



INNOAIR
SOFIA MUNICIPALITY



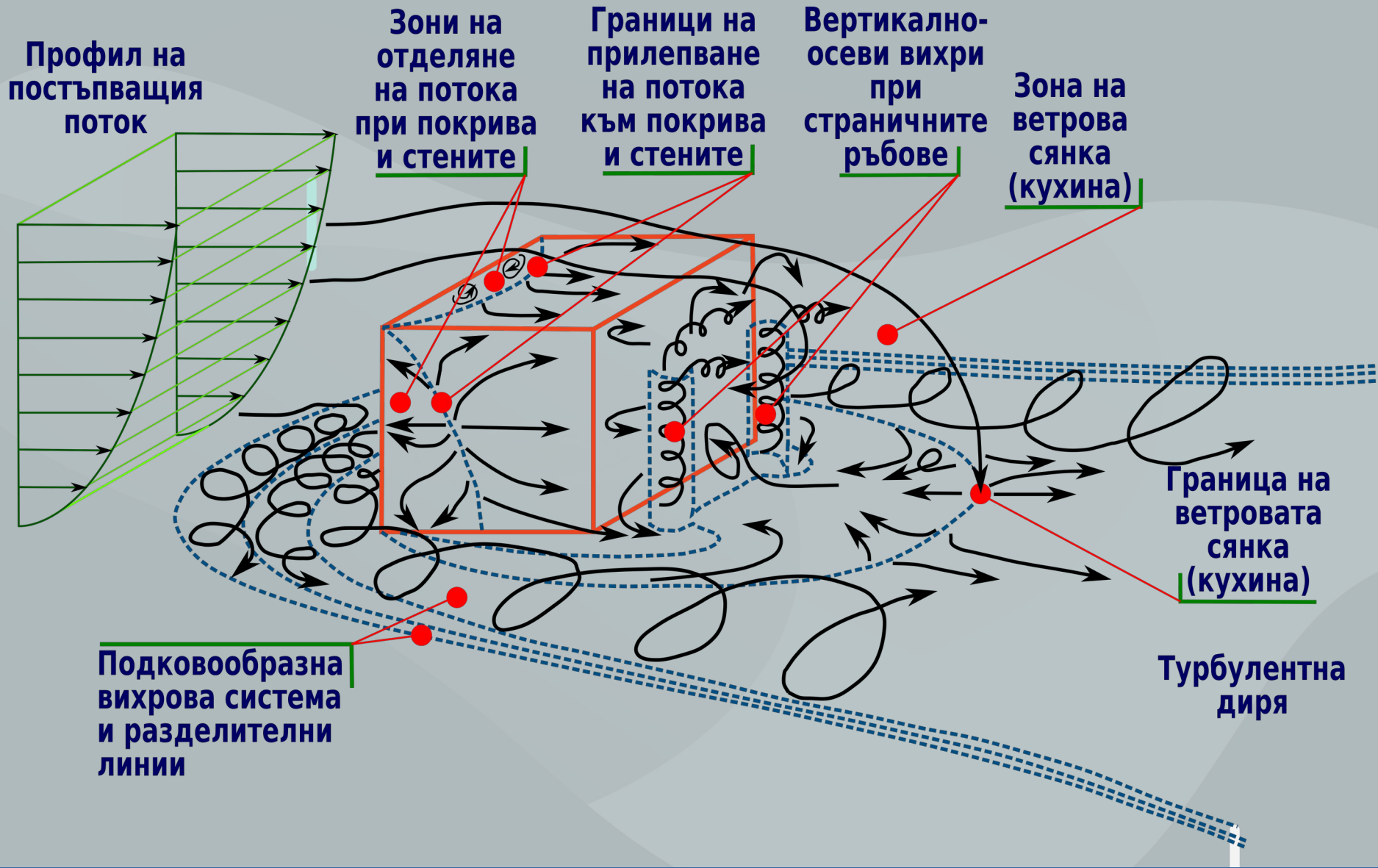
АВАНГАРДНИ МОДЕЛИ С ОТЧИТАНЕ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ГРАДСКАТА СРЕДА

Антон Петров, НИМХ

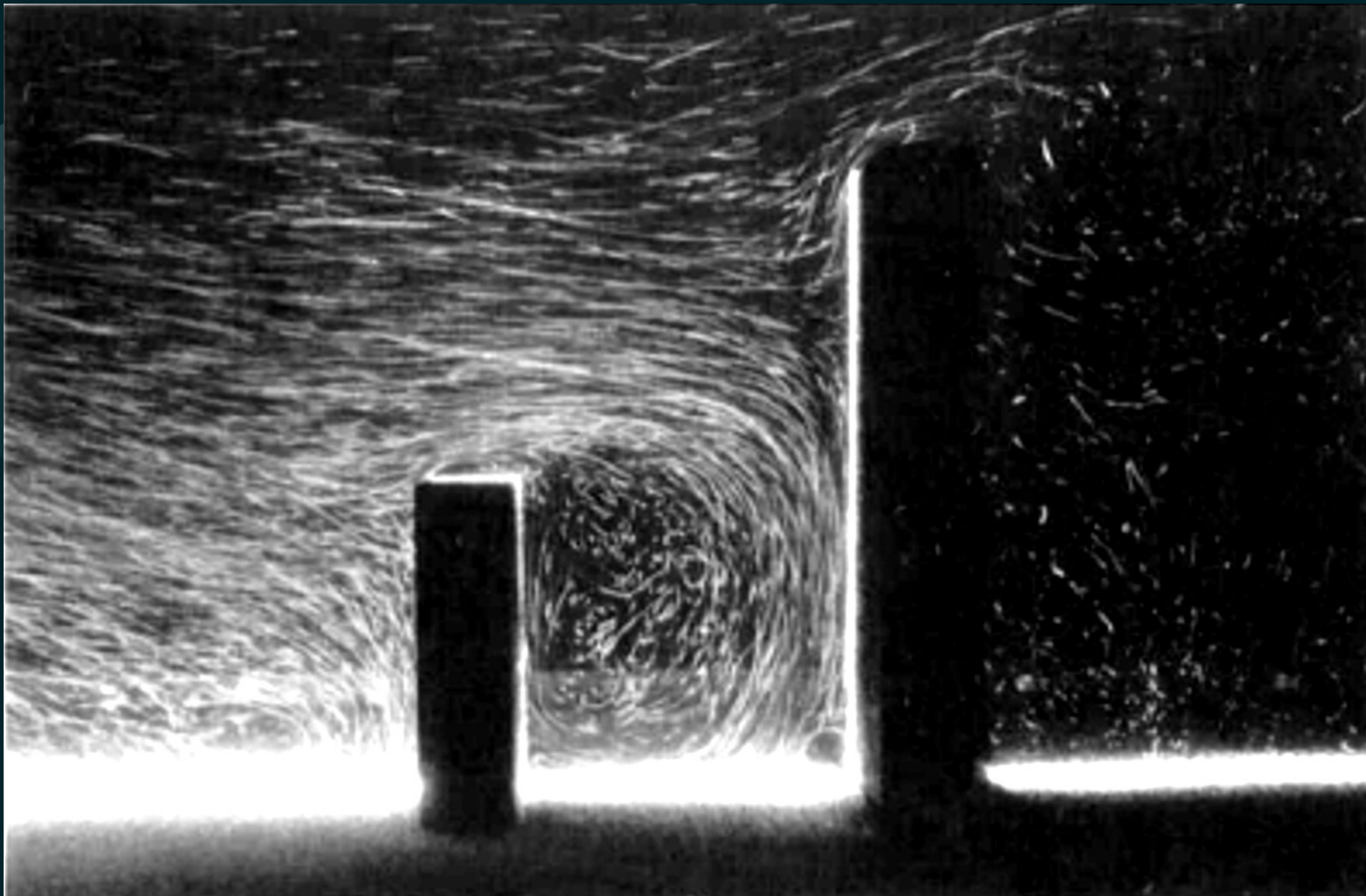
24 September 2021, Sofia



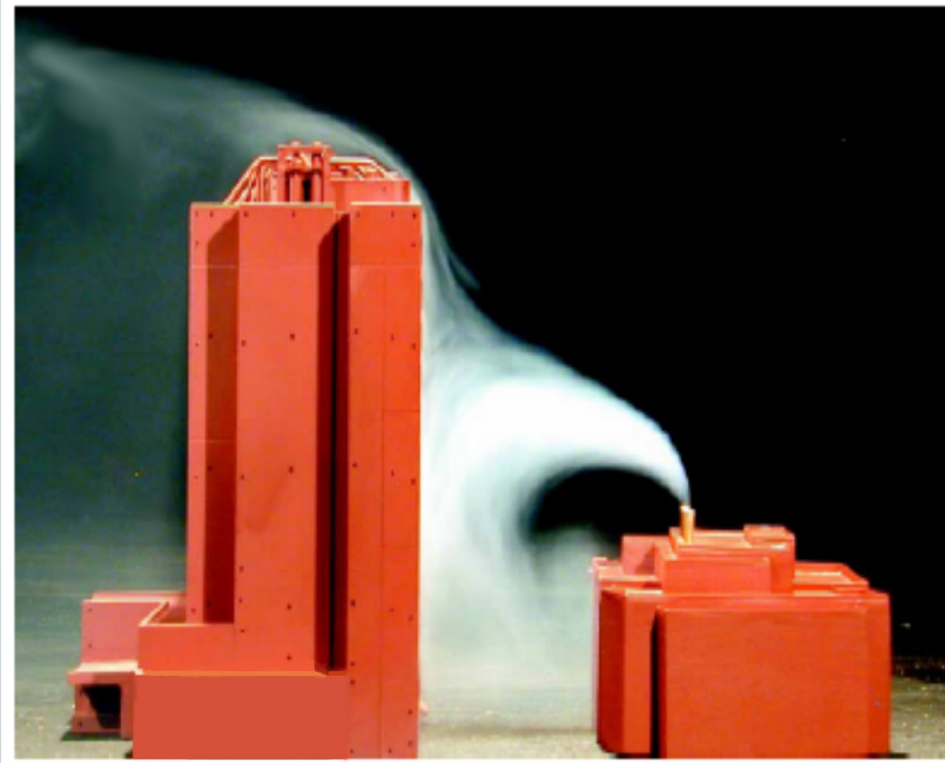
Схематично представяне на усреднената картина на поток, обтичащ изолирана ниска сграда с остри ръбове (Източник: Hosker, 1985; модификация на Blocken et. al., 2011)



