



Інститут технічної теплофізики НАН України

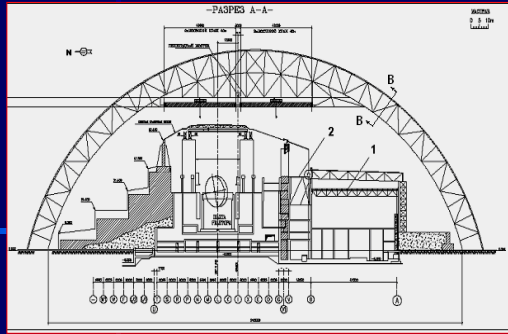
Скляренко Дмитро Ігорович, Круковський П.Г.

# **МОДЕЛЬ ЗОВНІШНЬОГО ОБТІКАННЯ ПОВІТРЯМ НОВОГО БЕЗПЕЧНОГО КОНФАЙНМЕНТА ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ АЕС**

**XII Міжнародної конференції «ПРОБЛЕМИ  
ТЕПЛОФІЗИКИ ТА ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ»,  
м. Київ, 26-27.10.2021 р.**

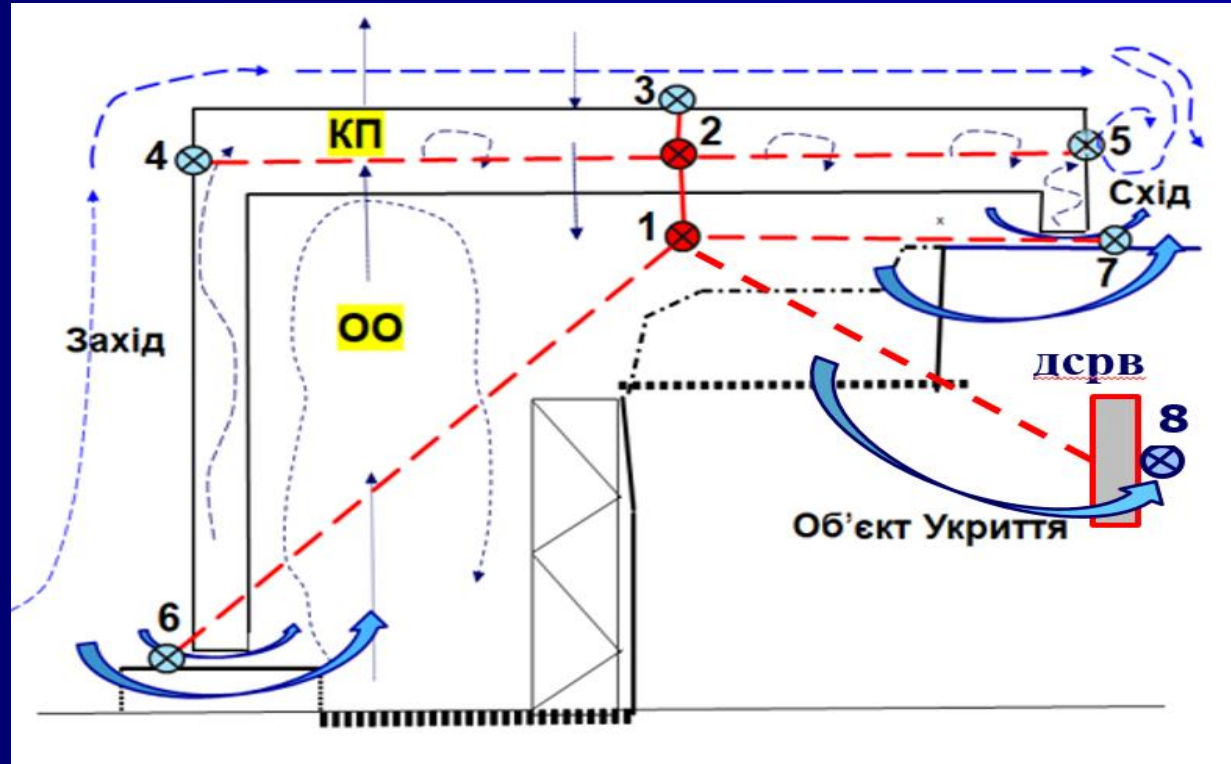
# ЗМІСТ

1. **Проблеми пов'язані з Новим Безпечним Конфайментом (НБК)**
2. **Чим корисна CFD модель НБК**
3. **Особливості CFD моделі НБК**
4. **Методика налаштування CFD моделі НБК**
5. **Попередні результати CFD моделі НБК**
6. **Висновки**



**НБК є захисною спорудою 4-го енергоблоку ЧАЕС який побудований з метою перетворення зруйнованого енергоблоку в екологічно безпечну систему для забезпечення безпеки персоналу НБК та оточуючого середовища (ОС).**

**За проектом передбачені площі протічок повітря із основного об'єму (ОО) та кільцевого простору (КП) НБК в ОС для початку та кінця експлуатації, тому що неможливо повністю загерметизувати НБК.**



	Проект, м <sup>2</sup>		Тести 2019, м <sup>2</sup>
	Початок експл.	Кінець експл.	
Зовн. оболонка	0,26	1,2	1,7
Внутр. оболонка	0,24	1,1	5
Західний зазор	0,6	0,6	3,1
Східний зазор	1,8	1,8	3,9

### Призначення НБК

1. Ізоляція ОУ
2. Розбірка ОУ

### Вимоги к НБК

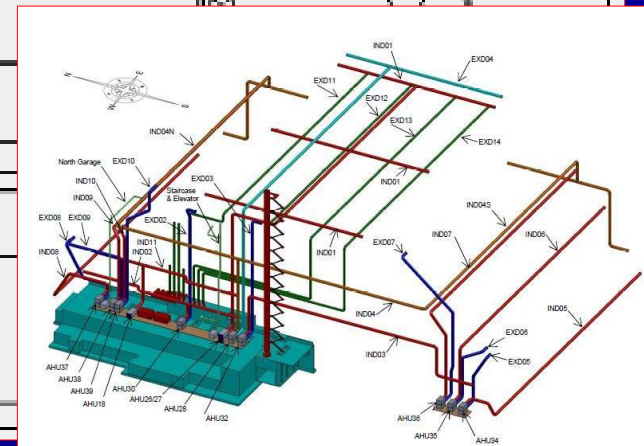
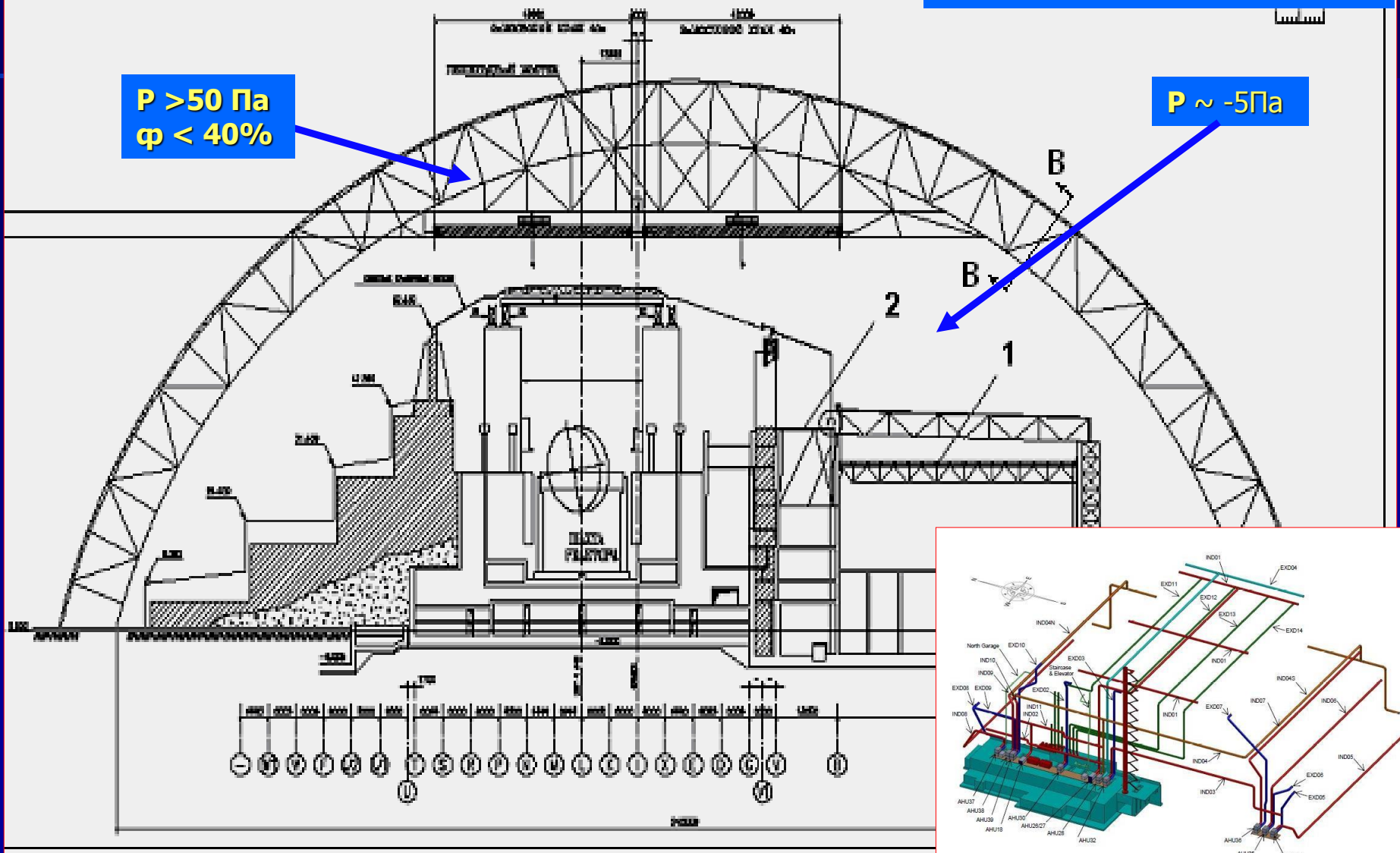
1. Герметичність
2. Ресурс (>100 років)

