



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

**Μελέτη σκοπιμότητας για εξοικονόμηση ενέργειας και
πόρων στο φωτισμό εξωτερικών χώρων του συγκροτήματος
Ζωγράφου του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΤΟΥ
ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ Δ. ΚΟΝΙΑΡΗ

Επιβλέπων: Φραγκίσκος Β. Τοπαλής, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2015



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

**Μελέτη σκοπιμότητας για εξοικονόμηση ενέργειας και
πόρων στον φωτισμό εξωτερικών χώρων του
συγκροτήματος Ζωγράφου του Εθνικού Μετσόβιου
Πολυτεχνείου**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
του
ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ Δ. ΚΟΝΙΑΡΗ**

Επιβλέπων: Φραγκίσκος Β. Τοπαλής, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την __ Οκτωβρίου 2015:

.....
Φραγκίσκος Β. Τοπαλής
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Ιωάννης Φ. Γκόνος
Επίκουρος Καθηγητής

.....
Πάυλος Σ. Γεωργιλάκης
Επίκουρος Καθηγητής

Αθήνα, Οκτώβριος 2015

.....
ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ Δ. ΚΟΝΙΑΡΗΣ

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Κωνσταντίνος Κόνιαρης, 2015

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος - All rights reserved

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα πρωτίστως να ευχαριστήσω τον κ. Φραγκίσκο Β. Τοπαλή για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε με την ανάθεση αυτής της διπλωματικής και για την ευχάριστη συνεργασία που είχαμε κατά την διάρκεια της εκπόνησης της.

Στη συνέχεια θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Δημήτρη Νικολάου, συνάδελφο και φίλο, που μου πρόσφερε χώρο εργασίας και πολύτιμες πληροφορίες, που λειτούργησαν καταλυτικά στην ολοκλήρωση της διπλωματικής μου.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου που με στηρίζει σε κάθε βήμα της ζωής μου, τους φίλους μου, με τους οποίους έχω περάσει τα καλύτερα στο δρόμο μέχρι αυτό το σημείο, και ιδιαίτερα τα πρόσωπα που είναι δίπλα μου τον τελευταίο καιρό, που πιστεύουν σε μένα και με αποδέχονται όπως είμαι.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στη διπλωματική εργασία αυτή έγινε μια προσπάθεια διερεύνησης τρόπων εξοικονόμησης ενέργειας και πόρων στον φωτισμό εξωτερικών χώρων της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου.

Συγκεκριμένα έχει γίνει μελέτη για την απόδοση, αλλά και τη βιωσιμότητα, τριών δράσεων που μπορούν να επιτύχουν το στόχο της εξοικονόμησης ενέργειας και πόρων και δρουν προσθετικά ή μια στην άλλη. Οι δράσεις αυτές είναι αρχικά η αντικατάσταση των συμβατικών φωτιστικών που φωτίζουν αυτή τη στιγμή την Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου με νέα φωτιστικά LED, στη συνέχεια η επιπρόσθετη χρήση συστήματος για τη ρύθμιση της φωτεινής ροής (dimming) και τελικά η επιπρόσθετη χρήση αισθητήρων κίνησης.

Έγιναν μελέτες φωτισμού για την καταλληλότητα των φωτιστικών LED που χρησιμοποιήθηκαν, υπολογίστηκε η εξοικονόμηση ενέργειας που επιτυγχάνεται, αλλά και η αντίστοιχη μείωση των λειτουργικών δαπανών, κοστολογήθηκε το κόστος της επένδυσης που απαιτείται για την υλοποίηση κάθε δράσης, αξιολογήθηκε η σκοπιμότητα των τριών δράσεων και τέλος προτάθηκαν τρόποι για την χρηματοδότηση του έργου που εν τέλει επιλέχθηκε.

Λέξεις – Κλειδιά

Εξοικονόμηση ενέργειας, LED, φωτοεκπέμπουσες δίοδοι, φωτισμός δρόμων, ρύθμιση φωτεινής ροής, αισθητήρες κίνησης, χρονοδιακόπτες, κόστος συντήρησης, σφάλματα driver LED, τιμή ηλεκτρικού ρεύματος ΕΜΠ, τεχνοοικονομική μελέτη, Καθαρή Παρούσα Αξία, Καθαρές Ταμειακές Ροές, Χρόνος Επανάκτησης Κεφαλαίου, Παρούσα Αξία Συνολικού Κόστους

ABSTRACT

In this study we have attempted to find ways to achieve ideal energy and cost savings for the lighting system at the campus of National Technical University of Athens in Zografou.

More specifically there has been research done about the efficiency, and the viability of three actions which can achieve the target of energy and cost savings and which all three acts work together benefiting one another. One of the actions consists of the replacement of the conventional luminaires which light the campus of NTUA in Zografou with new LED luminaires, the second act is the additional use of a dimming system and finally the third act is the additional use of motion sensors.

We carried out lighting studies about the suitability of the LED luminaires which have been chosen, we calculated the energy savings which have been achieved, the respective reduction of the operating costs, priced the amount of the capital investment, evaluated the purposefulness of the three acts and finally we recommended ways to fund the project which has finally been selected.

Key-Words

Energy savings, energy consumption, energy efficiency, LED, roadway lighting, dimming, motion sensors, timers, maintenance cost, LED driver faults, energy cost of NTUA, economic study, Net Present Value, Net cash flows, Discounted Payback Period, Present Value of Total Cost

Πίνακας Περιεχομένων

1. ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	19
1.1 Η ανάγκη εξοικονόμησης ενέργειας στην εποχή μας	19
1.2 Εξοικονόμηση ενέργειας στον φωτισμό.....	20
2. ΦΩΤΙΣΜΟΣ	22
2.1 Έννοιες φωτισμού.....	22
2.1.1 Φωτεινή Ροή	22
2.1.2 Ένταση Φωτισμού	22
2.1.3 Φωτεινή Απόδοση	22
2.1.4 Θερμοκρασία Χρώματος.....	22
2.1.5 Ποιότητα χρώματος φωτεινής πηγής	22
2.1.6 Διάρκεια Ζωής.....	22
2.2 Εξωτερικός φωτισμός.....	23
2.2.1 Δρόμοι.....	23
2.2.2 Κτίρια	24
2.2.3 Πλατείες.....	24
2.3 Φωτιστικά στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου.....	25
2.3.1 Λαμπτήρες Ατμών Νατρίου Υψηλής Πίεσης.....	25
2.3.2 Λαμπτήρες Ατμών Νατρίου Χαμηλής Πίεσης	26
2.3.3 Συμπαγείς Λαμπτήρες Φθορισμού	27
2.3.4 Λαμπτήρες Μεταλλικών Αλογονιδίων	29
2.4 Φωτοεκπέμπουσες δίοδοι - LED	29
2.4.1 Τεχνολογία	30
2.4.2 Πλεονεκτήματα	32
2.4.3 Μειονεκτήματα.....	32
3. ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΠΟΡΩΝ ΣΤΟ ΦΩΤΙΣΜΟ ΕΞΩΤΕΡΙΚΩΝ ΧΩΡΩΝ ΤΟΥ ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑΤΟΣ ΖΩΓΡΑΦΟΥ ΤΟΥ Ε.Μ.Π.	33
3.1 Υφιστάμενη κατάσταση	33
3.1.1 Ετήσια κατανάλωση και αντίστοιχο κόστος λειτουργίας	35
3.1.2 Ετήσιο κόστος συντήρησης.....	37
3.1.3 Συνολικό ετήσιο κόστος λειτουργίας.....	38
3.2 Δράσεις για εξοικονόμηση ενέργειας και πόρων, και αντίστοιχα οφέλη.....	39
3.2.1 1 ^η δράση: Αντικατάσταση των εγκατεστημένων φωτιστικών με νέα φωτιστικά LED.....	39
3.2.2 2 ^η δράση: Επιπρόσθετη χρήση συστήματος ρύθμισης της φωτεινής ροής (dimming).....	75
3.2.3 3 ^η δράση: Επιπρόσθετη χρήση αισθητήρων κίνησης σε συνδυασμό με χρονοδιακόπτη.....	79
3.3 Σύγκριση των αποτελεσμάτων των δράσεων	83
4. ΤΕΧΝΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ - ΧΡΗΜΑΤΟΔΟΤΗΣΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ	86
4.1 Οικονομικά στοιχεία των δράσεων	86
4.2 Οικονομική Ανάλυση και Αξιολόγηση των δράσεων.....	87
4.2.1 Εκτίμηση των Καθαρών Ταμειακών Ροών (ΚΤΡ).....	87
4.2.2 Κριτήριο αξιολόγησης της επένδυσης – Κριτήριο Καθαρής Παρούσας Αξίας (ΚΠΑ)	88

