Министерство образования и науки Российской Федерации
Мытищинский филиал
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)»
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)
Факультет Космический
Кафедра «Прикладной математики, информатики и вычислительной техники» К3-МФ
Специальность 01.03.02 – «Прикладная математика и информатика»

Выпускная квалификационная работа
на тему:

Определение динамических ветровых нагрузок на стенд дорожной рекламы

Выполнил: Романов Роман Станиславович
Руководитель: Малашин А. А.

г. Мытищи, 2022

Цели:

- определение ветровых нагрузок на стенд дорожной рекламы в программном комплексе Ansys CFX;
- проведение прочностных расчётов билборда в программном комплексе Ansys Mechanical;
- подобрать наиболее оптимальные размеры стойки;

Актуальность

Ежегодно под воздействием ураганных ветров ломаются различные билборды, повреждая автомобили, инфраструктуру города, а иногда принося увечья людям.

Главная причина этого – не учтены ветровые нагрузки.

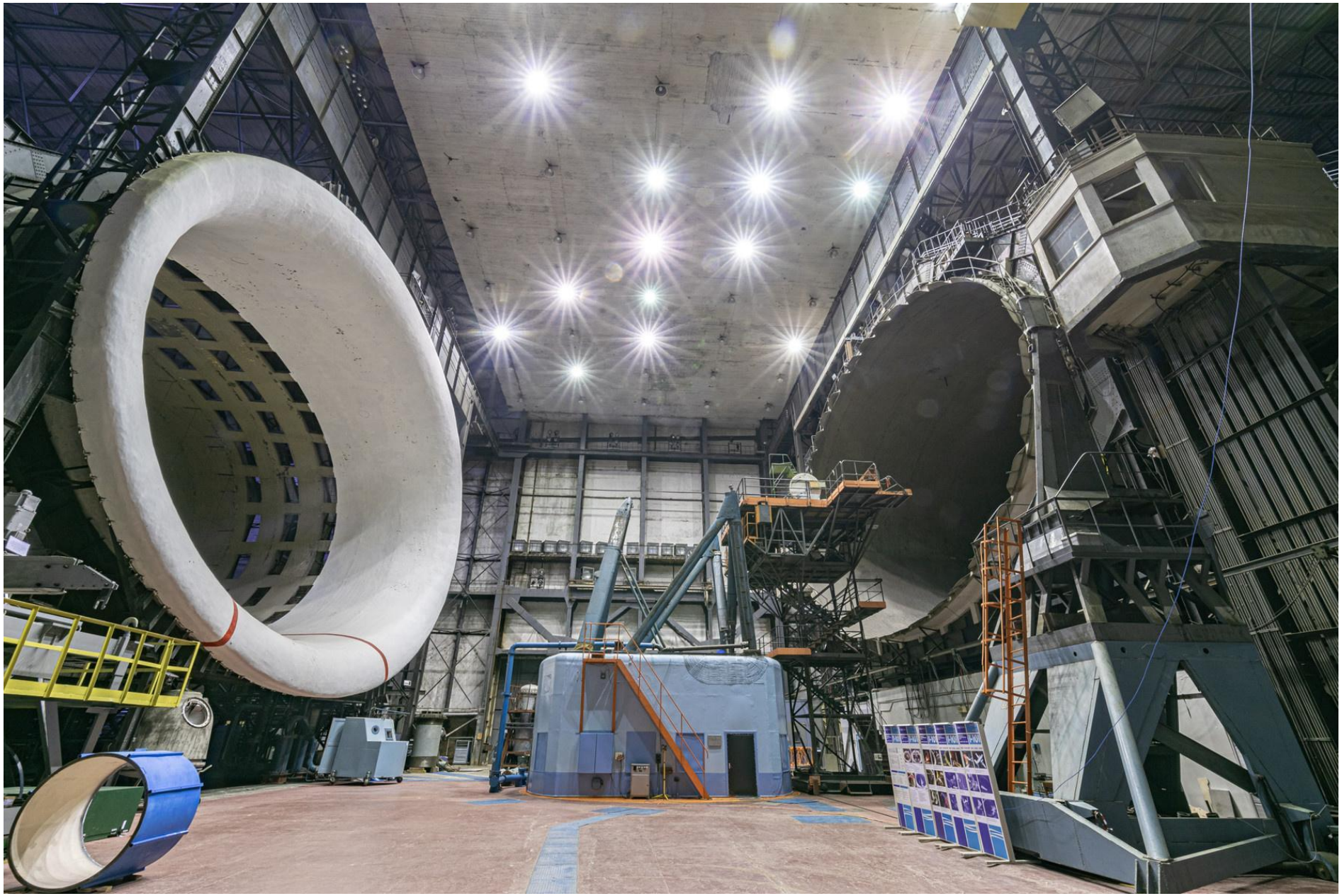
Команда
Искателей
Приключений
МИНЗДРАВ ПРЕДУПРЕЖДАЕТ: КУРЕНИЕ ОПАСНО ДЛЯ
МЕБЕЛЬ

