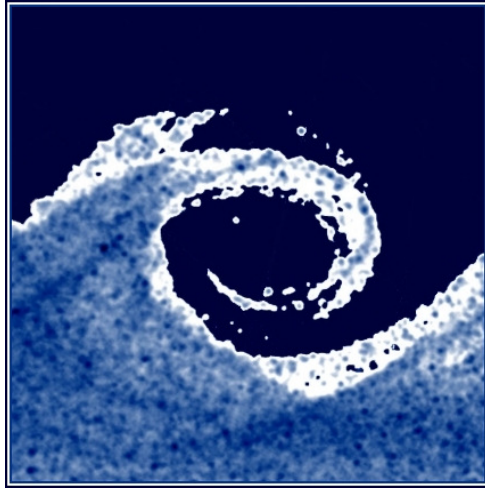


# ÁRAMLÁSTAN TANSZÉK

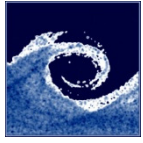
---

Budapest University of Technology and  
Economics



**Szennyezőanyagok terjedésének numerikus szimulációja  
városi környezetben**

**Rákai Anikó**

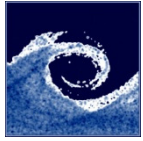


## Modellezés

**Modell: megpróbáljuk a valóságot utánózni  
Kisebb-nagyobb sikerrel → sohasem pontos**

**Bonyolultabb modell (több jelenséget foglal  
magában)  
→ több hibaforrás**

**Miért szeretjük mégis?  
Sokmindenről kaphatunk képet így**



## Mit akarunk modellezni?

**Szennyezőanyagok terjedését:  
(Vízben, talajban,) levegőben  
Passzív skalárként**

**Lehetséges források:**

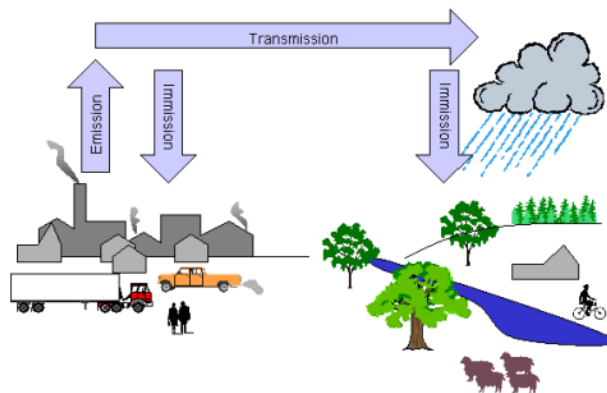
**Pont (kémény)**

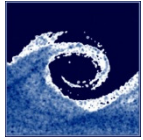
**Vonal (autóút)**

**Területi (parkoló, buszpályaudvar)**

**Terjedési folyamat:**

**emisszió-transzmisszió-immiszió**





# Miért akarunk modellezni?

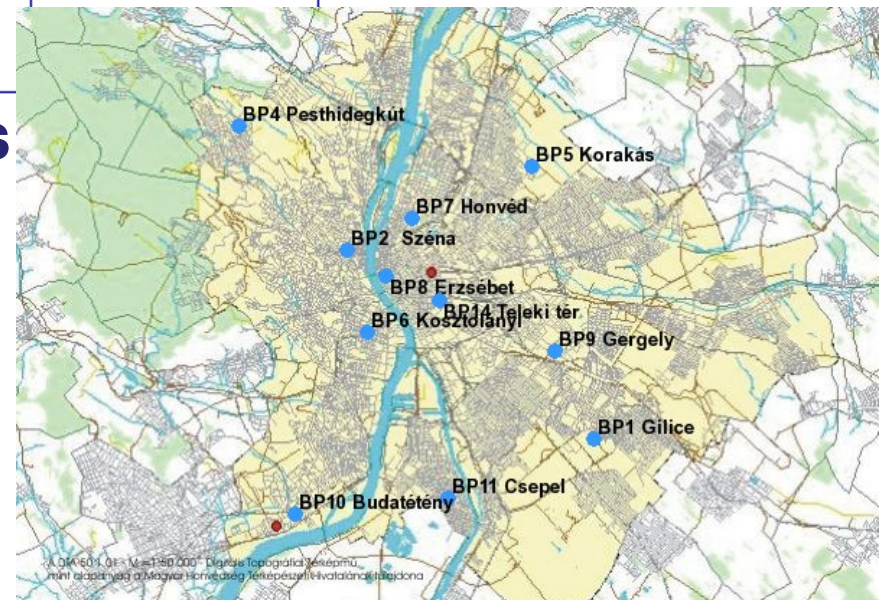
**Emisszió pontforrás esetén jól leírható  
Immissziós normák is vannak**

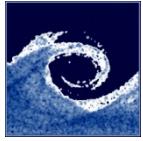
Légszennyező anyag	Határérték [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]				
	órás		24 órás	éves	
	határérték	tűrőhatár		határérték	tűrőhatár
Nitrogén-dioxid	100 a naptári év alatt 18-nál többször nem léphető túl	50% amely 2001. I. 1-jétől évenként egyenlő mértékben csökken, és 2010. I. 1-jére eléri a 0%-ot	85	40	50% amely 2001. I. 1-jétől évenként egyenlő mértékben csökken, és 2010. I. 1-jére eléri a 0%-ot
Nitrogén-oxidok (mint $\text{NO}_2$ )	200		150	70	
Szén-monoxid	10 000		5 000	3 000	

Légszennyező anyag	Határérték [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]				
	órás	24 órás		éves	
		határérték	tűrőhatár	Határérték	tűrőhatár
Szálló por ( $\text{PM}_{10}$ )		50 a naptári év alatt 35-nél többször nem léphető túl		40	