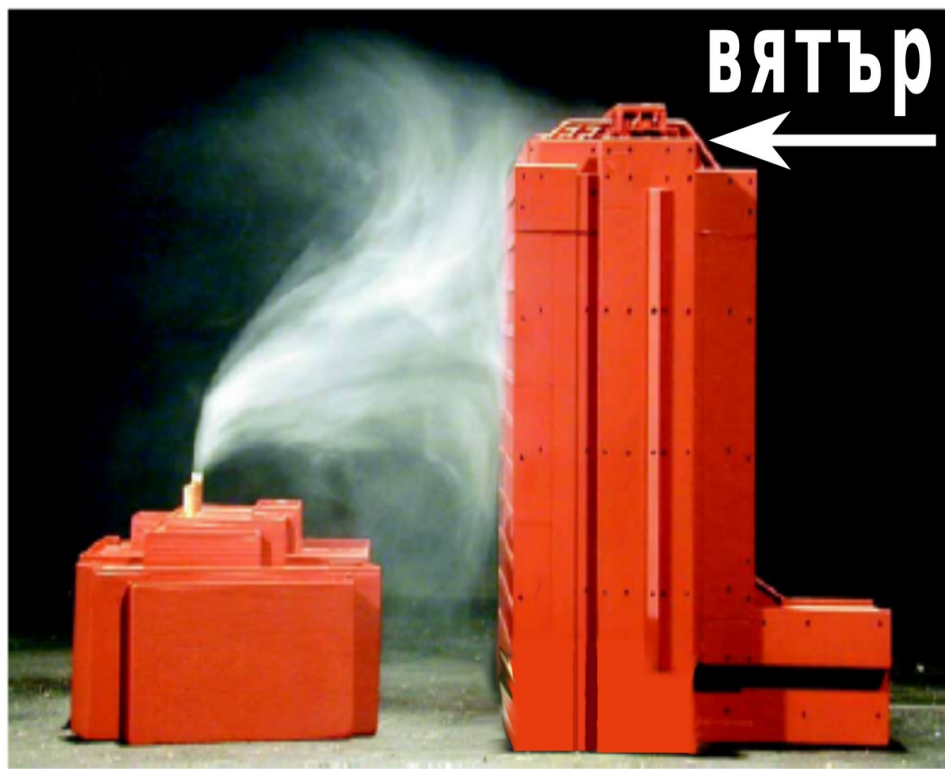
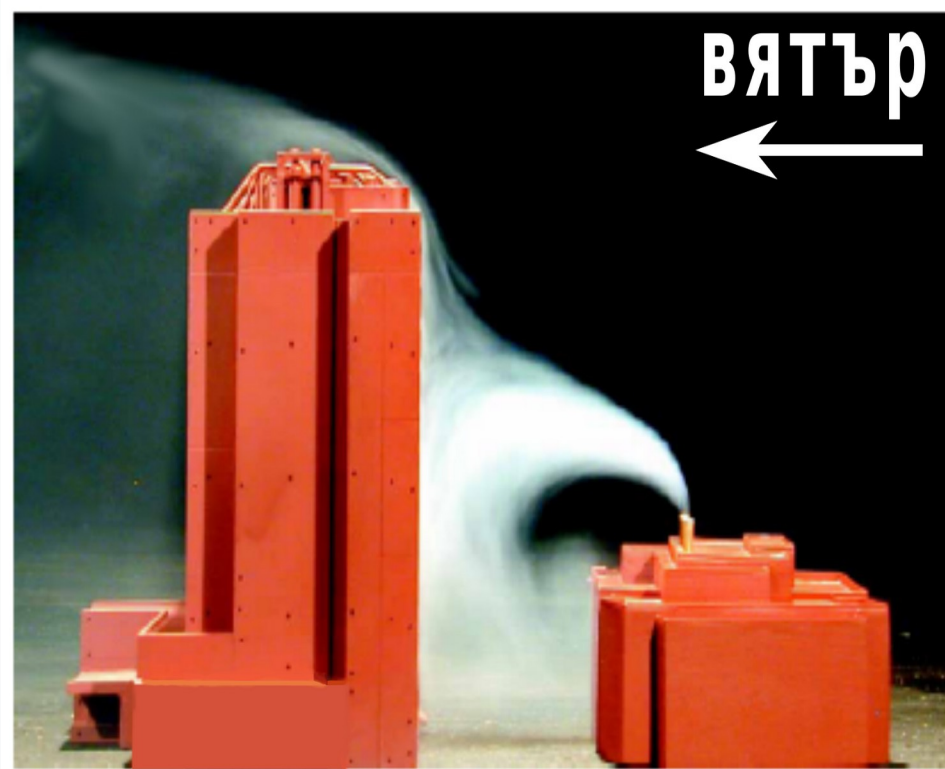
Деформация на въздушния поток от сградите – експеримент в аеродинамичен (ветрови) тунел



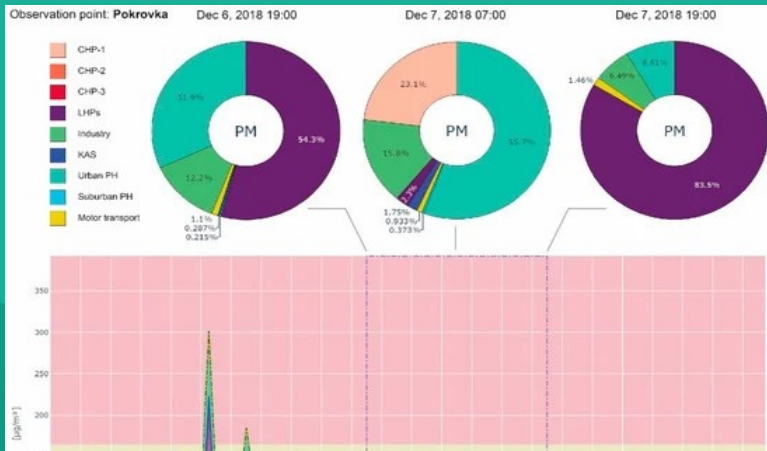
Деформация на въздушния поток от сградите – експеримент в аеродинамичен (ветрови) тунел



Деформация на въздушния поток от сградите – експеримент в аеродинамичен (ветрови) тунел

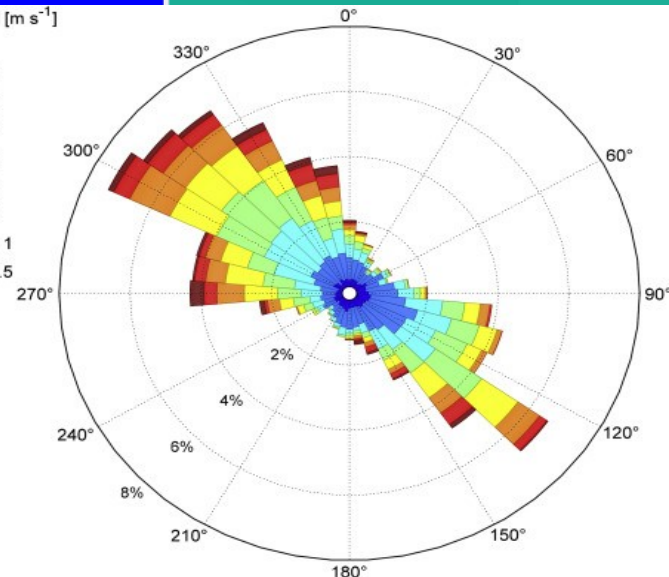
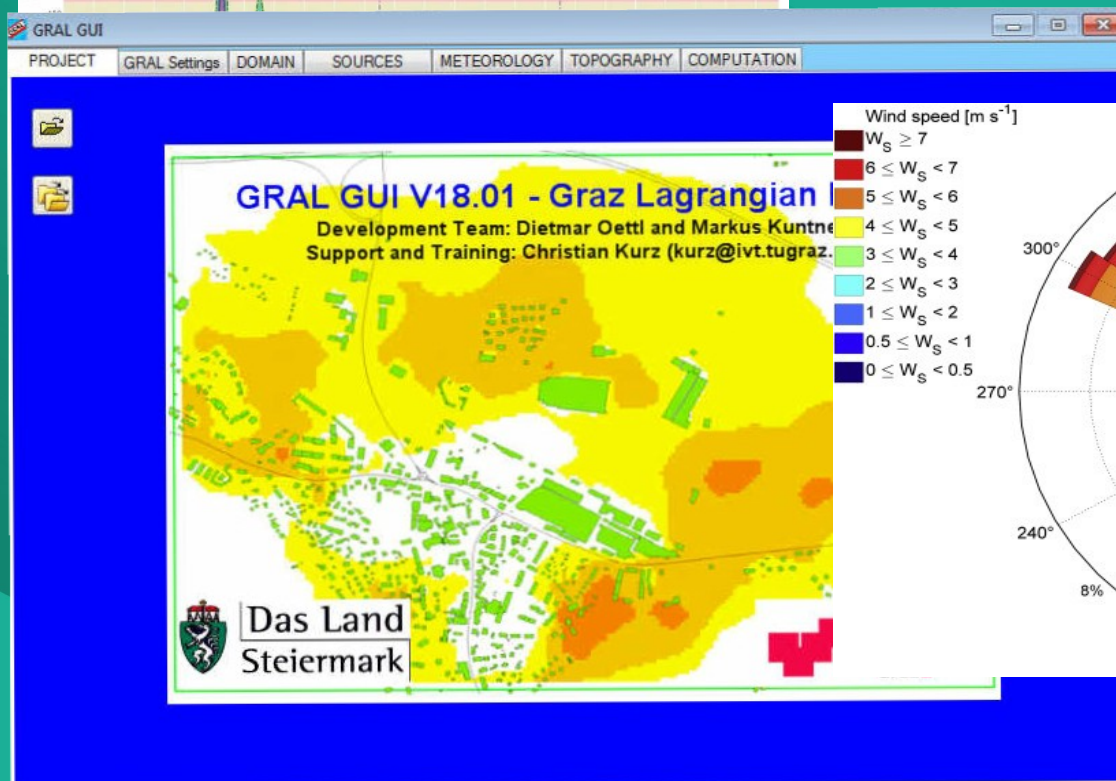