Поставленные задачи

- определить ветровую нагрузку оказываемую на билборд;
- определить деформацию и напряжение деталей щита дорожной рекламы, образованные ветровой нагрузкой;

Методы определения ветровой нагрузки

- экспериментальное моделирование – использование аэродинамических труб;
- компьютерное моделирование – применение CFD-технологий;



Для решения поставленных задач был выбран ПК Ansys.

А именно:

- Ansys CFX – определение ветровых нагрузок;
- Ansys Mechanical APDL – статический анализ для определения деформации и напряжения.

CFX solver решает систему уравнений Навье-Стокса:

$$\rho\frac{\partial u}{\partial t}+\rho u\frac{\partial u}{\partial x}+\rho v\frac{\partial u}{\partial y}+\rho w\frac{\partial u}{\partial z}=-\frac{\partial p}{\partial x}+\mu\left[\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial z^2}\right]$$

$$\rho\frac{\partial v}{\partial t}+\rho u\frac{\partial v}{\partial x}+\rho v\frac{\partial v}{\partial y}+\rho w\frac{\partial v}{\partial z}=-\frac{\partial p}{\partial y}+\mu\left[\frac{\partial^2 v}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 v}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 v}{\partial z^2}\right]$$

$$\rho\frac{\partial w}{\partial t}+\rho u\frac{\partial w}{\partial x}+\rho v\frac{\partial w}{\partial y}+\rho w\frac{\partial w}{\partial z}=-\frac{\partial p}{\partial z}+\mu\left[\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 w}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 w}{\partial z^2}\right],$$

Для упрощения системы уравнений Рейнольдс предложил заменить скорость на сумму средней и пульсационной скорости:

$$u_i(t)=\bar{u}_i+u_i'(t)$$

Модель турбулентности – SST

$$\frac{\partial \rho k}{\partial t} + \frac{\partial \rho U_j k}{\partial x_j} = P_k - D_k + \frac{\partial}{\partial x_j}\left(\Gamma_k \frac{\partial k}{\partial x_j}\right)$$

$$\frac{\partial \rho \omega}{\partial t} + \frac{\partial \rho U_j \omega}{\partial x_j} = \frac{\gamma}{\nu_t} P_k - \beta \rho \omega^2 \frac{\partial}{\partial x_j}\left(\Gamma_k \frac{\partial \omega}{\partial x_j}\right) + (1 - F_1) 2 \rho \sigma_{\omega 2} \frac{1}{\omega} \frac{\partial k}{\partial x_j} \frac{\partial \omega}{\partial x_j}$$

где $P_k = \min(\mu_t S^2, 10 D_k)$, $D_k = \beta^* \rho \omega k$,

$$\mu_t = \min\left[\frac{\rho k}{\omega}; \frac{a 1 \rho k}{S F_2}\right]$$, a=0.31

Стыковочная функция:

$$F_2 = \tanh(\arg_2^2), \text{ где } \arg_2 = \max\left(2\frac{\sqrt{k}}{\beta^* \omega y}; \frac{500 \upsilon}{y^2 \omega}\right)$$

Цель статического конструкционного анализа – найти отклик конструкции на статическую нагрузку.

Общее уравнение движения:

$$[M]\{\ddot{x}\}+[C]\{\dot{x}\}+[K]\{x\}=\{F(t)\}$$

где [M] – матрица масс, [C] – матрица демпфирования, [K] – матрица жесткости, {x} - перемещение, {F} – сила.