4.2.3	Κριτήριο Παρούσας Αξίας Συνολικού Κόστους.....	90
4.2.4	Κριτήριο περιόδου επανάκτησης του κεφαλαίου (payback period)	91
4.2.5	Κριτήριο περιόδου επανάκτησης του κεφαλαίου σε συνδυασμό με την παρούσα αξία (Discounted Payback Period).....	92
4.2.6	Αποτελέσματα κριτηρίων αξιολόγησης των σχεδίων επένδυσης	94
4.3	Τρόποι χρηματοδότησης της επένδυσης.....	95
4.3.1	Μέσω του τακτικού προϋπολογισμού του Ε.Μ.Π.	95
4.3.2	Ελληνικά και Ευρωπαϊκά προγράμματα χρηματοδότησης	95
4.3.3	Χρηματοδότηση από τρίτους.....	96
5.	ΣΥΝΟΨΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	97
5.1	Σύνοψη.....	97
5.2	Συμπεράσματα	98
6.	Βιβλιογραφία	100

Πίνακας Σχημάτων

Σχήμα 1 - Παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας ανά είδος καυσίμου[2]	20
Σχήμα 2 – Φωτιστικό δρόμου του Ε.Μ.Π.	24
Σχήμα 3 – Προβολείς σε κτίριο του Ε.Μ.Π.	24
Σχήμα 4 – Φωτιστικό πλατείας στο Ε.Μ.Π.	25
Σχήμα 5 – Δομή λαμπτήρα ατμών νατρίου υψηλής πίεσης [9]	26
Σχήμα 6 - Δομή λαμπτήρα ατμών νατρίου χαμηλής πίεσης [9].....	27
Σχήμα 7 – Ο μηχανισμός παραγωγής φωτός των λαμπτήρων φθορισμού [9]	27
Σχήμα 8 – Τυπικό κύκλωμα λαμπτήρων φθορισμού [9]	28
Σχήμα 9 – Σχήμα συμπαγών λαμπτήρων φθορισμού	28
Σχήμα 10 – Δομή λαμπτήρα μεταλλικών αλογονιδίων [9]	29
Σχήμα 11 – Η δομή του LED.....	30
Σχήμα 12 – Αρχή λειτουργίας των LED[9]	31
Σχήμα 13 – Πλακέτα LED από φωτιστικό δρόμου	31
Σχήμα 14 - Φωτιστικά με λαμπτήρες ατμών νατρίου υψηλής πίεσης στο Ε.Μ.Π.	33
Σχήμα 15 – Φωτιστικά με λαμπτήρες ατμών νατρίου χαμηλής πίεσης στο Ε.Μ.Π.	34
Σχήμα 16 - Φωτιστικά με συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού στο Ε.Μ.Π.	34
Σχήμα 17 – Προβολείς με λαμπτήρες μεταλλικών αλογονιδίων στο Ε.Μ.Π.	35
Σχήμα 18 - Φωτιστικό με έλλειψη καλύμματος και χαλασμένο λαμπτήρα.....	40
Σχήμα 19 - Φωτιστικό με σπασμένο λαμπτήρα και κάλυμμα.....	40
Σχήμα 20 - Φωτιστικό χωρίς πλήρες σύστημα λειτουργίας.....	40
Σχήμα 21 – Φωτιστικά της 1 ^{ης} ομάδας φωτιστικών με λαμπτήρες ατμών νατρίου υψηλής πίεσης (κόκκινο χρώμα)	41
Σχήμα 22 – Φωτιστικό Voltana της εταιρείας Schreder[13]	42
Σχήμα 23 – Πολικό διάγραμμα Voltana, με φακό 5136[13]	43
Σχήμα 24 – Αποτελέσματα της προσομοίωσης σε πίνακα	43
Σχήμα 25 – Αποτελέσματα της προσομοίωσης σε ψευδοχρώματα	43
Σχήμα 26 – Τελικά αποτελέσματα της προσομοίωσης.....	44
Σχήμα 27 – Φωτιστικά της 2 ^{ης} ομάδας φωτιστικών με λαμπτήρες ατμών νατρίου υψηλής πίεσης (κόκκινο χρώμα)	44
Σχήμα 28 – Πολικό διάγραμμα Voltana, με φακό 5138[13]	46
Σχήμα 29 – Αποτελέσματα της προσομοίωσης σε πίνακα	46
Σχήμα 30 - Αποτελέσματα της προσομοίωσης σε ψευδοχρώματα	46
Σχήμα 31 – Τελικά αποτελέσματα της προσομοίωσης.....	47
Σχήμα 32 – Φωτιστικά σε χώρους στάθμευσης αυτοκινήτων με λαμπτήρες ατμών νατρίου υψηλής πίεσης (κόκκινο χρώμα)	47
Σχήμα 33 - Αποτελέσματα της προσομοίωσης χώρου στάθμευσης αυτοκινήτων σε ψευδοχρώματα.48	
Σχήμα 34 – Τελικά αποτελέσματα της προσομοίωσης χώρου στάθμευσης	49
Σχήμα 35 – Φωτιστικά με λαμπτήρες ατμών νατρίου υψηλής πίεσης ως προβολείς σε κτίρια (κόκκινο χρώμα).....	49
Σχήμα 36 – Φωτιστικό Neos της εταιρείας Schreder[13].....	50
Σχήμα 37 – Πολικό διάγραμμα Neos, φακός 5120[13]	50
Σχήμα 38 - Φωτιστικά της 1 ^{ης} ομάδας φωτιστικών με λαμπτήρες ατμών νατρίου χαμηλής πίεσης (κόκκινο χρώμα)	51
Σχήμα 39 – Αποτελέσματα της προσομοίωσης σε πίνακα	52
Σχήμα 40 – Αποτελέσματα της προσομοίωσης σε ψευδοχρώματα	53
Σχήμα 41 – Τελικά αποτελέσματα της προσομοίωσης.....	53

Σχήμα 42 – Φωτιστικά της 2 ^{ης} ομάδας φωτιστικών με λαμπτήρες ατμών νατρίου χαμηλής πίεσης (κόκκινο χρώμα)	54
Σχήμα 43 – Πολικό διάγραμμα Voltana, με φακό 5137[13]	55
Σχήμα 44 – Αποτελέσματα της προσομοίωσης σε πίνακα	55
Σχήμα 45 - Αποτελέσματα της προσομοίωσης σε ψευδοχρώματα	56
Σχήμα 46 – Τελικά αποτελέσματα της προσομοίωσης	56
Σχήμα 47 – Ιστός (κόκκινο χρώμα) σε χώρο στάθμευσης με φωτιστικά λαμπτήρων ατμών νατρίου χαμηλής πίεσης	57
Σχήμα 48 – Φωτιστικά του ποδηλατόδρομου (με κόκκινο χρώμα)	58
Σχήμα 49 – Πολικό διάγραμμα Voltana, με φακό 5139[13].....	59
Σχήμα 50 – Αποτελέσματα της προσομοίωσης σε πίνακα	59
Σχήμα 51 - Αποτελέσματα της προσομοίωσης σε ψευδοχρώματα	59
Σχήμα 52 – Τελικά αποτελέσματα της προσομοίωσης	59
Σχήμα 53 - Φωτιστικά με συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού σε πεζοδρόμια (κόκκινο χρώμα)	60
Σχήμα 54 – Αποτελέσματα της προσομοίωσης σε πίνακα	62
Σχήμα 55 - Αποτελέσματα της προσομοίωσης σε ψευδοχρώματα	62
Σχήμα 56 – Τελικά αποτελέσματα της προσομοίωσης	62
Σχήμα 57 – Φωτιστικά με συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού στο πεζοδρόμιο πλησίον των Νέων Κτιρίων Ηλεκτρολόγων (κόκκινο χρώμα)	63
Σχήμα 58 – Αποτελέσματα της προσομοίωσης σε πίνακα	64
Σχήμα 59 - Αποτελέσματα της προσομοίωσης σε ψευδοχρώματα	65
Σχήμα 60 – Τελικά αποτελέσματα της προσομοίωσης	65
Σχήμα 61 – Φωτιστικά σε πλατείες της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου (κόκκινο χρώμα).....	66
Σχήμα 62 – Φωτιστικό Pilzeo της εταιρείας Schreder[13]	67
Σχήμα 63 – Πολικό διάγραμμα Pilzeo, με φακό 5068[13]	67
Σχήμα 64 – Αποτελέσματα της προσομοίωσης σε πίνακα	68
Σχήμα 65 - Αποτελέσματα της προσομοίωσης σε ψευδοχρώματα	68
Σχήμα 66 – Τελικά αποτελέσματα της προσομοίωσης	69
Σχήμα 67 - Πύλη Ζωγράφου αριστερά και Παλιά Κτίρια Ηλεκτρολόγων δεξιά	69
Σχήμα 68 – Φωτισμός Παλιών Κτιρίων Ηλεκτρολόγων με λαμπτήρες μεταλλικών αλογονιδίων	71
Σχήμα 69 - Φωτισμός Παλιών Κτιρίων Ηλεκτρολόγων με λαμπτήρες LED	71
Σχήμα 70 – Φωτισμός Πύλης Ζωγράφου με λαμπτήρες μεταλλικών αλογονιδίων	72
Σχήμα 71 - Φωτισμός Πύλης Ζωγράφου με λαμπτήρες LED.....	72
Σχήμα 72 – Στάθμες φωτισμού των φωτιστικών ανά ώρα, κατά την εαρινή περίοδο	76
Σχήμα 73 - Στάθμες φωτισμού των φωτιστικών ανά ώρα, κατά την εαρινή περίοδο.....	76
Σχήμα 74 – Φωτιστικά που ελέγχονται από αισθητήρες κίνησης	79
Σχήμα 75 – Φωτιστικά στα οποία θα τοποθετηθούν αισθητήρες	80
Σχήμα 76 – Αρχή λειτουργίας του αισθητήρα κίνησης Bobby[15]	81
Σχήμα 77 – Σύγκριση υφιστάμενης κατάστασης και των τριών δράσεων στην ετήσια κατανάλωση ενέργειας.....	83
Σχήμα 78 - Σύγκριση των τριών δράσεων στην εξοικονόμηση ενέργειας	83
Σχήμα 79 - Σύγκριση υφιστάμενης κατάστασης και των τριών δράσεων στο ετήσιο κόστος λειτουργίας.....	84
Σχήμα 80 - Σύγκριση των τριών δράσεων στην εξοικονόμηση πόρων	84
Σχήμα 81 - Σύγκριση των τριών δράσεων στο κόστος επένδυσης.....	85

