

ქარის აეროდინამიკური მოდელირება COMSOL MULTIPHYSICS პაკეტის ბაზაზე

ლაშა იაშვილი
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

რეზიუმე

COMSOL Multiphysics არის პროგრამული პაკეტი, რომელიც უზრუნველყოფს მათემატიკური და ფიზიკური მოდელების მარტივ მოდელირებას სხვადასხვა განზომილებაში. პროგრამულ პაკეტში ჩადებულია ყველა ის მათემატიკური ფორმულა, რომელიც აქტუალურია სხვადასხვა სამეცნიერო კვლევებისათვის. პროგრამა განკუთვნილია ფიზიკოსების, ინჟინრებისა და მათემატიკოსებისთვის, რომლის საშუალებით შესაძლებელია ამოიხსნას სხვადასხვა ტიპის ამოცანა და შეიქმნას მათი ახალი მოდელები. პროგრამის საშუალებით შესაძლებელია როგორც ქარის დატვირთვების, ასევე სხვა საინჟინრო ამოცანების გადაწყვეტა და მოდელირება სხვადასხვა განზომილებაში.

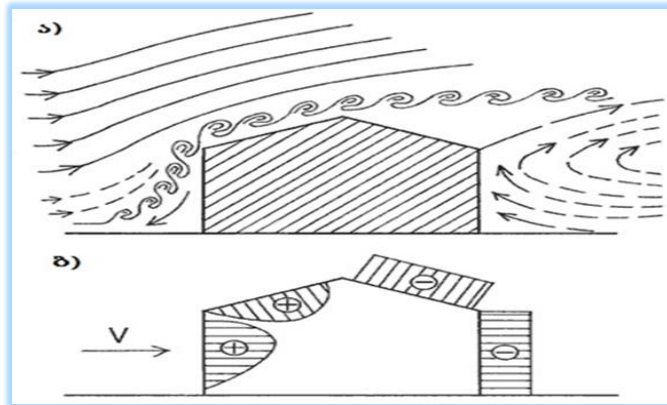
საკვანძო სიტყვები: აეროდინამიკა. მოდელირება. ქარის ნაკადი. COMSOL Multiphysics.

1. შესავალი

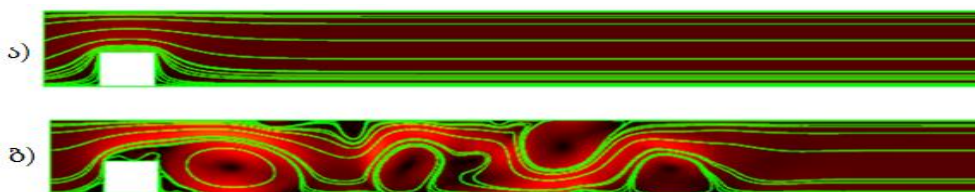
COMSOL Multiphysics-ის პროგრამაში თავიდან შევადგინეთ გარსმდენი ქარის დინამიკის პროექტი, გავთვალეთ ქარის ნაკადის დინებები, ტურბულენტური ზონები და შევადგინეთ მისი ორ და სამგანზომილებიანი მოდელები, სადაც ქარის სიჩქარე - 4მ/წმ, წნევა - 102.02 კპს.

2. ძირითადი ნაწილი

1-ელ ნახაზზე მოცემულია სახლის გარსდენის მოდელირება ორ განზომილებაში. ვხედავთ, რომ სახლის გარშემო წარმოიქმნება ჰაერის ნაკადის ტურბულენტური ზონა. მე-2 ნახაზზე გრაფიკი შექმნილია 2D განზომილებაში.