Для статического анализа в уравнении движения все зависящие от времени слагаемые равны нулю:

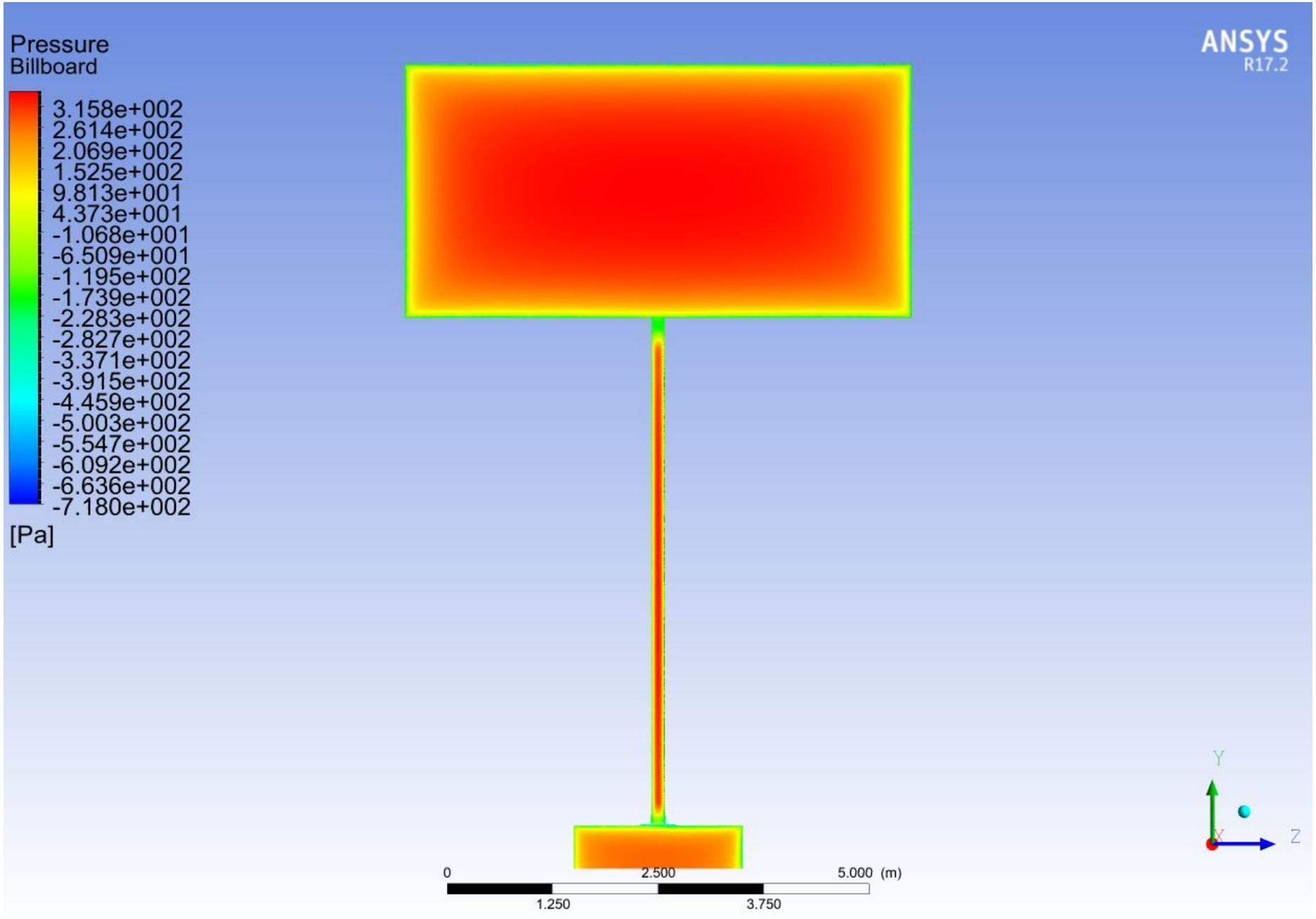
$$[K] \cdot \{x\} = \{F\}$$

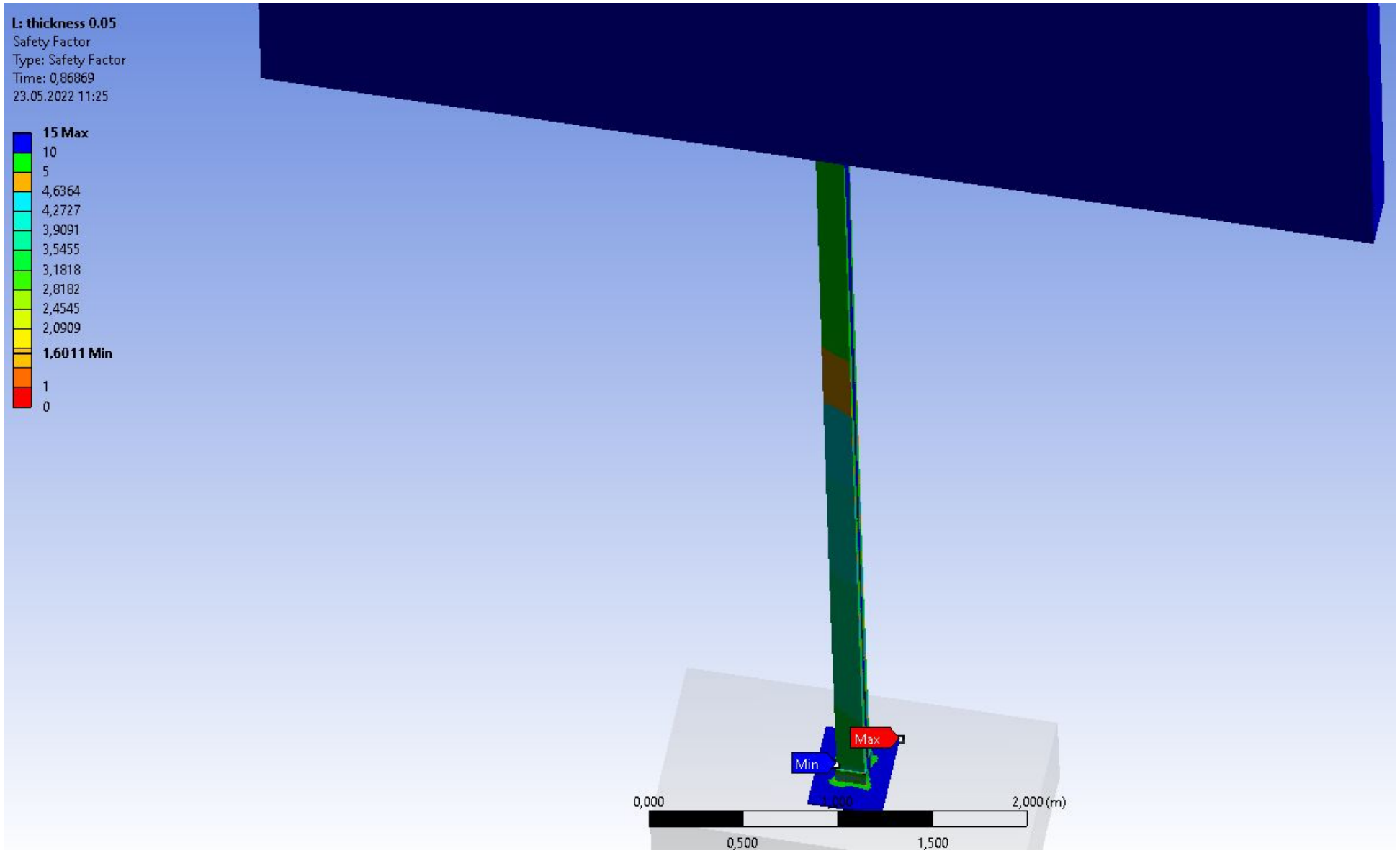
[K] (жесткость) является константой.

- **Применяется линейная упругая модель поведения материалов.**
- **Используется теория малых перемещений.**
- **Могут быть включены в расчет некоторые нелинейные граничные условия.**