Πίνακας Πινάκων

Πίνακας 1 – Ώρες λειτουργίας των φωτιστικών του Ε.Μ.Π.	35
Πίνακας 2 – Κατανάλωση φωτιστικών Ε.Μ.Π.	36
Πίνακας 3 – Απλή χρέωση ενέργειας για το τιμολόγιο ΒΓ	36
Πίνακας 4 – Ρυθμιζόμενες χρεώσεις για το τιμολόγιο ΒΓ	36
Πίνακας 5 – Ετήσιο κόστος λειτουργίας των φωτιστικών της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου	37
Πίνακας 6 – Κόστος αγοράς νέων λαμπτήρων σε διάρκεια 50.000 ωρών	38
Πίνακας 7 – Κόστος αντικατάστασης λαμπτήρων.....	38
Πίνακας 8 – Χαρακτηριστικά της 1 ^{ης} ομάδας φωτιστικών με λαμπτήρες ατμών νατρίου υψηλής πίεσης	41
Πίνακας 9 – Κατηγοριοποίηση των δρόμων της 1 ^{ης} ομάδας φωτιστικών σύμφωνα με το πρότυπο EN 13201:01.....	42
Πίνακας 10 – Χαρακτηριστικά της 2 ^{ης} ομάδας φωτιστικών με λαμπτήρες ατμών νατρίου υψηλής πίεσης.....	45
Πίνακας 11 – Κατηγοριοποίηση των δρόμων της 2 ^{ης} ομάδας φωτιστικών σύμφωνα με το πρότυπο EN 13201:01.....	45
Πίνακας 12 – Χαρακτηριστικά των χώρων στάθμευσης αυτοκινήτων στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου	48
Πίνακας 13 – Χαρακτηριστικά της 1 ^{ης} ομάδας φωτιστικών με λαμπτήρες ατμών νατρίου χαμηλής πίεσης.....	51
Πίνακας 14 – Κατηγοριοποίηση των δρόμων της 1 ^{ης} ομάδας φωτιστικών σύμφωνα με το πρότυπο EN 13201:01.....	52
Πίνακας 15 – Χαρακτηριστικά της 2 ^{ης} ομάδας φωτιστικών με λαμπτήρες ατμών νατρίου χαμηλής πίεσης.....	53
Πίνακας 16 – Κατηγοριοποίηση των δρόμων της 2 ^{ης} ομάδας φωτιστικών σύμφωνα με το πρότυπο EN 13201:01.....	54
Πίνακας 17 – Χαρακτηριστικά του ποδηλατόδρομου	57
Πίνακας 18 – Κατηγοριοποίηση του ποδηλατόδρομου σύμφωνα με το πρότυπο EN 13201:01.....	58
Πίνακας 19 – Χαρακτηριστικά πεζοδρομίων.....	60
Πίνακας 20 – Κατηγοριοποίηση των πεζοδρομίων σύμφωνα με το πρότυπο EN 13201:01	61
Πίνακας 21 – Χαρακτηριστικά πεζοδρομίου πλησίον των Νέων Κτιρίων Ηλεκτρολόγων.....	63
Πίνακας 22 – Κατηγοριοποίηση του πεζοδρομίου πλησίον των Νέων Κτιρίων Ηλεκτρολόγων σύμφωνα με το πρότυπο EN 13201:01	64
Πίνακας 23 – Χαρακτηριστικά των πλατειών	65
Πίνακας 24 – Κατηγοριοποίηση των πλατειών σύμφωνα με το πρότυπο EN 13201:01	66
Πίνακας 25 – Ετήσια κατανάλωση φωτιστικών LED για 4.374ώρες/έτος και ετήσιο κόστος λειτουργίας για τιμή ηλεκτρικής ενέργειας 0,0754827€/kWh	73
Πίνακας 26 – Κόστος συντήρησης των φωτιστικών LED, λόγω σφαλμάτων σε driver	74
Πίνακας 27 - Κατανάλωση ενέργειας και κόστος λειτουργίας πριν και μετά την αντικατάσταση των φωτιστικών στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου, σε ετήσια βάση	74
Πίνακας 28 – Κόστος αγοράς των φωτιστικών LED για την αντικατάσταση των συμβατικών φωτιστικών.....	75
Πίνακας 29 – Απαιτούμενες στάθμες φωτισμού των φωτιστικών για την κάλυψη των νέων προδιαγραφών	76
Πίνακας 30 – Κατανάλωση των φωτιστικών για επιλεγμένες στάθμες φωτισμού και αντίστοιχη ετήσια κατανάλωσή τους.....	77
Πίνακας 31 - Κατανάλωση ενέργειας και κόστος λειτουργίας μετά την επιπρόσθετη χρήση του συστήματος dimming σε ετήσια βάση	77

Πίνακας 32 – Κόστος αγοράς κεντρικού συστήματος διαχείρισης φωτιστικών.....	78
Πίνακας 33 – Ώρες λειτουργίες των αισθητήρων κίνησης.....	81
Πίνακας 34 – Μέγιστη εξοικονόμηση ενέργειας που μπορεί να επιτευχθεί με χρήση αισθητήρων κίνησης.....	81
Πίνακας 35 – Εξοικονόμηση ενέργειας και πόρων λόγω επιπρόσθετης χρήσης αισθητήρων κίνησης.....	82
Πίνακας 36 – Νέο κόστος επένδυσης, λόγω αισθητήρων κίνησης.....	82
Πίνακας 37 – Κεφάλαιο επένδυσης για τα τρία σχέδια επένδυσης προς εξοικονόμηση ενέργειας και πόρων.....	86
Πίνακας 38 – Οικονομικά οφέλη κάθε σχεδίου επένδυσης.....	87
Πίνακας 39 - Δείκτες ΚΠΑ των τριών σχεδίων επένδυσης για επιτόκιο αναγωγής $k=3\%$	89
Πίνακας 40 - Δείκτες ΚΠΑ των τριών σχεδίων επένδυσης για επιτόκιο αναγωγής $k=5\%$	89
Πίνακας 41 - Δείκτες ΠΑΣΚ των τριών σχεδίων επένδυσης και της υφιστάμενης κατάστασης για επιτόκιο αναγωγής $k=3\%$	91
Πίνακας 42 - Δείκτες ΠΑΣΚ των τριών σχεδίων επένδυσης και της υφιστάμενης κατάστασης για επιτόκιο αναγωγής $k=5\%$	91
Πίνακας 43 – Χρόνος απόσβεσης των τριών σχεδίων επένδυσης.....	92
Πίνακας 44 - Δείκτες ΠΧΕΚ των τριών σχεδίων επένδυσης για επιτόκιο αναγωγής $k=3\%$	93
Πίνακας 45 - Δείκτες ΠΧΕΚ των τριών σχεδίων επένδυσης για επιτόκιο αναγωγής $k=5\%$	93
Πίνακας 46 – Υπολογισμός ΕΒΑ για τα τρία σχέδια επένδυσης.....	94
Πίνακας 47 – Σύνοψη του έργου που αξιολογήθηκε ως σκόπιμο προς υλοποίηση.....	97

1. ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Η εξοικονόμηση ενέργειας περιγράφει τον στόχο να μειωθεί η υφιστάμενη κατανάλωση ενέργειας, είτε αυτή του πλανήτη, μιας χώρας, μιας εταιρείας, είτε ακόμα και μιας οικίας. Αυτή δεν χρειάζεται να περιορίζεται σε κάποιο συγκεκριμένο τομέα, ή στο είδος της ενέργειας που καταναλώνεται. Πιο συγκεκριμένα, η εξοικονόμηση ενέργειας περιγράφει όλα τα κατάλληλα μέσα για την επίτευξη χαμηλότερης κατανάλωσης ενέργειας, οποιουδήποτε είδους.