### Умови

1. Р в КП > 50, в ОО ~ -5 Па
2. Вологість в КП < 40%

### Кліматичні умови

1. Температура -22 - +31 C
2. Вологість 0 - 100 %
3. Вітер 0 - 25 м/с



# ЗМІСТ

1. **Проблеми пов'язані з Новим Безпечним Конфайментом (НБК)**
2. **Чим корисна CFD модель НБК**
3. **Особливості CFD моделі НБК**
4. **Методика налаштування CFD моделі НБК**
5. **Попередні результат CFD моделі НБК**
6. **Висновки**

Метою роботи є побудова CFD моделі зовнішнього обтікання повітрям НБК та подальше її налаштування по літературним та експериментальним даним ЧАЕС для отримання розподілу тисків по зовнішній поверхні НБК та будівельним конструкціям об'єкта «Укриття» при обтіканні повітрям, який дозволить в реальному часі отримувати прогнозні значення витрат  $Q$  ( $\text{м}^3/\text{с}$ ) протічок повітря з радіоактивними аерозолями (РА) назовні і всередину НБК та керувати вентиляційною системою НБК з метою не перевищення гранично допустимого рівня викиду РА із НБК.

Обчислювальна гідродинаміка (також CFD від англ. Computational fluid dynamics) - підрозділ механіки суцільних середовищ, що включає сукупність фізичних, математичних і чисельних методів, призначених для обчислення характеристик потокових процесів.

Карти тисків  $P_i$  НБК можливо перерахувати на будь-яке інше значення швидкості вітру  $V_{iv}$ , щоб постійно не перераховувати CFD модель НБК та розрахувати витрати протічок НБК за допомогою спрощеної моделі зосередженими параметрами балансів витрат повітря  $Q$  КП і ОО НБК.

$$P_i = P_0 \cdot \left(\frac{V_i}{V_0}\right)^2;$$

де:  $P_i$  – розрахунковий тиск для швидкості  $V_i$ , Па;  $P_0$  – відомий тиск для швидкості  $V_0$ , Па;  $V_i$  – швидкість для якої розраховують тиск  $P_i$ , м;  $V_0$  – швидкість для якої відомий тиск  $P_0$ , м.

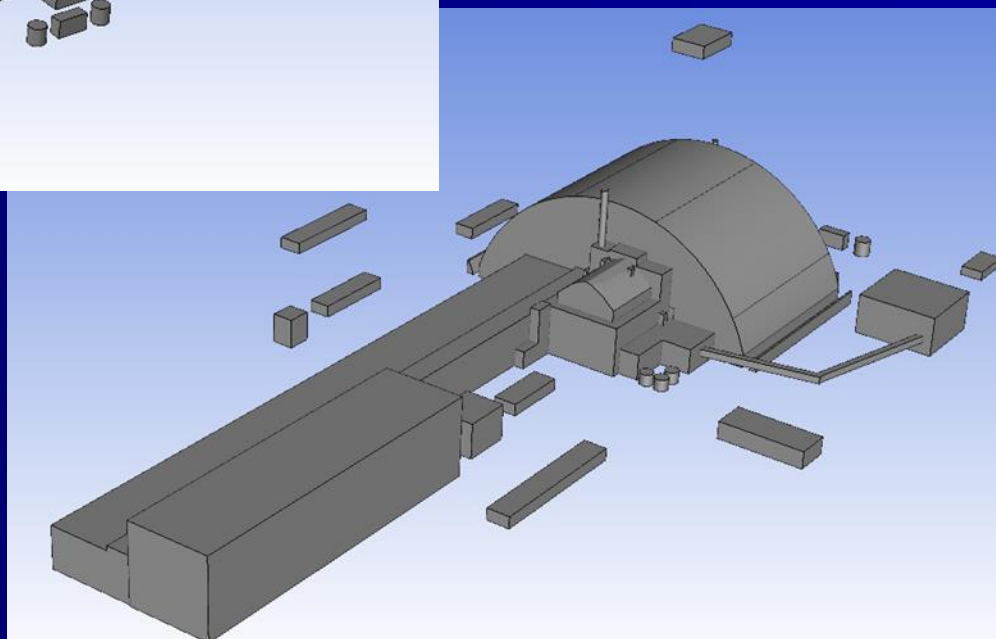
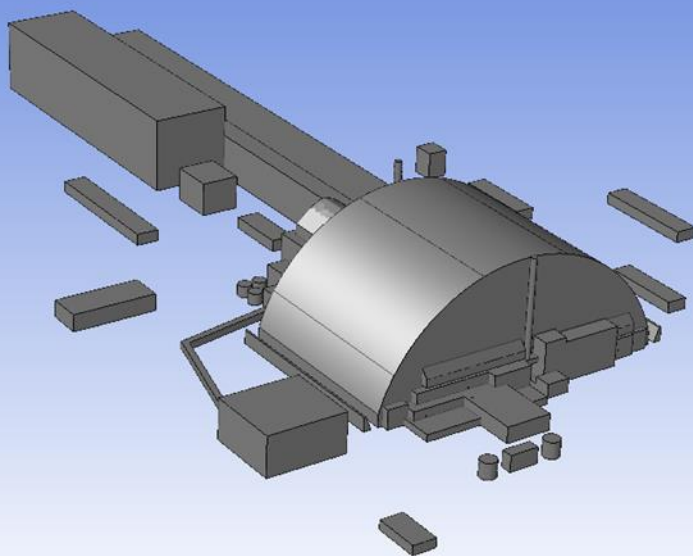
$$Q = 0,6 \cdot S \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho \cdot |\Delta P|}};$$

де: 0,6 – коефіцієнт витрати;  $S$  – умовна площа протічки між вибраними частинами НБК і оточуючим середовищем;  $\rho$  – густина повітря.

# ЗМІСТ

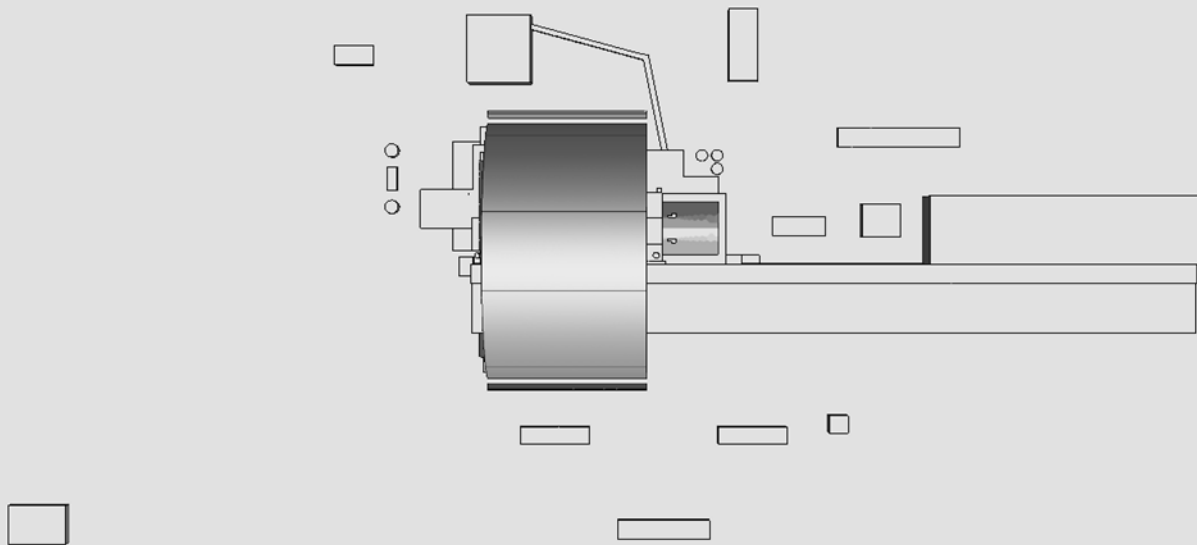
1. **Проблеми пов'язані з Новим Безпечним Конфайментом (НБК)**
2. **Чим корисна CFD модель НБК**
3. **Особливості CFD моделі НБК**
4. **Методика налаштування CFD моделі НБК**
5. **Попередні результат CFD моделі НБК**
6. **Висновки**

Геометрична модель НБК включають в себе Арку НБК, технологічну будівлю, деаераторну етажерку, машинний зал, блоки В та допоміжних систем реакторного відділення (ДСРВ), вентиляційні труби і безліч інших будівель на промисловому майданчику ЧАЕС. Відстань від НБК до бічних границь моделі складає не менше 1 км, а до верхньої границі 800 м. Модель була виконана в ПЗ Ansys Fluent.

