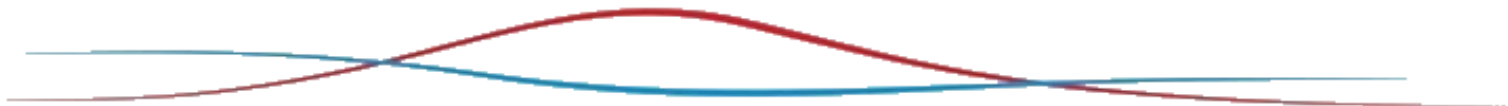


# Ο ρόλος καινοτόμων μεθόδων προσομοίωσης του δομημένου περιβάλλοντος για την εφαρμογή των νέων οδηγιών ενεργειακής αποδοτικότητας



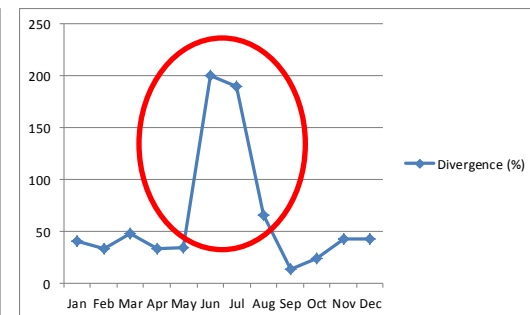
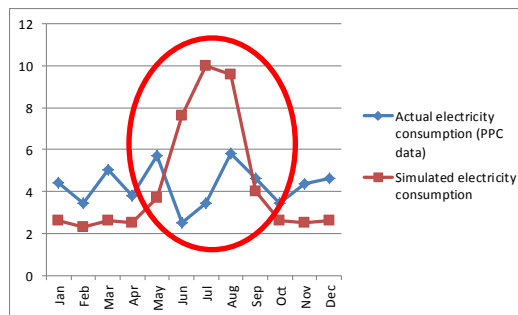
Γ.Μ. Σταυρακάκης  
Δρ. Μηχανικός ΕΜΠ



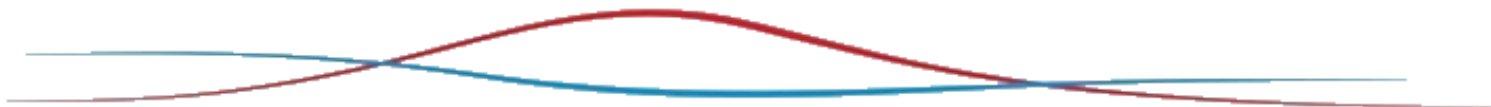
## Κτιριακή ενεργειακή αποτίμηση Σχεδιασμός «συμμόρφωσης»

### Εθνικά εργαλεία BES

### Υποεκτίμηση της επίδρασης της συμπεριφοράς



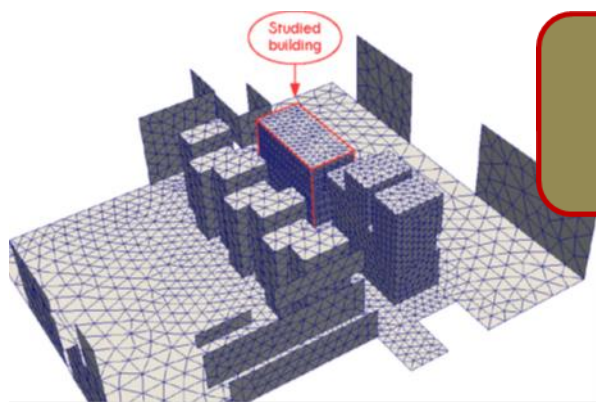
Αστοχία πρόβλεψης ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια της περιόδου ψύξης.



## Κτιριακή ενεργειακή αποτίμηση Σχεδιασμός «συμμόρφωσης»

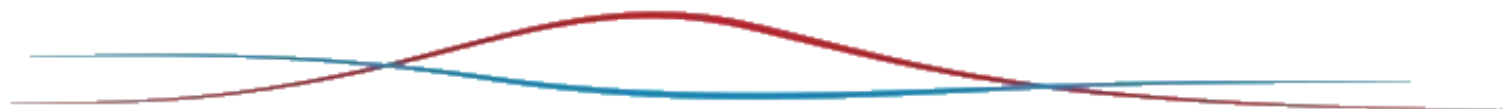
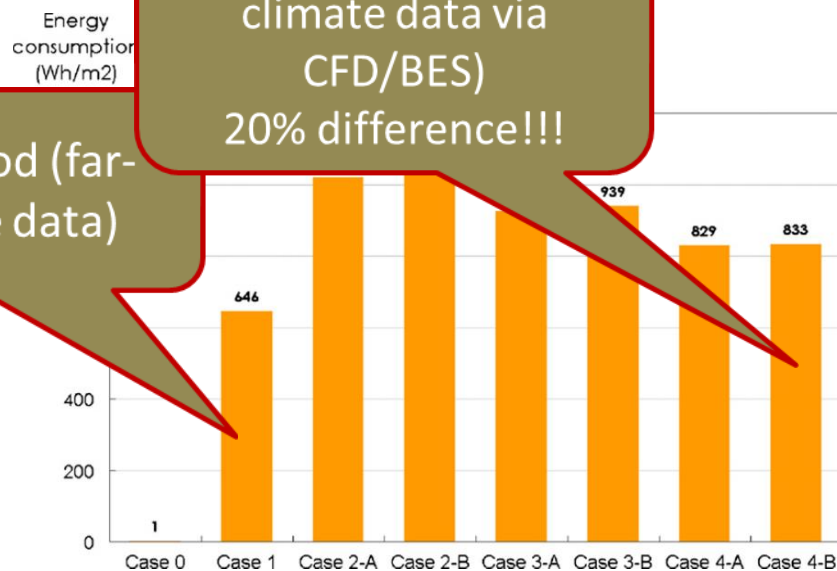
Εθνικά εργαλεία BES

Υποεκτίμηση της επίδρασης UHI



Classic method (far-field climate data)

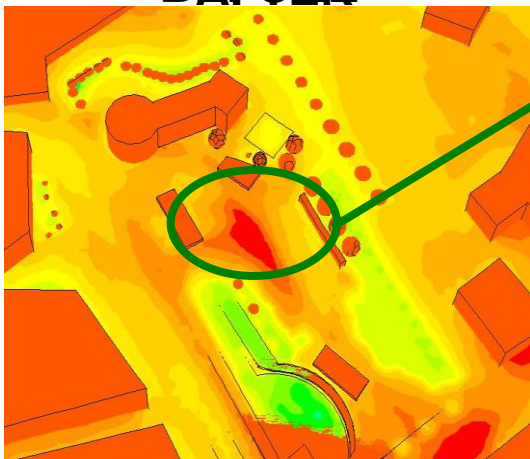
Novel method (Local climate data via CFD/BES)  
20% difference!!!



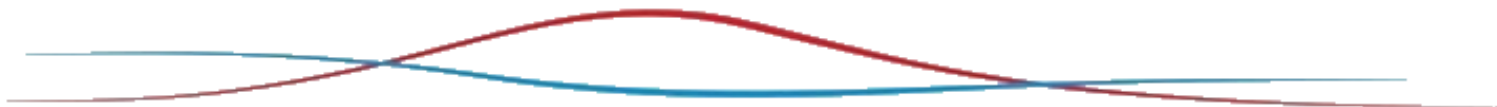
## Εκτίμηση της Αστικής Θερμικής Νησίδας (UHI) Παραδοσιακές μέθοδοι

### Αστοχίες ερμηνείας των φυσικών φαινομένων

**ΒΑΦΟΡΕ**



Θερμική νησίδα που  
παρέμεινε μετά την  
μετασκευή



## Πρόσφατες οδηγίες EPBD

### 31/2010/EC

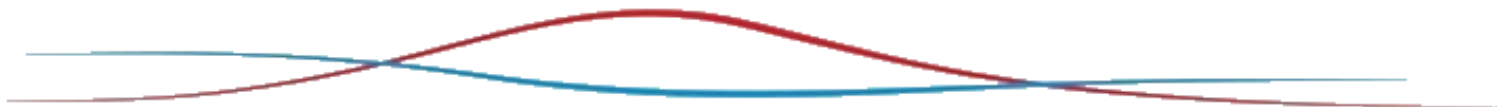
#### Νέα κτίρια

**NZEB** από 2018 και από 2020 για δημόσια και ιδιωτικά κτίρια, αντιστοίχως.

### 27/2012/EC

#### Υφιστάμενα Δημόσια κτίρια

Επιτάχυνση της ενεργειακής αναβάθμισης: **Από το 2014 και μετά, ανακαίνιση του 3%** της επιφάνειας των κτιρίων του Δημοσίου με στόχο την **επίτευξη των ελάχιστων προδιαγραφών** ενεργειακής αποδοτικότητας.