Η εξοικονόμηση ενέργειας μπορεί να γίνεται για διάφορους λόγους:

- Η διαθέσιμη ενέργεια είναι περιορισμένη
- Ζητείται μείωση του κόστους που δαπανάται στην κατανάλωση ενέργειας
- Ζητείται μείωση των επιπτώσεων που προκαλεί η κατανάλωση της ενέργειας, όπως η εκπομπή ρύπων

Για την μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας υπάρχουν οι εξής συχνοί μέθοδοι:

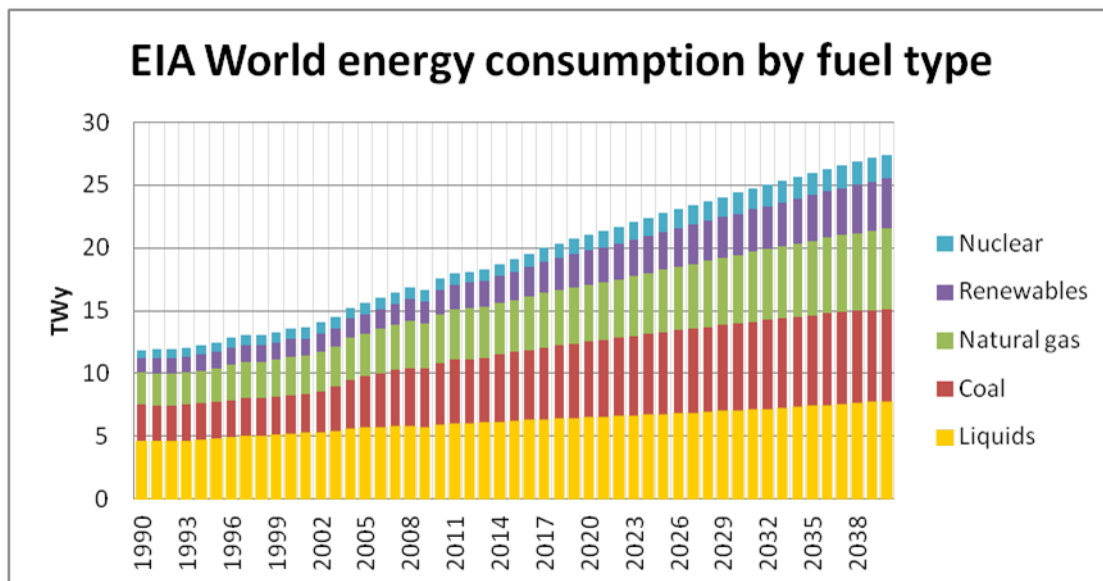
- Μείωση των απαιτήσεων που δεν είναι απαραίτητες, όπως π.χ. μείωση της κατανάλωσης ενέργειας σε χώρους που δεν χρησιμοποιούνται
- Αξιοποίηση μη χρησιμοποιημένης ενέργειας, όπως της παραγόμενης θερμότητας από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από λιγνίτη (τηλεθέρμανση)
- Χρήση οικονομικότερων συσκευών

1.1 Η ανάγκη εξοικονόμησης ενέργειας στην εποχή μας

Η πρώτη φορά που έγινε αντιληπτή η ανάγκη για εξοικονόμηση ενέργειας, ήταν το 1973 μετά την πρώτη κρίση πετρελαίου, όταν ξαφνικά σταμάτησε η παροχή του, και συνεπώς το μεγαλύτερο μέσο παραγωγής ενέργειας, από τη Μέση Ανατολή προς το Δυτικό Κόσμο, ο οποίος συνειδητοποίησε πως η ενέργεια δεν είναι άεναη[1].

Στον 21^ο αιώνα πλέον, η ανάγκη για εξοικονόμηση ενέργειας επιβάλλεται από την συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση ενέργειας (βλ. Σχήμα 1), την ταυτόχρονη μείωση των ορυκτών καυσίμων, τον απαραίτητο περιορισμό των επιπτώσεων της παραγωγής ενέργειας στο περιβάλλον, αλλά και στην υγεία του ανθρώπου, όπως των πυρηνικών εργοστασίων και των εργοστασίων λιγνίτη.

Χαρακτηριστικό είναι το γεγονός ότι η Διεθνής Οργάνωση Ατομικής Ενέργειας, υπολογίζει αύξηση της παραγωγής πυρηνικής ενέργειας κατά 68% μέχρι το 2030[3].



Σχήμα 1 - Παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας ανά είδος καυσίμου[2]

Για τους παραπάνω λόγους, το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο ενέκρινε το Μάρτιο του 2010 την στρατηγική «Ευρώπη 2020» που πρότεινε η Ευρωπαϊκή Επιτροπή, η οποία θέτει πρωταρχικούς στόχους για την πορεία των χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Συγκεκριμένα στον τομέα της ενέργειας έχουν τεθεί οι εξής στόχοι[4]:

- 20% μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (ως προς τις εκπομπές του 1990)
- 20% αύξηση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας
- 20% βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης

Τα παραπάνω θα ωθήσουν σε αποδοτική χρήση των διαθέσιμων πόρων, σε χαμηλές εκπομπές άνθρακα και σε αύξηση της ενεργειακής ασφάλειας.

1.2 Εξοικονόμηση ενέργειας στον φωτισμό

Ο φωτισμός αποτελεί αναμφίβολα έναν σημαντικό παράγοντα στη ζωή μας, ο οποίος όμως απαιτεί σημαντικά ποσά ενέργειας. Σε παγκόσμιο επίπεδο ο φωτισμός ευθύνεται για το 19% της καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, στην Ευρωπαϊκή Ένωση για το 14%[5]. Επίσης, αξίζει να αναφερθεί πως γενικά σε κτιριακές εγκαταστάσεις, ο φωτισμός αγγίζει το 50% της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται[6], ενώ στον κύκλο ζωής μιας τυπικής εγκατάστασης φωτισμού, το κόστος της καταναλισκόμενης ενέργειας αποτελεί το 86%, ενώ η αρχική επένδυση μόλις το 3%[7].

Ωστόσο υπάρχουν αρκετές λύσεις για την εξοικονόμηση πόρων, οι σημαντικότεροι εκ των οποίων είναι οι εξής:

- Σωστός σχεδιασμός του τεχνητού φωτισμού
- Αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού
- Χρήση λαμπτήρων υψηλής απόδοσης και χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης
- Επιλογή κατάλληλων φωτιστικών σωμάτων
- Σωστή συντήρηση των φωτιστικών
- Χρήση αισθητήρων φωτισμού και κίνησης
- Χρήση χρονοδιακοπών
- Χρήση συστημάτων διαχείρισης του φωτισμού

Η σωστή εφαρμογή των παραπάνω λύσεων μπορεί να επιφέρει εξοικονόμηση ενέργειας της τάξης του 80%. Η εξοικονόμηση αυτή αντιστοιχεί στην καταναλισκόμενη ενέργεια που μετριέται σε kWh, όμως επιφέρει αντίστοιχες εξοικονομήσεις και στους παραγόμενους ρύπους, κυρίως διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), αλλά και στους απαιτούμενους οικονομικούς πόρους που απαιτούνται για την προμήθεια της απαιτούμενης ενέργειας[8].

2. ΦΩΤΙΣΜΟΣ

Ο φωτισμός παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στη ζωή του ανθρώπου, αφού είναι απαραίτητος σε κάθε δραστηριότητά του. Ο σωστός φωτισμός δίνει τη δυνατότητα διάκρισης βασικών λεπτομερειών, ενώ ειδικά κατά τη διάρκεια της νύχτας είναι άκρως απαραίτητος για οποιαδήποτε δραστηριότητα.

2.1 Έννοιες φωτισμού

2.1.1 Φωτεινή Ροή

Η Φωτεινή Ροή (ή Φωτεινή Ισχύς) εκφράζει^[9] την ποσότητα της φωτεινής ενέργειας που εκπέμπει μια φωτεινή πηγή στη μονάδα του χρόνου προς κάποια συγκεκριμένη κατεύθυνση. Η φωτεινή ροή μετρείται στο σύστημα SI¹ με τη μονάδα μέτρησης lumen (lm).

