



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
Δ.Π.Μ.Σ. ΣΤΗ ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ (ΜΒΑ)



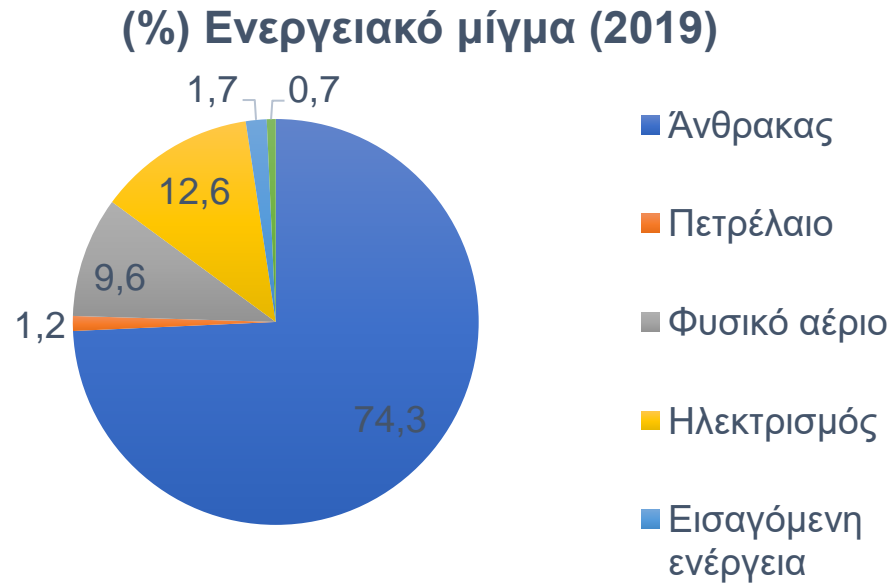
«Συμβολή στη διαχείριση ενέργειας στον κλάδο του χάλυβα με τη χρήση μοντέλων βελτιστοποίησης»

Δημήτριος Αργυρόπουλος (ΑΕΜ: mba23026)

Επιβλέπων: Καθηγητής Ανδρέας Κ. Γεωργίου

Θεσσαλονίκη, Ιανουάριος 2024

Χρήση ενέργειας στη βιομηχανία χάλυβα



- Η βιομηχανία χάλυβα καταναλώνει το 8% της παγκόσμιας ενέργειας και παράγει το 7% των εκπομπών CO₂
- Στο ενεργειακό μίγμα επικρατούν τα συμβατικά καύσιμα, με τη συμμετοχή των ΑΠΕ να είναι περιορισμένη

<https://www.iea.org>

Εύρος μελέτης	Μέθοδος	Αποτέλεσμα	Πηγή
Χαλυβουργία στην Κίνα	LP	Αύξηση ενεργειακού κέρδους κατά 23 €/τόνο χάλυβα	Hu et al. (2019)
Χαλυβουργία SSAB EMEA	MILP	Βέλτιστο ποσοστό scrap steel για ελαχιστοποίηση CO ₂	Grip et al. (2013)
Διαχείριση απαερίων χαλυβουργίας	MILP	16,9% αύξηση οικονομικού οφέλους	García et al. (2020)

- Έχουν αναπτυχθεί αρκετά μοντέλα βελτιστοποίησης της διαχείρισης ενέργειας
- Λαμβάνεται υπόψη το αποτύπωμα άνθρακα
- Η πλειοψηφία των μοντέλων είναι MILP

Σκοπός και στόχοι διπλωματικής εργασίας



1

- Ανάπτυξη ενός μαθηματικού μοντέλου MILP μέσω του οποίου βελτιστοποιείται η διαχείριση ενέργειας της χαλυβουργίας *Daewoo Steel Co. Ltd*

2

- Διαμόρφωση του βέλτιστου ενεργειακού μίγματος για το οποίο μεγιστοποιούνται τα έσοδα της βιομηχανίας