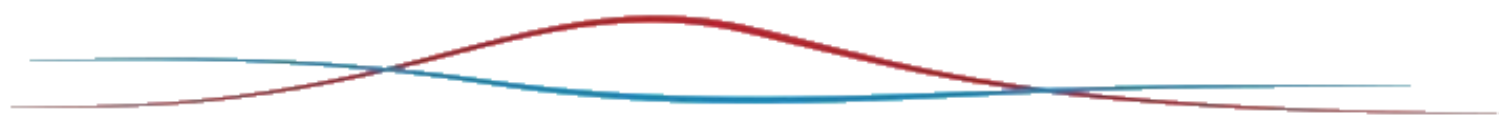
## Εξέλιξη οδηγιών – Σχεδιασμός «συμμόρφωσης»



Οδηγίες EPBD

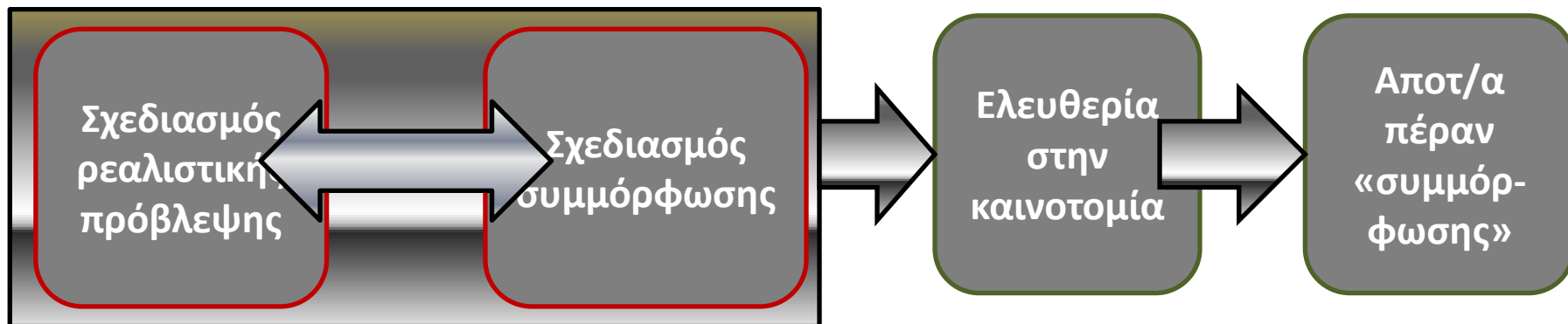


Μέθοδοι μελέτης  
EPBD



## Υλοποίηση οδηγιών – Απαιτήσεις

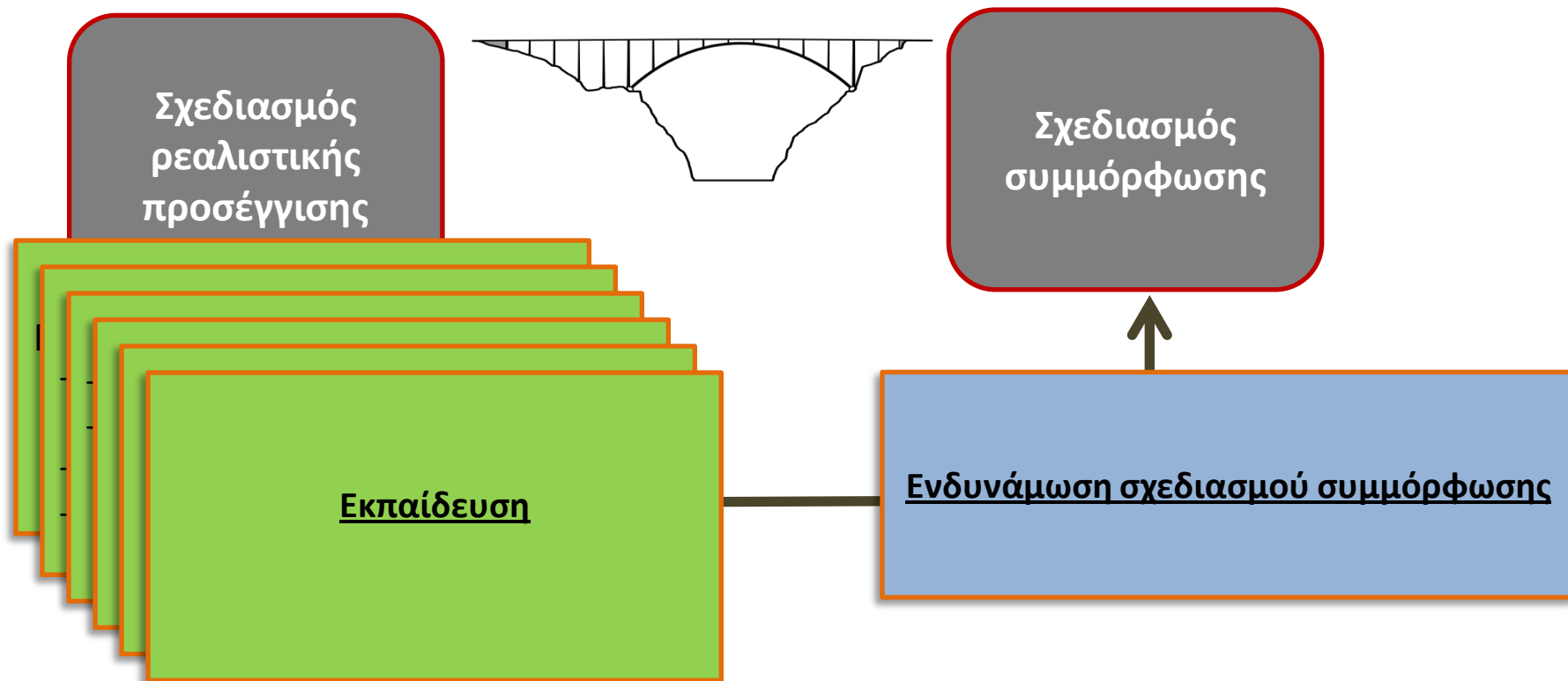
- Βελτίωση της ακρίβειας πρόβλεψης => Ρεαλιστικές επενδύσεις RES/ΕΕ στο δομημένο περιβάλλον
- **Με ποιο τρόπο??**