GRAL (Graz Lagrangian Model)



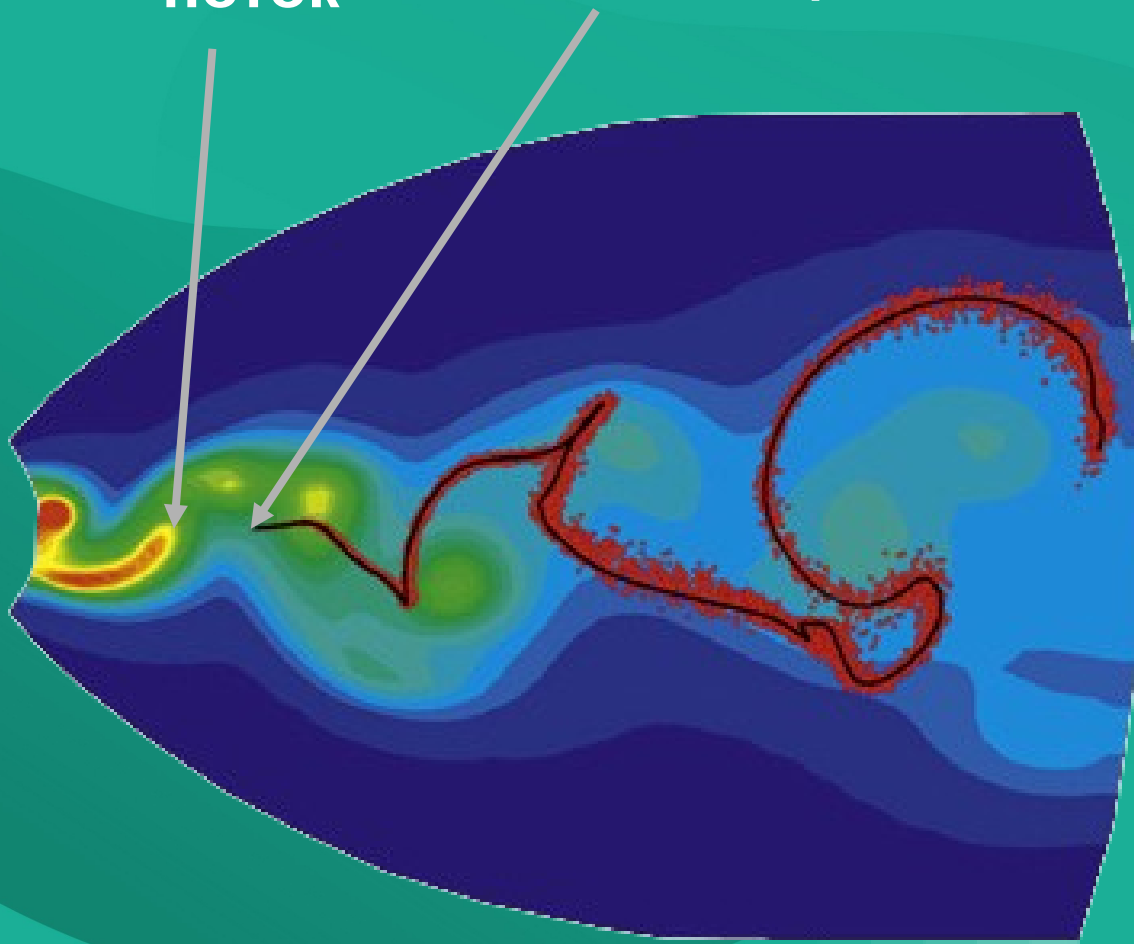
Създаден през 1999 г. в Технически Университет - Грац, Австрия, където се използва широко за регулаторни цели и научни изследвания (Dietmar, 2019).

Website: gal.tugraz.at



Турбулентен
ПОТОК

Източник на
частици



Траекторията на
частиците се
“начупва” от
турбулентните
вихри, като
пътеката, която
частиците
образуват има
тенденцията да се
разширява с
отдалечаването от
източника –
наблюдава се
дифузия.

Как работят Лагранжевите частичкови модели (ЛЧМ) – основни положения

- ◆ Изхвърлената от източника маса замърсител се разделя на определен брой виртуални частички;
- ◆ Всяка от тези частички се движи в атмосферата със скоростта на носещия ги вятър (средната скорост + турбулентните флуктуации);
- ◆ Траекторията на всяка частичка се пресъздава като се изчислява нейното местоположение в дискретни времеви интервали;
- ◆ Концентрацията на замърсител в дадена точка се изчислява чрез сумиране на приноса всички частички в близост до точката;

Движение на частичките

- ♦ Траекторията на всяка частичка се пресмята с уравнението:

$$x_i(t + \Delta t) = x_i(t) + \Delta t (u_i + u_i')$$

u_i – средната скорост на вятъра в i -тата посока

u_i' – турбулентната пулсация в същата посока

Изчисляване на концентрациите на замърсителите

$$C(x_0, y_0, z_0) = \sum_p c_p K_p(x_0, y_0, z_0)$$

- ♦ Концентрацията C свързана с всяка частичка p е функция на масата асоциирана с частичката и относителната дифузия на маса от момента на емитиране до настоящия момент. Функцията K е *изглаждащо ядро* (smoothing kernel).

Предимства на Лагранжевите частичкови модели

- ♦ Всяка частичка принадлежи на (и съответно се асоциира с) даден източник;
- ♦ Независимост от разделителната способност – масата от замърсител не се разпределя в конкретна изчислителна клетка от мрежата. Това е от особена важност при близост до източника;
- ♦ Бързо изчисление – високата пространствена разделителна способност на изчислителната мрежа не оказва ограничаващо влияние върху числената устойчивост и времевия интервал на интегриране;

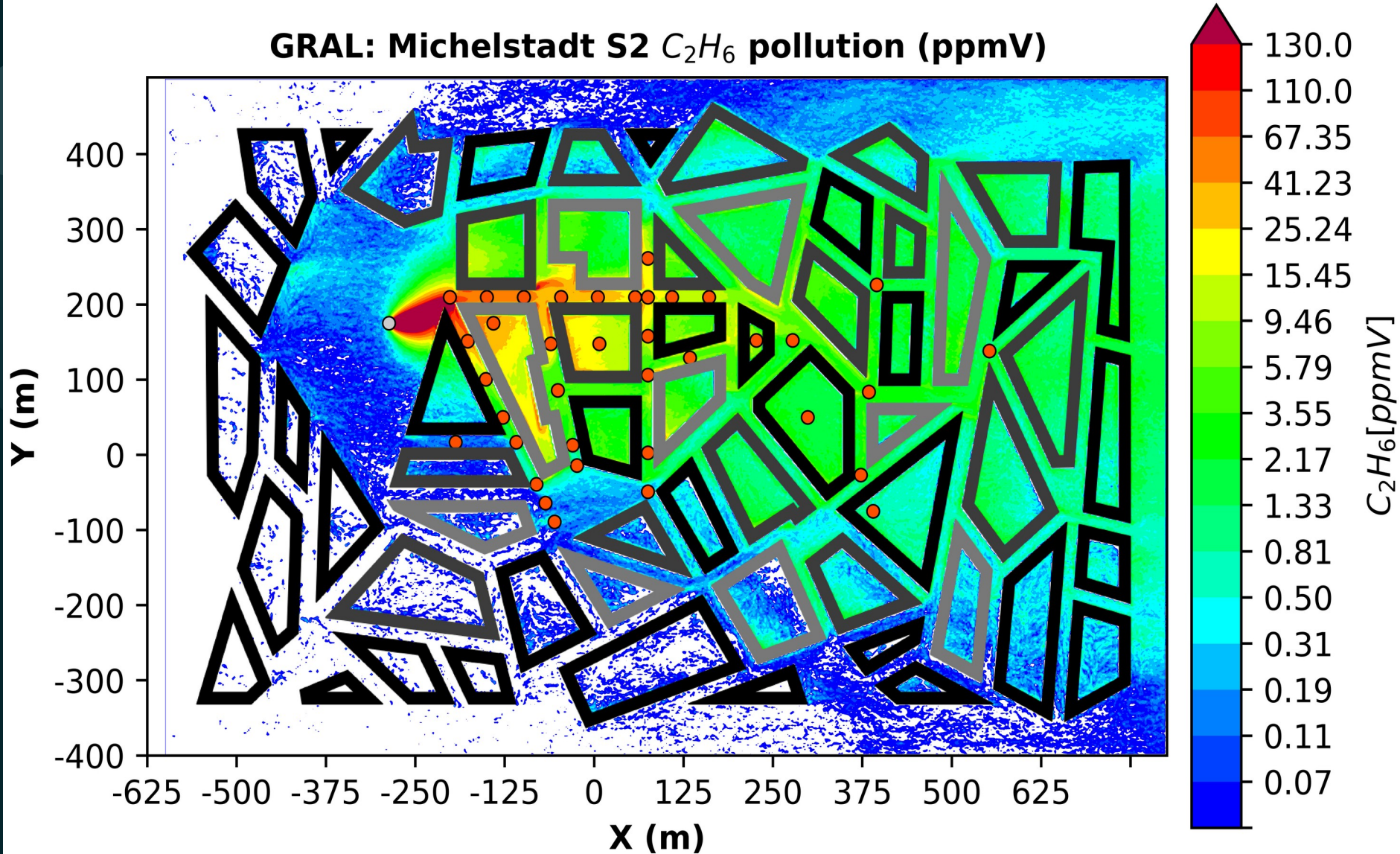
GRAL (Graz Lagrangian Model) (част от системата GRAMM/GRAL)

- ◆ Дисперсия на химически неактивни замърсители;
- ◆ Разпространение на миризми;
- ◆ Суха и мокра депозиция и седиментация;
- ◆ Дисперсия на замърсители от вход/изход на тунели;
- ◆ Дисперсия на замърсители за широк диапазон скорости на вятъра, без долна граница и за всички класове на устойчивост;
- ◆ Разпространение на замърсители със зададено от потребителя време на живот (прилага се за радиоактивни вещества, бактерии, вируси и др.)
- ◆ Удобен графичен интерфейс;
- ◆ Работи под MS Windows и Linux OS

GRAL (Graz Lagrangian Model)

Моделиране на замърсяване от точков източник –
експеримент в аеродинамичен тунел

GRAL: Michelstadt S2 C_2H_6 pollution (ppmV)



Аеродинамичният тунел “Wotan” в Хамбург, Германия



ewtl@zmaw.de

GRAL, полеви експеримент в централните части на Хамбург, Германия:
област на моделиране. В жълто е обозначен точковият източник на замърсяване,
а в червено – местоположенията на пробовземашите пунктове.