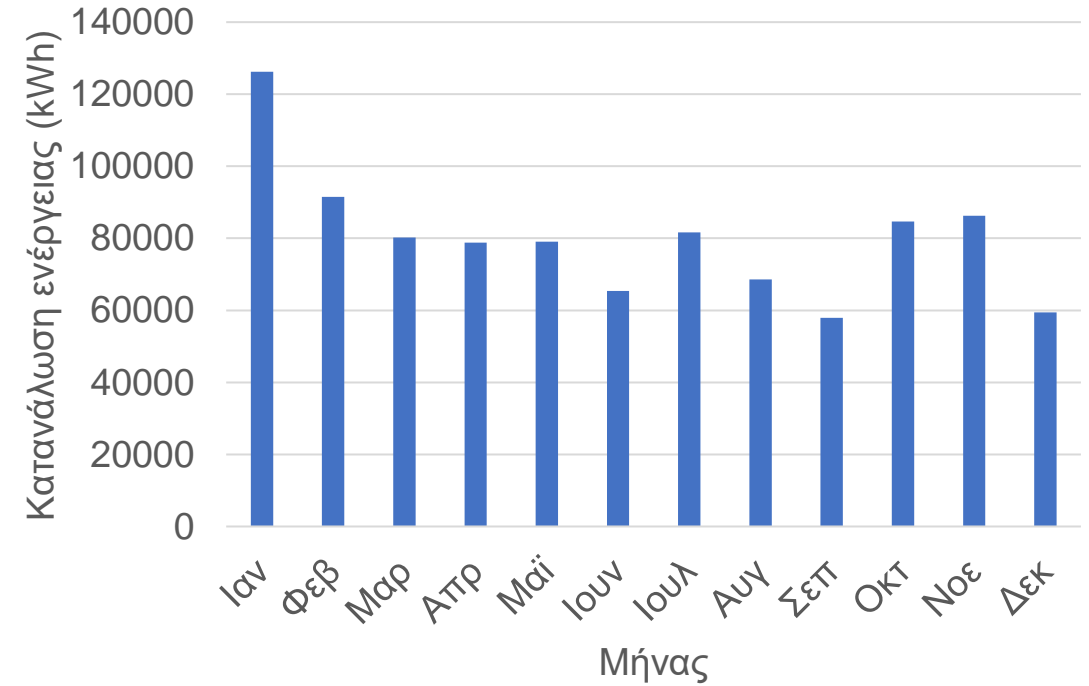
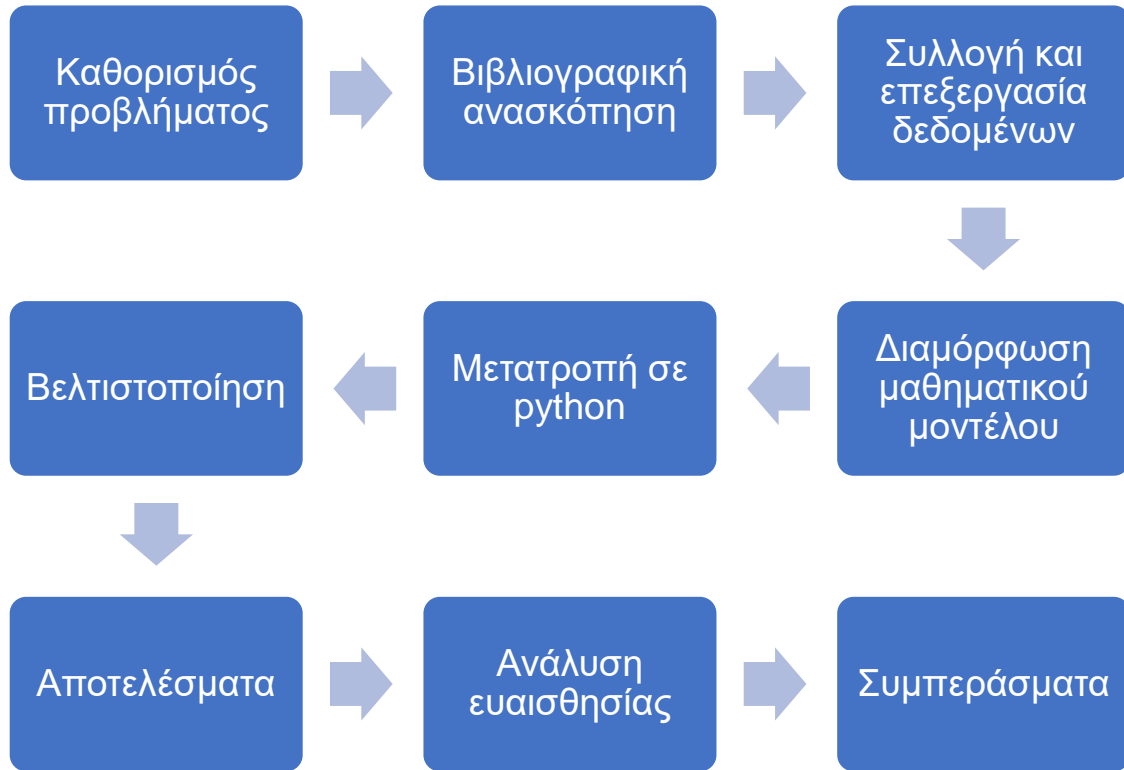
3