### Συστάσεις:

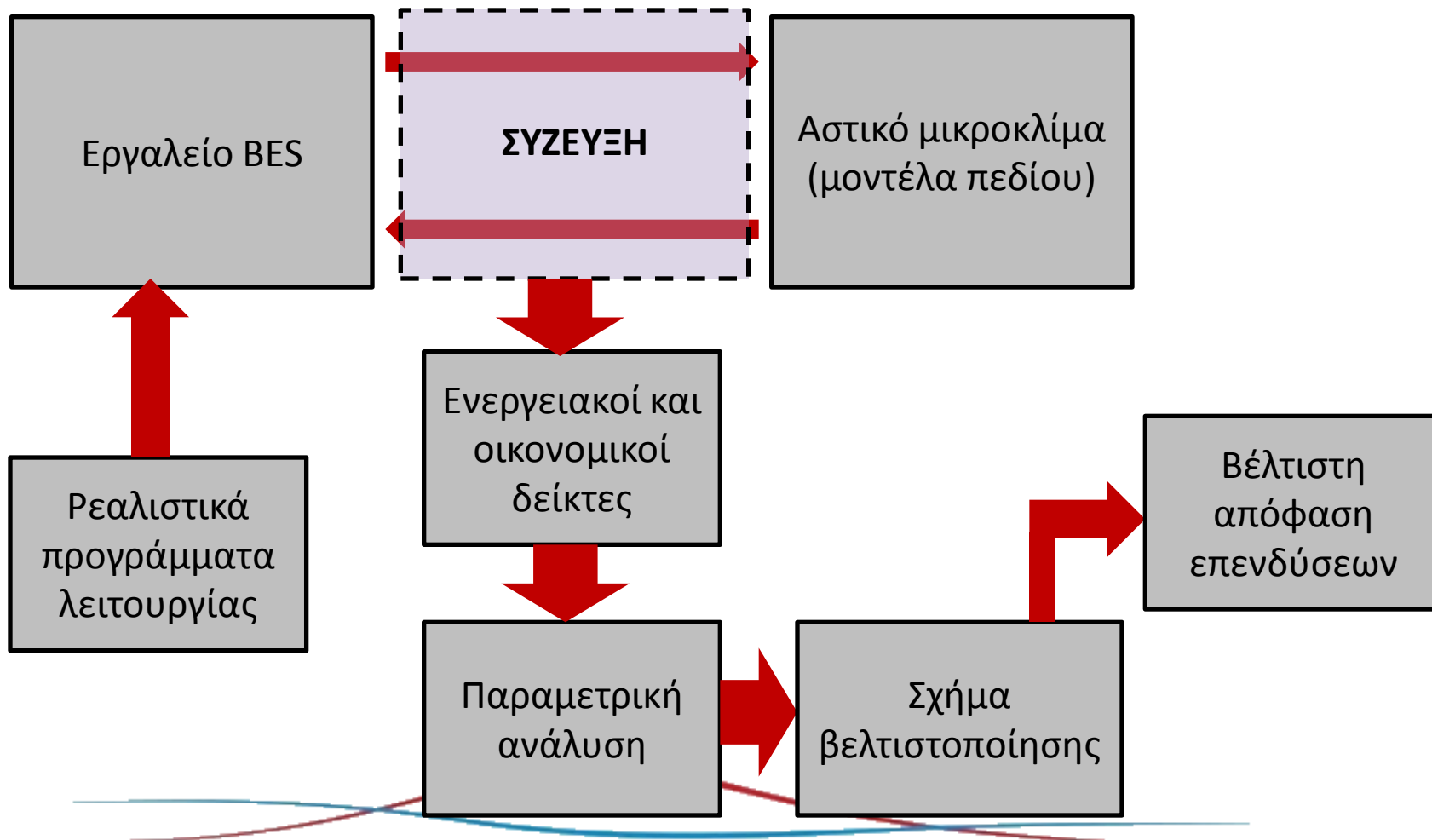
- Συμπεριφορά των χρηστών (συμμετοχικές διαδικασίες-ερωτηματολόγια, έξυπνοι μετρητές, Στοχαστική προσομοίωση)
- Δυναμικές προσομοιώσεις (max: Ωριαίο χρονικό βήμα)
- Υπολογιστικό πεδίο: Έκταση «γειτονιάς», ενεργειακό δίκτυο, μικροκλίμα πλησίον του κτιρίου
- Βελτιστοποίηση
- Κτλ.

## Γεφύρωση προσεγγίσεων

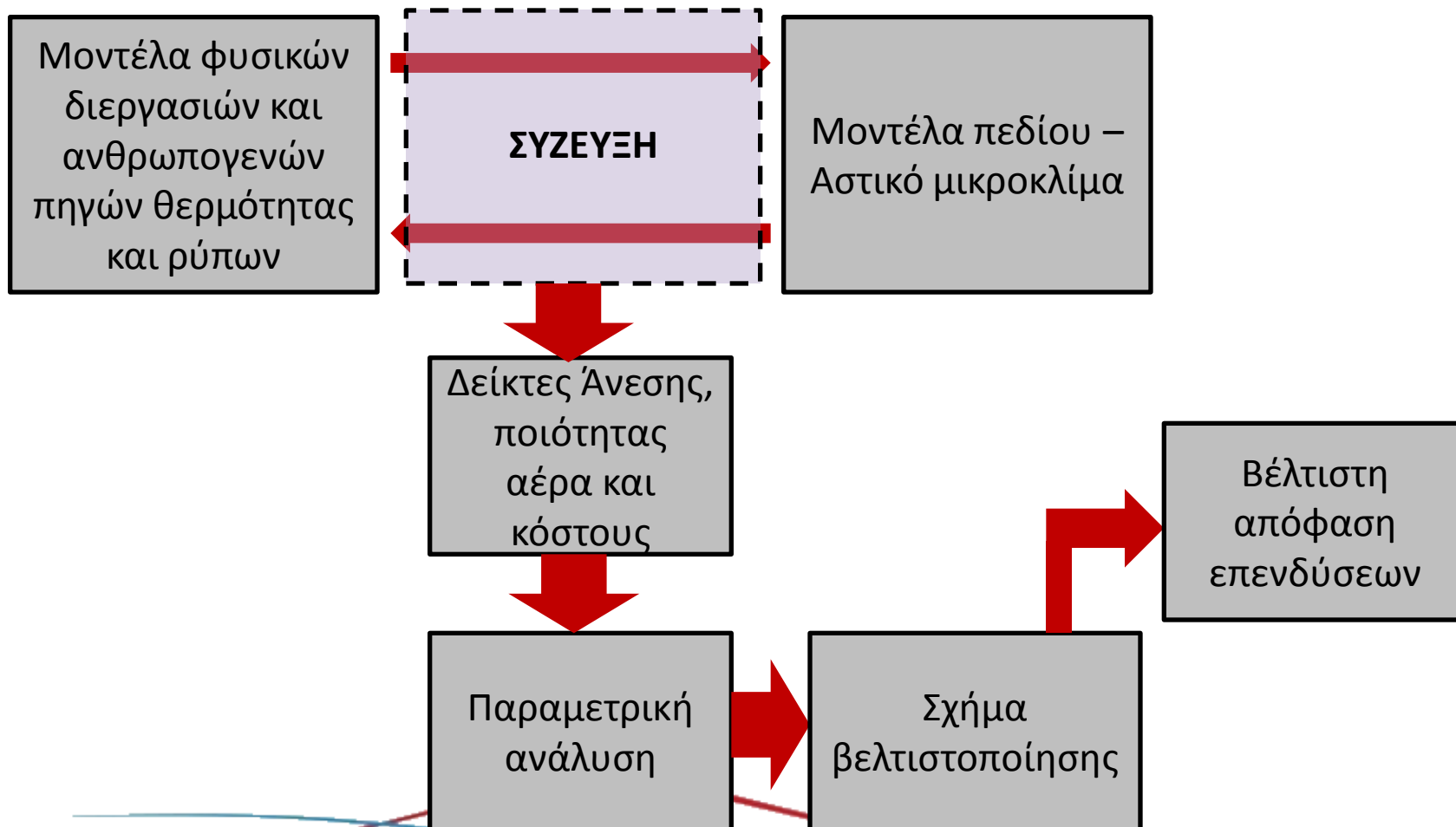




## Προτεινόμενη προσέγγιση - Κτίρια



## Προτεινόμενη προσέγγιση - UHI



## Μοντέλα πεδίου

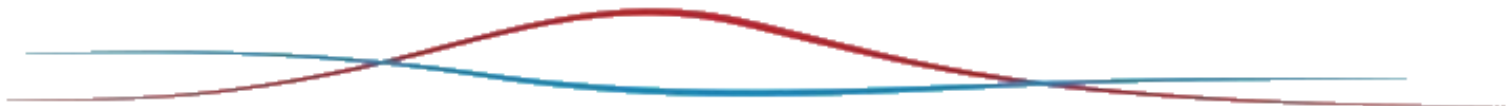
- Διακριτοποίηση του υπολογιστικού πεδίου σε όγκους ελέγχου (Υπολογιστικά κελιά)
- Επίλυση των εξισώσεων διατήρησης μάζας, ορμής, ενέργειας, συγκέντρωσης και ιδιοτήτων της τυρβώδους ροής.