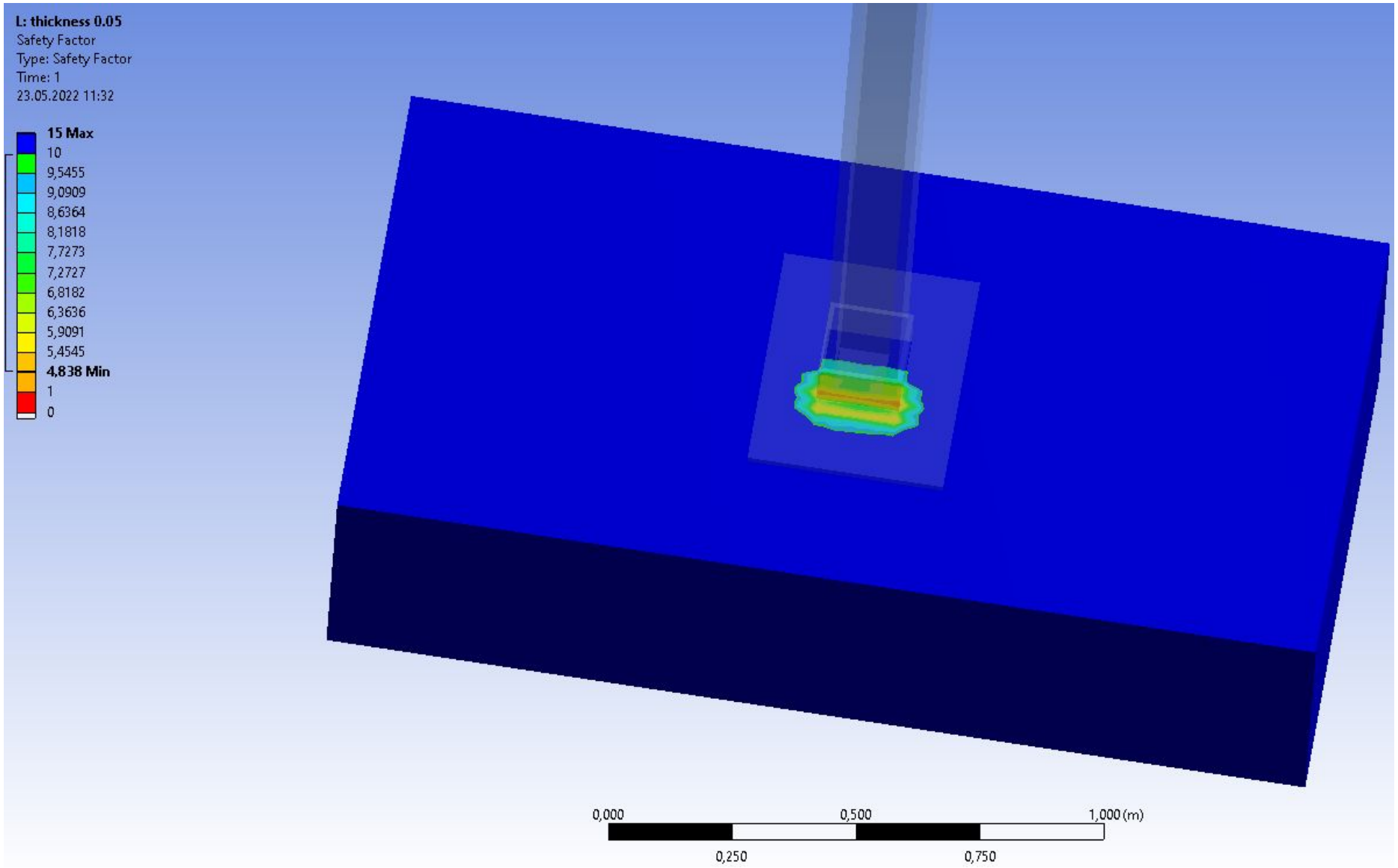
{F} (приложенная сила) является статической нагрузкой.

- **Не рассматриваются силы, изменяющиеся во времени.**
- **Не рассматриваются явления инерции (масса, демпфирование).**


Pressure
Billboard
3.158e+002
2.614e+002
2.069e+002
1.525e+002
9.813e+001
4.373e+001
-1.068e+001
-6.509e+001
-1.195e+002
-1.739e+002
-2.283e+002
-2.827e+002
-3.371e+002
-3.915e+002
-4.459e+002
-5.003e+002
-5.547e+002
-6.092e+002
-6.636e+002
-7.180e+002
[Pa]
ANSYS
R17.2
0
2.500
5.000 (m)
1.250
3.750
Y
Z



Запас прочности стали



Запас прочности бетона

Результаты

Высота 9 м:

Толщина внутренней стенки, м	0.05	0.045	0.04	0.039	0.038	0.037
Запас прочности стали	1.60	1.57	1.44	1.41	1.40	1.39
Запас прочности бетона на сжатие	4.38	4.37	4.36	4.34	4.34	4.33
Деформация конструкции, м	0.22	0.23	0.25	0.255	0.26	0.267

Высота 10 м:

Толщина внутренней стенки, м	0.072	0.07	0.065	0.06	0.055	0.05
Запас прочности стали	1,41	1.39	1.36	1.33	1.30	1.27
Запас прочности бетона	4.35	4.34	4.33	4.31	4.25	4.20
Деформация конструкции, м	0.35	0.34	0.33	0.32	0.3	0.29

Утоплено в бетоне:

Толщина внутренней стенки, м	0.06	0.055	0.05	0.045	0.044
Запас прочности стали	1.60	1.54	1.51	1.41	1.40
Запас прочности бетона на сжатие	6.06	6.02	6.00	5.95	4.95
Деформация конструкции, м	0.20	0.19	0.18	0.17	0.71

Выводы:

- определена ветровая нагрузка на стенд дорожной рекламы – поле давлений;
- вычислены напряжения и деформация возникающие под воздействием ветровой нагрузки;
- разработана оптимальная конструкция стойки билборда, способная выдерживать штормовой ветер.

Спасибо за внимание!!!