- Ανάλυση ευαισθησίας για το πως μεταβάλλονται έσοδα και ενεργειακό μίγμα όταν αλλάζουν οι διάφοροι παράμετροι

Χρήση της γλώσσας προγραμματισμού *Python*



Μεθοδολογία



- Μηνιαία κατανάλωση ενέργειας στην Daewoo Steel
- Συνολική κατανάλωση: 959.636,71 kWh

Μαθηματικό μοντέλο (1)

Μεταβλητές απόφασης:

➤ Άνθρακας, φυσικό αέριο, ηλιακή ενέργεια, αιολική ενέργεια, ενέργεια προς πώληση

➤ 5 σύνολα πραγματικών μεταβλητών:

$$X_{1,j}, X_{2,j}, X_{3,j}, X_{4,j}, X_{5,j}$$

➤ 5 σύνολα binary μεταβλητών:

$$Y_{1,j}, Y_{2,j}, Y_{3,j}, Y_{4,j}, Y_{5,j}$$

Αντικειμενική συνάρτηση (μεγιστοποίηση εσόδων):

$$\max Z = \sum_{j=1}^{12} (P_5 X_{5,j} - C_1 X_{1,j} - C_2 X_{2,j} - C_3 X_{3,j} - C_4 X_{4,j})$$

Περιορισμοί:

➤ Ισοροπία παραγόμενης-ζητούμενης ενέργειας:

$$X_{1,j} + X_{2,j} + X_{3,j} + X_{4,j} = D_j + X_{5,j}$$

➤ Ενσωμάτωση ΑΠΕ min 20%:

$$\sum_{j=1}^{12} (X_{3,j} + X_{4,j}) \geq 0,2 \sum_{j=1}^{12} (X_{1,j} + X_{2,j} + X_{3,j} + X_{4,j})$$

➤ Χρήση άνθρακα max 74,3%:

$$\sum_{j=1}^{12} X_{1,j} \leq 0,743 \sum_{j=1}^{12} (X_{1,j} + X_{2,j} + X_{3,j} + X_{4,j})$$

$$X_{1,j} \leq D_j \cdot Y_{1,j}$$

Μαθηματικό μοντέλο (2)

Περιορισμοί:

- Χρήση φυσικού αερίου min 5%:

$$X_{2,j} + M(1 - Y_{2,j}) \geq 0,05 \cdot (X_{1,j} + X_{2,j} + X_{3,j} + X_{4,j})$$

$$X_{2,j} \leq M \cdot Y_{2,j}$$

- Δυναμικότητα ηλιακής ενέργειας:

$$X_{3,j} \leq A \cdot \eta \cdot SI_j \cdot Y_{3,j}$$

- Δυναμικότητα αιολικής ενέργειας:

$$X_{4,j} \leq 0,36 \cdot N \cdot C_P \cdot \rho_{air} \cdot \pi R^2 \cdot U_j^3 \cdot Y_{4,j}$$

- Ενέργεια προς πώληση (χωρίς μέγιστο όριο):

$$X_{5,j} \leq M \cdot Y_{5,j}$$

Περιορισμοί:

- Μη αρνητικές μεταβλητές:

$$X_{i,j} \geq 0$$

- Δυαδικές μεταβλητές:

$$Y_{i,j} \in \{0,1\}$$

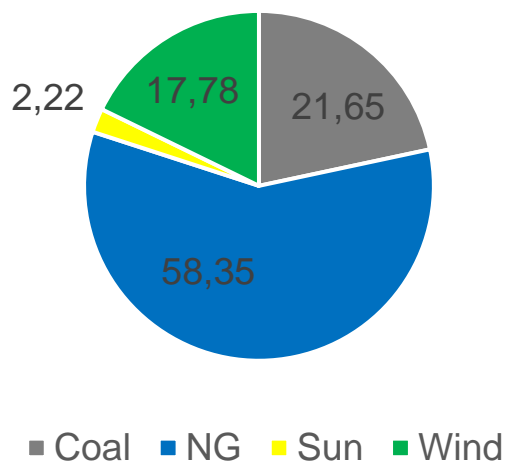
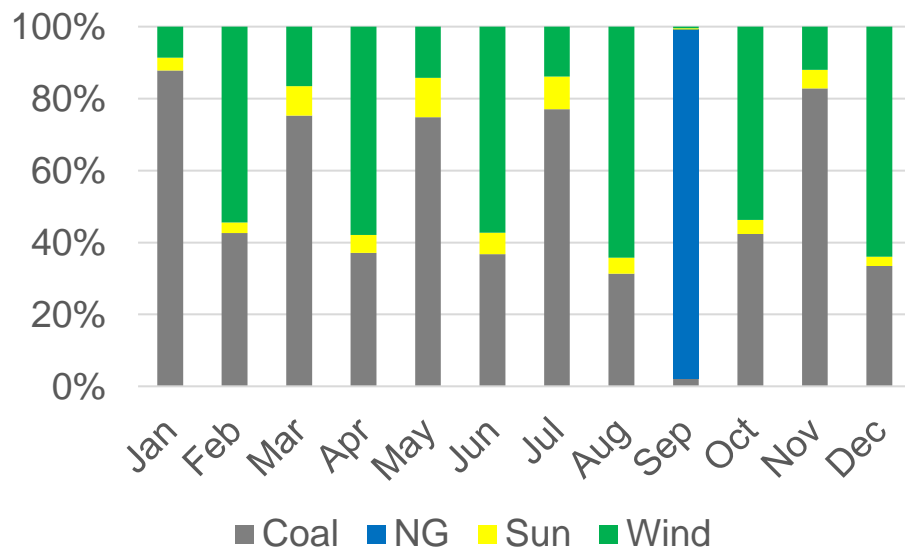
Κύριες παραδοχές:

- Σταθερή ζήτηση

- Ηλιακή και αιολική ενέργεια συνάρτηση μόνο των SI_j και U_j

- Σταθεροί συντελεστές εσόδων και κόστους

Αρχικό σενάριο



➤ Παραγωγή 4.431.638,76 kWh ετησίως

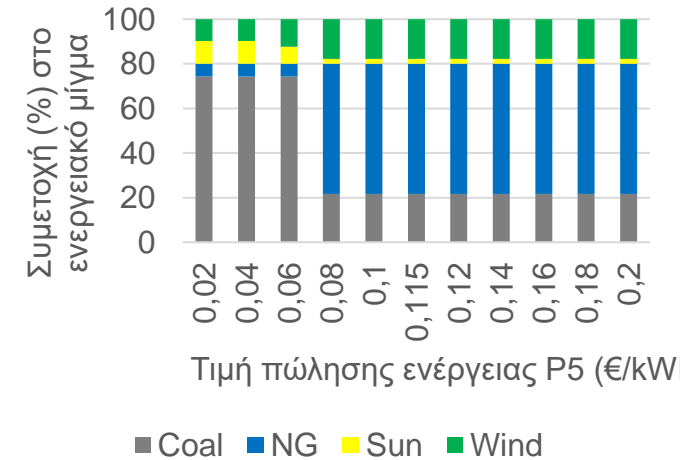