### Αναμενόμενα αποτελέσματα

- Πρόβλεψη φυσικών μεγεθών (ταχύτητα ανέμου, θερμοκρασία, σχετική υγρασία, ένταση της τύρβης, κτλ.) in buildings and open spaces.
- Πρόβλεψη διασποράς ρύπων
- Συνδυασμός φυσικών και προσωπικών παραμέτρων => Συνθήκες Άνεσης

### Χρησιμότητα

- Εφαρμογές στον βιοκλιματικό σχεδιασμό
- Εκτίμηση συνθηκών άνεσης, ποιότητας αέρα και φορτίων (σε κτίρια)
- Λήψη απόφασης στο σχεδιασμό εξομάλυνσης UHI

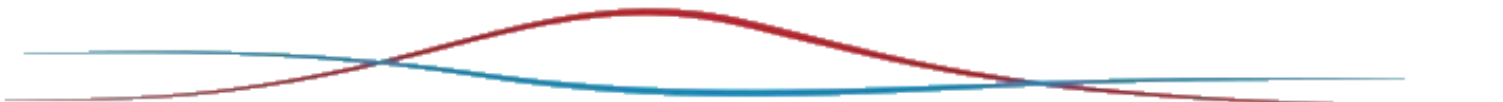


# Τροποποίηση μοντέλου τύρβης Μοντέλο Stavrakakis-Tomaziniakis-Markatos\*

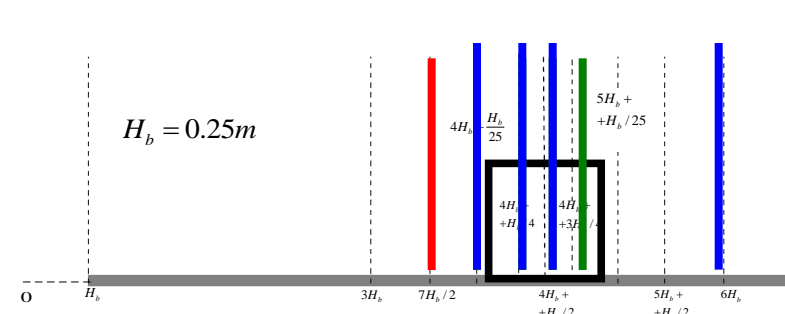
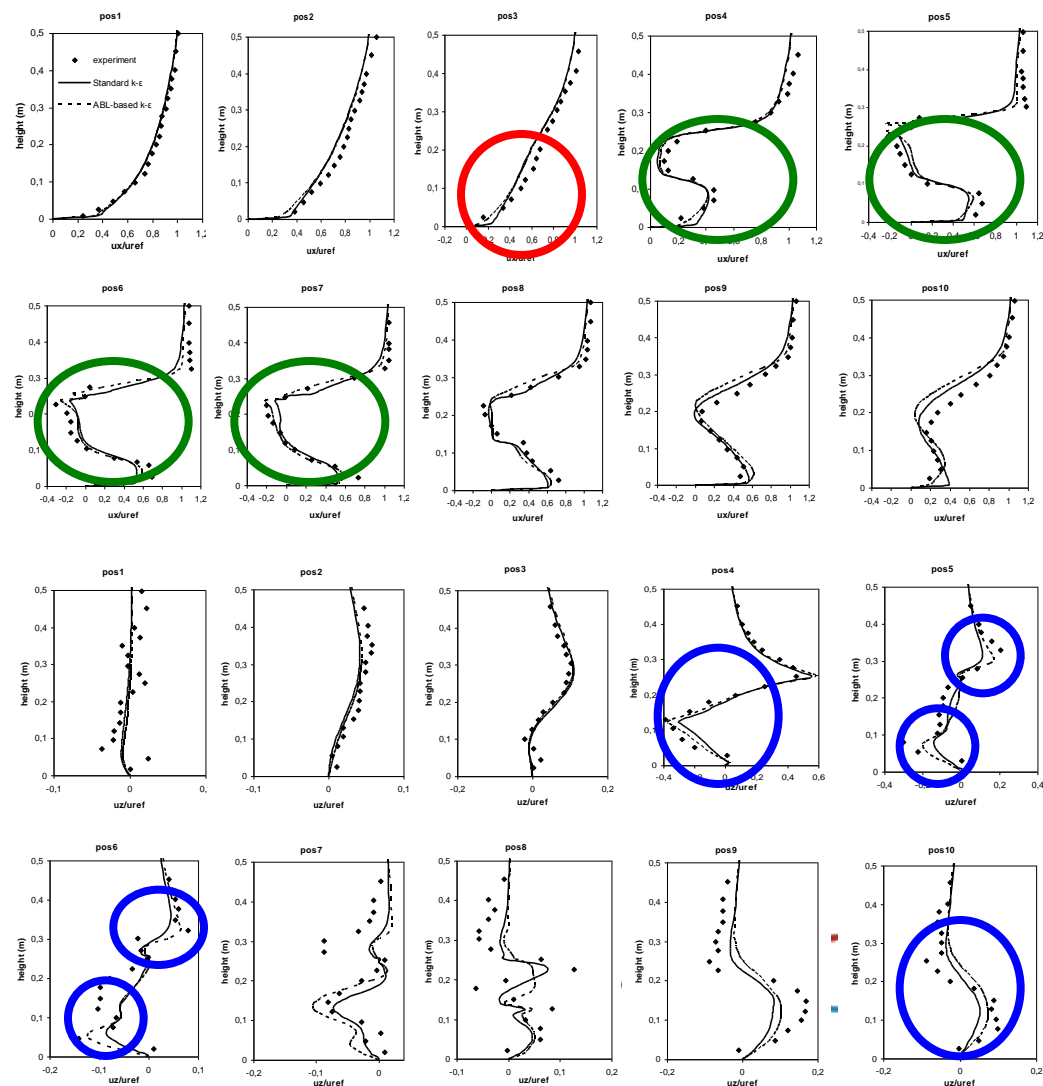
$$\rho u_j \frac{\partial k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + P_k + G_B - \rho \varepsilon + S_k$$

$$\rho u_j \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + \frac{\varepsilon}{k} (C_1 P_k - C_2 \rho \varepsilon + C_3 G_B) + S_\varepsilon$$

$$\sigma_k = \begin{cases} \frac{z}{0.9\delta} & z < 0.9\delta \\ 1.0, & z \geq 0.9\delta \end{cases} \quad \sigma_\varepsilon = \begin{cases} \left( \frac{\left( \frac{\sqrt{C_\mu}(C_2 - C_1) \left( \delta + z_P \ln \left| \frac{z_P - \delta}{z_P} \right| \right)}{\kappa^2 \delta} + 3.5 z_P \right)}{\right)^{-1}, & z = 0 \\ \left( \frac{\left( \frac{\sqrt{C_\mu}(C_2 - C_1) \left( \delta + z \ln \left| \frac{z - \delta}{z} \right| \right)}{\kappa^2 \delta} + 3.5 z \right)}{\right)^{-1}, & 0 < z < 0.9\delta \\ 1.3, & z \geq 0.9\delta \end{cases}$$



# Μοντέλο STM - Επαλήθευση



Ακριβής πρόβλεψη χωρίς την εμφάνιση της αμφισβητήσιμης ανακυκλοφορίας.