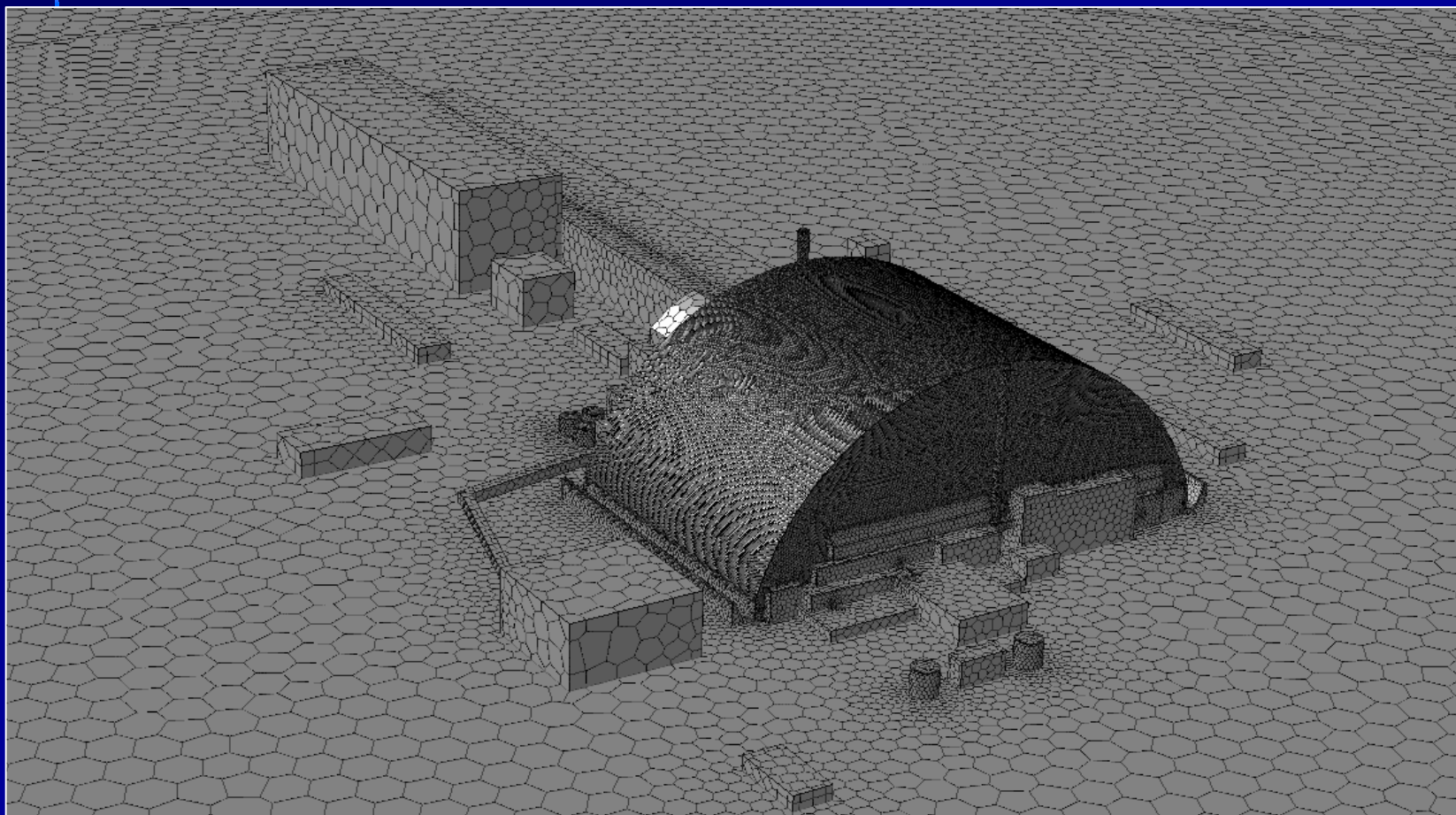




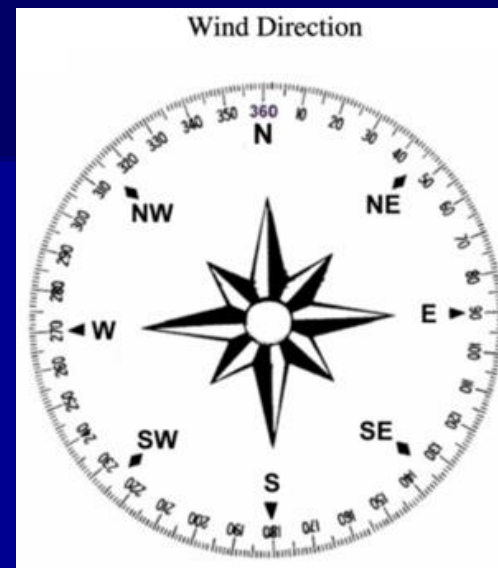
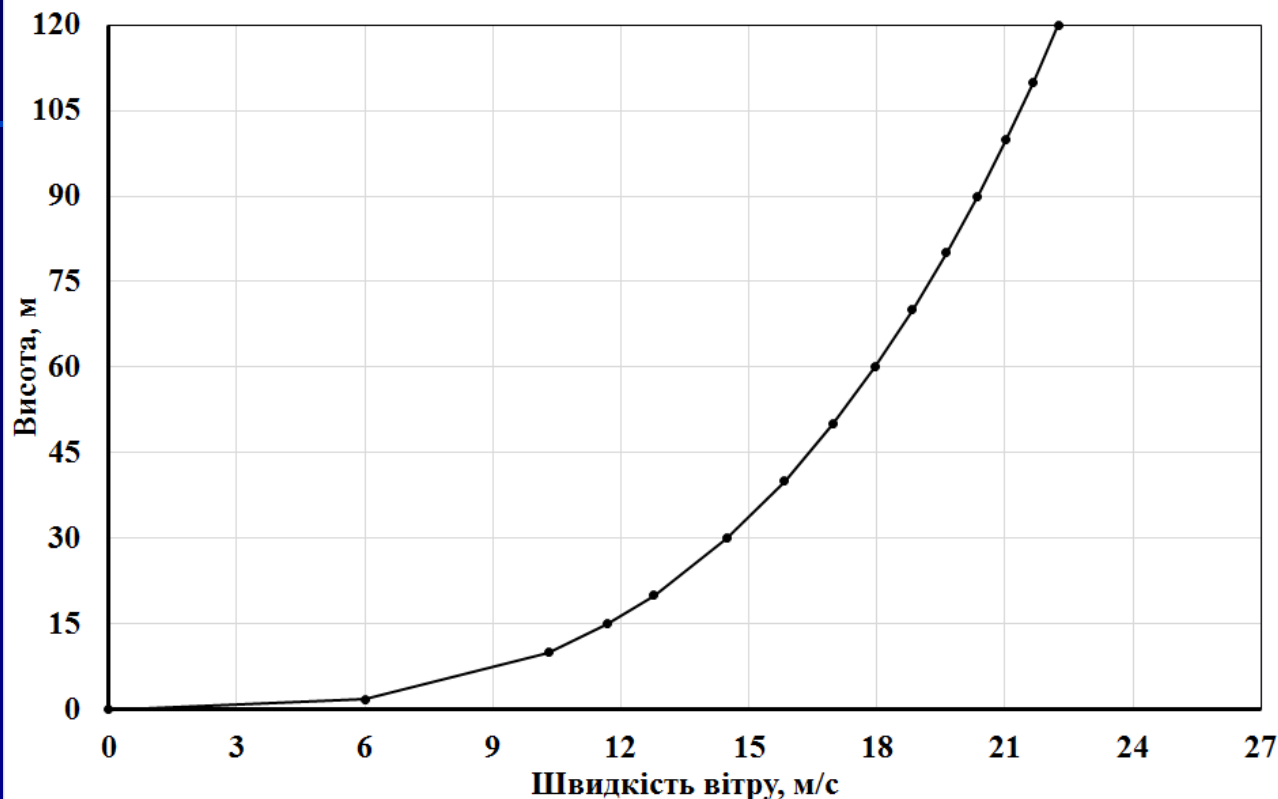
# Вид зверху на геометричну модель НБК



Розрахункова сітка тривимірної моделі НБК складається з 3,5 млн. комірок багатогранної форми, які згущалися до поверхні НБК. Згущення комірок проводилося для отримання результату прийнятеного по часу та сталих результатів розрахунку в CFD моделі зовнішнього обтікання НБК. Для правильного врахування обтікання вітру відстань від НБК до бокового краю розрахункової області вибрано не менше 1 км з урахуванням висоти НБК біля 110 м, а також атмосферним тиском на віддалені  $P_{\infty}=10^5$  Па.



На вхідній границі розрахункової області, згідно з експлуатаційними даними, задаються швидкості вітру за допомогою степеневого закону зміни швидкості по висоті для місцевості III типу та показником степеневого закону  $m=0,31$ , а також напрямом його руху.