2.1.2 Ένταση Φωτισμού

Ως Ένταση Φωτισμού ορίζεται^[9] το πηλίκο της Φωτεινής Ροής που προσπίπτει κάθετα σε μια επιφάνεια, προς το εμβαδό της επιφάνειας αυτής και δίνεται στο σύστημα SI με τη μονάδα μέτρησης lux (lx).

2.1.3 Φωτεινή Απόδοση

Η έννοια της απόδοσης μιας φωτεινής πηγής είναι ένας σημαντικός παράγοντας αξιολόγησής της, καθώς εκφράζει την ποσότητα της παραγόμενης φωτεινής ροής (lm) ανά καταναλισκόμενη μονάδα ενέργειας (W). Μετρείται σε lm/W.

2.1.4 Θερμοκρασία Χρώματος

Η θερμοκρασία χρώματος^[9] σε βαθμούς Kelvin (°K), είναι το μέτρο που περιγράφει το χρώμα των φωτεινών πηγών. Όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία σώματος, τόσο ψυχρότερη είναι η απόχρωση της φωτεινής πηγής. Δηλαδή, θερμοκρασίες χρώματος των 5.300°K και άνω αντιστοιχούν σε λευκή και ψυχρή απόχρωση, ενώ θερμοκρασίες χρώματος μικρότερες των 3.300°K αντιστοιχούν σε θερμές αποχρώσεις.

2.1.5 Ποιότητα χρώματος φωτεινής πηγής

Η ποιότητα του χρώματος μιας φωτεινής πηγής αποτελεί ένδειξη της ικανότητας ρεαλιστικής αναπαραγωγής του χρώματος ενός αντικειμένου. Η ποιότητα χρώματος εκφράζεται από το δείκτη χρωματικής απόδοσης Ra (ή CRI), ο οποίος παίρνει τιμές μεταξύ 0 και 100, όπου οι υψηλές τιμές υποδεικνύουν καλή ποιότητα χρώματος.

2.1.6 Διάρκεια Ζωής

Η διάρκεια ζωής ενός λαμπτήρα δίνεται σε ώρες, μετά από τις οποίες ο λαμπτήρας χάνει συνήθως το 20-25% της φωτεινής ροής του.

¹ Διεθνές Σύστημα Μονάδων

2.2 Εξωτερικός φωτισμός

Γενικότερα ο εξωτερικός φωτισμός έχει ως στόχο την παροχή επαρκούς ορατότητας, ώστε να διευκολύνει στην αναγνώριση αντικειμένων, να ενισχύσει την ασφάλεια προσώπων ή αγαθών, να τονίσει χαρακτηριστικά κτιρίων, μνημείων και πάρκων. Ειδικότερα σε δρόμους και πεζόδρομους, ο φωτισμός στοχεύει επιπλέον στην ασφαλή περιήγηση, στην αποφυγή κινδύνων, καθώς και στον εντοπισμό άλλων οχημάτων, αλλά και πεζών. [10]

2.2.1 Δρόμοι

Η επιλογή των σωστών φωτιστικών δρόμου πρέπει να στοχεύει στα εξής:

- σωστή κατανομή του φωτισμού
- χαμηλή θάμβωση των οδηγών
- ελαχιστοποίηση της φωτορύπανσης

ενώ πρέπει να λαμβάνεται υπόψη:

- η απόδοση του φωτιστικού
- η διάρκεια ζωής του φωτιστικού
- η κατανάλωση ενέργειας του φωτιστικού

Επίσης παίζουν ρόλο και τα εξής τεχνικά χαρακτηριστικά, για την επιλογή του κατάλληλου φωτιστικού:

- το ύψος και τυχόν κλίση του ιστού
- η σχετική θέση μεταξύ των φωτιστικών
- η απόσταση του φωτιστικού σώματος από την άκρη του πεζοδρομίου (outreach)
- το πλάτος του δρόμου

Κάθε δρόμος μπορεί να ταξινομηθεί σύμφωνα με το πρότυπο EN 13201:01, βάσει των παρακάτω στοιχείων, σε κατηγορίες και υποκατηγορίες που ορίζουν την ελάχιστη τιμή της έντασης φωτισμού και της μέσης τιμής αυτής, που πρέπει να παρέχουν τα φωτιστικά στο δρόμο:

- χρήστες του δρόμου (μηχανοκίνητα οχήματα, δικυκλιστές, πεζοί κ.α.)
- ταχύτητα κίνησης των αυτοκινήτων
- πυκνότητα κίνησης
- απαίτηση αναγνώρισης προσώπων
- δυσκολία πλοήγησης του δρόμου
- περιβάλλον φωτισμός
- επίπεδο εγκληματικότητας της περιοχής

Ένα τυπικό φωτιστικό δρόμου, όπως χρησιμοποιείται αυτή τη στιγμή στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου, φαίνεται στο Σχήμα 2.



Σχήμα 2 – Φωτιστικό δρόμου του Ε.Μ.Π.

2.2.2 Κτίρια

Η τοποθέτηση φωτιστικών σωμάτων σε κτίρια γίνεται για δύο βασικούς λόγους, για την ανάδειξη τυχόν αξιοσημείωτης αρχιτεκτονικής των κτιρίων ή/και για λόγους ασφαλείας, όπως συμβαίνει στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου.

Ανάλογα το σκοπό, τοποθετούνται φωτιστικά στις περιοχές γύρω από τα κτίρια, όπως αυτά στις πλατείες (βλ. Σχήμα 4), ή/και προβολείς στις κορυφές των κτιρίων (βλ. Σχήμα 3).



Σχήμα 3 – Προβολείς σε κτίριο του Ε.Μ.Π.

2.2.3 Πλατείες

Ο φωτισμός στις πλατείες εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη χρήση της και το περιβάλλον της. Μια πλατεία μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως απλός ανοιχτός χώρος, ως οδικός κόμβος, ως χώρος αναψυχής ή περιπάτου. Σε κάθε περίπτωση χρησιμοποιούνται φωτιστικά που φωτίζουν ομοιόμορφα το χώρο, αποφεύγοντας όμως τη θάμβωση των πεζών[11].

Ένα τέτοιο φωτιστικό, όπως υπάρχει αυτή τη στιγμή στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου, φαίνεται στο Σχήμα 4.



Σχήμα 4 – Φωτιστικό πλατείας στο Ε.Μ.Π.

2.3 Φωτιστικά στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου

Στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου είναι εγκατεστημένα τέσσερα διαφορετικά φωτιστικά, με αντίστοιχους λαμπτήρες:

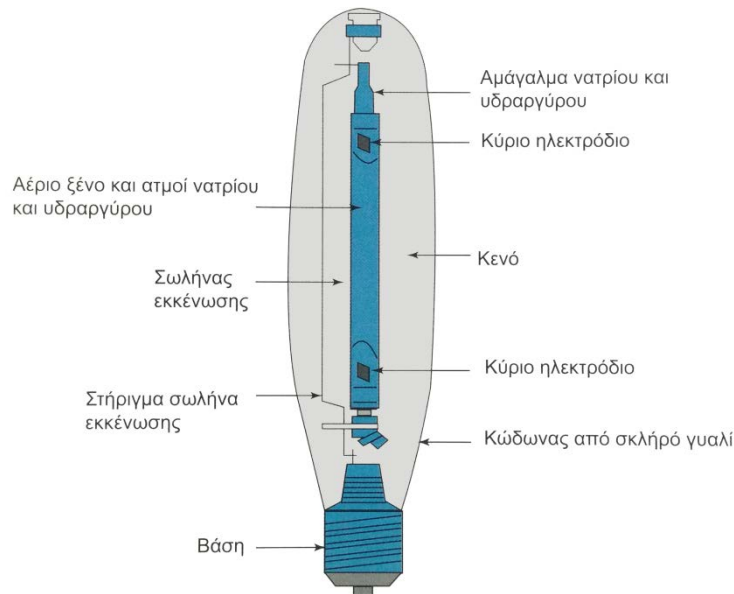
- A) με λαμπτήρες ατμών νατρίου υψηλής πίεσης
- B) με λαμπτήρες ατμών νατρίου χαμηλής πίεσης
- C) με συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού
- D) με λαμπτήρες μεταλλικών αλογονιδίων

οι οποίοι παρουσιάζονται παρακάτω.

2.3.1 Λαμπτήρες Ατμών Νατρίου Υψηλής Πίεσης

Οι λαμπτήρες αυτοί αποτελούνται από δυο σωλήνες, ο ένας μέσα στον άλλον. Στον εσωτερικό σωλήνα, ή σωλήνα εκκενώσεως, υπάρχει κυρίως νάτριο, η ποσότητα του οποίου είναι τέτοια, ώστε η πίεση του να είναι 100 έως 200 mm Hg (όταν η θερμοκρασία του λιγότερο θερμού σημείου είναι 700°C). Ο εξωτερικός σωλήνας είναι κενός για να απομονώνει τον εσωτερικό σωλήνα από τις περιβαλλοντικές θερμοκρασίες.