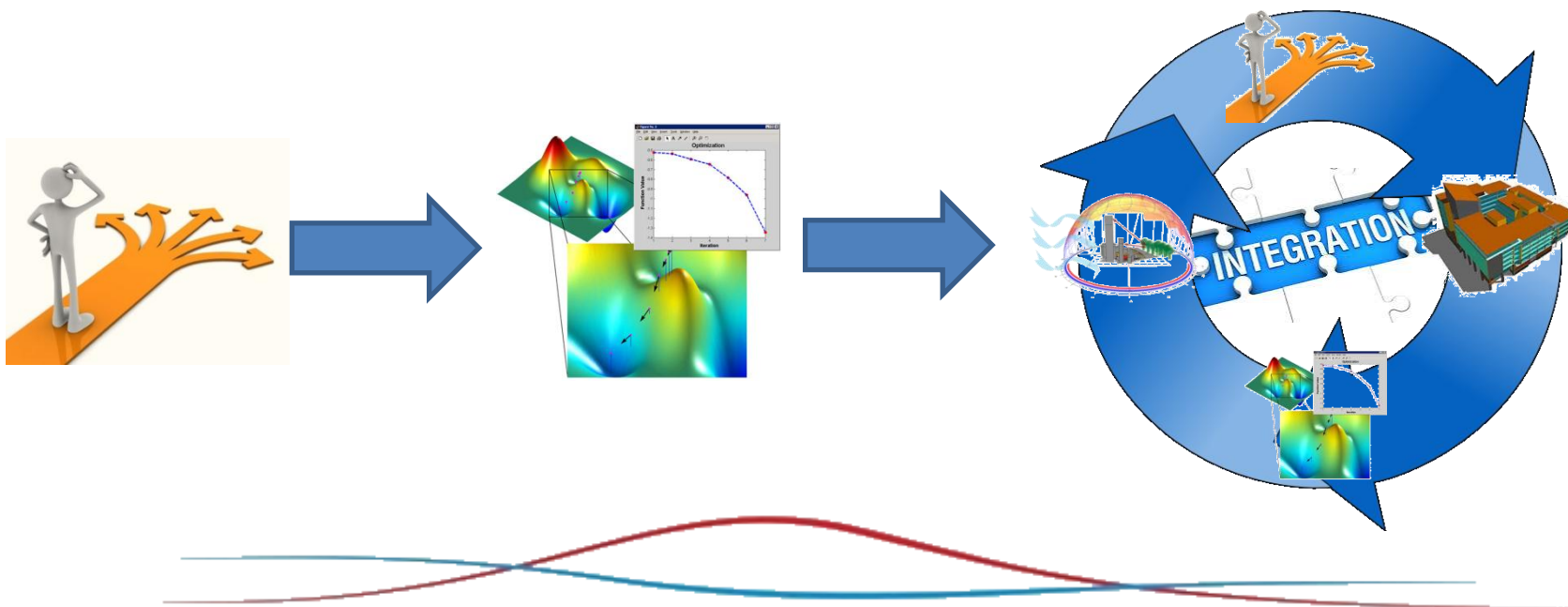
Βελτίωση πρόβλεψης πλησίον και μακριά του τοιχώματος.

Βελτίωση uz στην είσοδο, κοντά στα τοιχώματα και κατάντη του κτιρίου.



## Λήψη απόφασης - Βελτιστοποίηση

- Διατύπωση του σχήματος βελτιστοποίησης (συνάρτηση κόστους/περιορισμοί)
- Μέθοδος επίλυσης του προβλήματος – Διαχείριση βάσης δεδομένων
- Ολοκλήρωση: Σύζευξη ανάλυσης επίπτωσης και βελτιστοποίησης

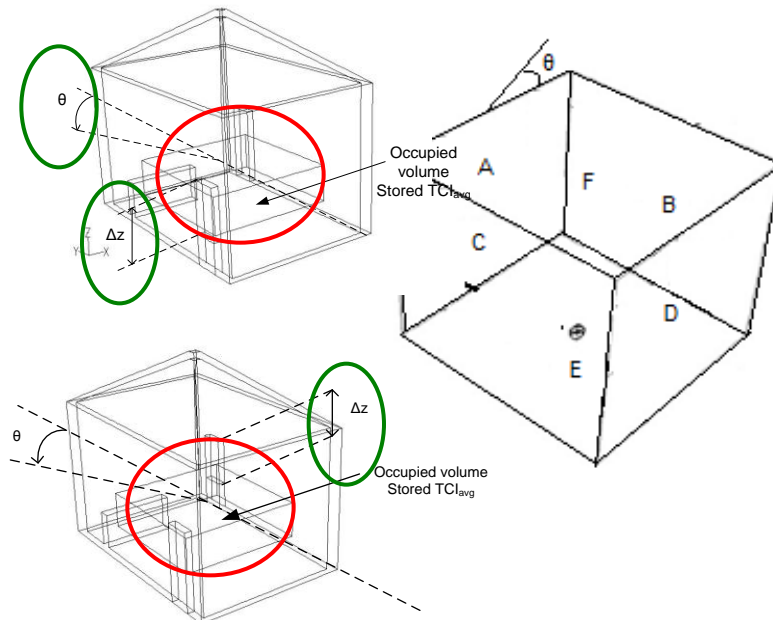
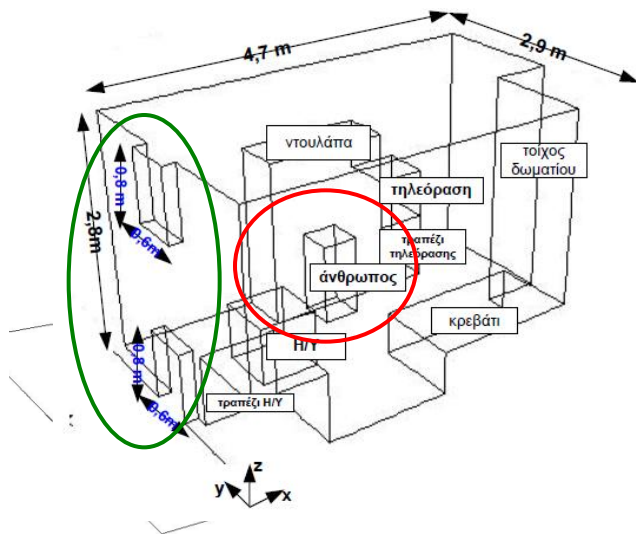




## Μέθοδοι επίλυσης

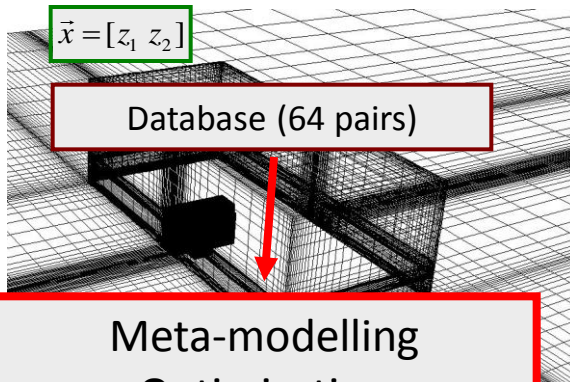
Μέθοδος	Εφαρμογή	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
<b>Υποκειμενικό βέλτιστο</b> Εμπειρική εκτίμηση του χρήστη	Παραμετρικοί υπολογισμοί=> Βάση δεδομένων=> Εκλογή βέλτιστου	<b>Ευκολία</b> Σχετικά καλή ακρίβεια για προβλήματα μικρών χώρων κριτηρίου και αναζήτησης	<b>Δεν εφαρμόζεται σε πολυκριτηριακά προβλήματα με αντικρουόμενες μεταβλητές</b>
<b>Αντικειμενικό βέλτιστο</b> <b>Αναζήτηση βέλτιστου μεταξύ των παραμετρικών αποτελεσμάτων</b>	Παραμετρικοί υπολογισμοί=> Βάση δεδομένων=> Εξελικτικοί αλγόριθμοι (π.χ. γενετικοί αλγόριθμοί) για την εκλογή της καλύτερης παραμετρικής περίπτωσης.	<b>Εφαρμόζεται σε πολυκριτηριακά προβλήματα με αντικρουόμενες μεταβλητές</b>	Η ακρίβεια του βελτίστου εξαρτάται από το μέγεθος της βάσης δεδομένων. Για την επίτευξη μεγάλου μεγέθους <b>συχνά απλοποιείται το φυσικό μοντέλο προσομοίωσης μικροκλίματος.</b>
<b>Αντικειμενικό εύρος βέλτιστων σχεδιασμών</b> Ανάπτυξη <b>μετα-μοντέλων</b> με γραμμικό ή μη γραμμικό προγραμματισμό (π.χ. <b>τεχνητά νευρωνικά δίκτυα</b> )	Παραμετρικοί υπολογισμοί=> Βάση δεδομένων=> Μετα-μοντέλα=> Εκλογή βέλτιστων ευρών μεταβλητών σχεδιασμού	<b>Εφαρμόζεται σε πολυκριτηριακά προβλήματα με αντικρουόμενες μεταβλητές</b>	<b>Υπολογίζονται οικογένειες ευρών βέλτιστων τιμών και όχι οικογένειες των τιμών τους.</b>
<b>Αντικειμενικό βέλτιστο με συνδυασμό μετα-μοντέλων και αλγορίθμων βελτιστοποίησης</b>	Παραμετρικοί υπολογισμοί=> Βάση δεδομένων=> Μετα-μοντέλα=> Αλγόριθμος βελτιστοποίησης	<b>Εφαρμόζεται σε πολυκριτηριακά προβλήματα</b> <b>Παρέχει ολικά βέλτιστα</b>	<b>Σχετικά υψηλό υπολογιστικό κόστος.</b>