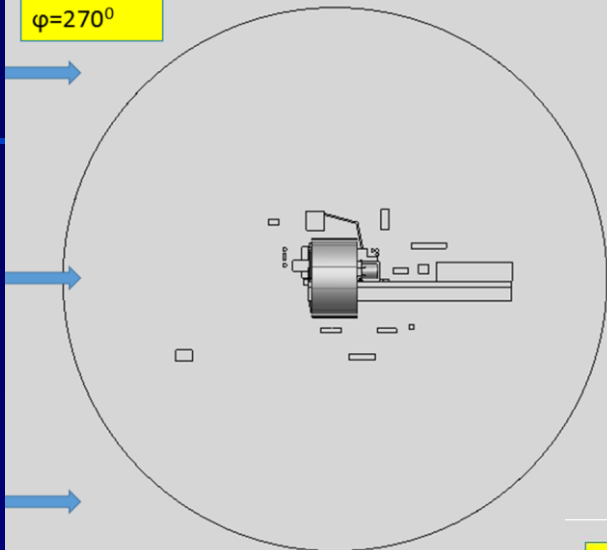


$$V_i = V_0 \cdot \left(\frac{h_i}{h_0}\right)^m;$$

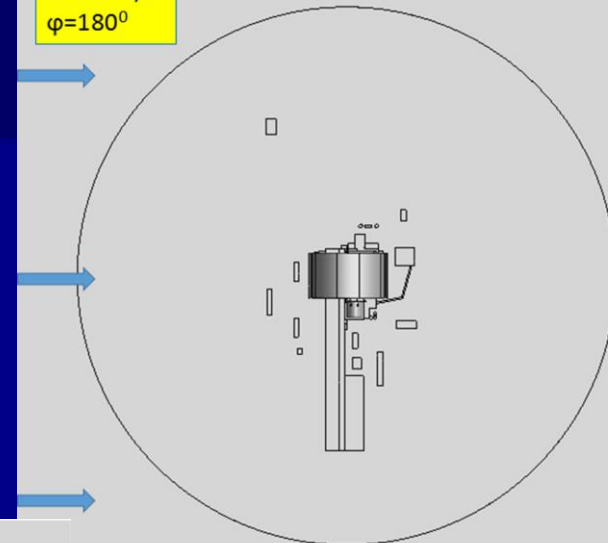
де:  $V_i$  – розрахункова швидкість вітру на висоті  $h_i$ , м/с;  $V_0$  – відома швидкість вітру на висоті  $h_0$ , м/с;  $h_i$  – висота на якій розраховують швидкість  $V_i$ , м;  $h_0$  – висота на якій відома швидкість  $V_0$ , м;  $m$  – показник степеневого закону зміни швидкості вітру з висотою.

# Напряг вітру враховувався за допомогою повороту внутрішнього об'єму повітря в CFD моделі НБК.

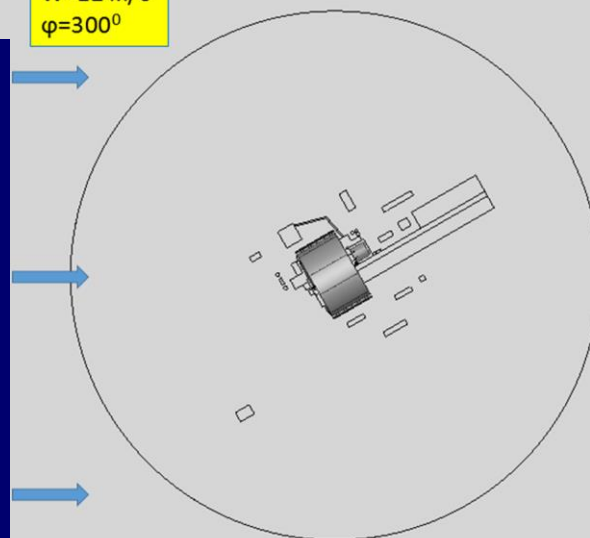
$W=12$  м/с  
 $\varphi=270^\circ$



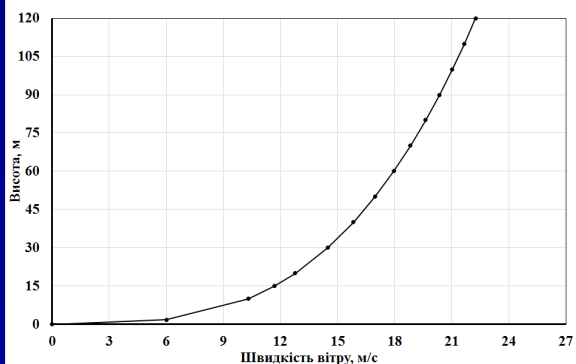
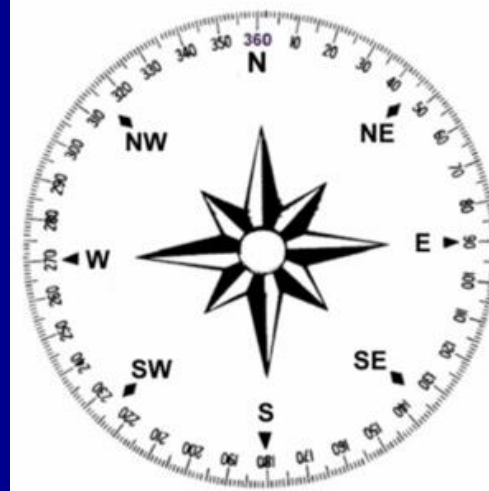
$W=12$  м/с  
 $\varphi=180^\circ$



$W=12$  м/с  
 $\varphi=300^\circ$



Wind Direction



Швидкість вітру, м/с

Висота, м

# ЗМІСТ

1. **Проблеми пов'язані з Новим Безпечним Конфайментом (НБК)**
2. **Чим корисна CFD модель НБК**
3. **Особливості CFD моделі НБК**
4. **Методика налаштування CFD моделі НБК**
5. **Попередні результат CFD моделі НБК**
6. **Висновки**

## Експериментально-розрахунковий підхід



### Використані літературні дані:

1. Вальгер С.А., Федоров А.В., Федорова Н.Н. Моделирование несжимаемых турбулентных течений в окрестности плохообтекаемых тел с использованием ПК ANSYS Fluent // Вычислительные технологии. – 2013. – Том 18. – №5. – с.27-40.
2. CEN. Eurocode EN 1991-1-4: Actions on Structures—Part 1-4: General Actions—Wind Actions; European Committee for Standardization: Brussels, Belgium, 2010.
3. Chrysanthos Maraveas. Wind Pressure Coefficients on Greenhouse Structures // Agriculture. – 2020. – №. 10,149. – P. 1 - 21.

Експериментальні дослідження ЧАЕС за 2020-2021 роки.

Під час налаштування CFD моделі НБК налаштовувався зміний профіль швидкості вітру по висоті, шорсткість поверхні, інтенсивність та масштаб турбулентності на вході в розрахункову область, модель турбулентності та її параметри, температуру землі, а також геометрію будівель на промайданчику ЧАЕС.

Найменування стіни перешкоди прямокутної форми [1]	Статичний тиск, Па	
	Стаття [1]	CFD модель
навітряна стіна	9	9,7
підвітряного стіна	-5	-4,2

Найменування стіни теплиці з дахом арочної форми [2,3]	Статичний тиск, Па	
	EN 1991-1-4 [2]	CFD модель
навітряна стіна	20	22
підвітряного стіна	-14	-13