Εκτός από το νάτριο, ο εσωτερικός σωλήνας περιέχει και ξένο σε πίεση 15 Mm Hg περίπου, το οποίο λειτουργεί ως αέριο έναυσης, ενώ αυξάνει και την φωτεινή απόδοση. Επίσης υπάρχει και μικρή ποσότητα υδραργύρου, ο οποίος λειτουργεί ως αέριο απομόνωσης και αυξάνει την πίεση και την τάση λειτουργίας του λαμπτήρα.



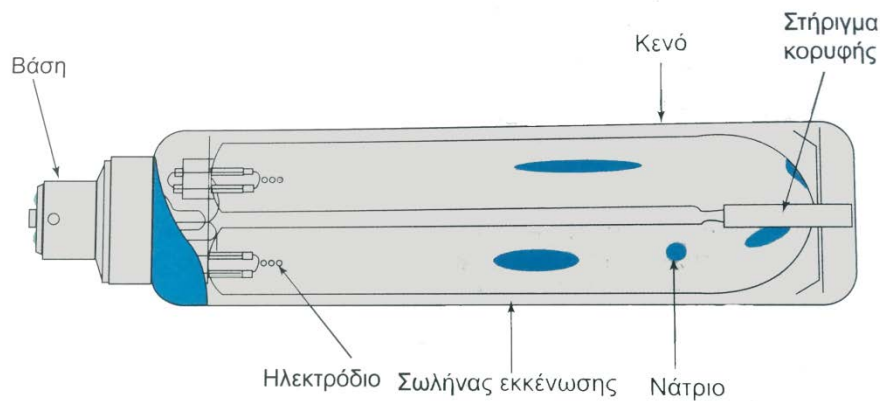
Σχήμα 5 – Δομή λαμπτήρα ατμών νατρίου υψηλής πίεσης [9]

Η εκκίνηση των λαμπτήρων νατρίου υψηλής πίεσης απαιτεί μεγάλη κορυφή τάσης, 3.000V έως 4.000V, και για την επίτευξή της χρησιμοποιούνται εκκινητές, θερμικοί ή ηλεκτρονικοί. Το ρεύμα που διαρρέει τους ατμούς νατρίου προκαλεί το φως που εκπέμπουν οι λαμπτήρες νατρίου υψηλής πίεσης. Ο χρόνος εκκίνησης ενός κρύου λαμπτήρα, κυμαίνεται στα 2 λεπτά, ενώ ο χρόνος επανεκκίνησης μετά από διακοπή της τροφοδοσίας, αγγίζει τα δεκαπέντε λεπτά. Η θερμοκρασία κατά τη λειτουργία του μπορεί να φτάσει τους 1.200°C.

Η υψηλή πίεση των λαμπτήρων, τους επιτρέπει να εκπέμπουν σε όλο το ορατό φάσμα, μειώνει όμως την απόδοση και τη διάρκεια ζωής τους, όσο περισσότερο αυξάνεται. Τυπικά, η διάρκεια ζωής των λαμπτήρων αυτών είναι περίπου 24.000 ώρες, ενώ η φωτεινή απόδοση ενός λαμπτήρα νατρίου υψηλής πίεσης 250W είναι περίπου 85 lm/W[9].

2.3.2 Λαμπτήρες Ατμών Νατρίου Χαμηλής Πίεσης

Οι λαμπτήρες νατρίου χαμηλής πίεσης αποτελούνται κι αυτοί από δυο σωλήνες, όπως οι λαμπτήρες νατρίου υψηλής πίεσης. Ο σωλήνας εκκενώσεως περιέχει νάτριο πολύ χαμηλής πίεσης, συνήθως 0,004 mm Hg (όταν η θερμοκρασία των τοιχωμάτων είναι 265°C). Η χαμηλή αυτή πίεση του νατρίου προκαλεί εκπομπή ακτινοβολίας σχεδόν μονοχρωματική και αποτελείται από μια διπλή γραμμή κοντά στο κέντρο του ορατού φάσματος, στα 589,0nm και 589,6nm. Η γραμμή αυτή βρίσκεται κοντά στο μέγιστο της ευαισθησίας του ματιού (555nm), και συνεπώς η φωτεινή απόδοση του λαμπτήρα είναι μεγάλη, μέχρι 150lm/W. Αντίθετα, λόγω του μονοχρωματικού φωτός, δεν υπάρχει χρωματική απόδοση (δείκτης Ra).

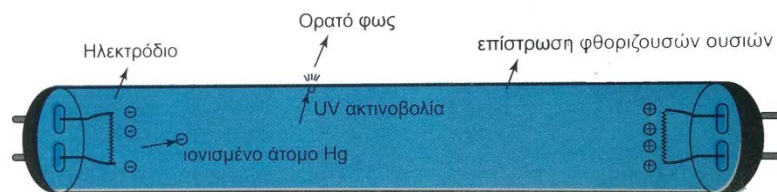


Σχήμα 6 - Δομή λαμπτήρα ατμών νατρίου χαμηλής πίεσης [9]

Για την έναυση των λαμπτήρων νατρίου χαμηλής πίεσης χρησιμοποιείται συνήθως αυτομετασχηματιστής, ενώ ως αέριο έναυσης χρησιμοποιείται νέο, με μικρά πρόσθετα είτε αργού, είτε ξένου, είτε ηλίου. Τέλος, ο απαιτούμενος χρόνος μεταξύ έναυσης και μέγιστης απόδοσης κυμαίνεται από επτά μέχρι δεκαπέντε λεπτά, ενώ η επανεκκίνηση μετά από διακοπή της τροφοδοσίας είναι άμεση[9].

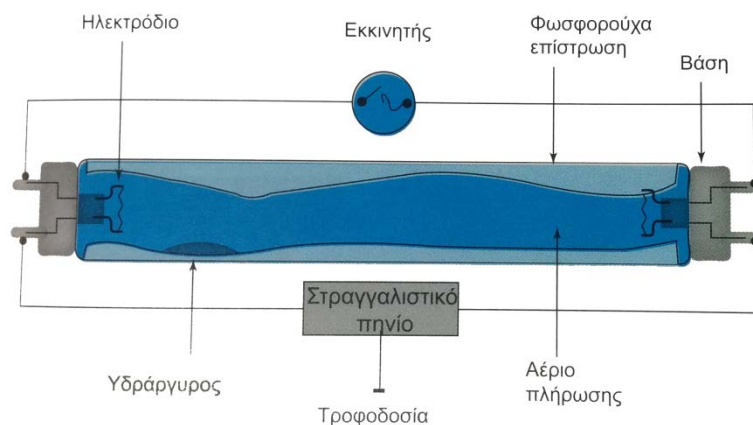
2.3.3 Συμπαγείς Λαμπτήρες Φθορισμού

Οι λαμπτήρες φθορισμού έχουν στα εσωτερικά τοιχώματά τους φθορίζουσες ουσίες, ενώ περιέχουν επίσης μικρή ποσότητα υδραργύρου σε χαμηλή πίεση, αλλά και μικρή ποσότητα αδρανούς αερίου, αργού ή/και νέου. Όταν εφαρμόζεται κατάλληλη τάση στα άκρα του λαμπτήρα, παράγεται ένα τόξο ρεύματος μέσω των ατμών υδραργύρου, το οποίο προκαλεί ορατή, αλλά και αόρατη υπεριώδη ακτινοβολία. Η υπεριώδη ακτινοβολία ενεργοποιεί τις φθορίζουσες ουσίες, οι οποίες τελικά παράγουν φως, χρώματος ανάλογο με το μίγμα τους.



Σχήμα 7 – Ο μηχανισμός παραγωγής φωτός των λαμπτήρων φθορισμού [9]

Για την έναυση των λαμπτήρων φθορισμού απαιτείται η χρήση ενός εκκινήτη (starter) και ενός στραγγαλιστικού πηνίου (ballast). Ο εκκινήτης δρα ως διακόπτης του κυκλώματος επιφέροντας διακοπές σε αυτό, ενώ το στραγγαλιστικό πηνίο δημιουργεί υπέρταση, που φτάνει τα 1.000V, μεταξύ των ηλεκτροδίων, απαραίτητη για την έναρξη της εκκένωσης στο εσωτερικό του λαμπτήρα.



Σχήμα 8 – Τυπικό κύκλωμα λαμπτήρων φθορισμού [9]

Γενικότερα, η απόδοση των λαμπτήρων φθορισμού εξαρτάται από το μήκος, αλλά και από τη διάμετρο του σωλήνα που χρησιμοποιείται. Όσο μεγαλύτερο είναι το μήκος του, τόσο μεγαλύτερη η απόδοση, ενώ αυξάνοντας τη διάμετρο αυξάνεται αρχικά η απόδοση και μετά από μια συγκεκριμένη τιμή, μειώνεται πάλι.

