

Χρήση αλγορίθμων βελτιστοποίησης για καλύτερο σχεδιασμό κτιρίων: πρακτική εφαρμογή σε βιοτεχνικό κτίριο

Δρ. Βασίλειος Μαχαιράς
Πολιτικός Μηχανικός Ph.D. Α.Π.Θ.

Το πρόβλημα: Βέλτιστη κατασκευή κτιρίου

- Τι θεωρείται ως βέλτιστο?
- Πώς υπολογίζεται η απόδοση?
- Πώς εξάγεται η βέλτιστη λύση?

minimum glare

cost minimization

life-cycle cost

net-zero building

maximum thermal comfort

maximum daylight

optimized operation

near zero energy building

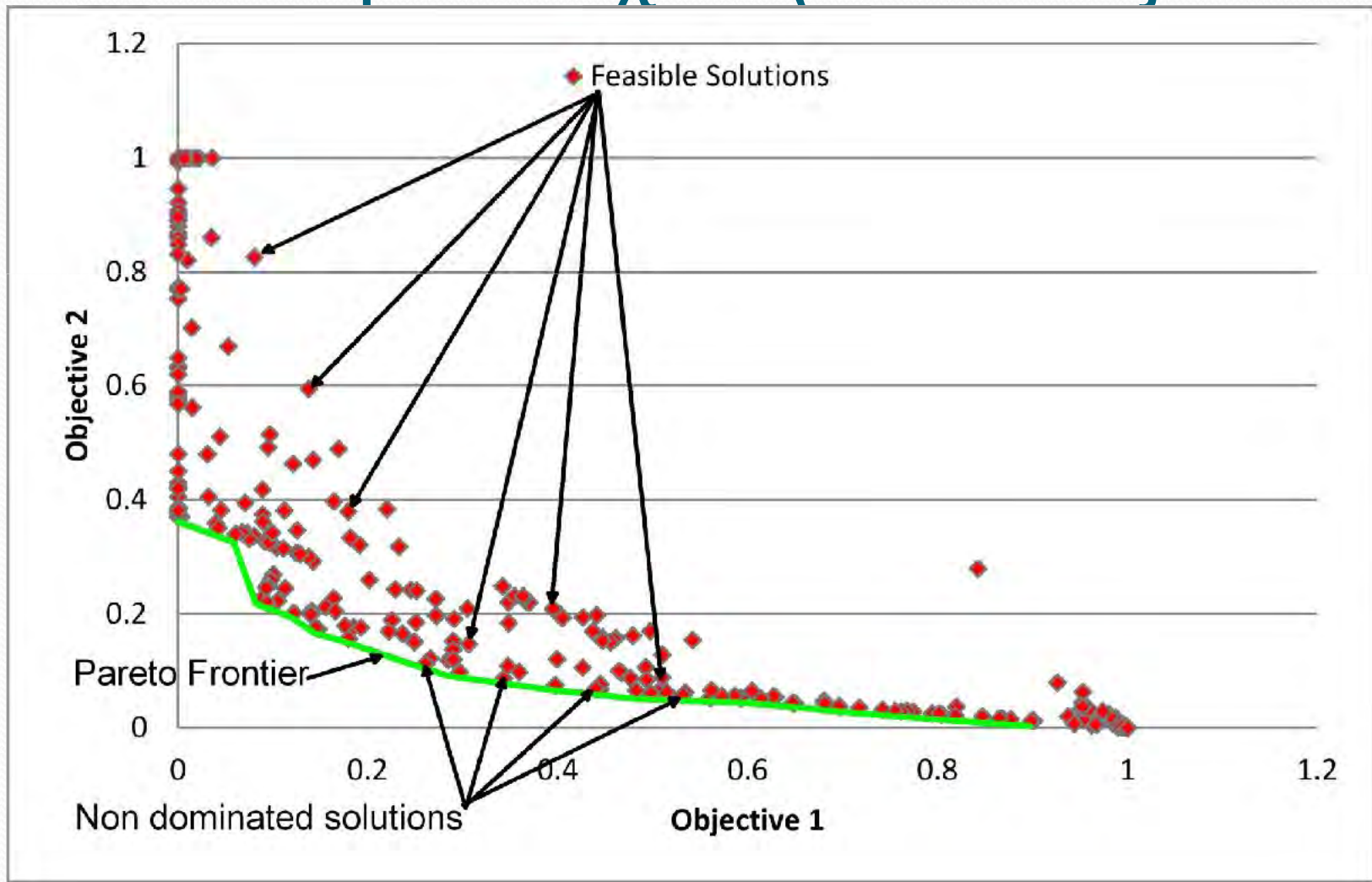
Η λύση:

- Ο επενδυτής επιλέγει τι θεωρείται ως βέλτιστο και σε συνεργασία με το μελετητή του καθορίζει τις απαιτήσεις που αφορούν στη χρήση, στη λειτουργικότητα, στα πολεοδομικά κριτήρια, στην αισθητική κλπ.
- Το κτίριο μοντελοποιείται αναλυτικά σε προγράμματα καθολικής προσομοίωσης, ώστε να εξάγονται αξιόπιστα συμπεράσματα ως προς την απόδοση των λύσεων
- Το πρόγραμμα κτιριακής απόδοσης συνδυάζεται με αλγορίθμους βελτιστοποίησης, ώστε να αυτοματοποιηθεί η αναζήτηση και έπειτα εξάγονται οι καλύτερες λύσεις ανάμεσα σε εκατομμύρια πιθανές

Παραδείγματα στόχων βελτιστοποίησης

- Ελαχιστοποίηση του αρχικού κόστους κατασκευής
- Μεγιστοποίηση του κέρδους σε έργα των «ESCO»
- Ελαχιστοποίηση του κόστους λειτουργίας
- Ελαχιστοποίηση του κόστους κύκλου ζωής σε συγκεκριμένο βάθος χρόνου
- Μεγιστοποίηση της θερμικής ή/και οπτικής άνεσης
- Ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων (π.χ. CO₂)
- Ελαχιστοποίηση του κόστους για κατασκευή netZEB
- Μεγιστοποίηση της χρήσης της ηλιακής ακτινοβολίας
- Συνδυασμός των παραπάνω

Παράδειγμα αποτελεσμάτων για συνδυασμό στόχων (multi-objective)



Παραδείγματα μεταβλητών σχεδιασμού

- Προσανατολισμός και θέση του κτιρίου
- Γεωμετρία/σχήμα του κτιρίου
- Ποσοστά ανοιγμάτων και είδη κουφωμάτων ανά όψη
- Συστήματα ηλιοπροστασίας
- Επιλογή οικοδομικών υλικών, όπως θερμομόνωση, μάζα κα.
- Ακούσιος και εκούσιος αερισμός
- Συστήματα φυσικού/τεχνητού φωτισμού
- Επιλογή συστήματος θέρμανσης/ψύξης και λειτουργία του

Προτεινόμενη διαδικασία

1. Αρχιτεκτονικός σχεδιασμός της βασικής μορφής
2. Βελτιστοποίηση βασικών παραμέτρων για να λάβουν κατευθύνσεις οι επόμενες μελέτες
3. Καθορισμός των διαθέσιμων επιλογών
4. Βελτιστοποίηση για τον καθορισμό των παραμέτρων
5. Υλοποίηση μελετών εφαρμογής
6. Κατασκευή του κτιρίου.
7. Ενεργειακή επιθεώρηση του κτιρίου και συλλογή δεδομένων για διακρίβωση το θερμικού μοντέλου
8. Βελτιστοποίηση στο διακριβωμένο μοντέλο για τον καθορισμό της λειτουργίας του κτιρίου