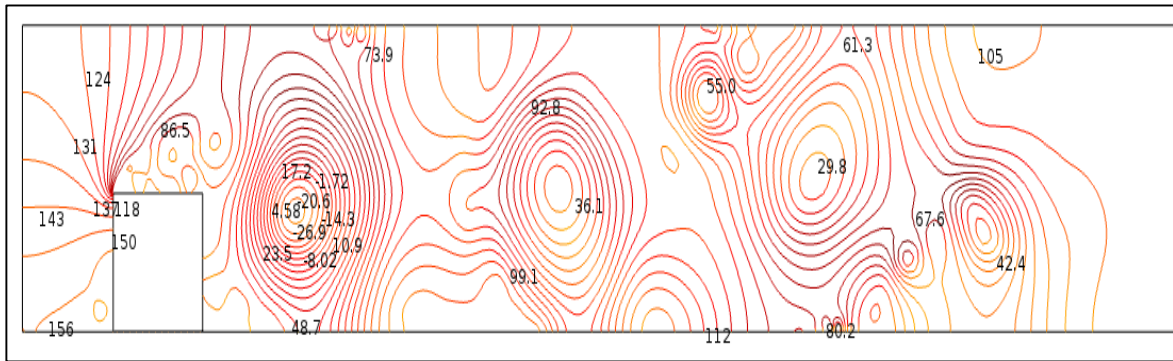


ნახ.1. ქარით გარსდენა შენობაზე



ნახ.2. ქარის ნაკადის მოდელირება COMSOL Multiphysics -ის გარემოში

მოცემულია წნევის ზემოქმედება შენობა ნაგებობაზე (ნახ.3), სადაც წნევა არის 102.02 კპს და როგორ ხდება შენობაზე ზეწოლა, თუ 180 კილომეტრის მანძილზე ხელშემშლელი პირობები არ არის.



ნახ.3. აღნიშნულია წნევის ფაქტორები სხვადასხვა წერტილებში თუ როგორ იცვლება წნევა

როგორც ვხედავთ კედლის მიდამოებში წნევა მოქმედებს 131.18კპს და 150 კპს-ით.

პარამეტრების აგებისას გამოვიყენეთ ნაწიე-სტოქსის განტოლება, რომლის შემთხვევაში გამოყენებული იქნა შემდეგი პარამეტრები: Fluid, Properties, Wall, Initial Values, Inlet, Outlet.

შენობა ნაგებობის კონსტრუქციაში შემავალი კომპონენტებია: რკინა, ბეტონი და აგური.

განვიხილოთ ცალ-ცალკე თითოეული კომპონენტის მნიშველობა. პროექტის აგებისას გამოყენება:

Fluid Properties (სიბლანტის პარამეტრი) განტოლება:

$$\begin{aligned} \rho \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + \rho(\mathbf{u} \cdot \nabla)\mathbf{u} &= \\ &= \nabla \cdot \left[-p\mathbf{I} + \mu(\nabla\mathbf{u} + (\nabla\mathbf{u})^T) - \frac{2}{3}\mu(\nabla \cdot \mathbf{u})\mathbf{I} \right] + \mathbf{F} \\ \frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho\mathbf{u}) &= 0 \end{aligned}$$

p (წნევა $\frac{\text{პა}}{\text{მ}^2}$ - ზე) და μ (დინამიკური ნაკადი), სადაც $\mu=100\text{პა}$, $p=1 \text{ კგ/მ}^2$

Wall – კედლის ფუნქციაა, რომელიც ცალკეულად მოიცავს Inlet და Outlet კომპონენტებს. უნდა აღინიშნოს, რომ შეიძლება კედელი იყოს გლუვი ან არაგლუვი. ამისდამხედვით იცვლება ფორმულაც. მაგალითად, ჩვენს შემთხვევაში კედელი უხეშია და არეკვლა არ ხდება:

$$\mathbf{u} = 0$$

Initial Values – საწყისი სიდიდეებია სადაც მოცემულია Fluid Properties (სიბლანტის პარამეტრები).