Ένα είδος των λαμπτήρων αυτών αποτελούν οι συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού, των οποίων ο σωλήνας λυγίζεται και περιτυλίγεται αρκετές φορές ώστε να συμπτυχθεί σε μικρό μέγεθος (βλ. Σχήμα 9). Επίσης, περικλείεται συχνά σε κυλινδρικό ή σφαιρικό εξωτερικό γυάλινο ή πλαστικό κάλυμμα. Η ισχύς τους κυμαίνεται από 5 έως 55W, ενώ η φωτεινή ροή από 250 έως 4800lm. Η υψηλή πυκνότητα ισχύος τους, επιβάλλει τη χρήση φθοριζουσών ουσιών υψηλής απόδοσης προς ενίσχυση της φωτεινότητας, της φωτεινής ροής και της χρωματικής απόδοσης.



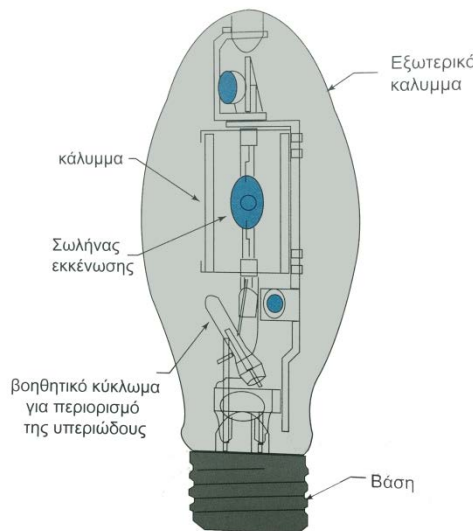
Σχήμα 9 – Σχήμα συμπαγών λαμπτήρων φθορισμού

Ο χρόνος ζωής των λαμπτήρων φθορισμού είναι περίπου 10.000 ώρες. Επίσης τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα των λαμπτήρων φθορισμού έναντι άλλων λαμπτήρων είναι η υψηλή απόδοσή τους, οι χαμηλές θερμοκρασίες λειτουργίας τους, η απόδοση φυσικού φωτός και η μικρή απαίτηση για συντήρηση. Αντίθετα, τα μειονεκτηματά τους είναι το υψηλό κόστος τους, η μικρή φωτεινή ένταση τους, ενώ επηρεάζονται σημαντικά από τις εξωτερικές περιβαλλοντικές συνθήκες.

2.3.4 Λαμπτήρες Μεταλλικών Αλογονιδίων

Στους λαμπτήρες μεταλλικών αλογονιδίων, το φως παράγεται από τη διέλευση ηλεκτρικού ρεύματος μέσω των ατμών υδραργύρου, αργού και άλλων μεταλλικών αλογονιδίων που βρίσκονται στον σωλήνα εκκένωσης. Τα υπόλοιπα μεταλλικά αλογονίδια είναι συνήθως μίγμα είτε σκανδίου και νατρίου, είτε δυσπρόσιου, ολμίου και θαλλίου.

Για την έναυση λαμπτήρων μεταλλικών αλογονιδίων, απαιτείται στην αρχή μια προθέρμανση, κατά την οποία η τάση του λαμπτήρα αυξάνεται μέχρι να σταθεροποιηθεί η πίεση του αερίου. Η διαδικασία αυτή απαιτεί έως και πέντε λεπτά. Σε περίπτωση διακοπής της τροφοδοσίας, ο λαμπτήρας δεν μπορεί να ανάψει άμεσα, πρέπει πρώτα να ψυχθεί και επιπλέον αποδίδει στην αρχή μόνο το 50% της συνολικά παρεχόμενης ηλεκτρικής ισχύος, καθιστώντας τους λαμπτήρες αυτούς αρκετά ενεργοβόρους και αντιοικονομικούς. Η διαδικασία αυτή της επανέναυσης τους μπορεί να απαιτήσει έως και είκοσι λεπτά.



Σχήμα 10 – Δομή λαμπτήρα μεταλλικών αλογονιδίων [9]

Τα βασικά πλεονεκτήματα των λαμπτήρων μεταλλικών αλογονιδίων είναι η καλή απόδοση του λευκού φωτός, η καλή ποιότητα φωτισμού, αλλά και η ποικιλία θερμοκρασιών χρώματος που προσφέρουν. Ιδιαίτερα η καλή απόδοση του λευκού φωτός είναι ο λόγος που πλέον προτιμούνται οι λαμπτήρες αυτοί έναντι των λαμπτήρων ατμών νατρίου που εκπέμπουν κιτρινωπό φως. Στα μειονεκτήματα των λαμπτήρων ανήκει, εκτός από τον αυξημένο χρόνο έναυσης και επανέναυσης τους, και το κόστος τους[9].

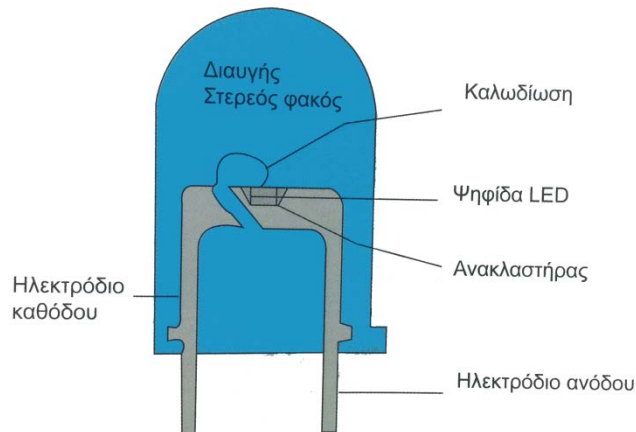
2.4 Φωτοεκπέμπουσες Δίοδοι - LED

Οι φωτοεκπέμπουσες δίοδοι ή αλλιώς LED, είναι μια σχετικά νέα και ενεργειακά αποδοτική τεχνολογία φωτισμού, που έχει τη δυνατότητα και την προοπτική να αλλάξει το μέλλον του φωτισμού. Τα φωτιστικά LED χρησιμοποιούν τουλάχιστον 75% λιγότερη ενέργεια από τα συμβατικά φωτιστικά και έχουν διάρκεια ζωής 25 φορές μεγαλύτερη από αυτά. Η ευρεία χρήση των LED μόνο στην Αμερική, υπολογίζεται πως θα μπορούσε να εξοικονομήσει μέχρι

το 2027 έως και 348TWh ηλεκτρικής ενέργειας και περισσότερα από 30 δισεκατομμύρια δολάρια[12].

2.4.1 Τεχνολογία

Τα LED είναι απλές κατασκευές συνδυασμού ημιαγωγών p-n, στα οποία όταν εφαρμοστεί τάση μεταξύ τους, εκπέμπεται ακτινοβολία, είτε στο ορατό φως, είτε στο υπέρυθρο. Το τελικό οπτικό αποτέλεσμα εξαρτάται από το συνδυασμό των ημιαγωγίμων υλικών, το υλικό τους, τα χημικά πρόσθετα και το περίβλημα του φωτιστικού σώματος.



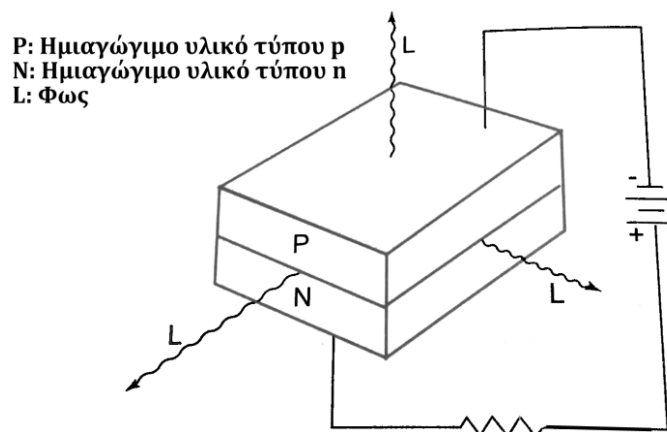
Σχήμα 11 – Η δομή του LED

Ο ημιαγωγός τύπου n έχει συγκεντρωμένη περίσσεια ηλεκτρονίων, δηλαδή αρνητικό φορτίο, ενώ ο ημιαγωγός τύπου p έχει συγκεντρωμένη περίσσεια οπών, δηλαδή έλλειμμα ηλεκτρονίων και συνεπώς θετικό φορτίο. Στα άκρα των δυο ημιαγωγών εφαρμόζεται τάση 1V-3V, η οποία προκαλεί μετακίνηση των ηλεκτρονίων και των οπών προς τη διεπιφάνεια των ημιαγωγών, παράγοντας εκεί κατά την επαφή τους φως, σχεδόν μονοχρωματικό. Για τη διεύρυνση του φάσματος απαιτείται χρήση φωσφόρων, που διεγείρονται από την ακτινοβολία των LED.