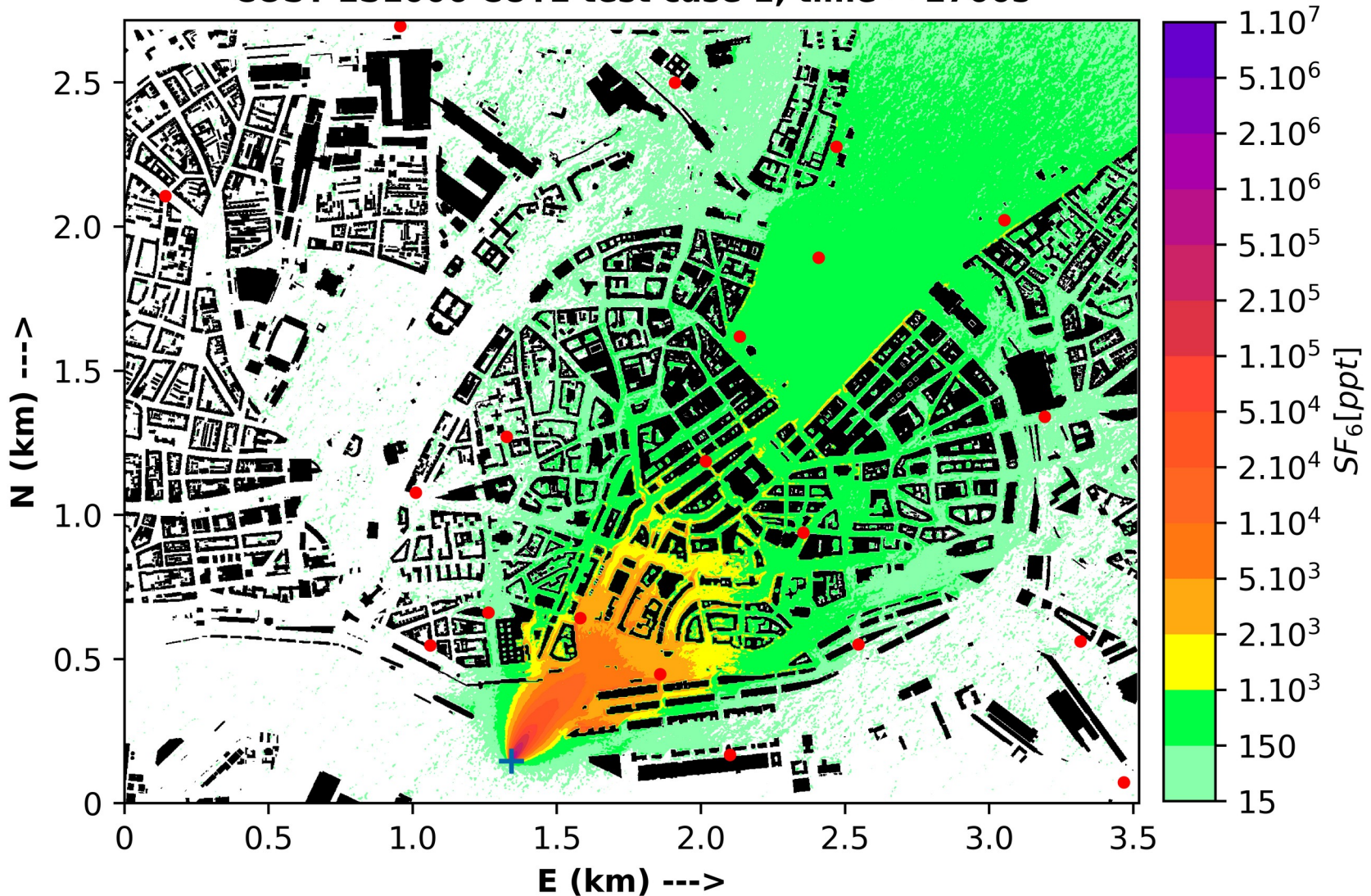
source location

GRAL, полеви експеримент в централните части на Хамбург, Германия:
област на моделиране. В жълто е обозначен точковият източник на замърсяване,
а в червено – местоположенията на пробовземашите пунктове.

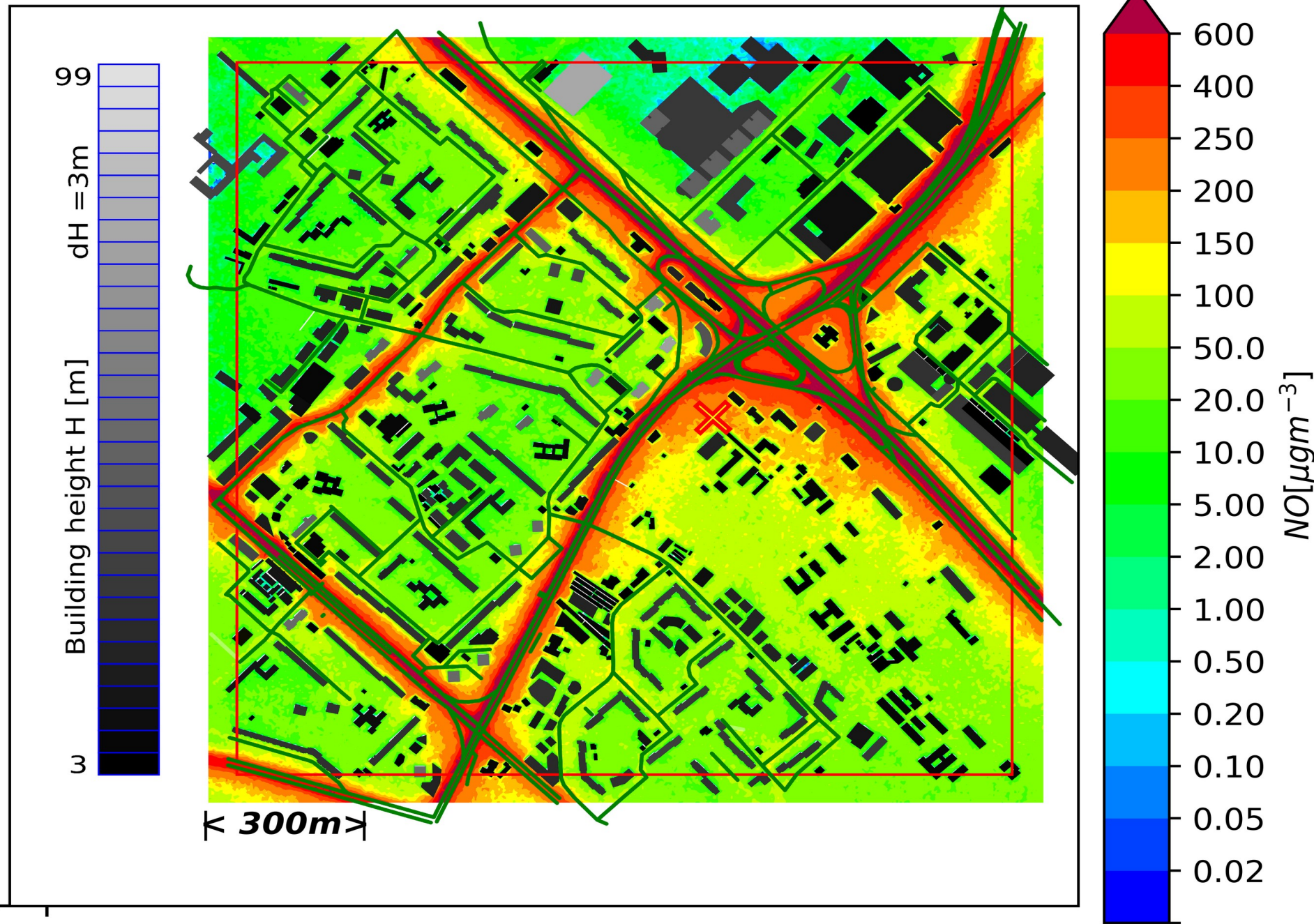


**GRAL, полеви експеримент в централните части на Хамбург, Германия:
моделирани концентрации на тестов замърсител – серен хексафлуорид.**

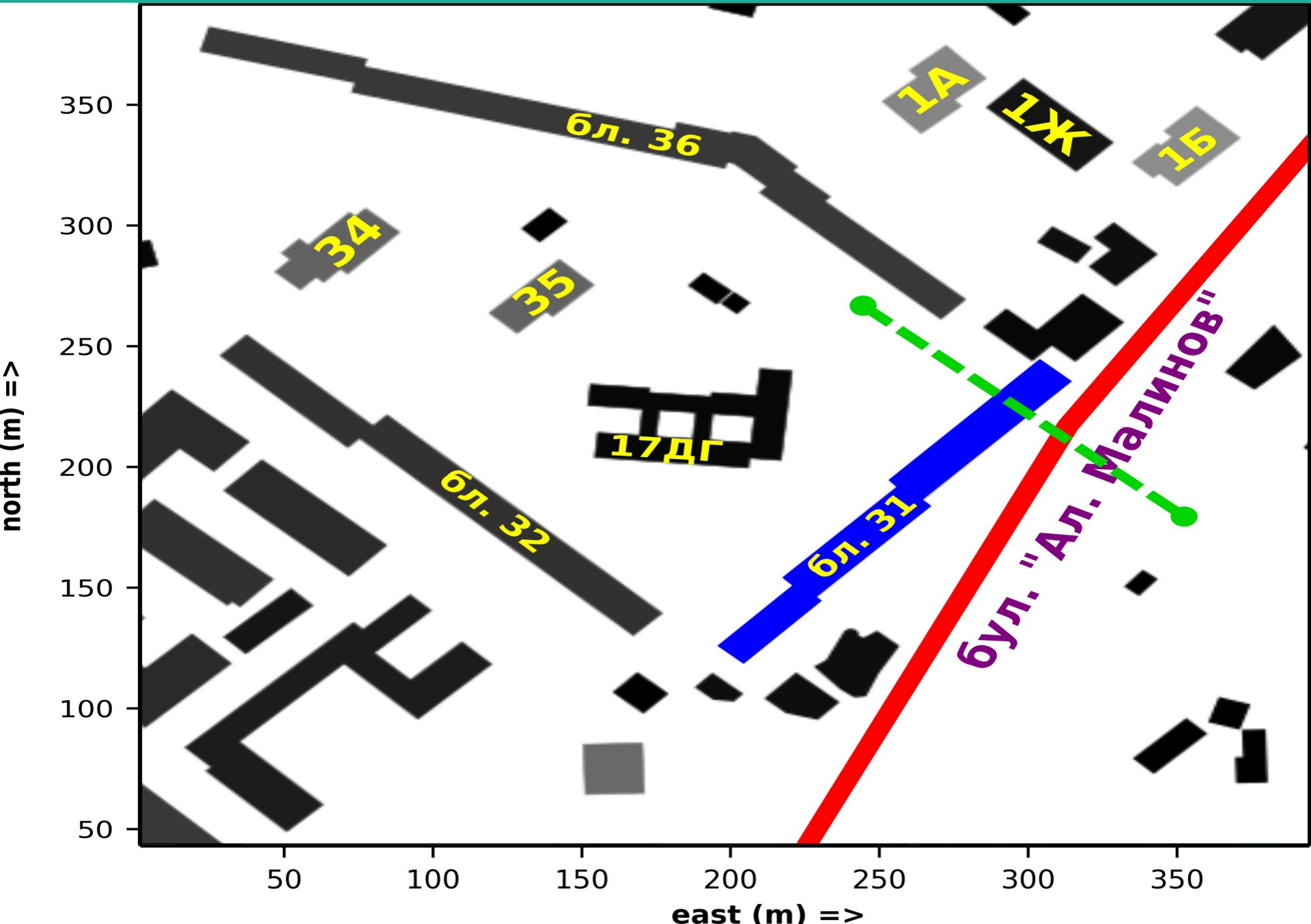
**GRAL SF_6 dispersion simulation
COST ES1006 CUTE test case 1, time = 2700s**