# Εφαρμογές - Κτίρια



$$\vec{y} = [TCI_{avg,i-o.z.}^{a.l.}, \epsilon_{V,cs}, Conc_{BZ,cs,avg}^{a.l.}]$$

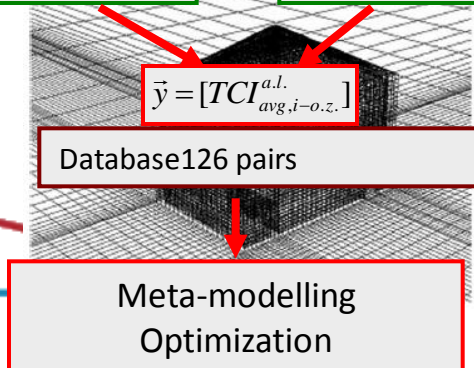
$$\vec{x} = [z_1, z_2]$$



$$\vec{x} = [\Delta z_{windward}, \hat{\theta}]$$

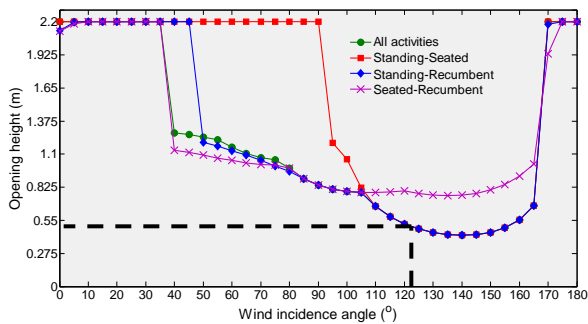
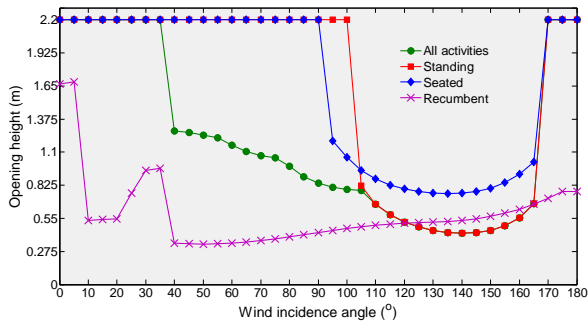
$$\vec{x} = [\Delta z_{leeward}, \hat{\theta}]$$

$$\vec{y} = [TCI_{avg,i-o.z.}^{a.l.}]$$

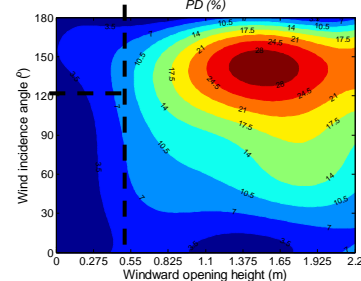
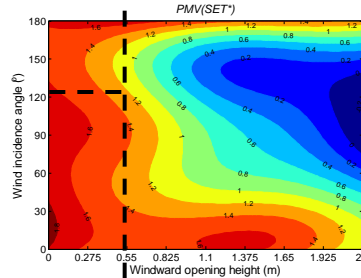
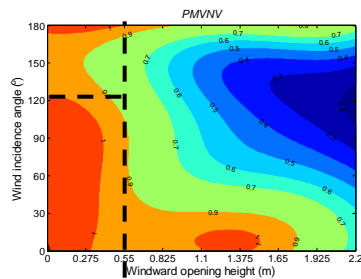
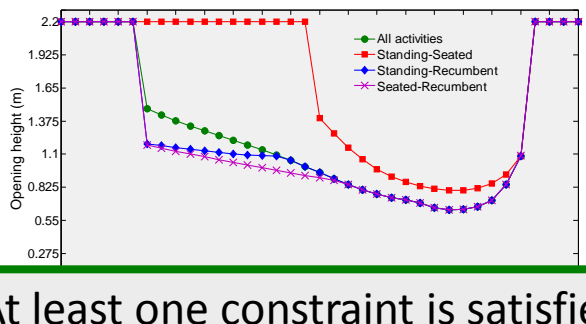
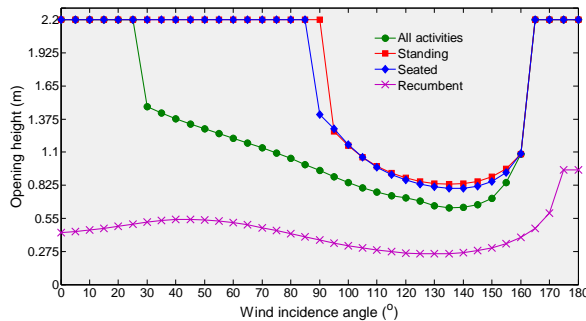




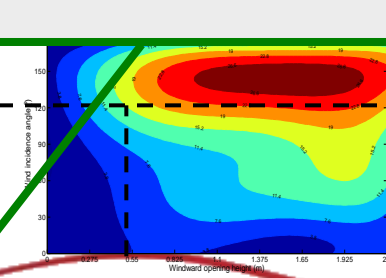
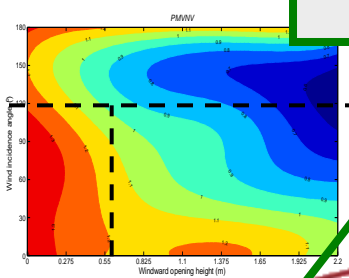
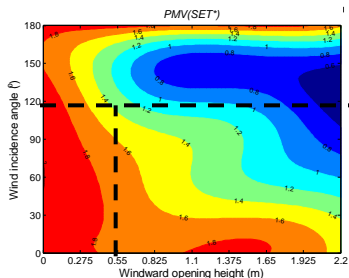
## Windward opening