**Budapesten 10 mérőállomás  
Keveset mond  
egyedi helyekről**

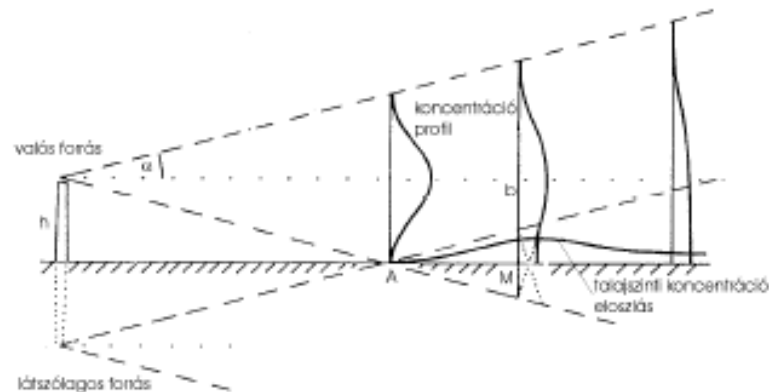




# Hogyan lehet szennyezőanyagterjedést modellezni levegőben?

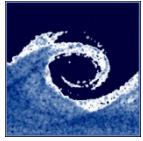
**Szélcsatornában**

**Matematikai eloszlással: füstfáklya modell (Gauss)**



**CFD-vel (Computational Fluid Dynamics):  
numerikus áramlástan**

**De városban bonyolultabb a geometria**

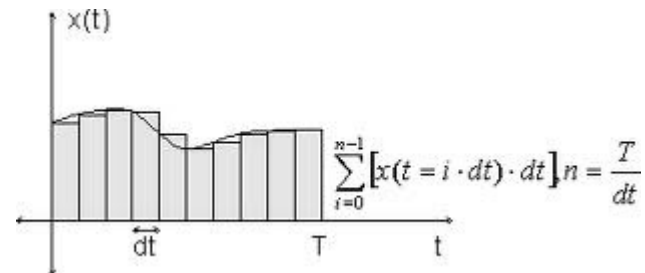


# CFD

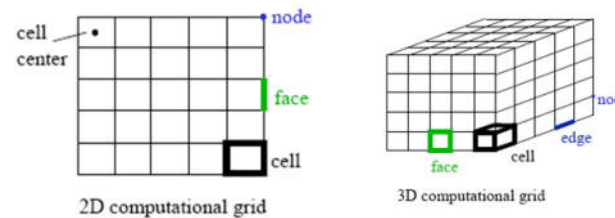
Mitől numerikus?

Analitikus ↔ numerikus

Pl.: numerikus integrálás



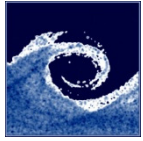
A tér és az egyenletek diszkretizálása:



Külön az áramlási tér feltérképezése: szélmező

Külön a terjedés számítása: nincs visszahatás

állandósult állapot, nincs reakciókinetika



## Még CFD

Áramlási tér feltérképetéséhez áramlástan  
alapegyenletek:

Kontinuitás

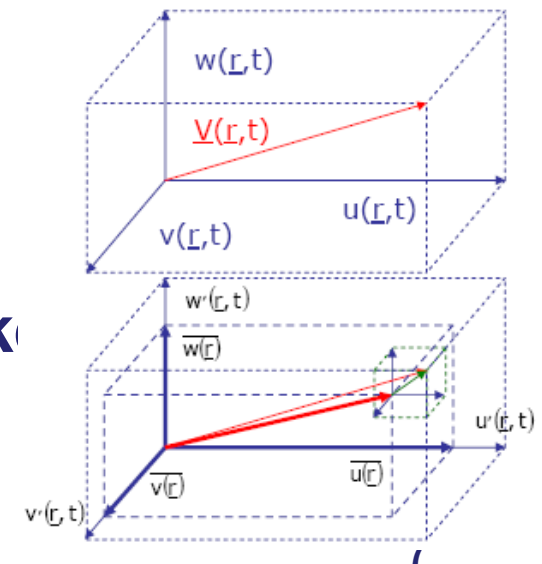
Mozgásegyenlet 3 komponensegyenlete  
(Navier Stokes)

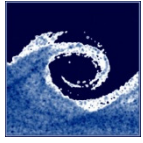
4 egyenlet, 4 ismeretlen:  $p$ ,  $u$ ,  $v$ ,  $w$

Parciális differenciál egyenletrendszer

De nem tudjuk megoldani: iteráció

Turbulens áramlásban ingadozó tagok  
miatt látszólagos/Reynolds  
feszültségek, ezeket is modellezni k





## Még CFD

**Turbulenciamodellek:**

**Boussinesq közelítés – írjuk le a turbulencia miatti tagokat a viszkozitáshoz hasonlóan**

**$\nu_t$  – turbulens viszkozitás**

**Erre felírható modellek: 1-2-6 egyenlet**

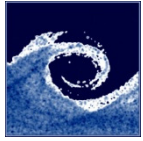
**Leghíresebb: k- $\epsilon$  modell, 2 egyenlet, 2 plusz ismeretlen**

**k- turbulens kinetikus energia**

**$\epsilon$  – a turbulens kinetikus energia disszipációja**

**Ezekre transzportegyenletet írunk fel**

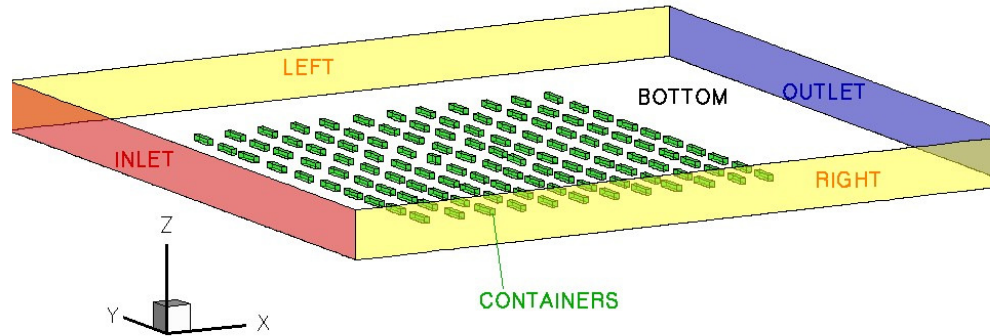




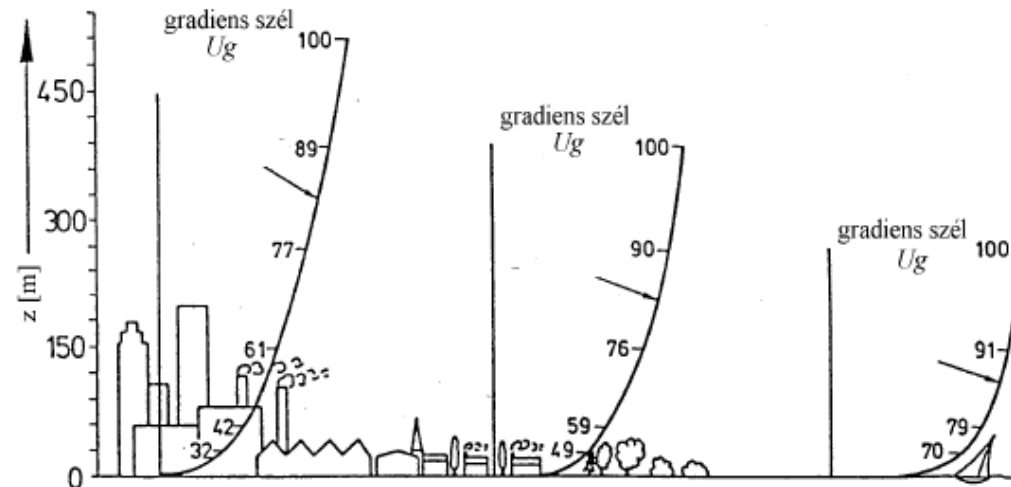
# Még CFD

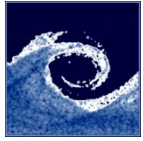
Peremfeltételek:

Mi van a tartomány szélén? Minden változóra megadni:  $p$ ,  $u$ ,  $v$ ,  $w$ ,  $k$ ,  $\epsilon$



Ebből a sebességvektor a bemenő peremen:  
Városi határréteg sebességprofilja





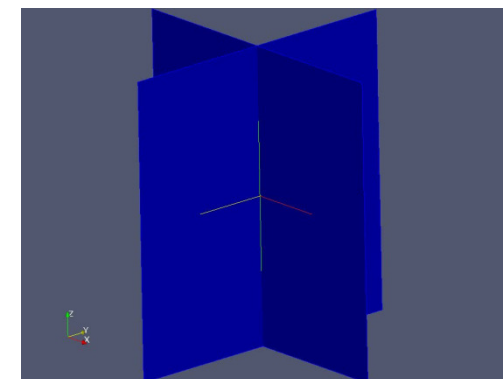
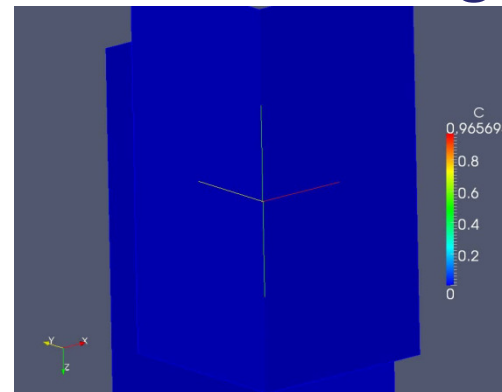
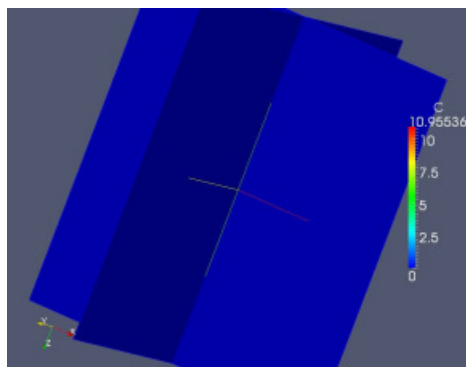
## Még CFD

**Szélmezőfuttatás eredménye:**  
 $\rho$ ,  $u$ ,  $v$ ,  $w$ ,  $k$ ,  $\varepsilon$  minden cellában  
Ebből rajzolható áramvonal

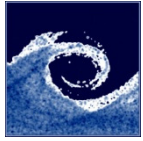
**És felhasználhatjuk a terjedés kiszámításához:**  
Transzportegyenlet: mitől változik a  
szennyezőanyag helye?

**Konvektív:** elviszi a szél

**Diffúz:** Széttérjed a koncentrációgradiens miatt



**Turbulens áramlásban jobban keveredik az anyag:**  
**Turbulens diffúzióként modellezhető**



## Még CFD

**Turbulens diffúzió**

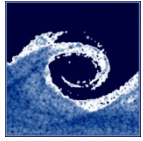
**$D_t$  turbulens diffúziós tényező – áramlásfüggő!**

**Hogyan modellezzük?**

**A lamináris transzport mintájára a turbulens viszkozitással hozzuk összefüggésbe, a kettő arányát mutatja  $Sc_t$**

**Ezen kívül meg kell adni a források helyét és erősségét**

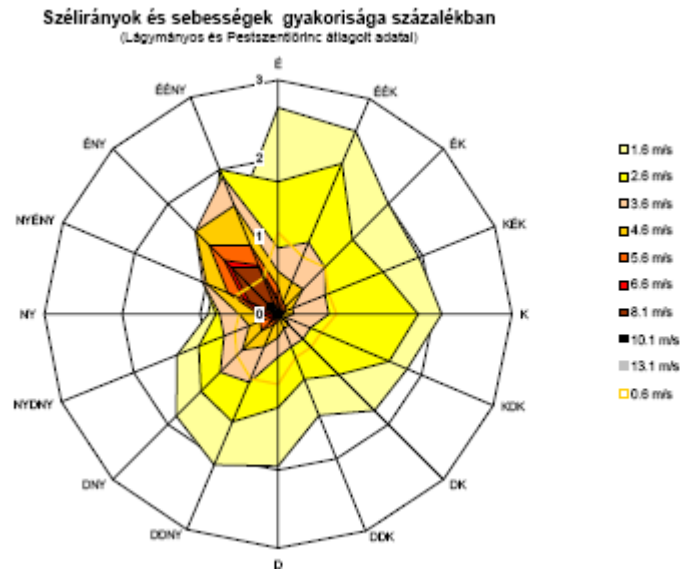
**A számítások eredménye:  
koncentrációérték minden cellában**



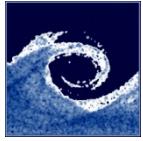
# Szükséges adatok

## Geometria

## Szélstatisztika: irány, erősség, profil



**Forrásadatok: kibocsátás erőssége, koncentrációja, járművek esetén forgalom, típusok**

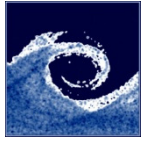


## Mire használjuk az eredményeket?

**KHV levegőminőségi rész: döntéshozás elősegítése**

**Új utak építése esetén engedélyezési dokumentációba**

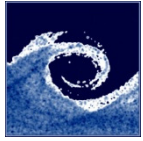
**Új épületek engedélyezése esetén szintén**