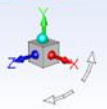
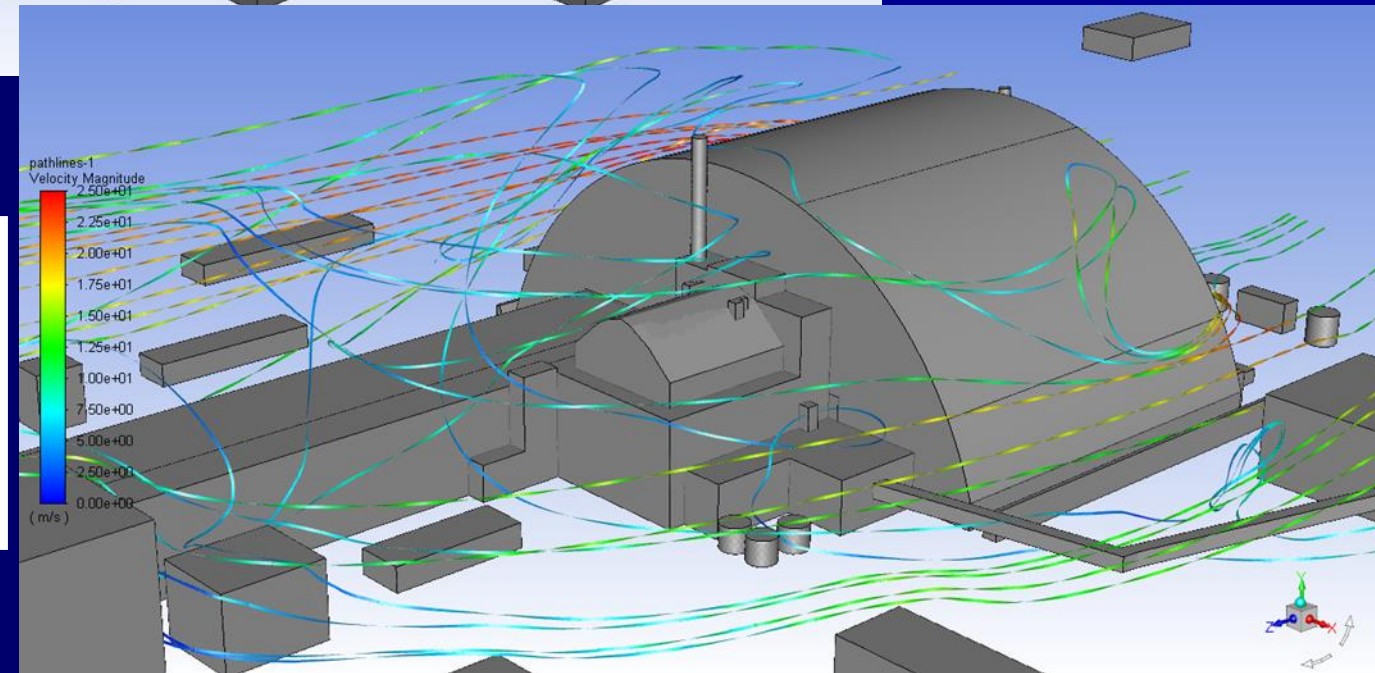
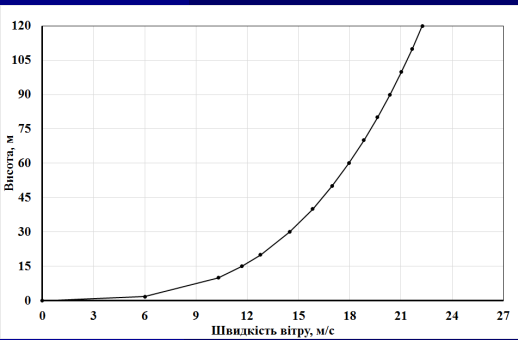
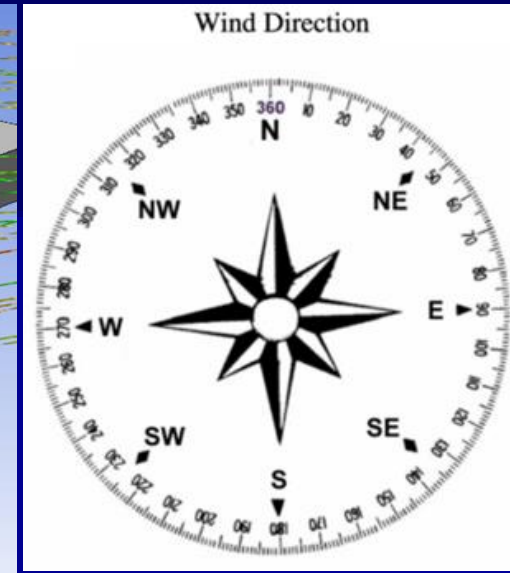
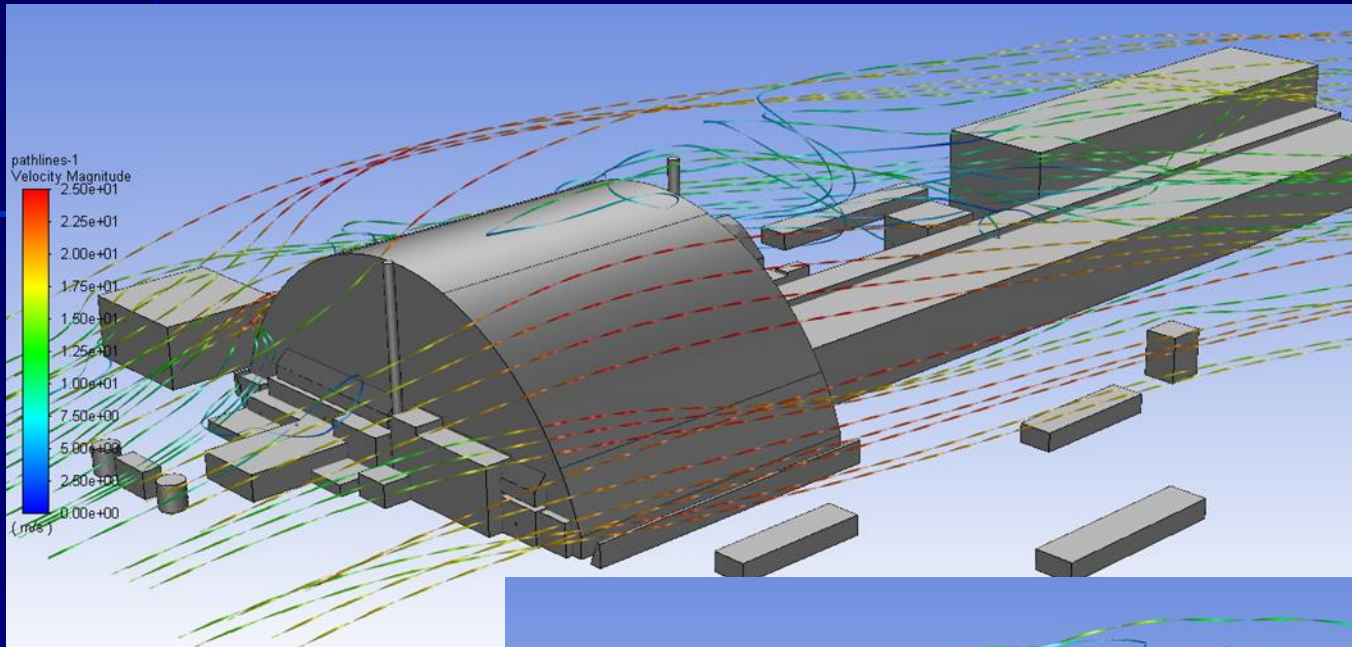
Із експериментальних досліджень ЧАЕС використовуються швидкості вітра на відстані 1,2 км від НБК на висоті 15 та 30 м від рівня землі, а також швидкість вітру біля стін НБК для співпадиння результатів з CFD моделлю НБК

# ЗМІСТ

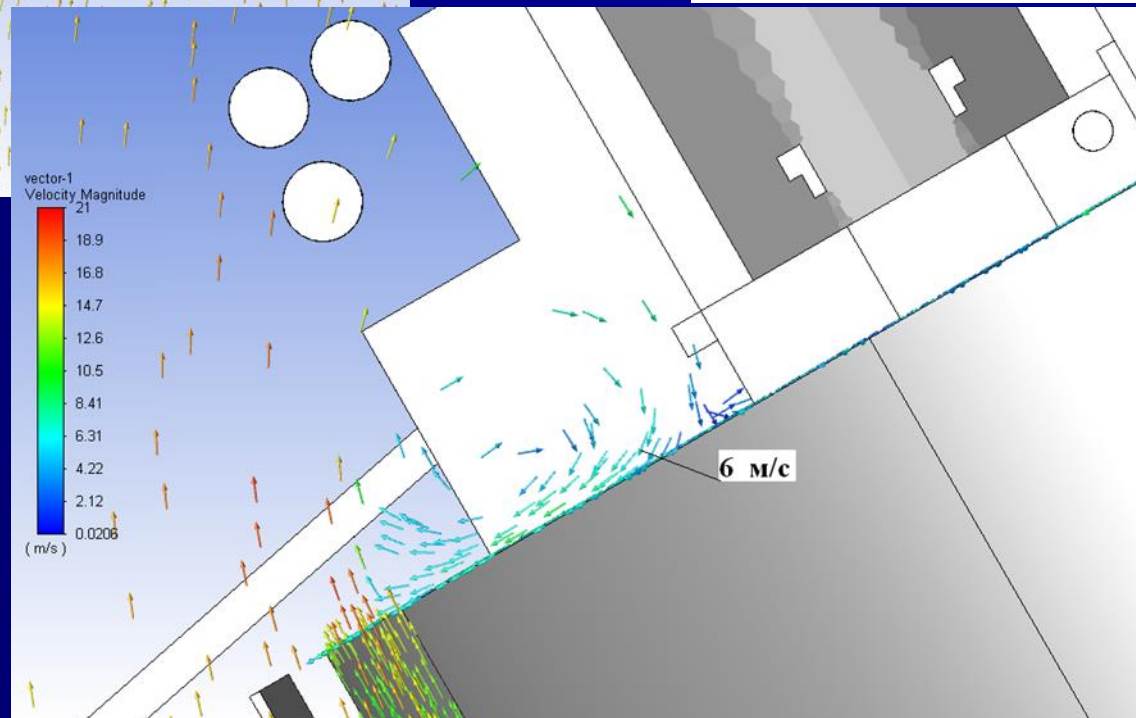
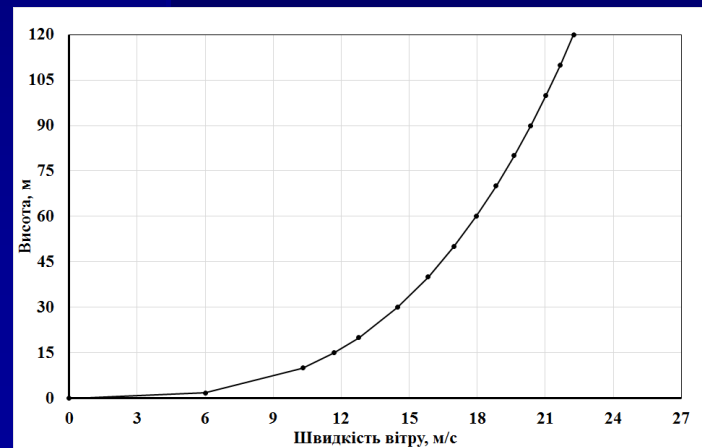
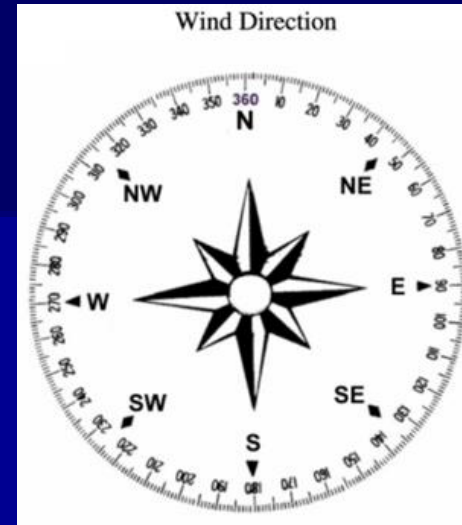
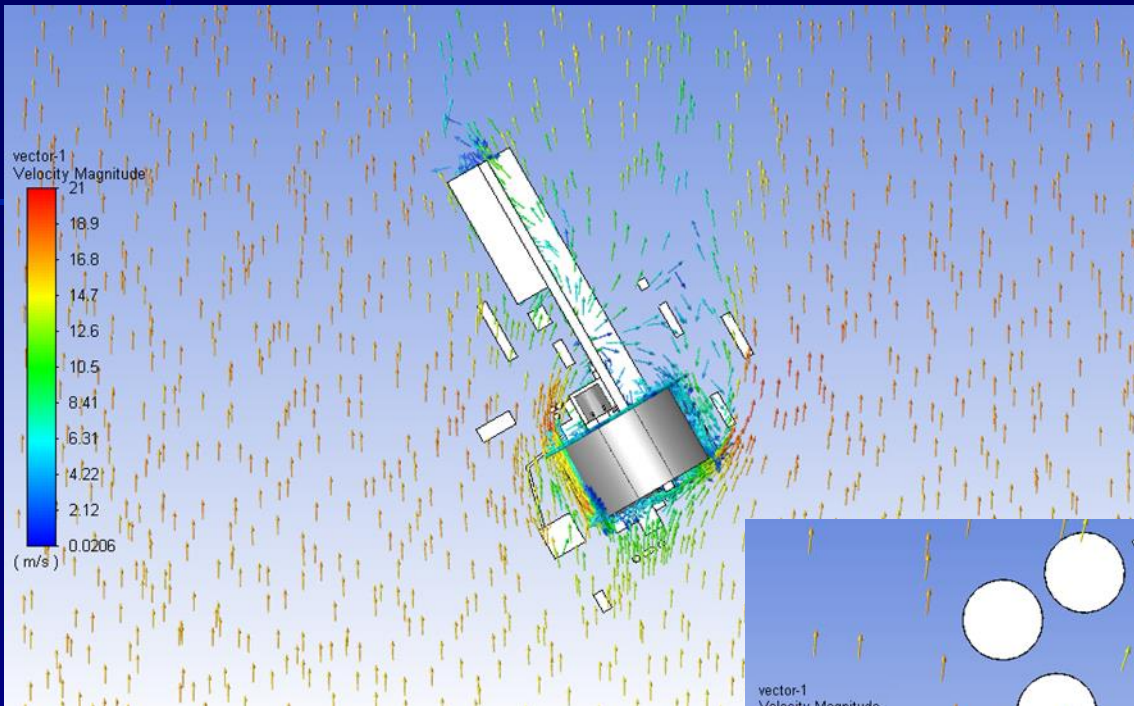
1. **Проблеми пов'язані з Новим Безпечним Конфайментом (НБК)**
2. **Чим корисна CFD модель НБК**
3. **Особливості CFD моделі НБК**
4. **Методика налаштування CFD моделі НБК**
5. **Попередні результат CFD моделі НБК**
6. **Висновки**