## Leeward opening



At least one constraint is satisfied



PMV(SET\*)<sub>2</sub>=1.2

PMVNV<sub>2</sub>=0.8

PD<sub>2</sub>=8%

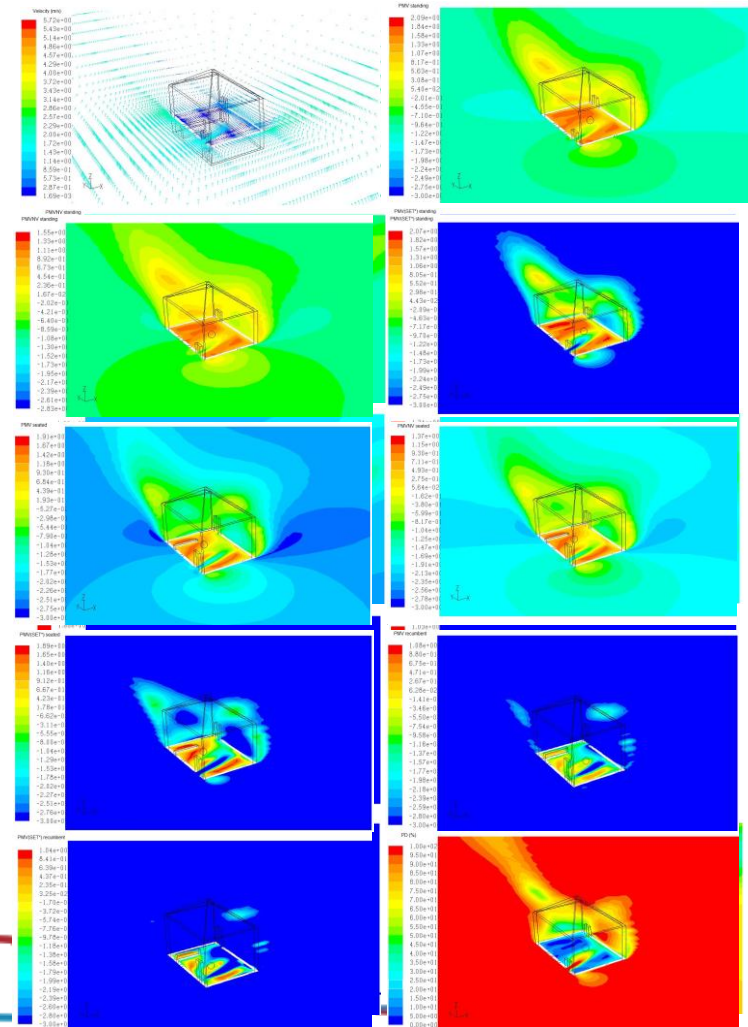
PMV(SET\*)<sub>1</sub>=1.3

PMVNV<sub>1</sub>=0.85

PD<sub>1</sub>=15%

Μεταβλητές σχεδιασμού	Όρθιος ένοικος	Βελτιστοποίηση CFD-TC/IAQ	Απόκλιση (%)
$\hat{\theta}$ (°)	103.951	103.951	
$z_1$ (m)	2.200	2.200	
<b>Objective variables</b>			
$PMV_1$	0.933	0.953	2.156
$PMV_{NV,1}$	0.579	0.595	2.668
$PMV(SET^*)_1$	0.563	0.579	2.700
$PD_1$ (%)	15.000	13.874	8.116
$PMV_2$	0.344	0.384	10.519
$PMV_{NV,2}$	0.188	0.202	6.983
$PMV(SET^*)_2$	-0.225	-0.190	15.448
$PD_2$ (%)	16.604	15.533	6.893
$PMV_3$	-1.573	-1.650	4.655
$PMV(SET^*)_3$	-2.142	-2.252	4.859
$PD_3$ (%)	16.547	15.573	6.258
<b>Seated-Recumbent design variables</b>			
$\hat{\theta}$ (°)	151.506	151.506	
$z_1$ (m)	0.815	0.815	
<b>Objective variables</b>			
$PMV_1$	1.220	1.262	3.349
$PMV_{NV,1}$	0.824	0.857	3.883
$PMV(SET^*)_1$	0.836	0.942	11.224
$PD_1$ (%)	23.701	21.649	9.476
$PMV_2$	0.984	1.045	5.861
$PMV_{NV,2}$	0.633	0.698	9.216
$PMV(SET^*)_2$	0.696	0.750	7.214
$PD_2$ (%)	15.000	14.351	4.517
$PMV_3$	-0.266	-0.215	19.136
$PMV(SET^*)_3$	-0.358	-0.326	10.050
$PD_3$ (%)	12.273	10.946	12.129

Μετ:  $6700 \text{ W/m}^2$





## Εφαρμογές – Ανοικτοί χώροι

### Βιοκλιματική αναβάθμιση πλατείας

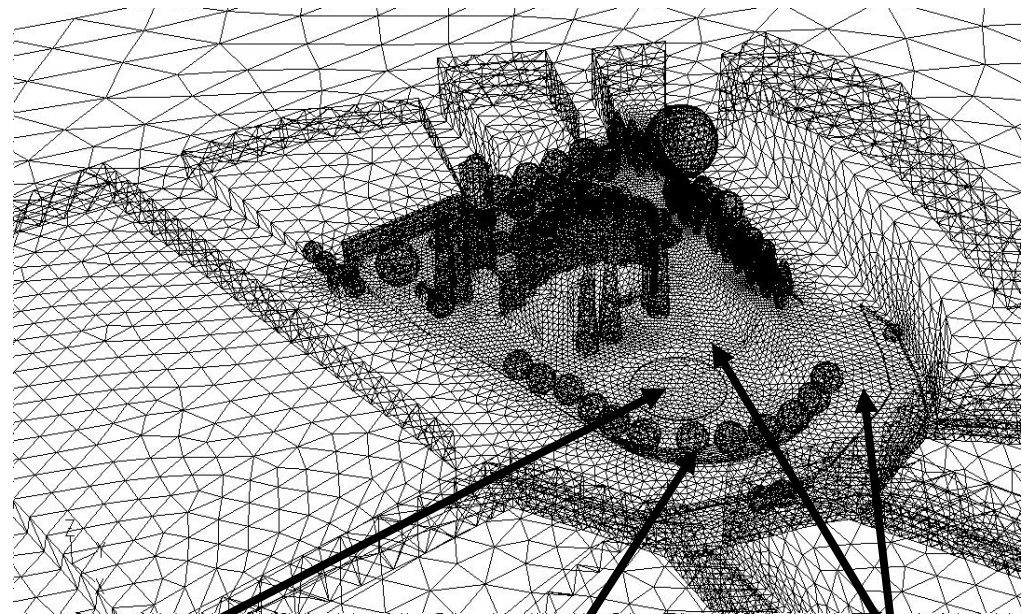
- Βέλτιστη θέση και είδος φύτευσης.
- Υλικά επίστρωσης υψηλού albedo (ψυχροί κυβόλιθοι, γρανίτες, μάρμαρο, ψυχρή άσφαλτος).
- Υδάτινες επιφάνειες.

### Δείκτες αποτίμησης UHI

- Μέση αναμενόμενη θερμική αποδοχή (PMV).
- Θερμοκρασιακό πεδίο.
- Επιφανειακή θερμοκρασία.