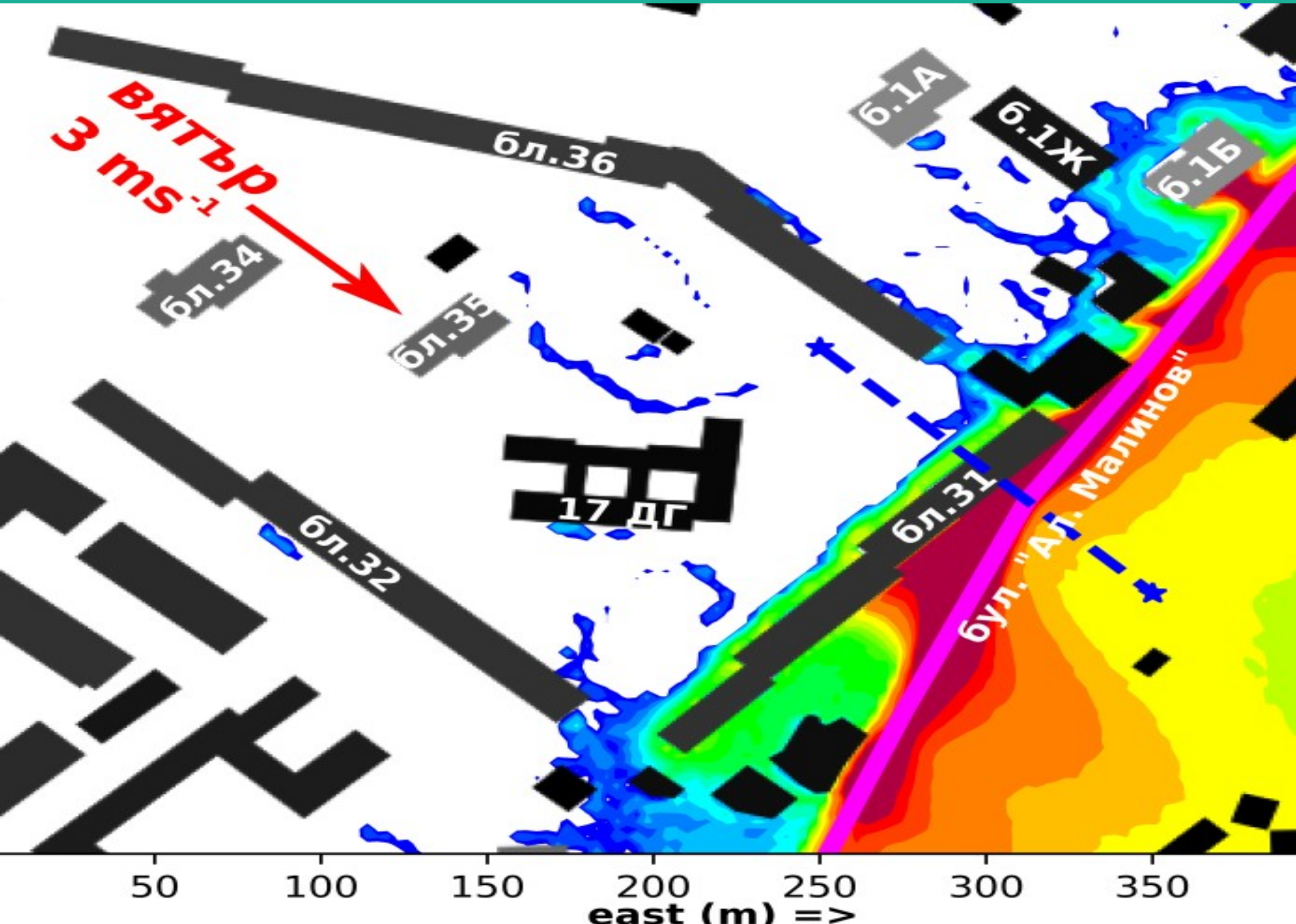
GRAL: Моделирана средна концентрация на NO за м. януари 2019г. в района на "Младост" 1 и 1а



GRAL: Подобласт на моделиране – ж.к. “Младост” – 1, бл. 31

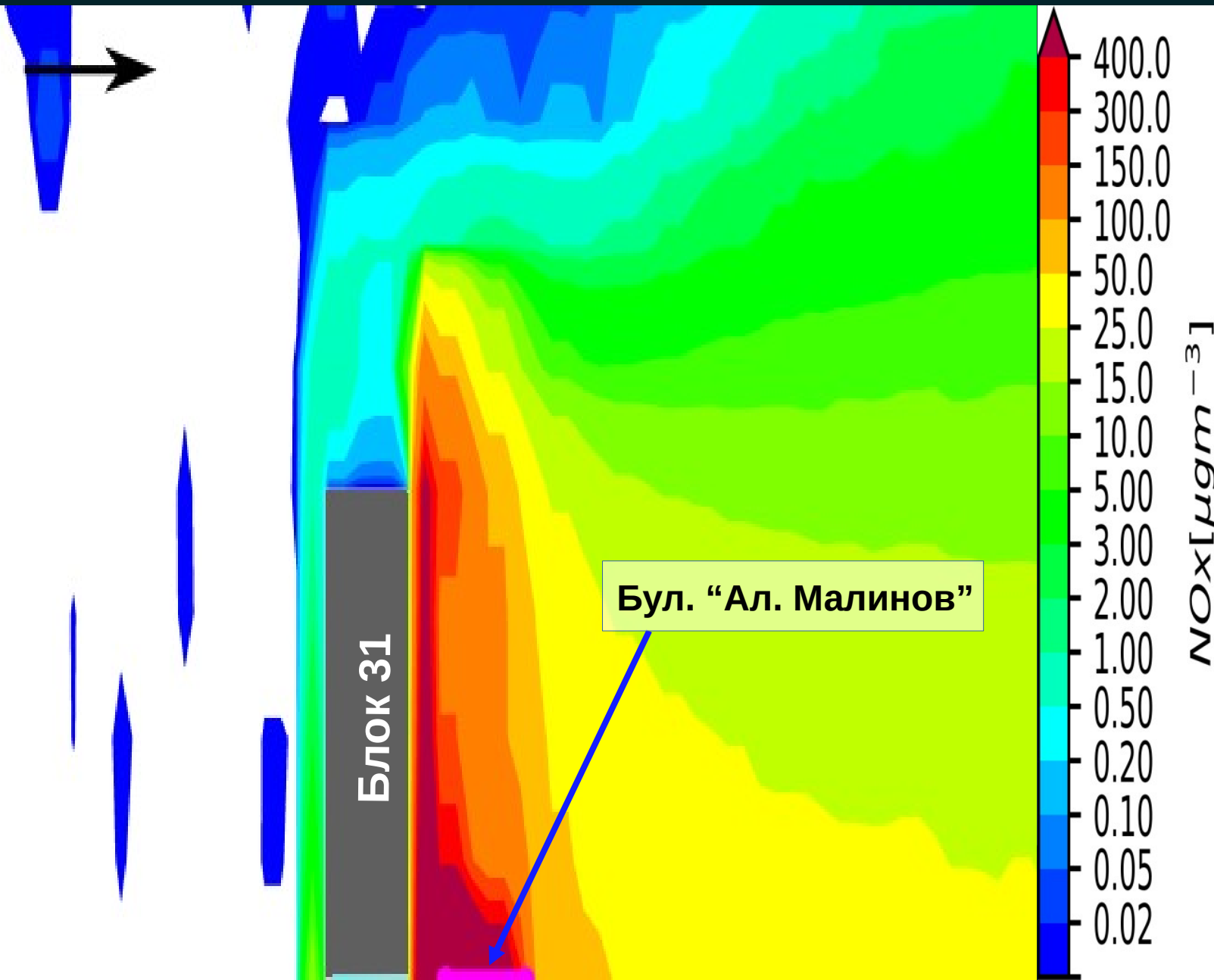


GRAL: Моделирани средночасови концентрации на NO_x (пример).