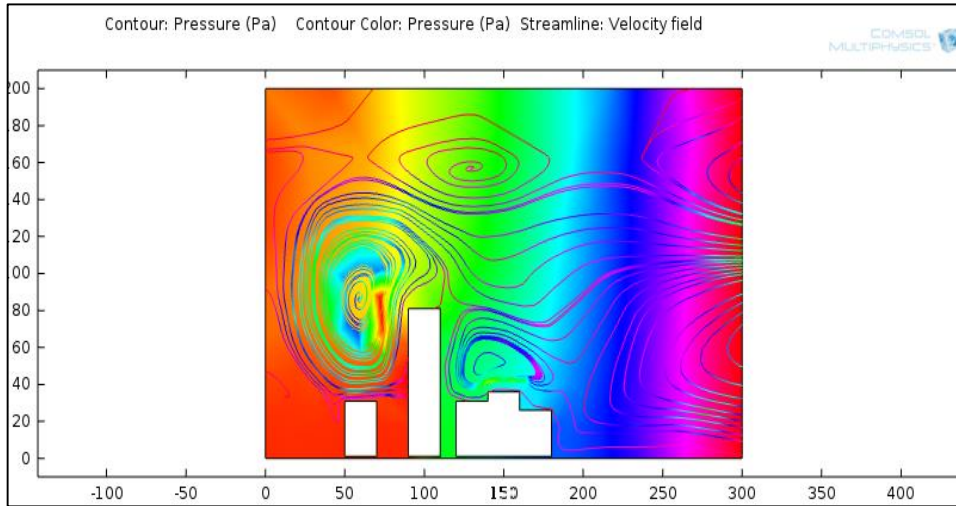
Inlet – შემშვები, მოდელის აგებისას ვინიშვით პარამეტრებს, საიდანაც ხდება ქარის დაბერვა ანუ რა სიჩქარით და რა წნევით ხდება შენობა-ნაგებობაზე ზეწოლა.

Wall ფუნქცია ანუ კედლის ფუნქცია, ითვალისწინებს იმ მხარეს, საიდანაც ხდება შენობა-ნაგებობაზე ძირითადი ზეწოლა. რომელიც გამოისახება შემდეგი სახის განტოლებით:

$$\mathbf{u} = -U_0\mathbf{n}$$

სადაც $U_0 = 3.6 \text{ მ/წმ}$.

მე-4 ნახაზზე ნაჩვენებია 3.6 მ/წმ-ზე წარმოქმნილი ტურბულენტობა.



ნახ.4. ქარის დინებისა და წნევის ზემოქმედება შენობა-ნაგებობაზე

ქარის დინების ანგარიში განვახორციელეთ სახლის მონაცემებზე სამ განზომილებაში, სადაც სიმაღლე -5 მ, სიგრძე - 12 მ და სიგანე -11 მ-ია.

3D განზომილებაში სახლი არის ბანური გადახურვის. სახლის წინა მხარეს 15 მეტრის მანძილზე ხელმშეშლელი პირობები არ არის. ქარის სიჩქარე და წნევა აღებულია ჰიდროლოგიური მონაცემებზე დაყრდნობით.

მოდელის აგებისას გათვალისწინებულია ზემოქმედების პარამეტრები ქარის, წნევის და ტემპერატურის პარამეტრები, სადაც

$$U_0 = 15 \text{ მ/წ, } P = 106.02 \text{ kps, } T = 20^\circ \text{C}$$

Fluid Properties (სიბლანტის პარამეტრი) – მოცემულია განტოლება და სხვა პარამეტრები, რომელიც დამოკიდებულია დროზე.

$$\rho \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + \rho(\mathbf{u} \cdot \nabla)\mathbf{u} = \nabla \cdot \left[-p\mathbf{I} + (\mu + \mu_T)(\nabla\mathbf{u} + (\nabla\mathbf{u})^T) - \frac{2}{3}(\mu + \mu_T)(\nabla \cdot \mathbf{u})\mathbf{I} - \frac{2}{3}\rho k\mathbf{I} \right] + \mathbf{F}$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho\mathbf{u}) = 0$$

$$\rho \frac{\partial k}{\partial t} + \rho(\mathbf{u} \cdot \nabla)k = \nabla \cdot \left[\left(\mu + \frac{\mu_T}{\sigma_k} \right) \nabla k \right] + P_k - \rho \epsilon$$

$$\rho \frac{\partial \epsilon}{\partial t} + \rho(\mathbf{u} \cdot \nabla)\epsilon = \nabla \cdot \left[\left(\mu + \frac{\mu_T}{\sigma_\epsilon} \right) \nabla \epsilon \right] + C_{\epsilon 1} \frac{\epsilon}{k} P_k - C_{\epsilon 2} \rho \frac{\epsilon^2}{k}, \quad \epsilon = \epsilon_p$$