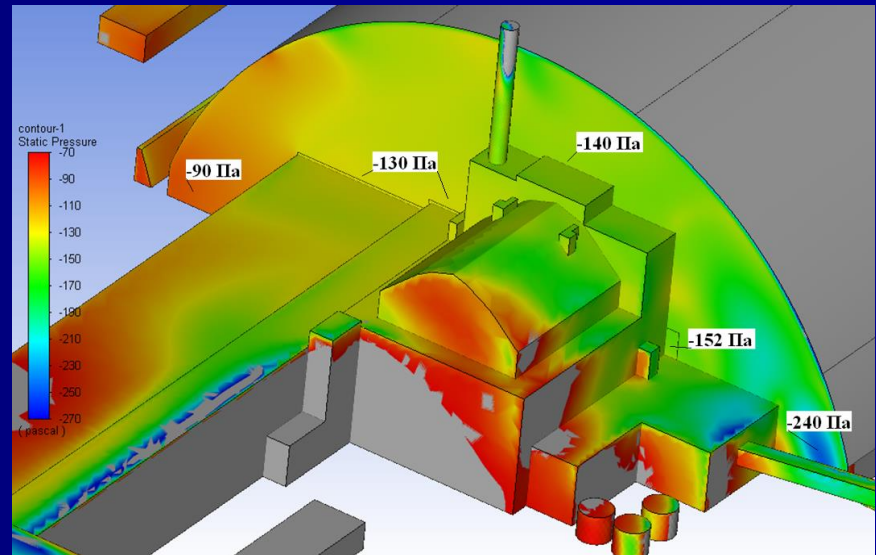
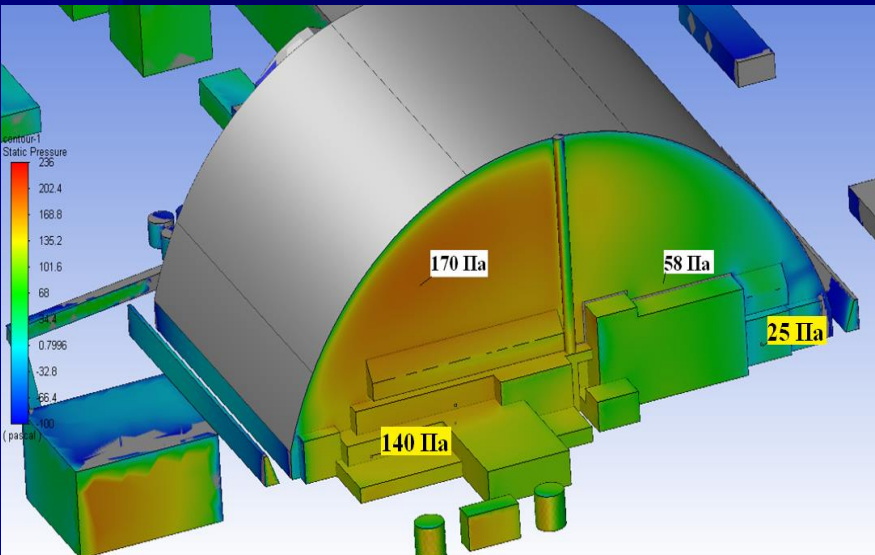
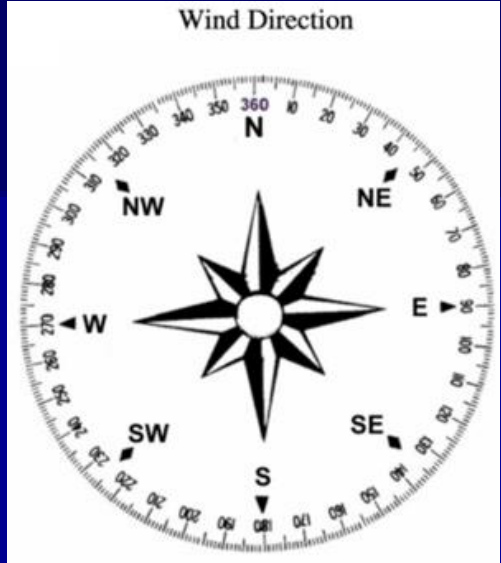
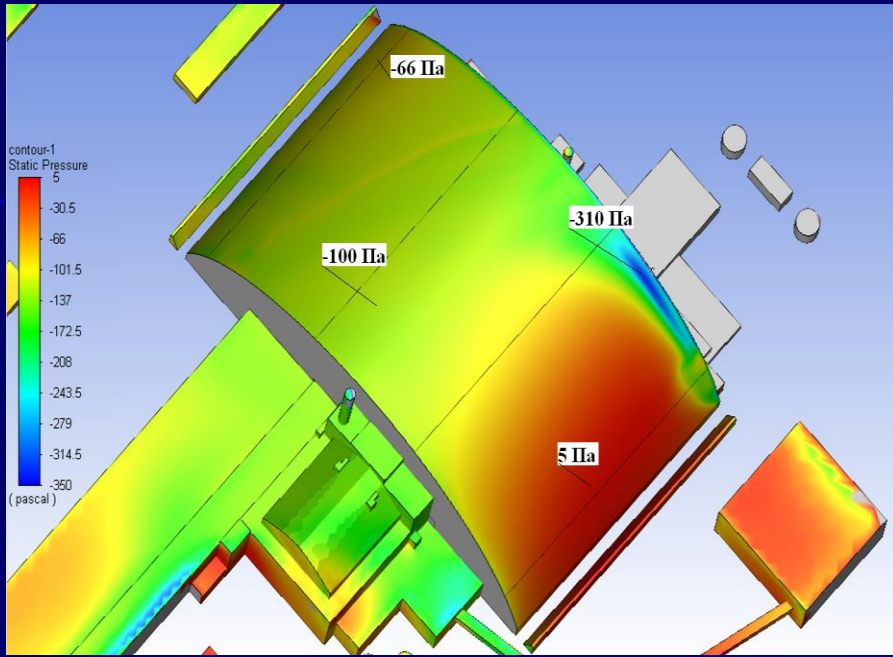
# Обтікання НБК вітром з напрямку 300° для швидкості 12 м/с;