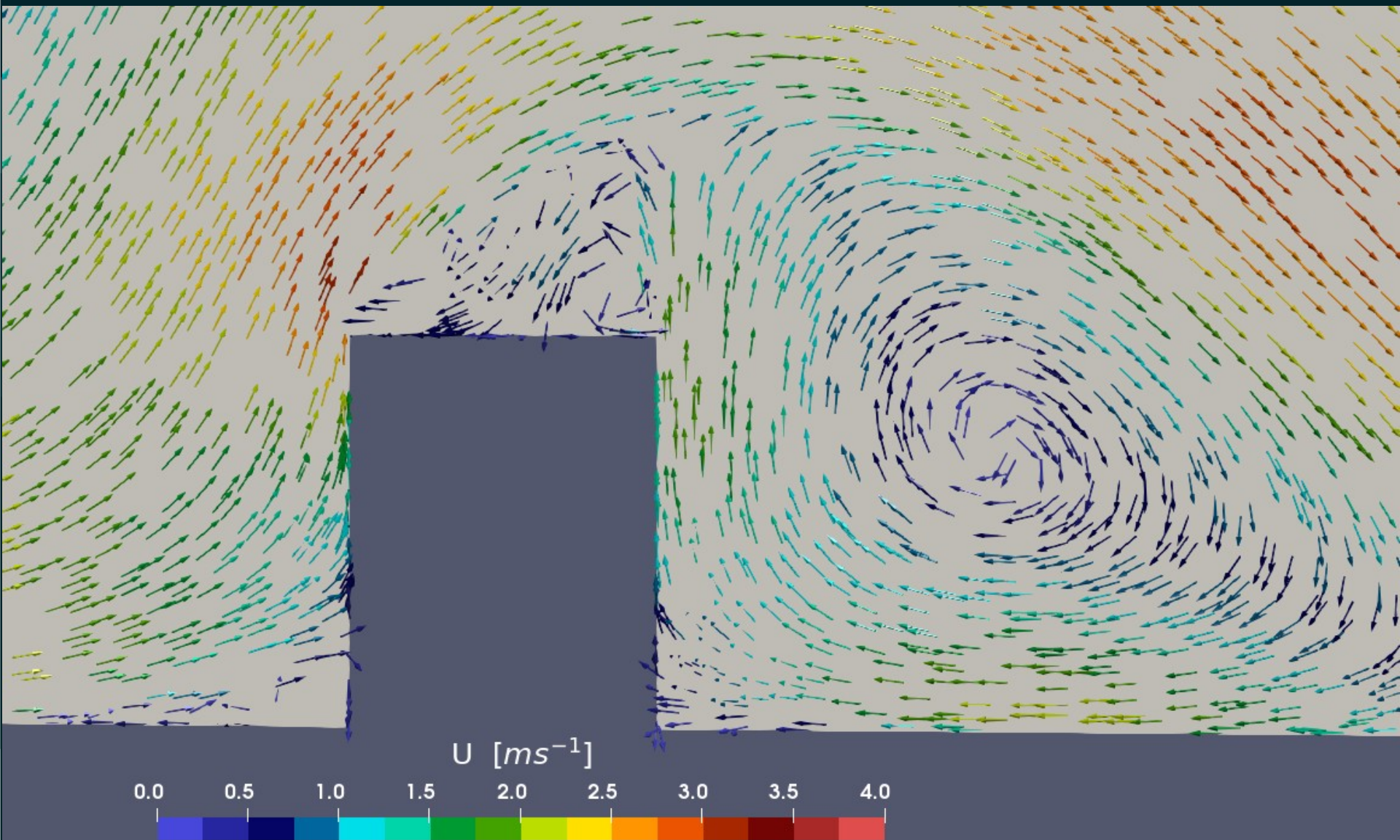


GRAL: Моделирани средночасови концентрации на NO_x – вертикален
разрез на бл. 31 (пример).

ВЯТЪР
 3 ms^{-1}



Вертикално сечение на моделираното поле на вятъра около бл. 31. (“Младост” 1). Ясно се вижда рециркулацията на въздушния поток откъм подветрената страна на жилищния блок



Подобни на GRAL модели

- ◆ AUSTAL2000
(<http://www.austal2000.de/en/home.html>)
- ◆ FLEXPART (www.flexpart.eu)
- ◆ LAPMOD (www.enviroware.com)
- ◆ MSS (Micro-swift-spray, www.aria.fr)
- ◆ SPRAY (www.aria.fr, www.isac.cnr.it)

OpenFOAM (Open Field Operation And Manipulation):

Това е голяма по обем C++ библиотека, предлагаща редица числени решения и симулации:

- ◆ Операции с тензори, векторни и скаларни полета
- ◆ Дискретизация на частни диференциални уравнения използвайки опростен синтаксис
- ◆ Решаване на линейни системи
- ◆ Решаване на обикновени диференциални уравнения
- ◆ Автоматична паралелизация на операции от високо ниво
- ◆ Динамични изчислителни мрежи

Основни физични модели: реологични, термодинамични, модели за турбулентност, лагранжеви частичкови модели, модели за пренос на топлина, електродинамични модели. Модели за химични реакции и химична кинетика,

**ИЗПОЛЗВАНА БАЗА ДАННИ ЗА СРАВНЕНИЕ С
ИЗХОДА НА МОДЕЛА:**

CODASC

**(COncentration DAta of Street Canyons)
(Gromke, 2013; CODASC, 2014)
(аеродинамичен тунел)**



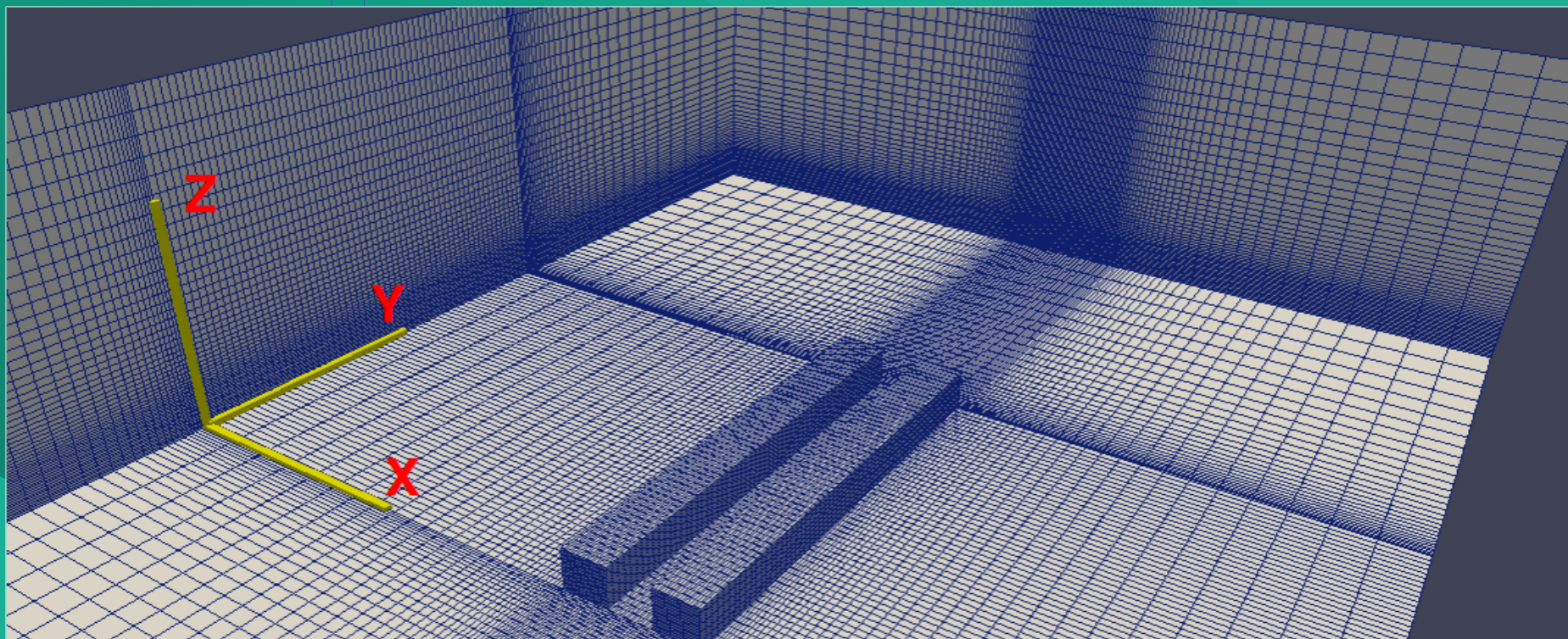
<http://www.windforschung.de/CODASC.htm>

CODASC: Физически модел (макет) на уличен каньон в аеродинамичен тунел. Конфигурацията се намира върху въртяща се подложка, за постигане на желаната ориентация спрямо постъпващия поток. Червените блокчета са елементи на грапавост, пресъздаващи по-реалистичен профил на вятъра.