აქვე მოცემულია Wall -კედლის ფუნქციაც, რომელიც განსაზღვრავს ძირითად ზეწოლას კედელზე და ჩაიწერება ფორმულით:

$$\mathbf{u} \cdot \mathbf{n} = 0$$

$$\left[(\mu + \mu_T)(\nabla\mathbf{u} + (\nabla\mathbf{u})^T) - \frac{2}{3}(\mu + \mu_T)(\nabla \cdot \mathbf{u})\mathbf{I} - \frac{2}{3}\rho k\mathbf{I} \right] \mathbf{n} = -\rho \frac{u_\tau}{\delta_w^+} \mathbf{u}_{\text{tang}}$$

$$\mathbf{u}_{\text{tang}} = \mathbf{u} - (\mathbf{u} \cdot \mathbf{n})\mathbf{n}$$

$$\nabla k \cdot \mathbf{n} = 0, \quad \epsilon = \rho \frac{C_\mu k^2}{\kappa \sqrt{\delta_w^+} \mu}$$

Inlet - ქარი საიდანაც უბერავს ანუ ე.წ დაბერავი და მისი ფორმულები და პარამეტრები, რომელიც დამოკიდებულია დროზე, უნდა აკმაყოფილებდეს შემდეგ პირობებს:

$$\underline{\mathbf{u}} = -U_0 \mathbf{n}$$

$$k = \frac{3}{2}(U_0/L_T)^2, \quad \epsilon = C_\mu^{3/4} \frac{k^{3/2}}{L_T}$$

სადაც ტურბულენტობის ინტენსივობაა $I_T=0.05$ და ტურბულენტობის სიგრძე $L_T=0.01$ მ.

Outlet - ბერვა ანუ საიდანაც უბერავს ქარი და მისი განტოლება, ხოლო წნევის განტოლება რომელიც არ წარმოადგენს დაძაბულობას, გვექნება შემდეგი სახის ფორმულით:

$$\underline{p} = p_0, \quad \left[(\mu + \mu_T)(\nabla \mathbf{u} + (\nabla \mathbf{u})^T) - \frac{2}{3}(\mu + \mu_T)(\nabla \cdot \mathbf{u})\mathbf{I} - \frac{2}{3}\rho k \mathbf{I} \right] \mathbf{n} = \mathbf{0}$$

$$\nabla k \cdot \mathbf{n} = 0, \quad \nabla \epsilon \cdot \mathbf{n} = 0$$

თუ გვსურს ჩვენს შემთხვევაში წნევის განსაზღვრაც, მაშინ

$$\underline{p} = p_0$$

$$\nabla k \cdot \mathbf{n} = 0, \quad \nabla \epsilon \cdot \mathbf{n} = 0$$

წნევა $P=106.02$ პა.

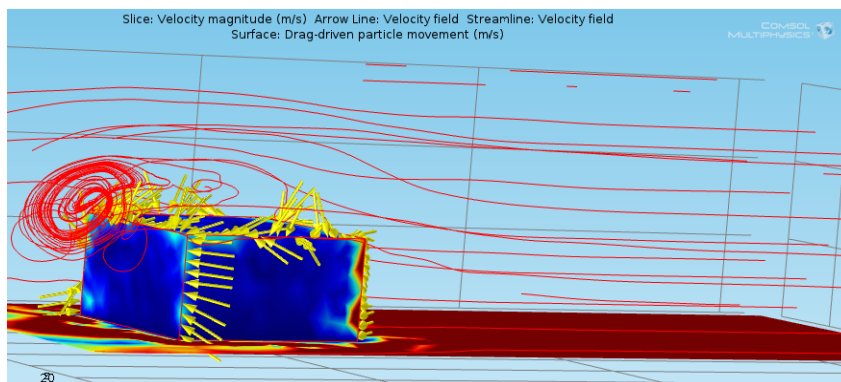
სასაზღვრო პირობები და სიმეტრიულობა:

