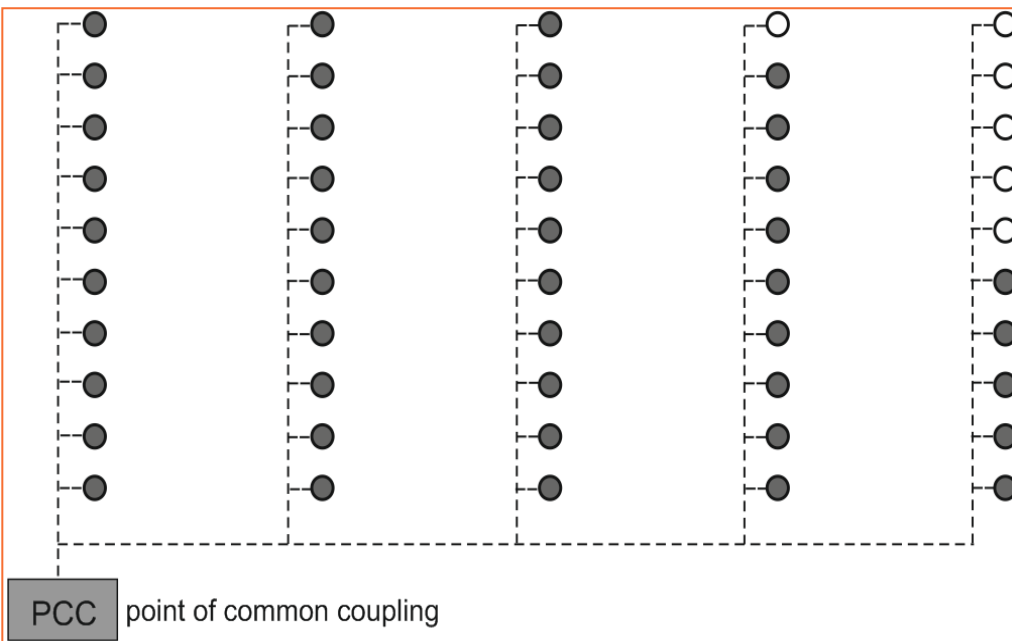
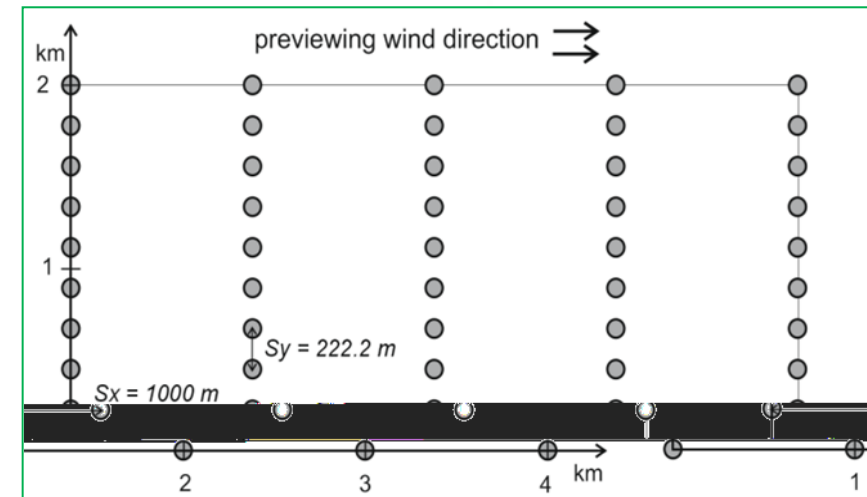
GDM results for different weights of DMs