## Hogyan hajtunk végre egy ilyen számítást?

1. Saját kód fejlesztése
2. Ipari általános célú CFD kódok
3. Célszoftver

**Mindegyiknek van előnye, hátránya**



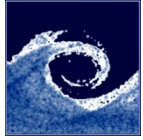
## **Validáció**

**Ellenőrizni kell a modellt, különben senki nem hiszi el amit számoltunk**

**A számítás eredménye sosem egy konkrét érték, hanem tendencia**

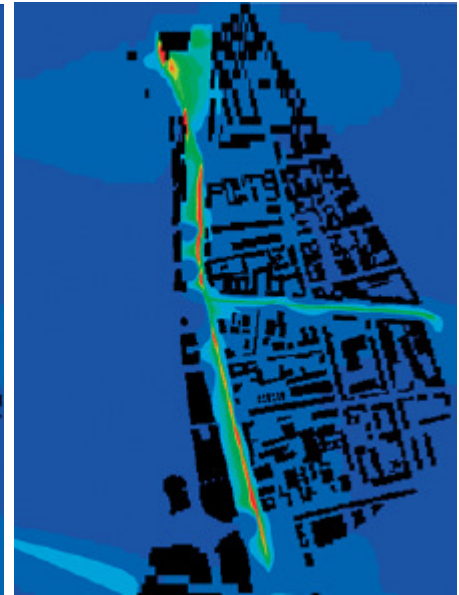
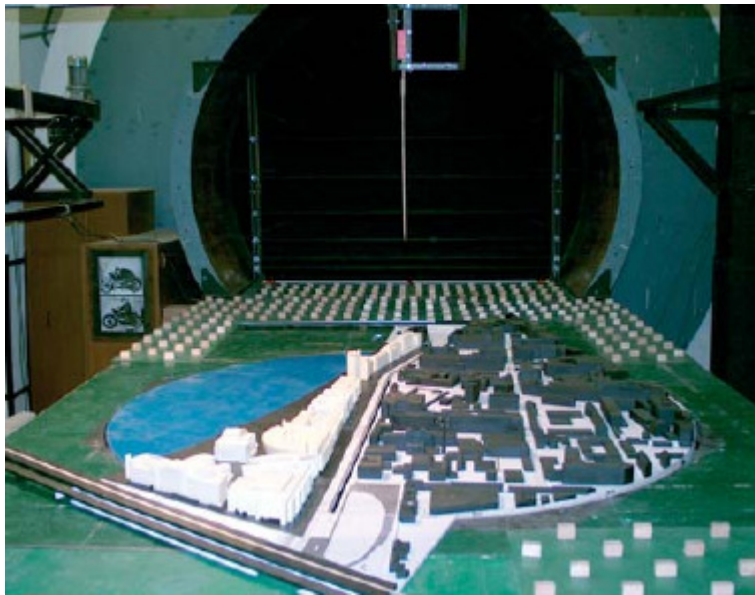
**Ellenőrzés reprodukálható és kontrollálható körülmények között**

**Németországban szabvány írja le, mit fogadnak el**

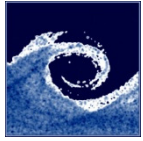


# Esettanulmány – Milleniumi Városközpont

## Művészetek palotája, Új Nemzeti Színház

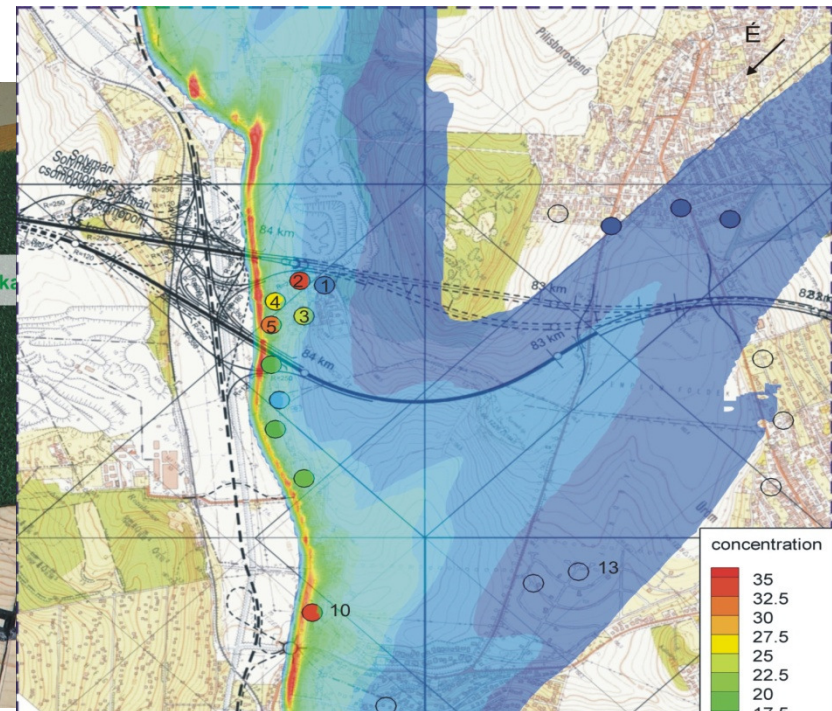
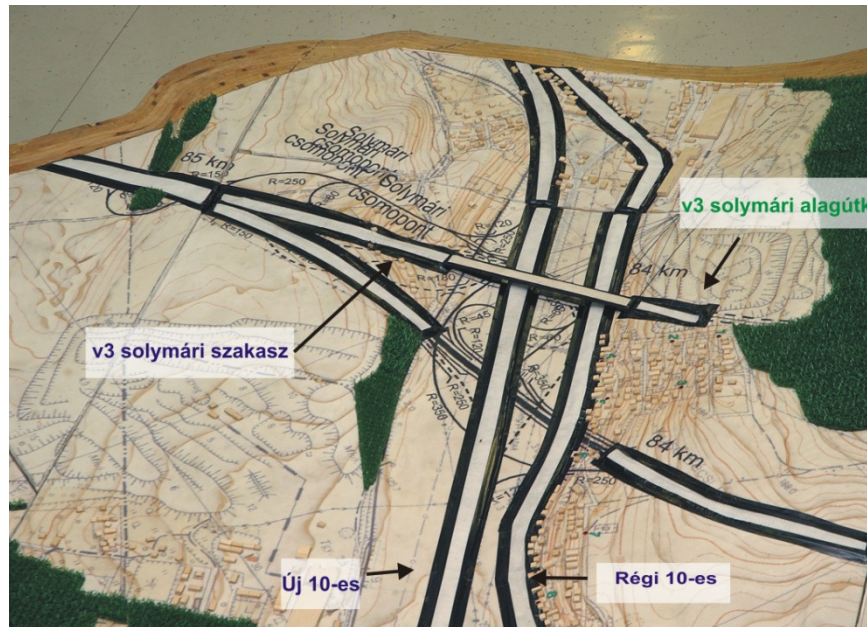