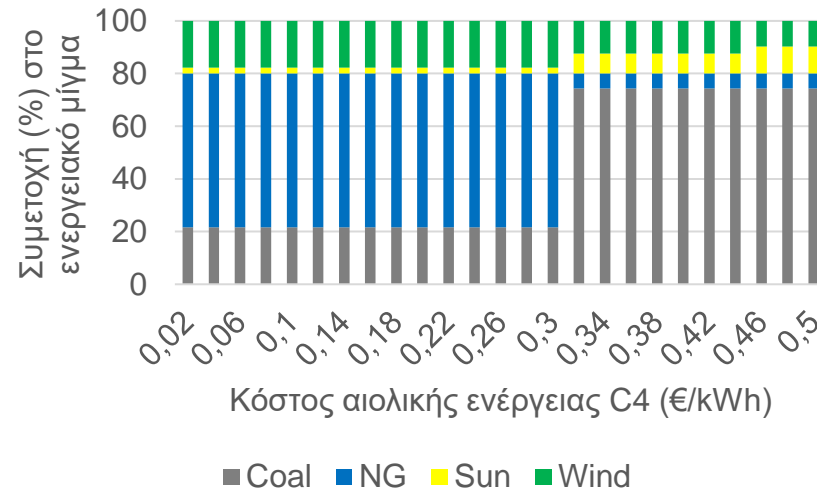
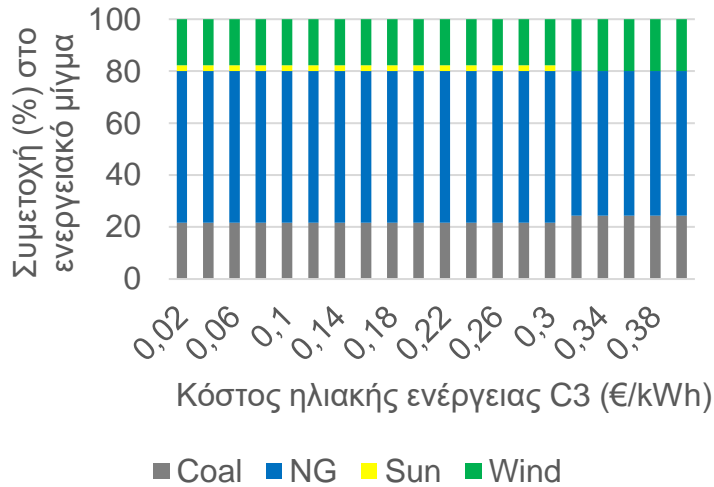
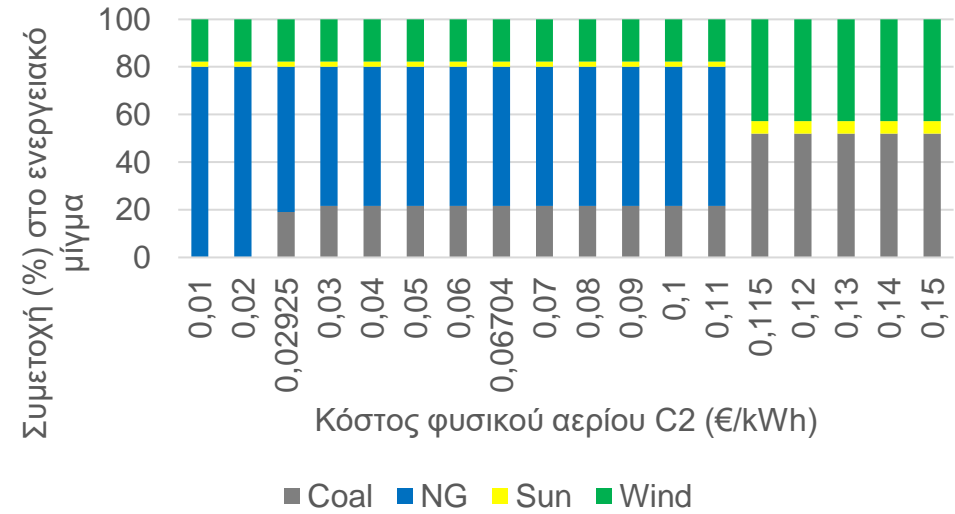
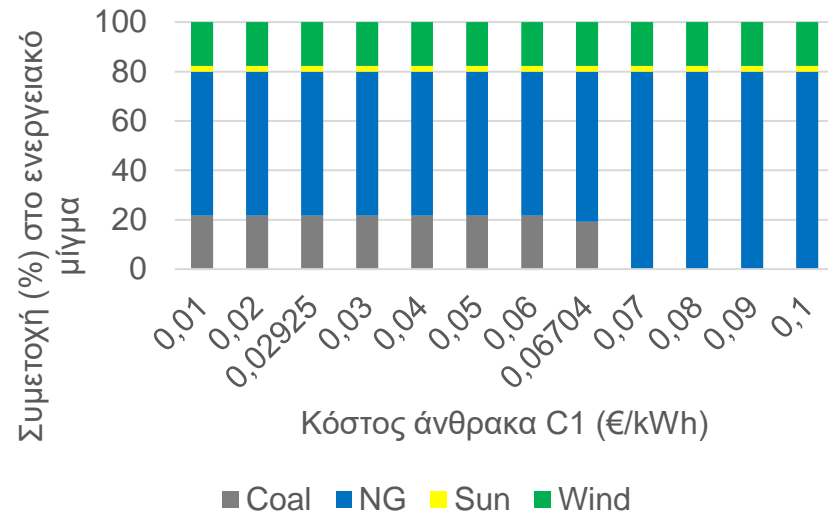
➤ Έσοδα 101.353,29 €