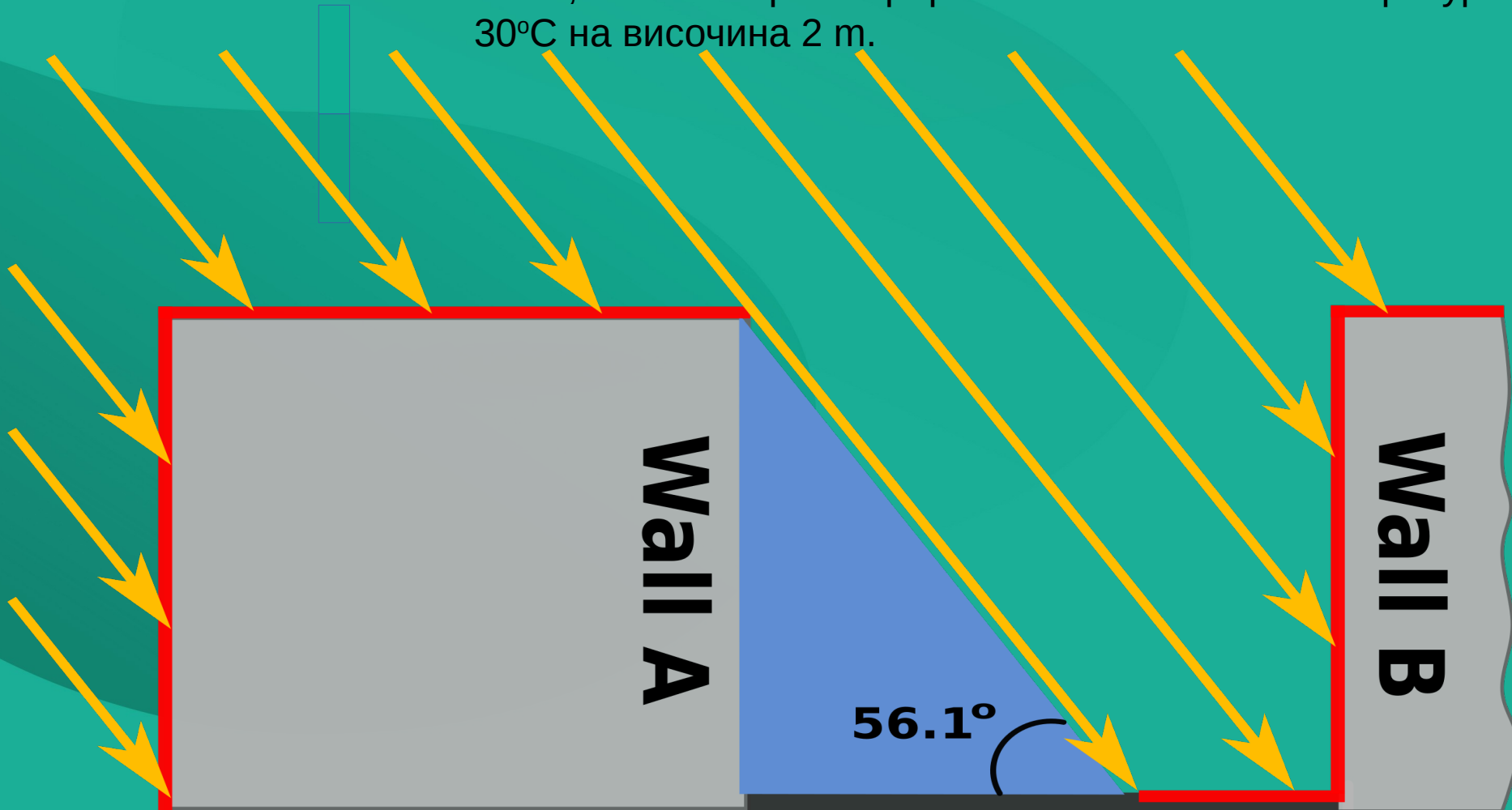
OpenFOAM: ИЗПОЛЗВАН ПОДХОД НА МОДЕЛИРАНЕ - ИЗЧИСЛИТЕЛНА МРЕЖА

- Мащаб **1:150**
- Област на моделиране (в пълен мащаб): $X \times Y \times Z = 1134 \times 1620 \times 144 \text{ m}$
- Брой изчислителни клетки: **645120**
- Максимално пространствено разрешение: **1 x 1 x 1 m** (в близост до сградите)
- Височина на сградите при покривите: **18 m**
- Широчина на сградите: **18 m**
- Дължина на уличния каньон: **180 m**
- Широчина на уличния каньон: **18 m**



OpenFOAM: ИЗПОЛЗВАН ПОДХОД НА МОДЕЛИРАНЕ – КОНФИГУРАЦИЯ НА НАГРЯВАНЕТО

Дадената конфигурация е за каньон, ориентиран по дължината си в направление изток – запад. Ъгълът, под който падат слънчевите лъчи отговаря на този, който се наблюдава на ширината на гр. София на 29.07.2017 г. в 14 ч., когато е регистрирана максимална температура 30°C на височина 2 m.