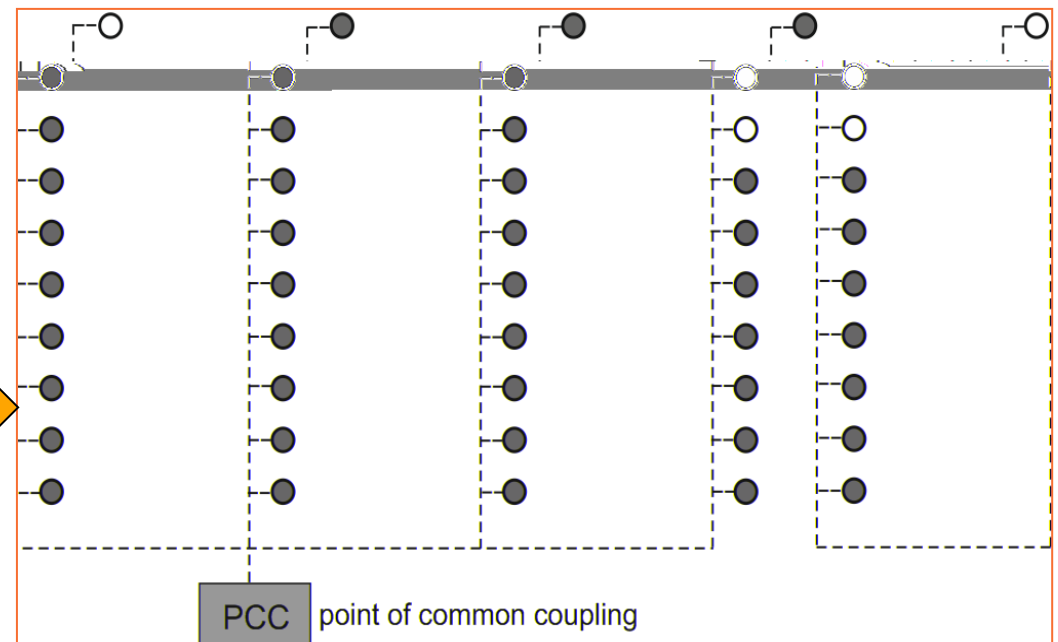
- 1) mixed-integer nonlinear optimization model for determination of the optimal wind turbines number and layout,
- 2) linear optimization model for determination of location of given number of turbines for which the distances to the point of common coupling are minimal.

# OPTIMAL PLANNING OF WIND FARM LAYOUT AND INTEGRATION TO ELECTRIC GRID INFRASTRUCTURE

Layout of turbines for maximum wind farm capacity under minimum cost per unit of annual energy:



Optimal positions for 44 WT considering location of point of common coupling





MIXED-IP

# MIXED-INTEGER MODEL FOR PLACEMENT OF OBJECTS AVOIDING FORBIDDEN ZONES

Generalized mixed-integer programming model for placement of objects  $O_{ij}$  avoiding forbidden zones:

$$\max F(N^O)$$

subject to

$$N^O = \sum_{i=1}^{N_x} \sum_{j=1}^{N_y} O_{ij}$$

$$N_x = (L_x/d_x) - 1, \text{ integer}$$

$$N_y = (L_y/d_y) - 1, \text{ integer}$$

$$\forall i \in \{1, \dots, N_x\}: J_1 = ai + C_1;$$

$$\forall i \in \{1, \dots, N_x\}: J_2 = ai + C_2;$$

$$d_x = k_x D_R \text{ and } d_y = k_y D_R$$

$$\forall i \in \{1, \dots, N_x\}: Z_1 = \frac{2j_c + \sqrt{(2j_c)^2 - 4(R^2 - i^2 - i2i_c)}}{2}$$

$$\forall i \in \{1, \dots, N_x\}: Z_2 = \frac{2j_c + \sqrt{(2j_c)^2 - 4(R^2 - i^2 - i2i_c)}}{2}$$

$$Z_1 \leq j \leq Z_2 \quad \forall i \in \{1, \dots, N_x\}: O_{ij} = \begin{cases} 0, & \forall j \in \{1, \dots, N_y\}: J_1 \leq j \leq J_2 \text{ or} \\ 1, & \text{otherwise} \end{cases}$$

## MIXED-INTEGER MODEL FOR PLACEMENT OF OBJECTS AVOIDING FORBIDDEN ZONES

The results of optimization task define **160 turbines** of given type to be installed outside of forbidden zones using grid layout with separation distances  $d_x = 1.75$  km and  $d_y = 0.361$  km. The output energy per unit of costs for particular offshore wind farm is equal to 32850.00 MW/h.