Εφαρμογή σε βιοτεχνικό κτίριο

- Επιφάνεια $\sim 200\text{m}^2$
- Προσανατολισμός 50° από το βορά
- Εργαστήριο-έκθεση-αποθήκη-γραφείο-κατοικία
- Αρχικός στόχος η ελαχιστοποίηση του κόστους λειτουργίας
- Αναζήτηση ποσοστών ανοιγμάτων, μεγεθών των σκιάστρων, γεωμετρία σταθερών εξωτερικών περσίδων (πλάτος, απόσταση, γωνία), θερμομόνωση και μάζα
- Χρήση του energyplus σε συνδυασμό με μια τροποποιημένη έκδοση του GenOpt



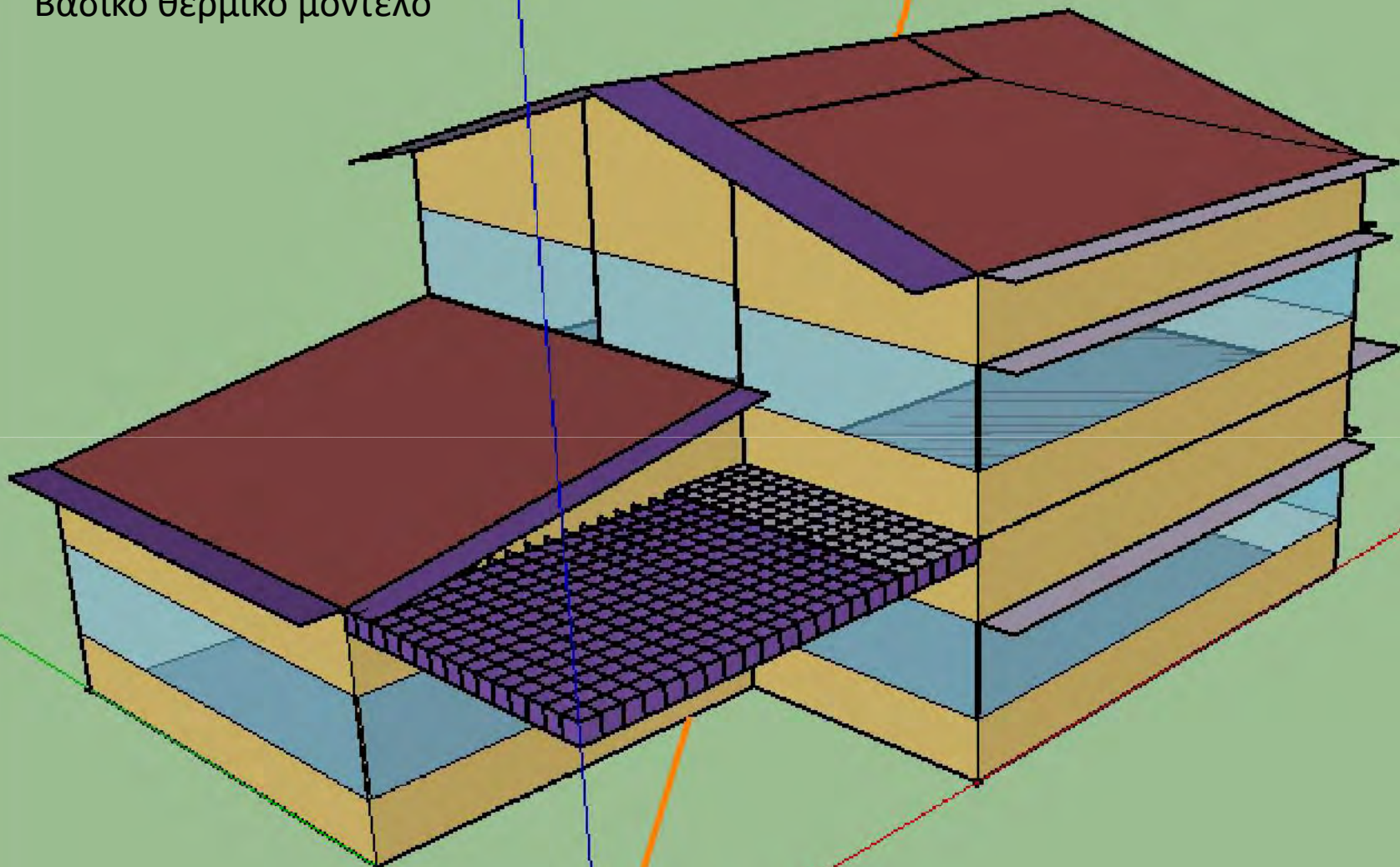




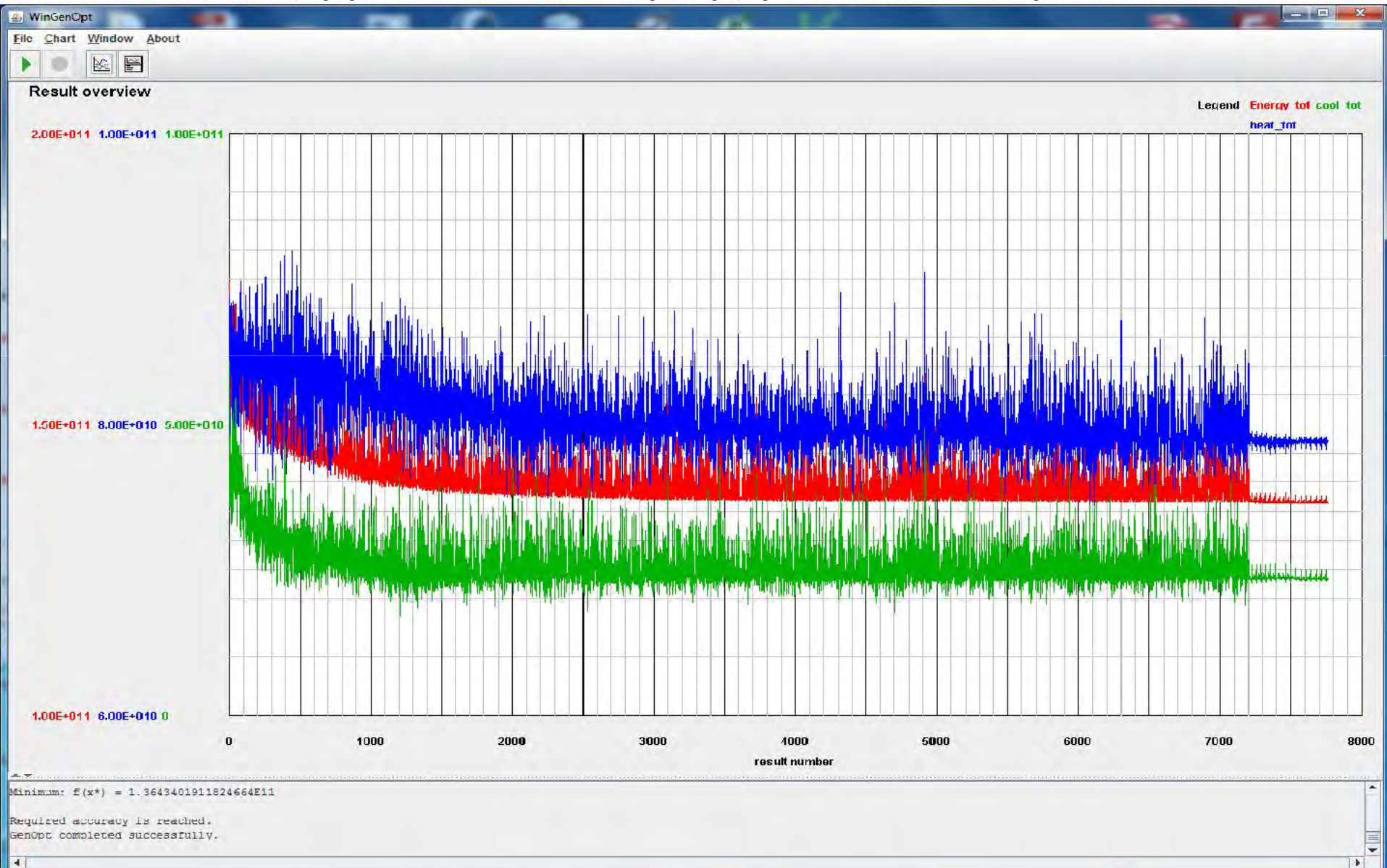
Παράμετροι βελτιστοποίησης

- Ελαχιστοποίηση ενεργειακής κατανάλωσης
- 28 μεταβλητές σχεδιασμού
- 2.26×10^{37} δυνατοί συνδυασμοί!
- Εφαρμογή γενετικών αλγορίθμων για καθολική αναζήτηση
- Υβριδική εφαρμογή Hooke-Jeeves για τοπική αναζήτηση
- Γενετικοί: population 24xgenerations 300 = 7200 αναλύσεις
- Αναμενόμενες αναλύσεις: ~8000