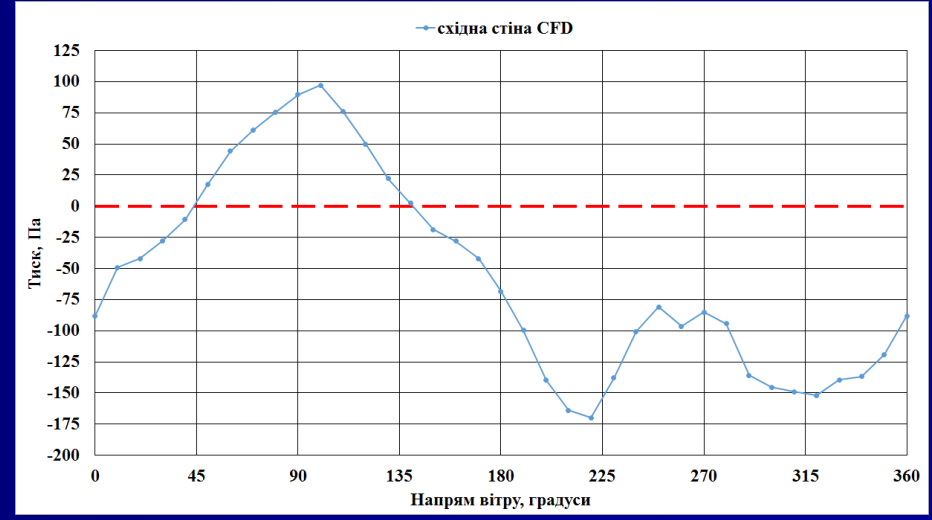
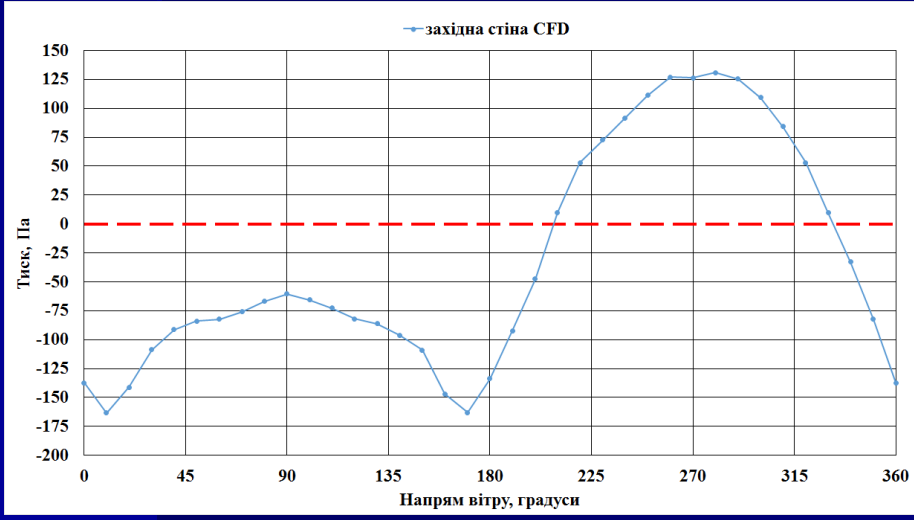
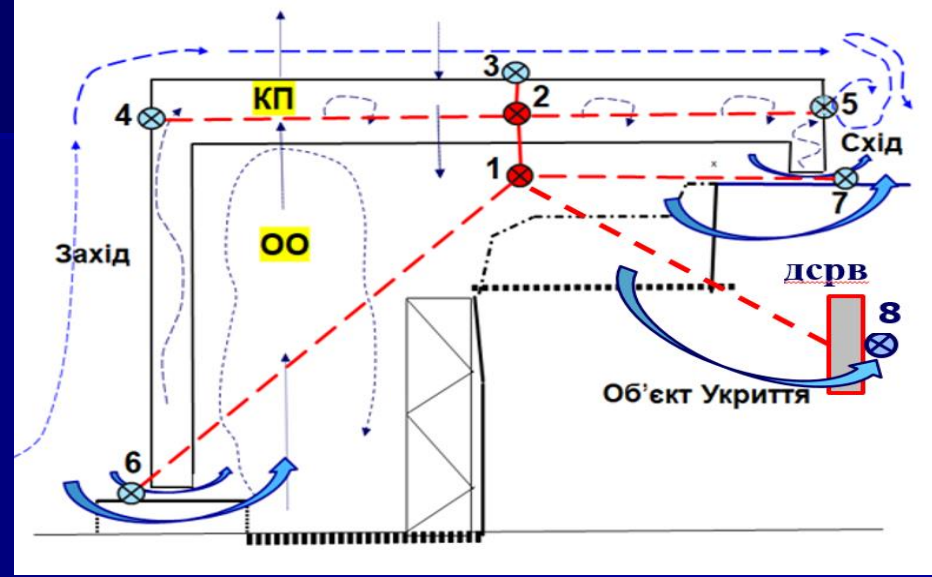
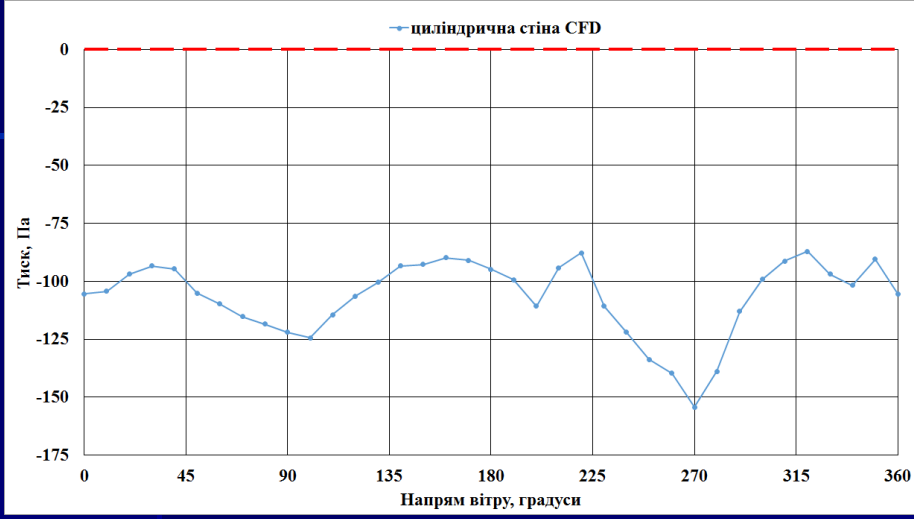
# Обтікання НБК вітром з напрямку 300° для швидкості 12 м/с;