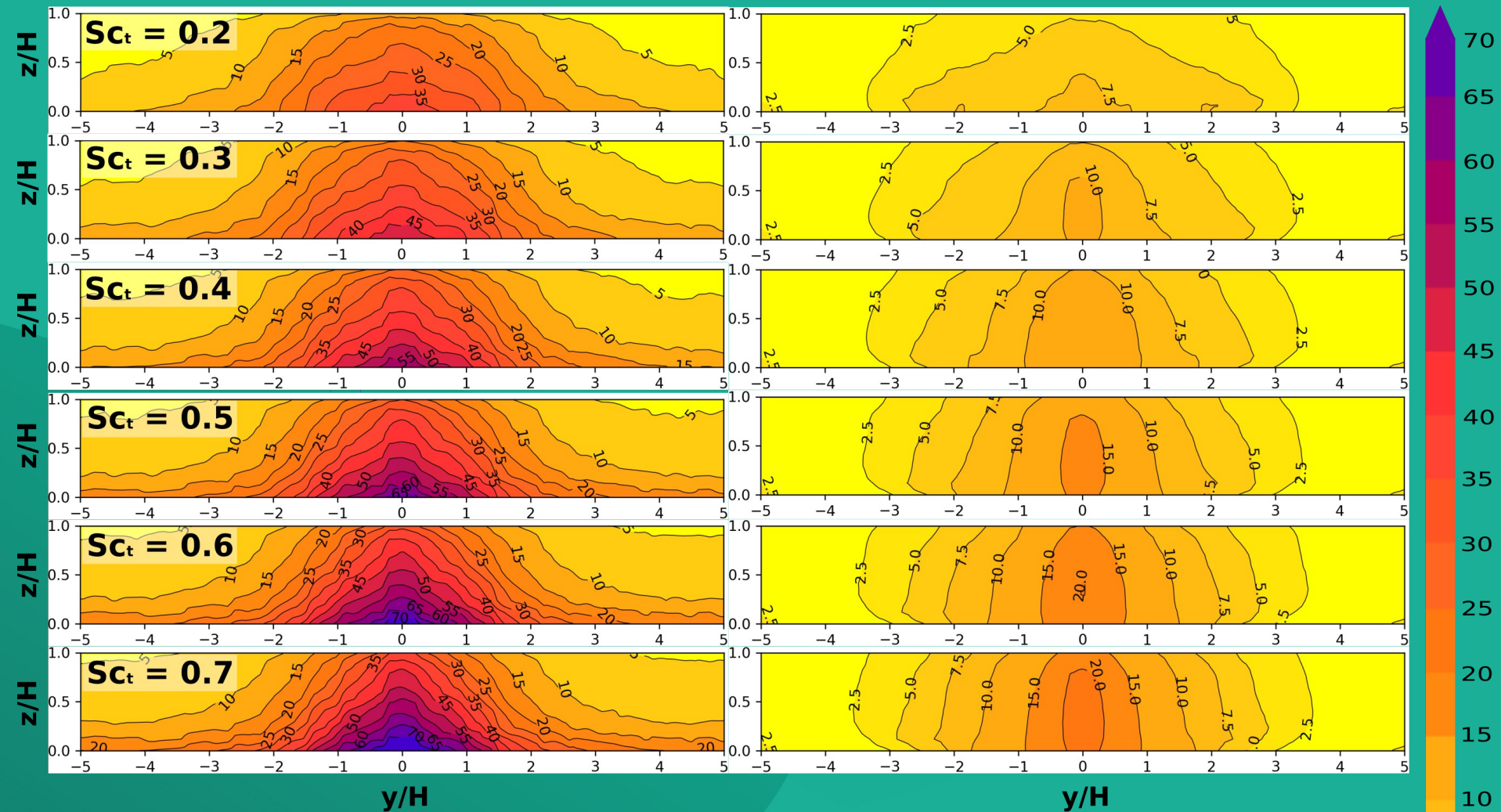


OpenFOAM - Wall A

wind dir. = 90°

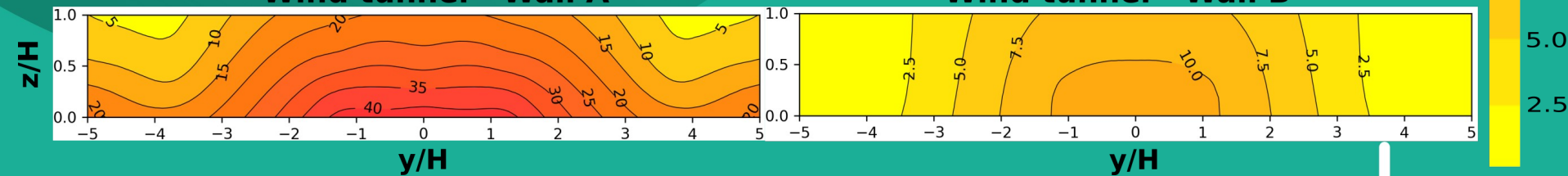
OpenFOAM - Wall B

C⁺

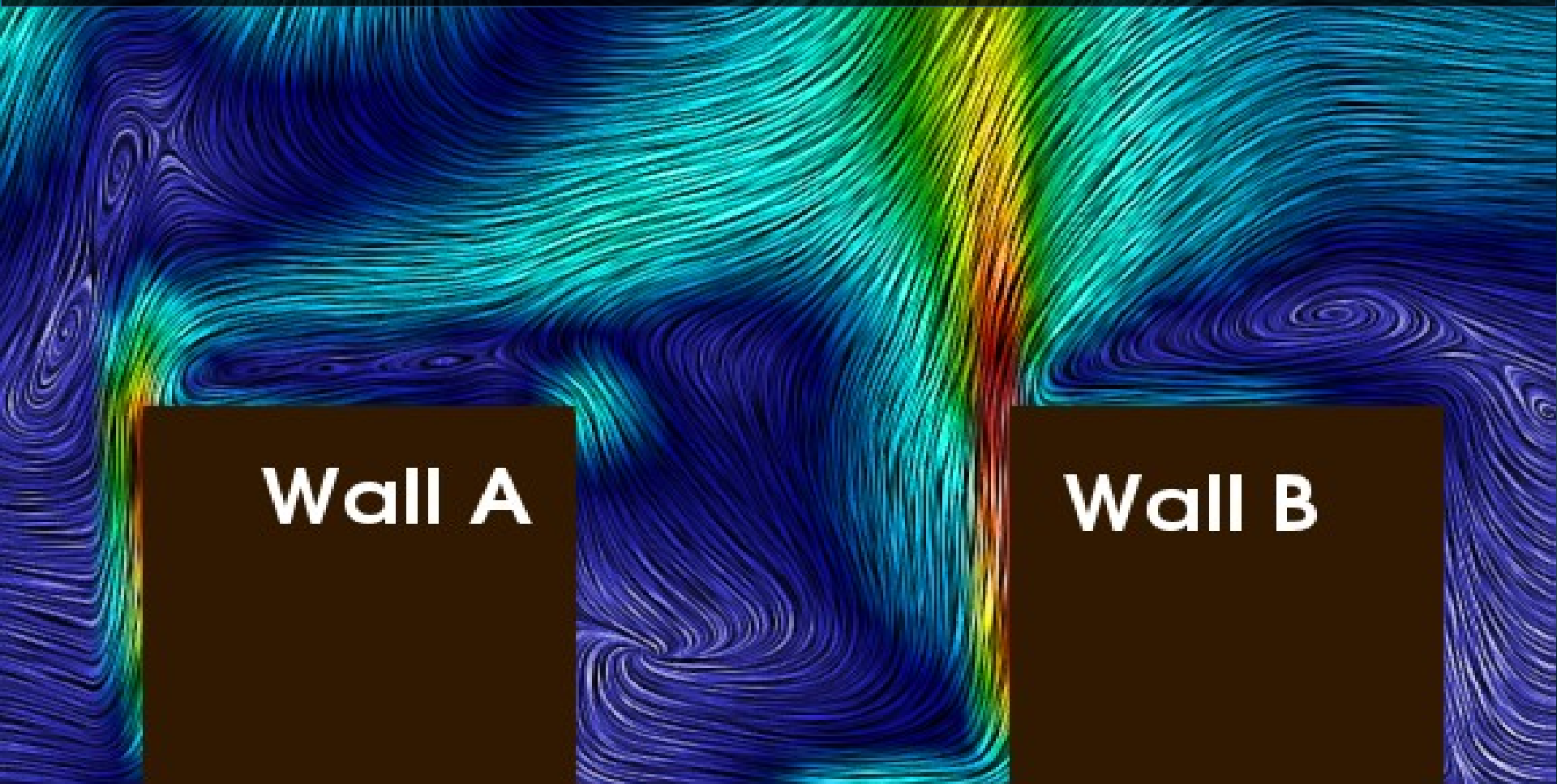


Wind tunnel - Wall A

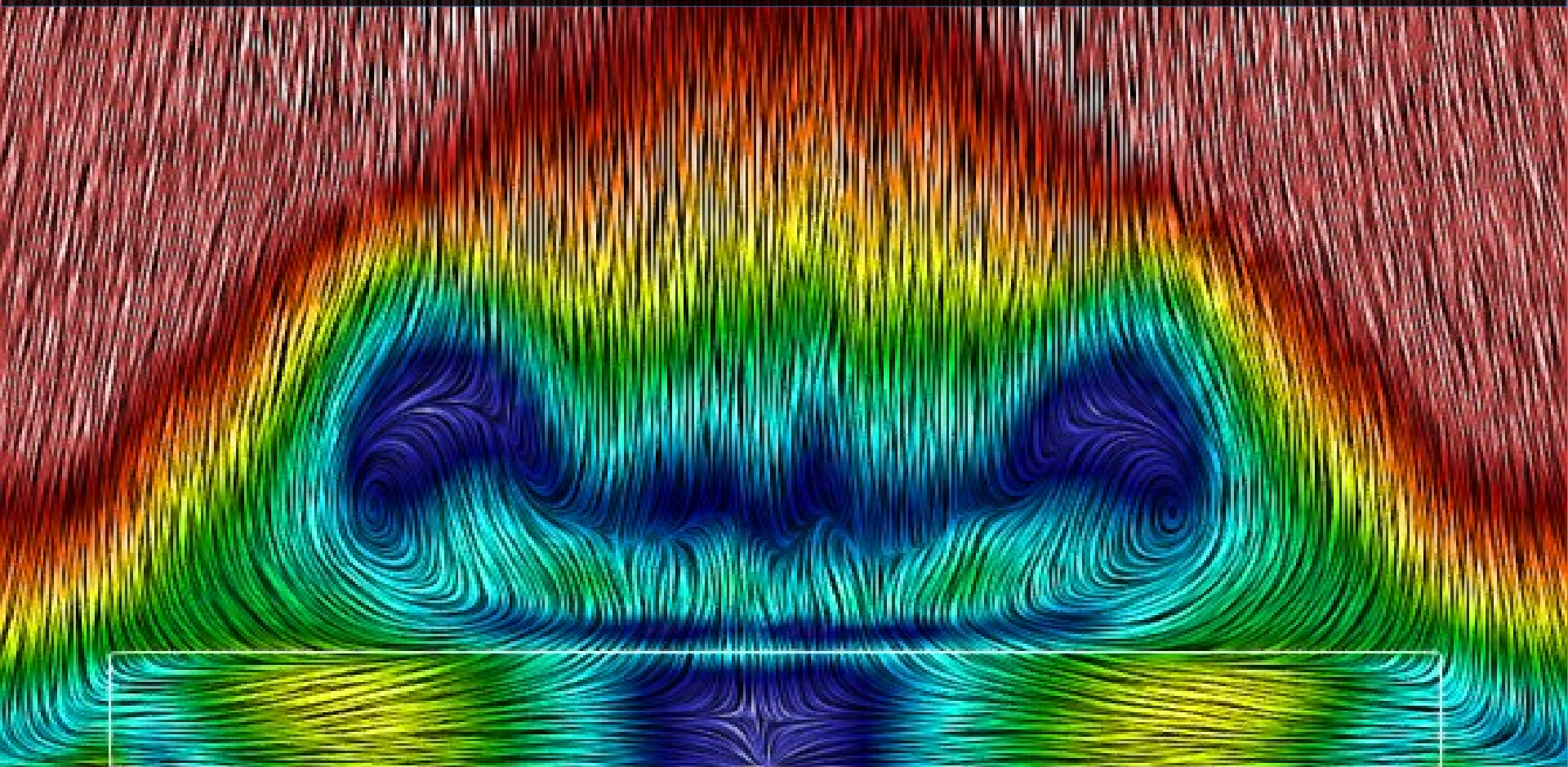
Wind tunnel - Wall B



OpenFOAM: Токови линии на въздушния поток, породен от неравномерното нагряване в уличния каньон (сечение по x-z равнината).



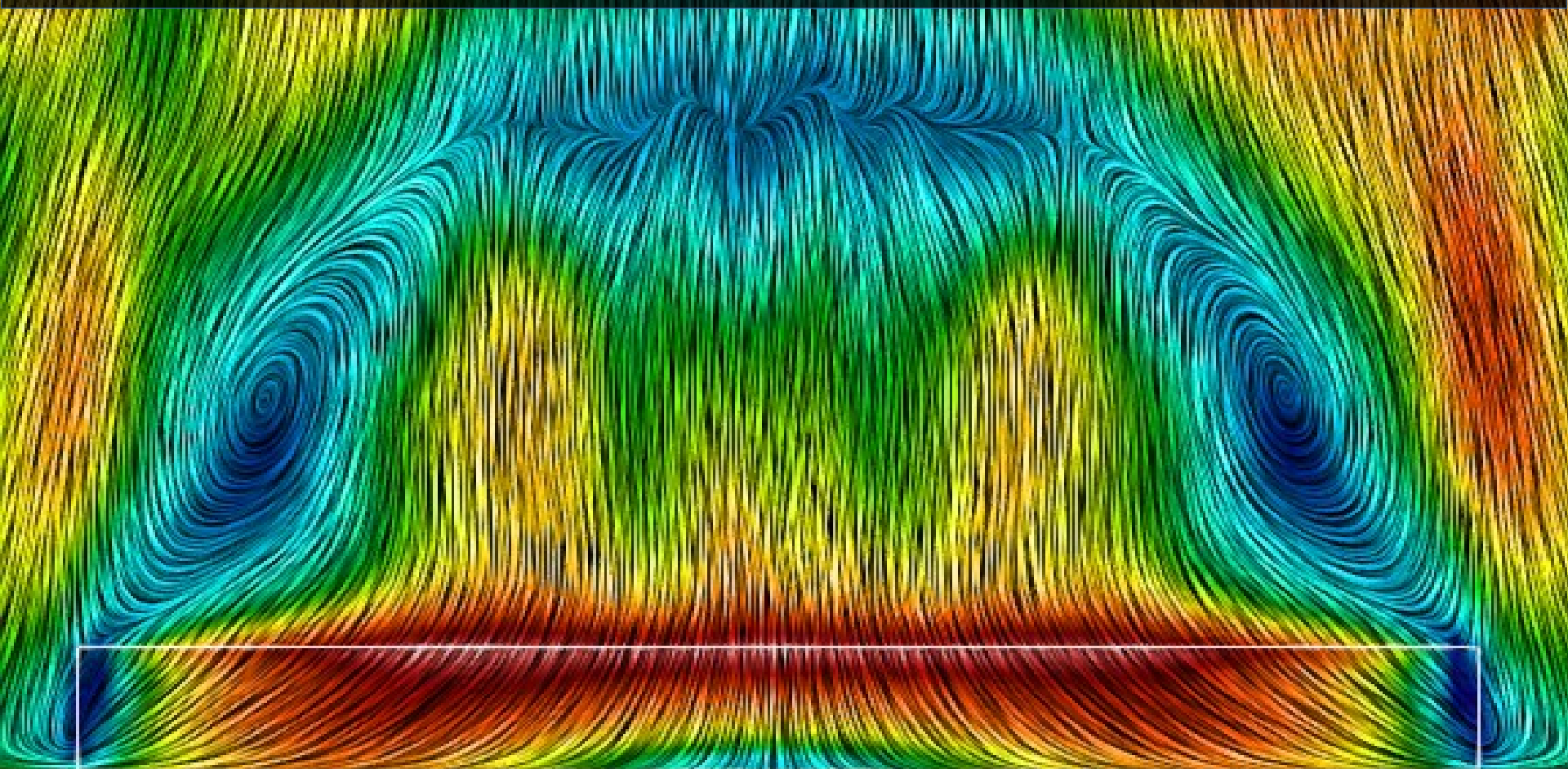
OpenFOAM: Токови линии на въздушния поток, породен от
неравномерното нагряване в уличния каньон (сечение по y-z равнината при
стена A).



Wall A



OpenFOAM: Токови линии на въздушния поток, породен от неравномерното нагряване в уличния каньон (сечение по y - z равнината при стена В).



Wall B



Други CFD модели

- ◆ Code_Saturne (www.code-saturne.org/cms/)
- ◆ Star CD (www.plm.automation.siemens.com)
- ◆ MERCURE
- ◆ (Électricité de France and ARIA Technologies)
- ◆ Ansys Fluent and CFX
(www.ansys.com/products/fluids/ansys-fluent)
- ◆ SimScale (www.simscale.com)
- ◆ MISKAM (www.lohmeyer.de)
- ◆ PALM (palm.muk.uni-hannover.de)

Благодаря за вниманието!