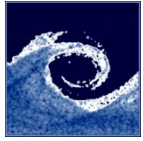




# Esettanulmány – M0 Északi szakasza

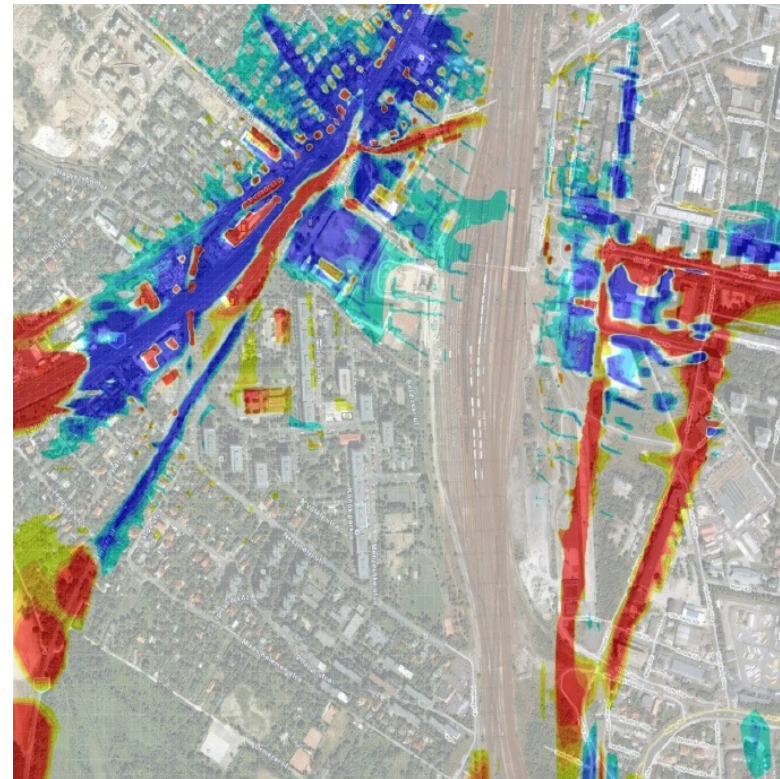
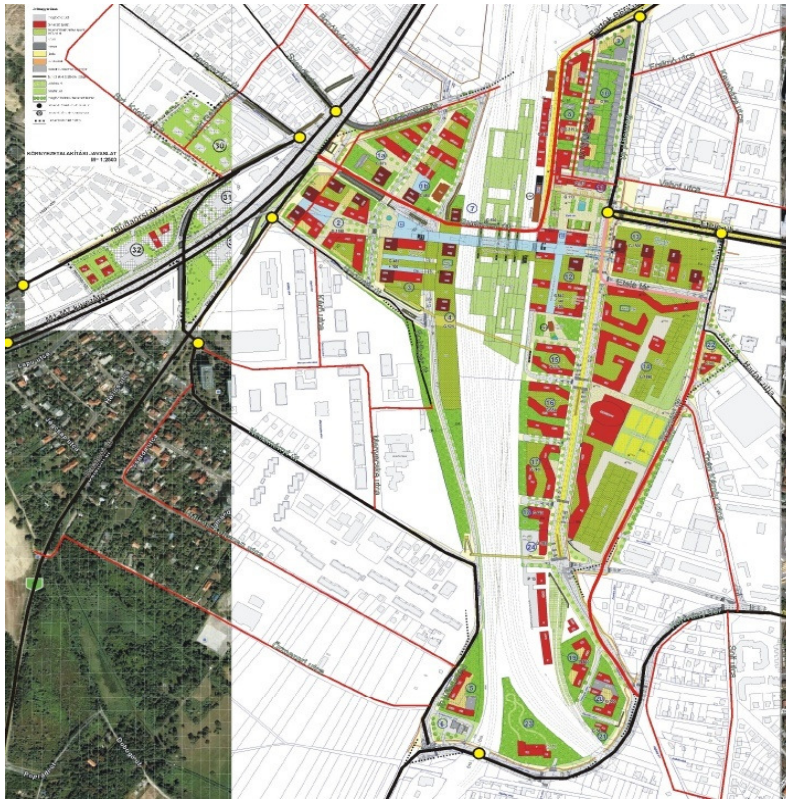
## Több útvonalváltozat

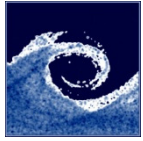




# Esettanulmány

## Kerületi rendezési terv



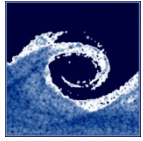


## A célszoftver: MISKAM

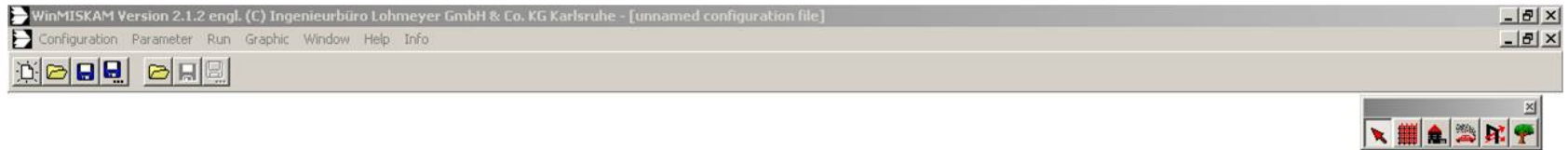
**Mikroskaliges Strömung- und Ausbreitungsmodel  
(mikroskálájú áramlás- és terjedésmodell)**

**„önkormányzati” használatra: a háttérismeretek  
nélküli felhasználó is gyorsan megtanulhatja**

**DE, érteni kell hozzá**



# MISKAM gyakorlat előzetes: hálódefiníció



**Domain definition**

Number of grid cells		Domain size [m]	
x-direction	80	x-direction	800
y-direction	80	y-direction	800
z-direction	30	z-direction	500

Vertical grid

User defined grid  
 AUSTAL2000 default heights

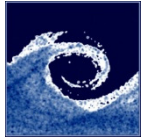
Near ground layers with constant grid spacing  
HINT: Only relevant for initial vertical grid

Gridsize [cm] 100  
... up to a height [m] of 5

Stretching factor: 1.19

Angle of x-axis against north [degree] 90  
Ground roughness length [cm] 10  
Wall roughness length [cm] 1

Cancel OK



# MISKAM gyakorlat előzetes: sűrítés megadása

WinMISKAM Version 2.1.2 engl. (C) Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG Karlsruhe - [unnamed configuration file]

Configuration Parameter Run Graphic Window Help Info

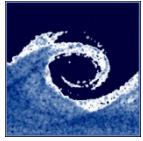
**Grid distribution**

x-direction:  
Minimum grid spacing [m] 5.0  
Faction with minimum grid spacing [%] 50