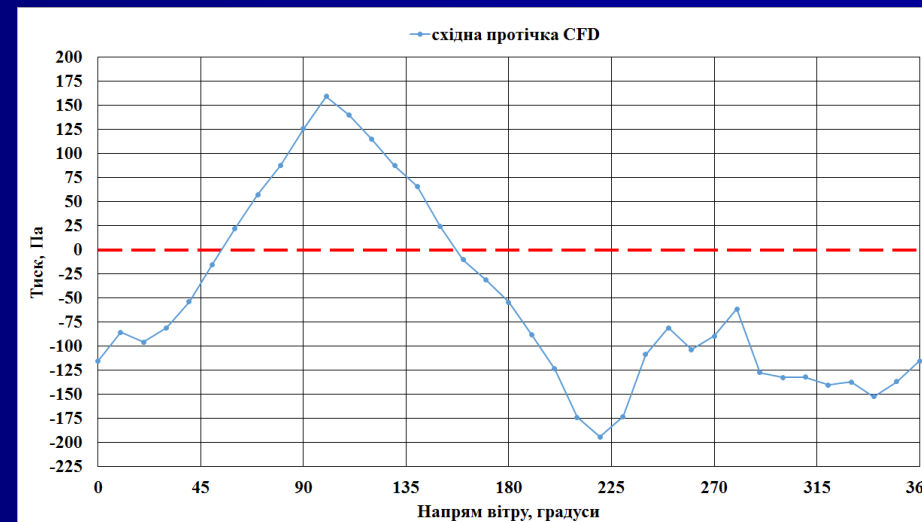
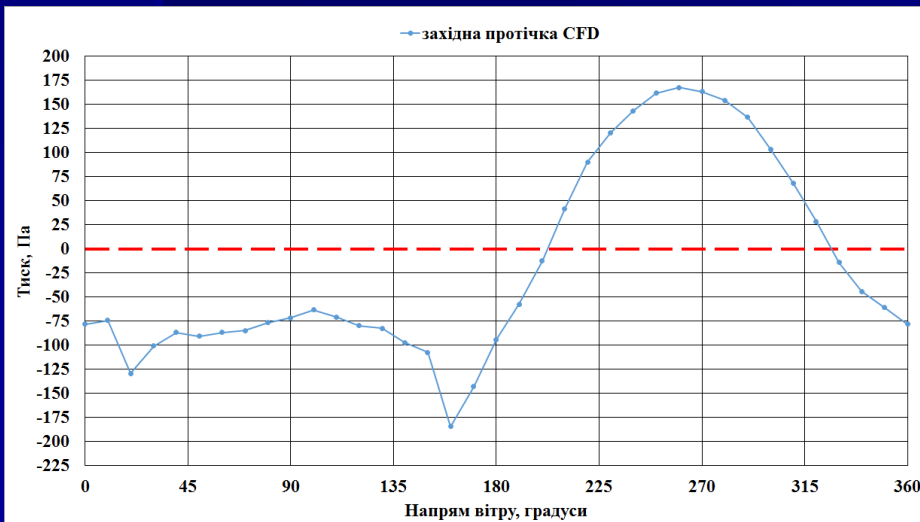
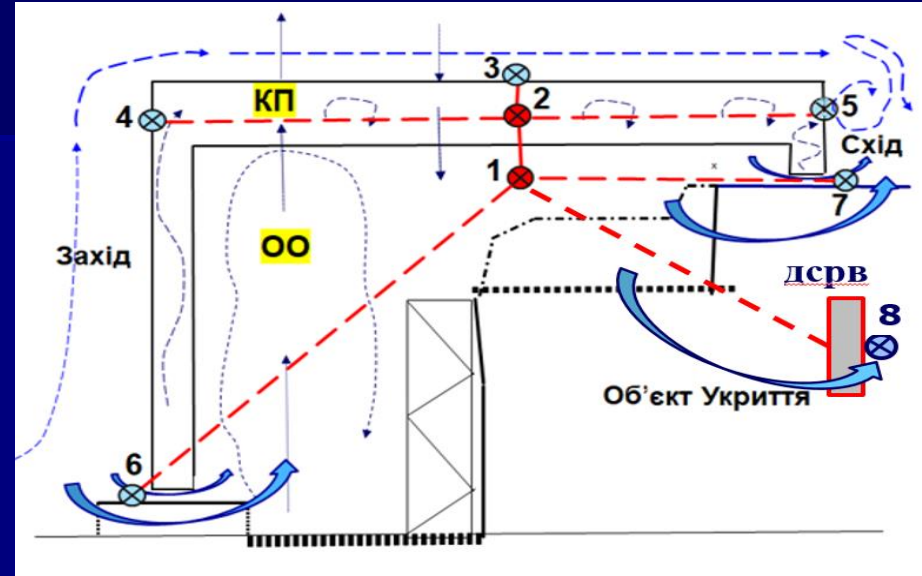
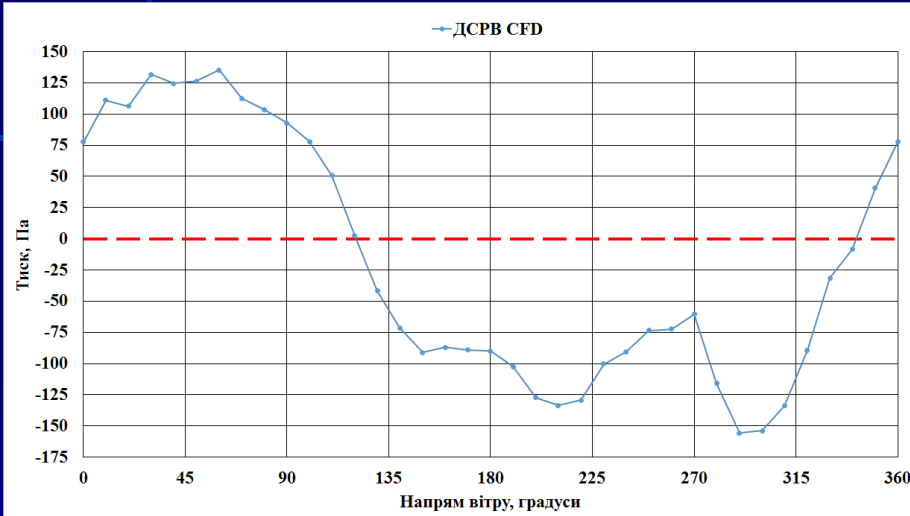
# Розподіл тиску по поверхні НБК із-за обтікання вітром з напрямку 300° для швидкості 12 м/с;



# Розподіл тиску в НБК із-за обтікання вітром з різних напрямків для швидкості 12 м/с;



# Розподіл тиску в НБК із-за обтікання вітром з різних напрямків для швидкості 12 м/с;



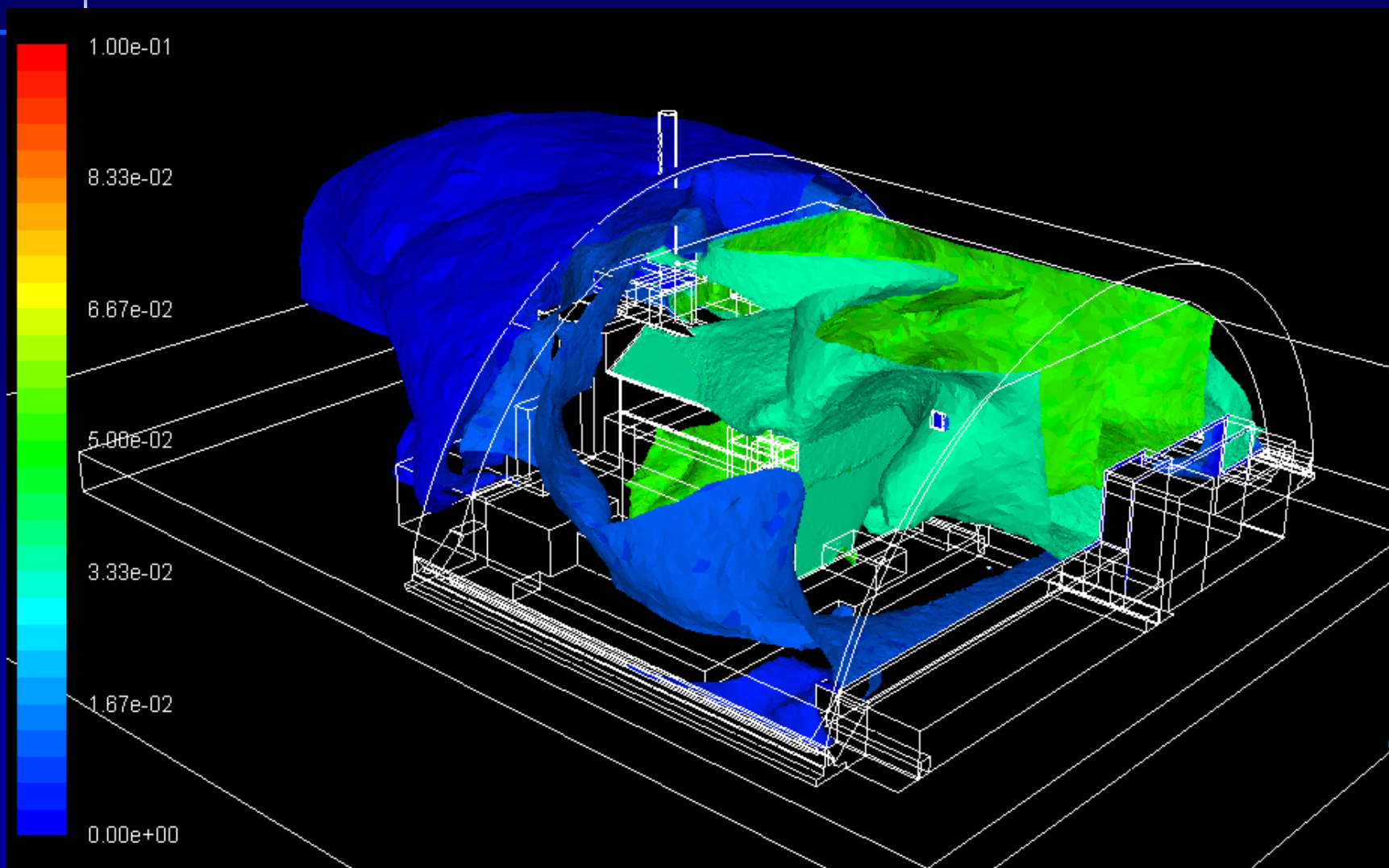
# ЗМІСТ

1. **Проблеми пов'язані з Новим Безпечним Конфайментом (НБК)**
2. **Чим корисна CFD модель НБК**
3. **Особливості CFD моделі НБК**
4. **Методика налаштування CFD моделі НБК**
5. **Попередні результат CFD моделі НБК**
6. **Висновки**

## Висновки

- Описана методологія виконання роботи, яка дозволяє отримати розподіл тисків по зовнішній поверхні НБК та будівельним конструкціям об'єкта «Укриття» при обтіканні повітрям для різних напрямків вітру;
- Розроблена геометрична та розрахункова CFD модель зовнішнього обтікання НБК повітрям для визначення розподілу тисків по поверхні НБК.
- проведено налаштування CFD модель зовнішнього обтікання НБК по літературним і експериментальним даним ЧАЕС.
- Отримані попередні результати розподілу тисків по зовнішній поверхні НБК та будівельним конструкціям об'єкта «Укриття» при обтіканні повітрям для різних напрямків вітру, які якісно і кількісно співпадають з літературними даними зовнішнього обтікання будівель і теплиць та які в подальшому додатково потрібно налаштовувати по експлуатаційними даним перепадів тисків і швидкостей вітру біля НБК отриманих ЧАЕС для різних пір року.

Крім отримання карт розподілу тисків, CFD модель НБК можливо використовувати для аналізу розповсюдження викиду повітря із НБК в оточуюче середовище з радіоактивними аерозолями  $\text{кг}/\text{м}^3$  або  $\text{Бк}/\text{м}^3$ .





# ДЯКУЮ ЗА УВАГУ

Подяка за фінансову підтримку:

1. НАН України
2. Чорнобильська АЕС
3. Консорціум NOVARKA
4. NATO SPS Program