### Υπολογιστικό πεδίο ΠΡΙΝ και ΜΕΤΑ τη μετασκευή

BEFORE



Συντριβάνι

Δέντρα

Ψυχρά υλικά



## ΠΡΙΝ

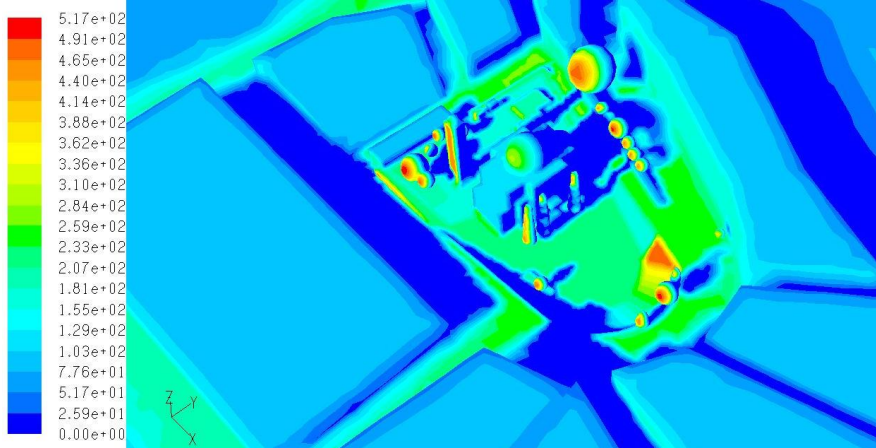
10.00

12.00

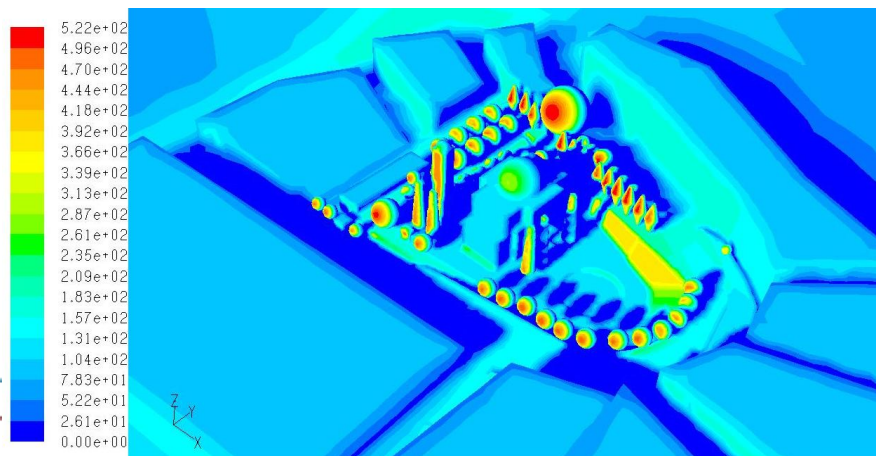
14.00

16.00

18.00



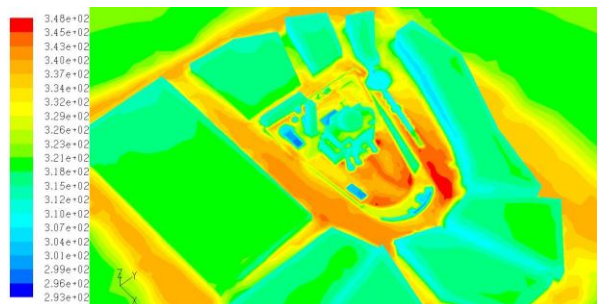
## ΜΕΤΑ



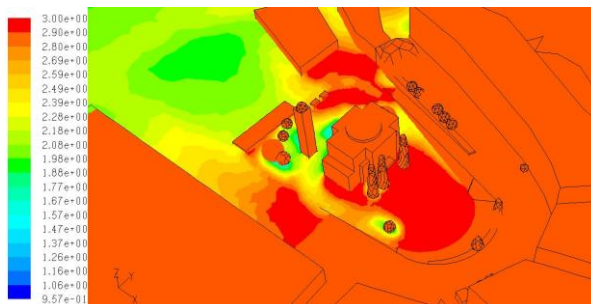
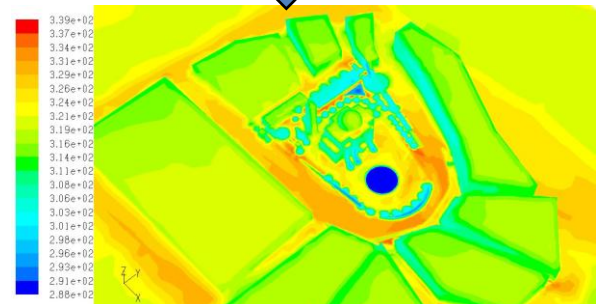
## Surface temperature

## Thermal comfort

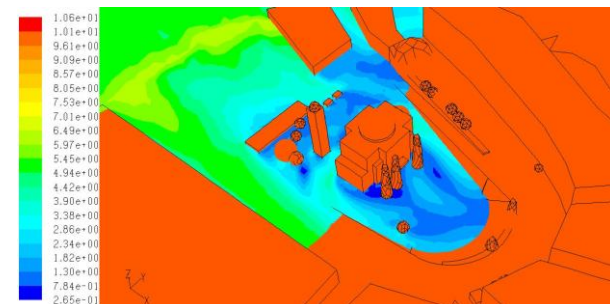
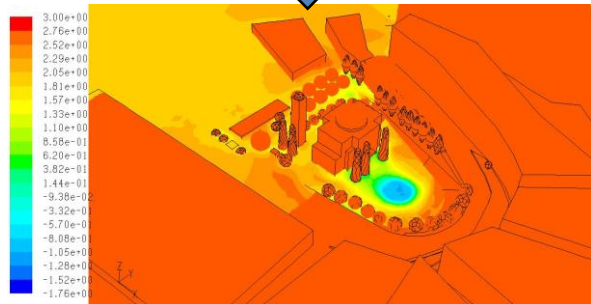
## Wind effects



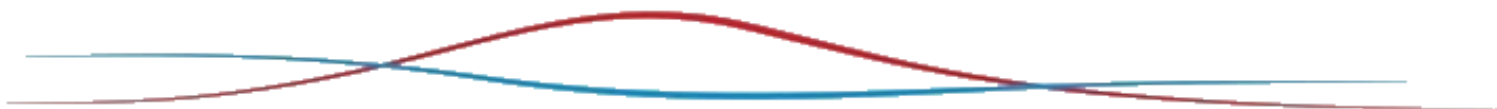
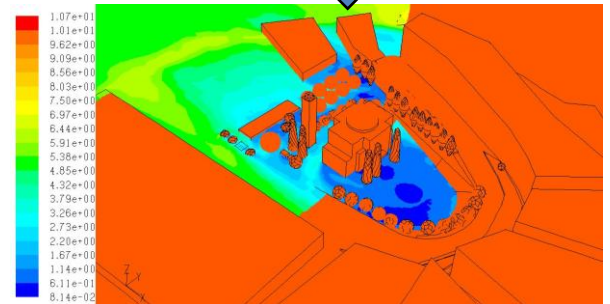
**REDUCTION BY  
12.5C**



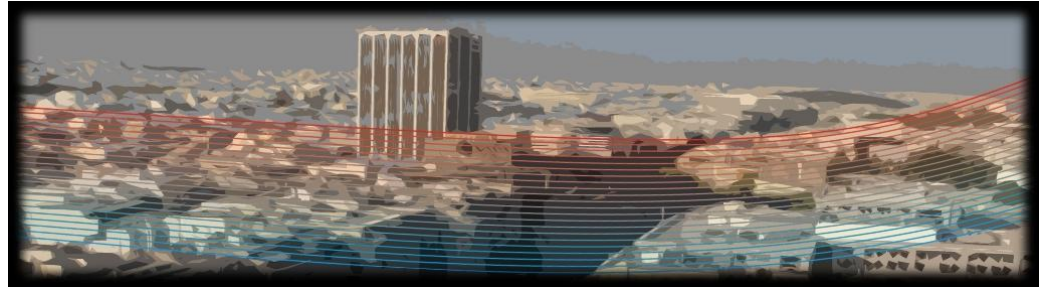
**20% IMPROVEMENT**



**WIND PROTECTION**

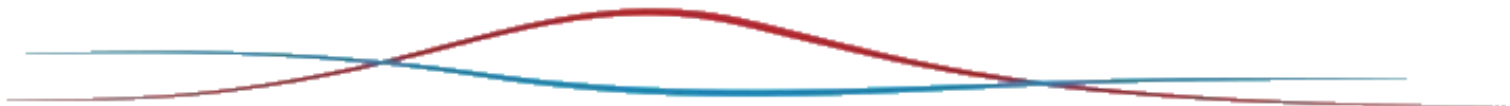


## Ερευνητική & Εκπαιδευτική δράση



[www.republic-med.eu](http://www.republic-med.eu)

Πρόταση Προγράμματος «Υπολογιστικές μέθοδοι στην Αειφόρο Αρχιτεκτονική/ Computational Methods in Sustainable Architecture (CMSA)»



# THANK YOU

Dr. George M. Stavrakakis  
Chemical Engineer, PhD, MSc

Division of Development Programmes

Centre for Renewable Energy Sources and Saving  
(CRES)

Email address: [gstavr@cres.gr](mailto:gstavr@cres.gr) Postal address: 19th  
km, Marathonos Av., GR-19009, Pikermi, Attiki,  
Greece

Tel.: +30 210 6603372

Fax: +30 210 6603303