➤ Πλήρης κάλυψη της ζήτησης από άνθρακα

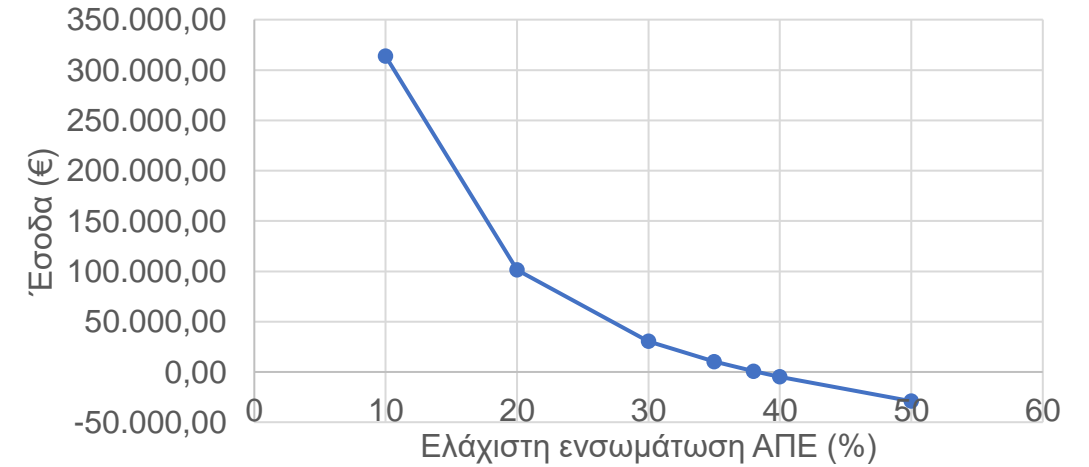
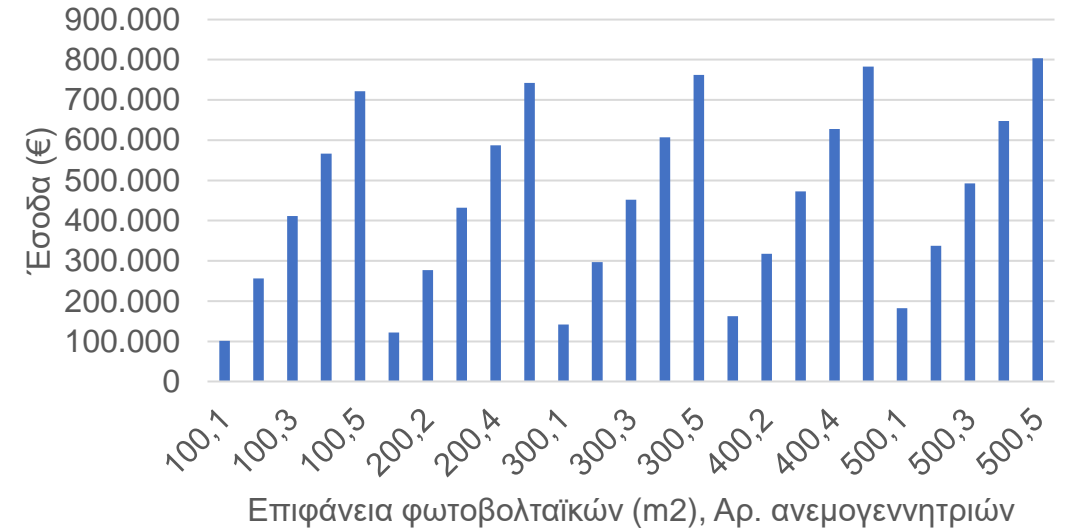
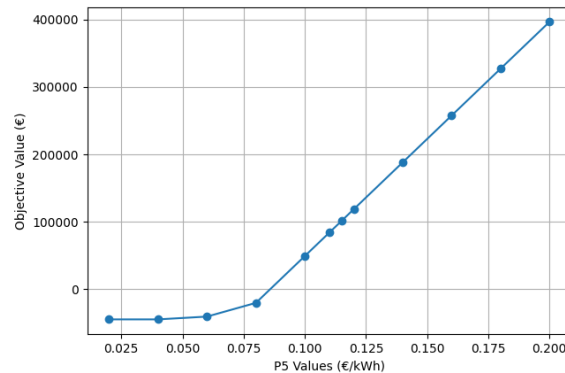
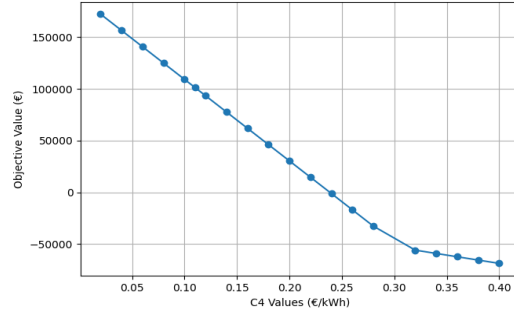
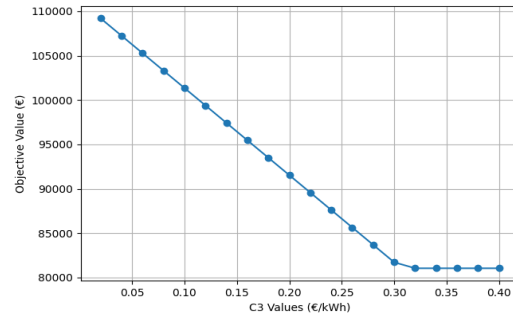
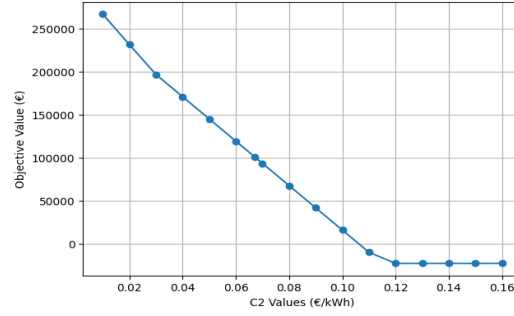
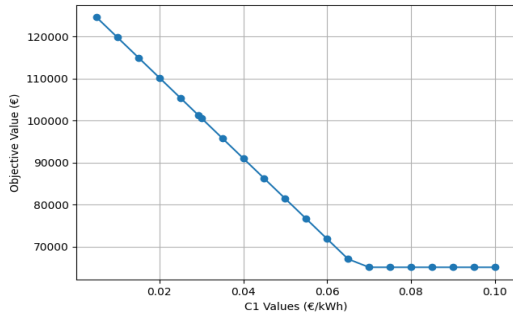
➤ Υψηλή κατανάλωση φυσικού αερίου αλλά χρήση του σε ένα μόνο μήνα