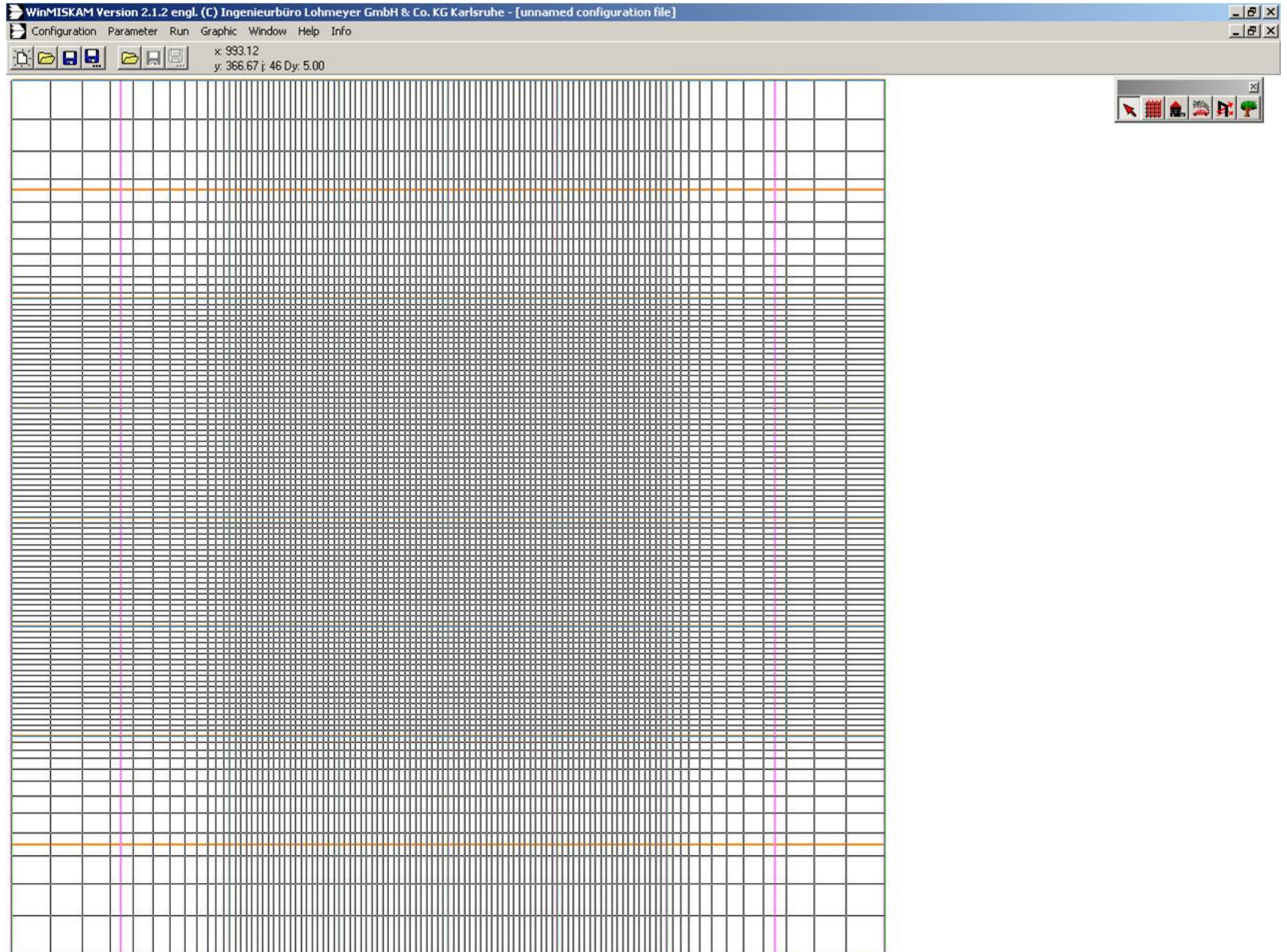
y-direction:  
Minimum grid spacing [m] 5.0  
Faction with minimum grid spacing [%] 50

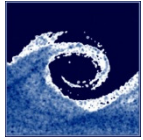
Hint: CANCEL = to be continued with equidistant grid!

Cancel OK



# MISKAM gyakorlat előzetes: háló felülnézete





# MISKAM gyakorlat előzetes: épületkataszter

WinMISKAM Version 2.1.2 engl. (C) Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG Karlsruhe - [Configuration file: V:\Projekt (Rubin\_hotel\_diel\20111030\02\_halo\mish\zrbya)]

Configuration Parameter Run Graphic Window Help Info

Digitize buildings

Building data

Height [m] 28.0

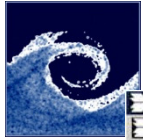
Label Geb\_16

Delete building

Cancel OK

2010.11.17 14:44:47

Free disk capacity: 131695 MB, Available physical memory: 167696 kB



# MISKAM gyakorlat előzetes: épületek hálóra vetítése

WinMISKAM Version 2.1.2 engl. (C) Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG Karlsruhe - [Configuration file: V:\Projekt\Rubin\_hotel\_del20111030\02\_halo\mesh\ruby.j]

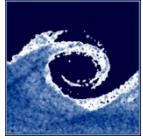
Configuration Parameter Run Graphic Window Help Info

x: 217.35 Gebäude-Nr.: 16 Höhe: 28.0  
y: 205.63

2010.11.17 14:50:07 Digitize/edit buildings

Free disk capacity: 131695 MB, Available physical memory: 139652 kB





# MISKAM gyakorlat előzetes: úthálózat megadása

WinMISKAM Version 2.1.2 engl. (C) Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG Karlsruhe - [Configuration file: Y:\Projekt\Rubin\_hotel\_del20111030\02\_halo\mesh\ruby.j]