Βασικό θερμικό μοντέλο



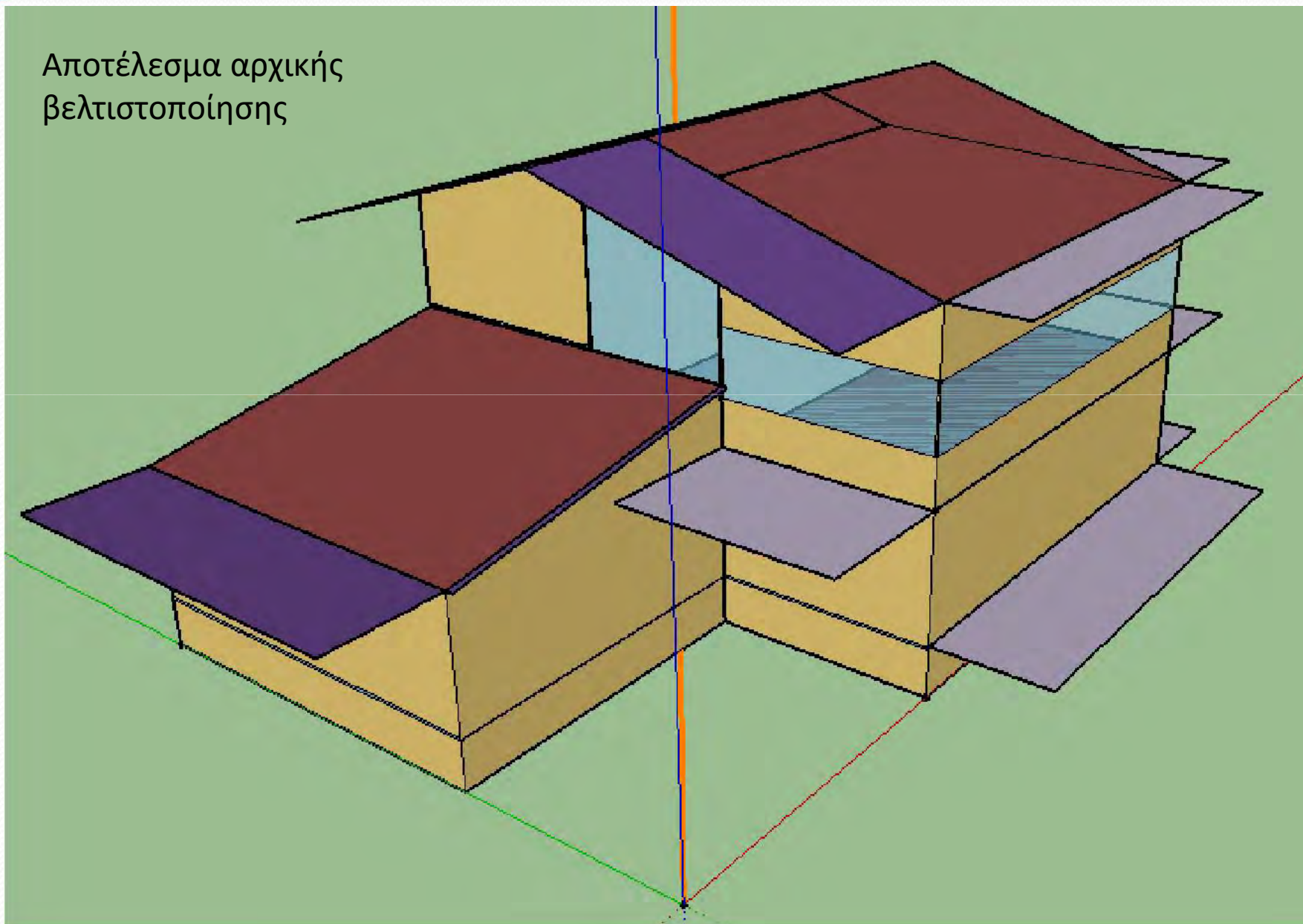
Εξέλιξη βελτιστοποίησης με το GenOpt



Αποτελέσματα

- Χρόνος ολοκλήρωσης των αναλύσεων ~16h σε PC 6ετίας
- 7686 αναλύσεις – 7639^η η βέλτιστη λύση
- Επιλογή της μέγιστης θερμικής μάζας
- Επιλογής της μέγιστης θερμομόνωσης εκτός από την πλάκα επί εδάφους
- Ελαχιστοποίηση των ανοιγμάτων ανάλογα με τον προσανατολισμό και το πρόγραμμα λειτουργίας
- 37% ποσοστό ανοιγμάτων για νότιο προσανατολισμό στην κατοικία με συνεχή λειτουργία (και σκίαση)
- ~100% ανοίγματα στο μη θερμαινόμενο χώρο της σκάλας
- Σκίαστρα 30cm ανά 76cm και γωνία 117⁰

Αποτέλεσμα αρχικής
βελτιστοποίησης



Συμπεράσματα - σχεδιασμού

- Στην πλάκα επί εδάφους δεν απαιτείται ισχυρή θερμομόνωση
- Επιλέχθηκαν κουφώματα μέτριας απόδοσης, άλλα απαιτείται να αναβαθμιστούν για σημαντικά καλύτερη επίδοση
- Για συνεχή λειτουργία τα αποτελέσματα ανοιγμάτων βρίσκονται κοντά στην εκτίμηση του βιοκλιματικού σχεδιασμού
- Εξοικονόμηση 8% σε θέρμανση και 47% σε ψύξη σε σχέση με το βασικό μοντέλο, σύνολο εξοικονόμησης 24.5%