➤ Ενσωμάτωση ΑΠΕ στο ελάχιστο 20%

Ανάλυση ευαισθησίας ως προς το ενεργειακό μίγμα

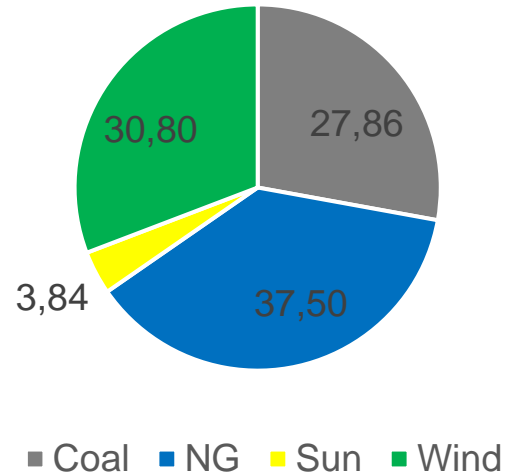


Ανάλυση ευαισθησίας ως προς τα έσοδα

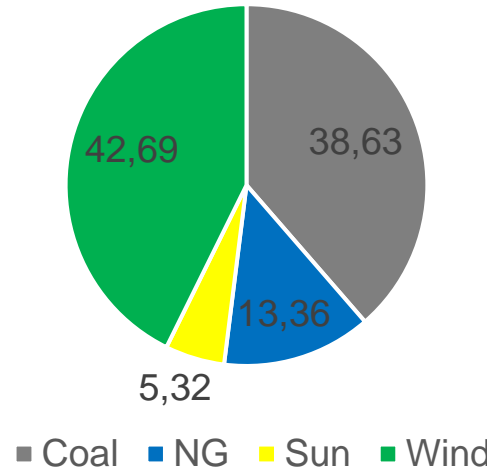


Εναλλακτικά σενάρια

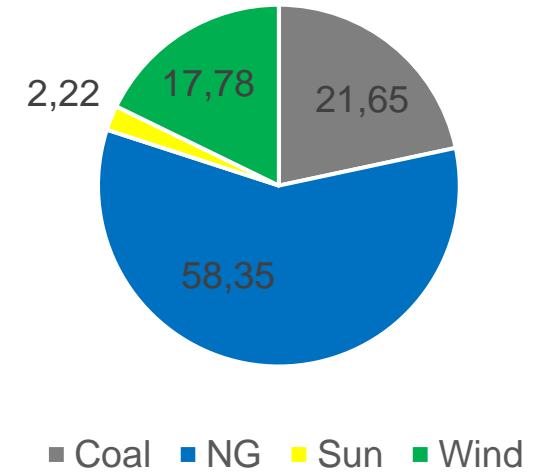
2^ο σενάριο:



3^ο σενάριο:



4^ο σενάριο:



- Αλλαγή στους περιορισμούς:

$$\sum_{j=1}^{12} X_{1,j} \leq 0,743 \sum_{j=1}^{12} D_j$$

$$X_{2,j} \leq D_j \cdot Y_{2,j}$$

- 2.558.974,54 kWh - 2.220,30 €

- Αλλαγή στους περιορισμούς:

$$X_{1,j} + X_{2,j} \leq D_j$$

- 1.845.964,46 kWh - 31.975,67 €

- Κατάργηση δυαδικών μεταβλητών (απλός LP)

- 4.431.638,76kWh- 101.353,29 €

Συμπεράσματα – Περιορισμοί μελέτης

- ✓ Η παραγωγή χάλυβα έχει υψηλό ενεργειακό και περιβαλλοντικό αποτύπωμα
- ✓ Σημαντική η χρήση μαθηματικών μοντέλων για τη διαχείριση ενέργειας
- ✓ Εξετάστηκαν 4 διαφορετικά σενάρια, για καθένα από τα οποία έγινε ανάλυση ευαισθησίας
- ✓ Όσο περισσότερο «πράσινο» είναι το ενεργειακό μίγμα, τόσο χαμηλότερα είναι τα έσοδα της βιομηχανίας
- Μόνο 4 ενεργειακές πηγές στο ενεργειακό μίγμα (άνθρακας, Φ.Α., ηλιακή & αιολική ενέργεια)
- Η δυναμικότητα των ΑΠΕ εξαρτάται μόνο από SI_j και U_j
- Δεν υπάρχει όριο πώλησης ενέργειας
- Περιβαλλοντικό κόστος μόνο ως προς το CO_2
- Σταθερό κόστος προμήθειας και πώλησης ενέργειας στη διάρκεια του έτους

CONCLUSION



Μελλοντικοί στόχοι

- ✓ Ενσωμάτωση περισσότερων πηγών ενέργειας
- ✓ Ακριβέστερος υπολογισμός του δυναμικού των ΑΠΕ
- ✓ Επιπλέον περιβαλλοντικά κόστη (πχ NO_x και SO_x)
- ✓ Διερεύνηση ορίου στην πώληση ενέργειας (Net Metering)
- ✓ Εισαγωγή μηνιαίων τιμών για τους συντελεστές εσόδων και εξόδων
- ✓ Δοκιμή διαφορετικών μεθόδων βελτιστοποίησης



Ευχαριστώ για την προσοχή σας!