Configuration Parameter Run Graphic Window Help Info

x: 241.45  
y: 245.73

Catch ends of road seg. Default road width [m]: 0.0

**Road parameter**

Name  
Act. seg. number: 3  
Segment: \_1

Geometry | Emissions | DTV, etc. | < | >

Coordinates road segment

Beginning  
X [m]: 362.8  
Y [m]: 284.4

End  
X [m]: 271.3  
Y [m]: 158.2

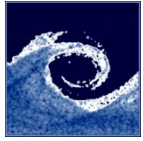
Road width [m]  
 Default: 28.0

Height (relative) [m]  
 Default

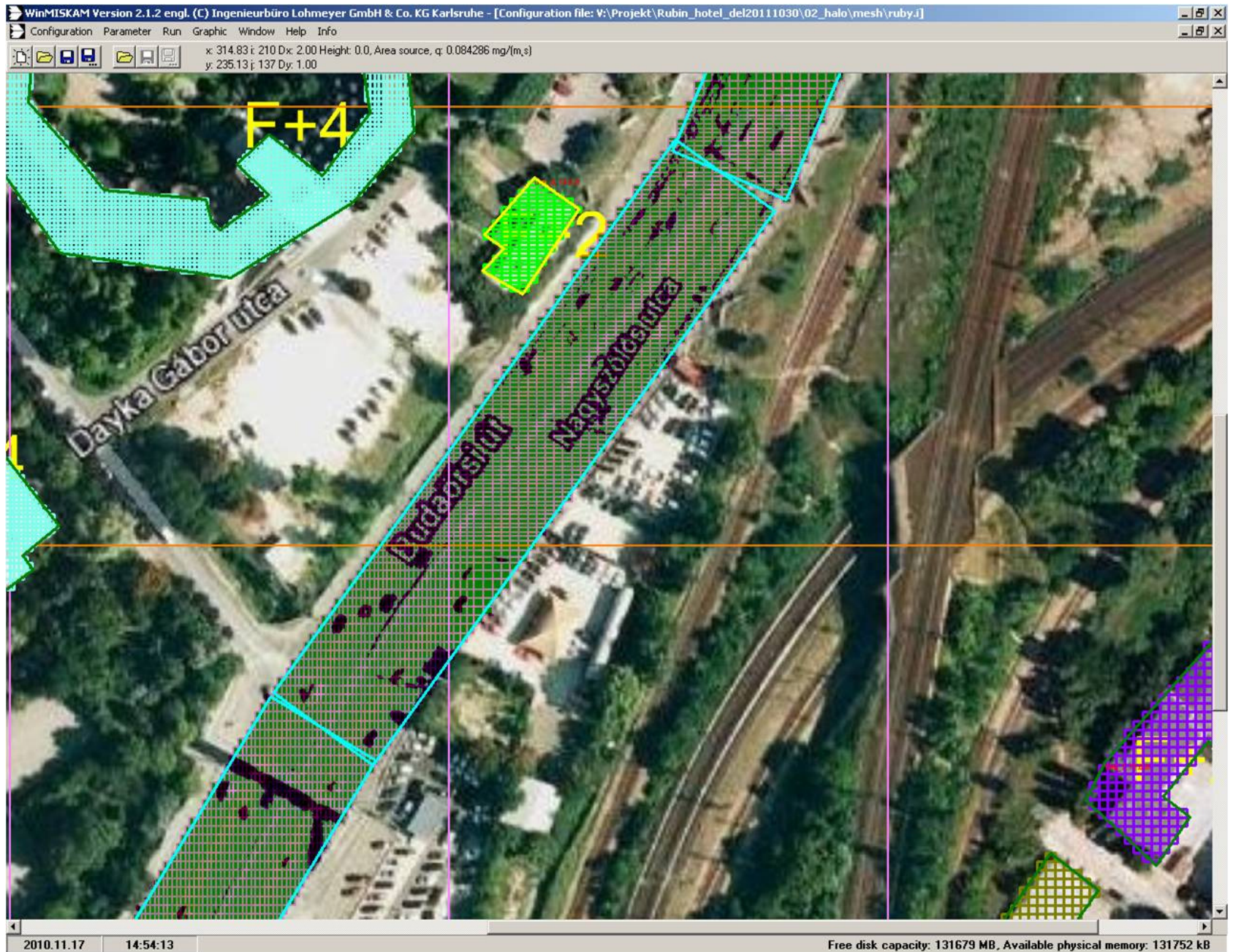
Segment length [m]: 155.9

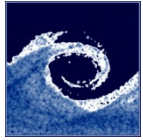
Navigation icons: << < > >> < >

2010.11.17 14:52:10 Digitize/edit road net Free disk capacity: 131695 MB, Available physical memory: 133404 kB



# MISKAM gyakorlat előzetes: úthálózat hálóra vetítése





# MISKAM gyakorlat előzetes: futtatási paraméterek

WinMISKAM Version 2.1.2 engl. (C) Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG Karlsruhe - [Configuration file: V:\Projekt\Rubin\_hotel\_del20111030\02\_halo\mesh\ruby.i]