- Κατανάλωση θέρμανσης/ψύξης της βέλτιστης λύσης 28.33kWh/m²
- Για να επιτευχθεί εξαιρετικά μικρή κατανάλωση εκτιμάται ότι είναι απαραίτητη η χρήση εξαερισμού με ανάκτηση θερμότητας και προσθήκη νυχτερινού αερισμού

Γενικά συμπεράσματα

- Απαιτούνται πολλές ώρες για να ολοκληρωθεί μία ανάλυση βελτιστοποίησης, άλλα η παραμετροποίηση του προβλήματος γίνεται σχετικά εύκολα (ανάλογα με τις απαιτήσεις), εφόσον υπάρχει το θερμικό μοντέλο του κτιρίου
- Η κατασκευή ενός θερμικού μοντέλου είναι επίπονη, άλλα αναμένονται βελτιώσεις από τα λογισμικά BIM
- Η διαδικασία της βελτιστοποίησης εφαρμόζεται αντίστοιχα και για αναβάθμιση υφιστάμενων κτιρίων, οπότε είναι εξαιρετικό εργαλείο για τη βιώσιμη δραστηριοποίηση των ESCO
- Υπάρχει έλλειψη αντίστοιχων εργαλείων στην παγκόσμια αγορά
- Υπάρχουν σημαντικά περιθώρια βελτίωσης του χρόνου υλοποίησης της κάθε ανάλυσης βελτιστοποίησης

Ευχαριστώ!

- Δρ. Βασίλειος Μαχαιράς
- Πολιτικός Μηχανικός Ph.D. Α.Π.Θ.
- vasilis@maheras.gr
- <http://vasilis.maheras.gr>
- Τηλ. +30 24620 87787
- Κιν. +30 69420 55297