$$\underline{\mathbf{u}} \cdot \mathbf{n} = 0$$

$$\mathbf{K} \cdot (\mathbf{K} \cdot \mathbf{n}) \mathbf{n} = \mathbf{0}, \quad \mathbf{K} = \left[(\mu + \mu_T)(\nabla \mathbf{u} + (\nabla \mathbf{u})^T) - \frac{2}{3}\rho k \mathbf{I} \right] \mathbf{n}$$

$$\nabla k \cdot \mathbf{n} = 0, \quad \nabla \epsilon \cdot \mathbf{n} = 0$$

უნდა აღინიშნოს, რომ დათვლისას, ანიმაციის მოდელის დროის ინტერვალი 30 წამია, კომპიუტერი ითვლიდა 0.01 წმ ინტერვალით და მაქსიმალური სიზუსტით. თავიდან შენობის გარსდენა ხდება, ბოლოს კი ტურბულენტობა წარმოიქმნება (ნახ.5).



ნახ.5 სახლის გარშემო ხდება ტურბულენტური ზონების წარმოქმნა და ზეწოლა

3. დასკვნა

აგებული იქნა ქარის ორგანზომილებიანი და სამგანზომილებიანი მათემატიკური მოდელები COMSOL Multiphysics გარემოში გათვლილი იქნა რა მაღლივი მართკუთხა პარალელეპიპედის ფორმის ნაგებობის გარსდენის ამოცანა ასევე განსაზღვრული იქნა შესაბამისი აეროდინამიკური კოეფიციენტები ქარის სიჩქარის სხვადასხვა მნიშვნელობებისათვის, ასევე გათვლილი იქნა მართკუთხედის ფორმის ნაგებობის გარსდენა სასრულ-სხვაობათა მეთოდით და ვარიაციული მეთოდით.

განსაზღვრული იქნა შესაბამისი აეროდინამიკური პარამეტრები და წინაღობის კოეფიციენტები რეინოლდსის რიცხვის სხვადასხვა მნიშვნელობებისათვის;

ლიტერატურა:

1. <https://www.comsol.com/comsol-multiphysics>
2. იაშვილი ლ. (2014 წ.). როული ფორმის საინჟინრო ნაგებობათა აეროდინამიკური დატვირთვების მათემატიკური მოდელირება. <http://www.nplg.gov.ge/dlibrary/collect/0002/000718-/Dis.Iashvili%20L..pdf>
3. იაშვილი ლ. (2015). ქარის დატვირთვების ანგარიში comsol-multiphysics გარემოში. ISBN: 978-9941-0-7367-0. თბილისი. http://dSPACE.nplg.gov.ge/bitstream/1234/75754/1/Karis-Datvirtvirtvebis_Angarishi.pdf

WIND AERODYNAMIC MODELING USING PACKAGE OF COMSOL MULTIPHYSICS

Lasha iashvili
Georgian Technical University

Summary

COMSOL Multiphysics is a software package that provides easy modeling of mathematical and physical models of different dimensions, the program package contains all the mathematical formula, which is important for a variety of scientific research. The program is intended for physicists, engineers, mathematicians, for which it is possible for different types of tasks solved and set up their new models. It enables both the wind loads as well as other engineering and simulation tasks in a different dimension.

АЭРОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕТРА НА БАЗЕ ПАКЕТА COMSOL MULTIPHYSICS

Иашвили Л.
Грузинский Технический Университет

Резюме

COMSOL Multiphysics является программным пакетом, который обеспечивает легкое моделирование математических и физических моделей различных размеров. Пакет программного обеспечения включает в себя все математические формулы, которые имеют важное значение для различных научных исследований. Программа предназначена для физиков, инженеров и математиков для решения задач различного типа и построения моделей. Программа позволяет рассчитать как ветровые нагрузки, а также решать другие инженерные задачи.