Configuration Parameter Run Graphic Window Help Info

**unnamed Ini file**

Type of simulation:  
 Wind field calculation  
 Dispersion calculation

Start conditions:  
 Initial run  
 Continuation run

End of job criterion:  
 Steady state  
 Time exceedence

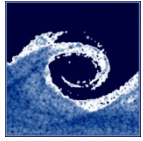
Maximum number of timesteps: 9999

Configuration file: konf  
Output file: stroem

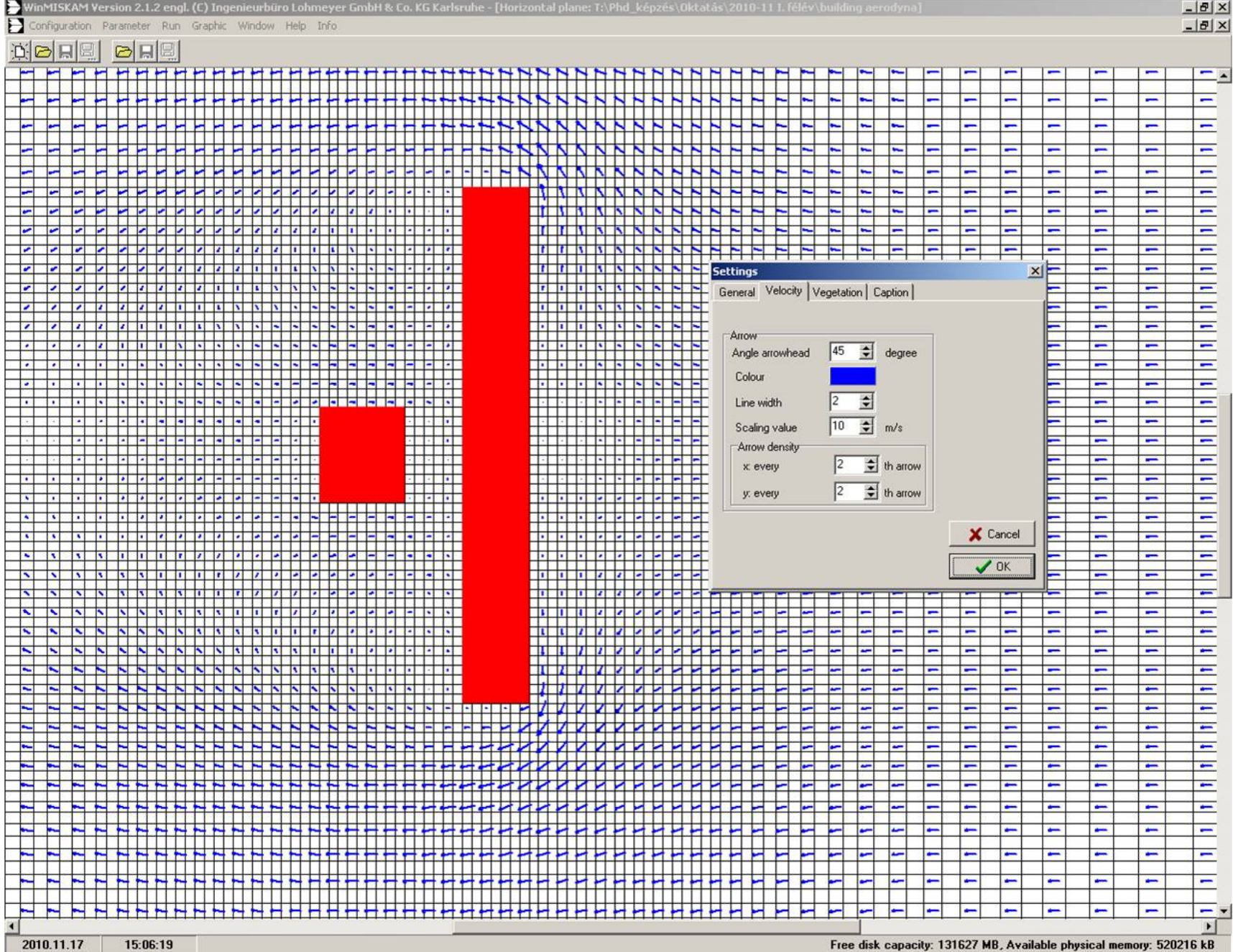
Start parameters:  
Roughness length [cm]: 10  
Anemometer height [m]: 100.0  
Wind velocity [m/s] at anemometer height: 10.00  
Wind direction [°] against N at anemometer height: 5.00  
Thermal stratification [K/100m]: 0.00

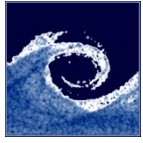
Default values flow field  
Default values dispersion  
Save Cancel  
Save as... OK

2010.11.17 14:55:50 Free disk capacity: 131679 MB, Available physical memory: 119076 kB

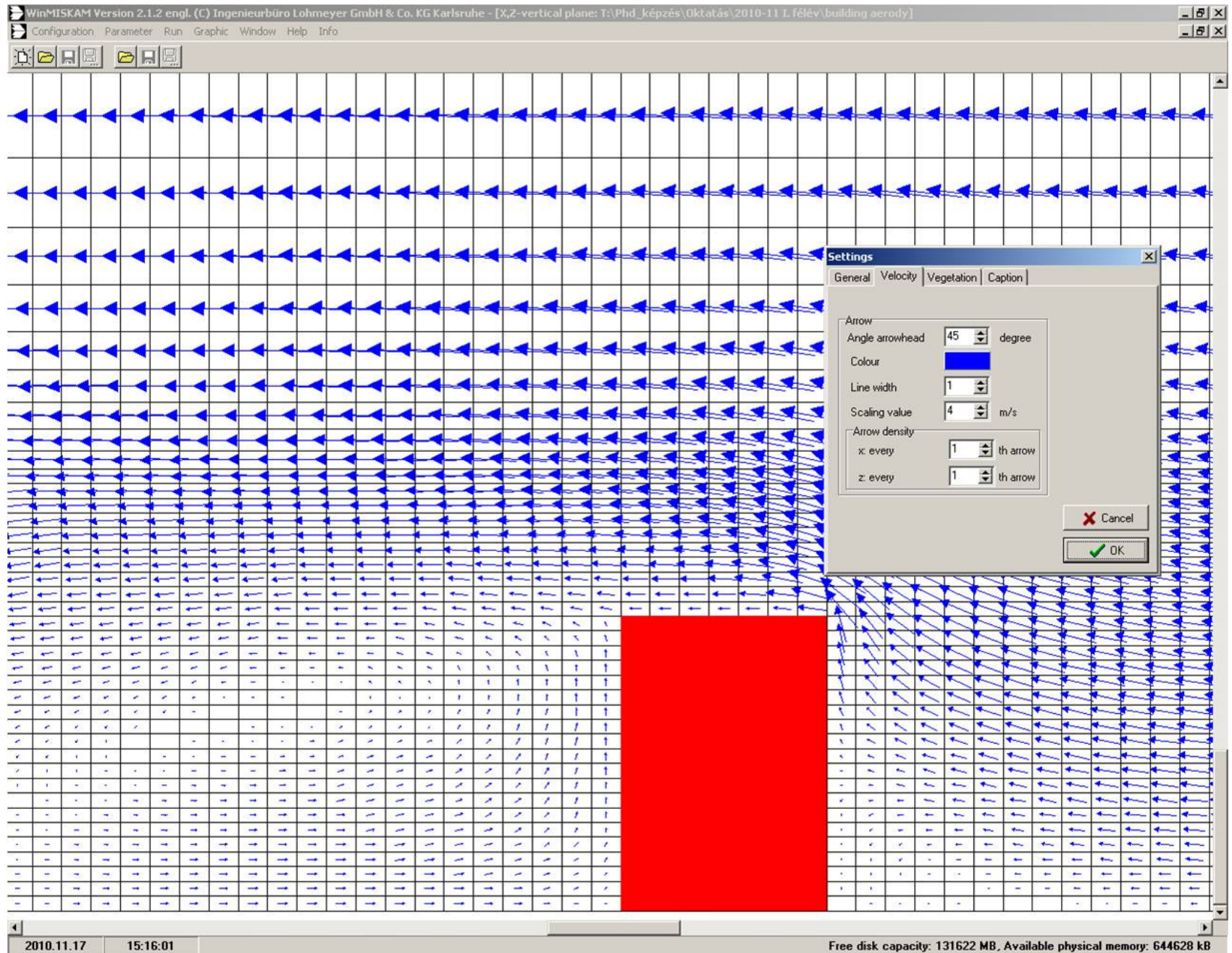


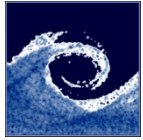
# MISKAM gyakorlat előzetes: eredmény áramkép, metszet felülről





# MISKAM gyakorlat előzetes:eredmény áramkép, metszet oldalról





# MISKAM gyakorlat előzetes: terjedés eredmény