Παρά τη μικρή σχετικά κατασκευή τους, τα LED μπορούν να λειτουργήσουν για πολύ μεγαλύτερο χρονικό διάστημα από άλλους λαμπτήρες.

Η θερμοκρασία λειτουργίας των LED είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας, καθώς επηρεάζει αρνητικά τη λειτουργία τους καθώς αυξάνεται, και μπορεί να μειώσει αισθητά το χρόνο ζωής τους. Μάλιστα, μετά από κάποια συγκεκριμένη θερμοκρασία, το LED παύει να λειτουργεί.

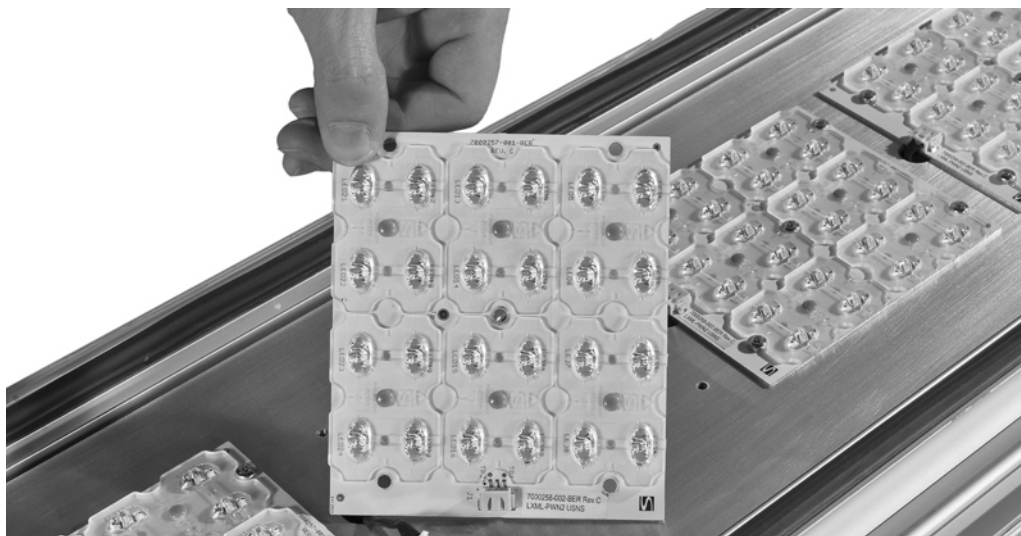
Η υψηλή απόδοση των LED τα καθιστά ικανά να ανταπεξέλθουν στις περισσότερες περιπτώσεις οδικού φωτισμού. Επίσης το μικρό τους μέγεθος δίνει τη δυνατότητα να σχεδιάζονται φακοί φωτιστικών με μεγάλη ευελιξία και προσαρμοστικότητα.



Σχήμα 12 – Αρχή λειτουργίας των LED[9]

Η βιομηχανία LED έχει πλέον στραφεί για τους παραπάνω λόγους στο σχεδιασμό και στην παραγωγή φωτιστικών LED για την αντικατάσταση των συμβατικών φωτιστικών, για λόγους εξοικονόμησης ενέργειας, αλλά και για άλλους που αναλύονται στο επόμενο υποκεφάλαιο.

Τα φωτιστικά LED που προορίζονται για τον οδικό φωτισμό, αποτελούνται συνήθως από περισσότερα LED που τοποθετούνται σε διάταξη πλακέτας, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 13, για να μπορέσει να επιτευχθεί η απαραίτητη φωτεινή ροή για των φωτισμό δρόμων.



Σχήμα 13 – Πλακέτα LED από φωτιστικό δρόμου

Η πλακέτα αυτή των LED απαιτεί όμως και περισσότερη ηλεκτρική ισχύς για τη λειτουργία του φωτιστικού. Η παροχή της ισχύος αυτής γίνεται μέσω ενός συστήματος οδήγησης (driver) το οποίο τροφοδοτεί την πλακέτα με αντίστοιχο ρεύμα οδήγησης, το οποίο προκαλεί την εκπομπή φωτός στα LED.

2.4.2 Πλεονεκτήματα

Τα LED προσφέρουν αρκετά πλεονεκτήματα έναντι των συμβατικών λαμπτήρων, τα οποία τα καθιστούν από τις προτιμότερες επιλογές ως φωτιστικά μέσα[5]:

- + Η διάρκεια ζωής των LED είναι 2-3 φορές μεγαλύτερη από λαμπτήρες συμβατικού φωτισμού. Η ωφέλιμη διάρκεια ζωής τους σε χρήση οδοφωτισμού υπολογίζεται στα 10 έτη.
- + Το μικρό τους μέγεθος δίνει τη δυνατότητα σχεδίασης φακών με μεγάλη ευελιξία και προσαρμοστικότητα.
- + Η φωτεινή απόδοσή τους αυξάνεται ραγδαία και υπολογίζεται πως μέχρι το 2020 θα φτάσει τα 250lm/W, δηλαδή μέχρι και 15 φορές αυτή του φωτισμού πυρακτώσεως.
- + Τα LED δεν αποτελούνται από εύθραυστα υλικά, καθιστώντας τα αξιόπιστα και ανθεκτικά έναντι κραδασμών.
- + Τα LED εκπέμπουν το παραγόμενο φως σε συγκεκριμένη κατεύθυνση, μειώνοντας τη φωτορύπανση.
- + Καταναλώνουν σημαντικά λιγότερη ενέργεια, έναντι συμβατικών λαμπτήρων.
- + Έχουν σχεδόν μηδενικά έξοδα συντήρησης.
- + Το εκπεμπόμενο φως έχει μεγάλο φάσμα θερμοκρασίας χρώματος από 3.000°K έως 6.500°K.
- + Υπάρχουν πολλές επιλογές ελέγχου, όπως για τη θερμοκρασία χρώματος, την απόχρωση και την ένταση φωτισμού.
- + Δεν περιέχουν τοξικά μέταλλα ή χημικά, όπως οι λαμπτήρες φθορισμού. Αντιθέτως, είναι πλήρως ανακυκλώσιμα και συνεπώς δεν αποτελούν επικίνδυνο απόβλητο.
- + Φτάνουν το 100% της φωτεινότητάς τους σχεδόν ακαριαία από τη στιγμή τροφοδότησής τους, δηλαδή έχουν μηδενικό χρόνο έναυσης, αλλά και επανέναυσης.
- + Είναι ανθεκτικά, αλλά αποδίδουν και καλύτερα σε χαμηλές θερμοκρασίες, έναντι των περισσότερων άλλων λαμπτήρων.
- + Εκλύουν σημαντικά λιγότερη θερμότητα, σε αντίθεση με άλλους συμβατικούς λαμπτήρες που εκλύουν το 80-90% της ενέργειας που καταναλώνουν.
- + Έχουν υψηλή απόδοση χρωμάτων, με δείκτη Ra πάνω από 70.

2.4.3 Μειονεκτήματα

Εκτός από πλεονεκτήματα, τα LED έχουν και κάποια μειονεκτήματα[5]:

- Το συγκριτικά υψηλό κόστος αγοράς των προϊόντων φωτισμού LED, που όμως υπολογίζεται μελλοντικά πως θα μειωθεί σημαντικά.
- Οι υψηλές θερμοκρασίες έχουν μεγάλη επιρροή στα LED, μειώνοντας την εκπομπή φωτός και τη διάρκεια ζωής τους και αλλάζοντας συχνά ακόμα και το χρώμα του φωτός.
- Το μικρό μέγεθος των LED προκαλεί θάμβωση.
- Η διαδικασία παραγωγής των LED είναι αρκετά ενεργοβόρα.

3. ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΠΟΡΩΝ ΣΤΟ ΦΩΤΙΣΜΟ ΕΞΩΤΕΡΙΚΩΝ ΧΩΡΩΝ ΤΟΥ ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑΤΟΣ ΖΩΓΡΑΦΟΥ ΤΟΥ Ε.Μ.Π.

3.1 Υφιστάμενη κατάσταση

Στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου είναι εγκατεστημένα συνολικά 1.374 φωτιστικά, εκ των οποίων:

- A) 193 φωτιστικά με λαμπτήρες ατμών νατρίου υψηλής πίεσης, εκ των οποίων τα 158 είναι τοποθετημένα σε 130 ιστούς, ενώ τα υπόλοιπα 35 χρησιμοποιούνται ως προβολείς στις κορυφές διάφορων κτιρίων, όπως φαίνεται στο Σχήμα 14. Τα φωτιστικά αυτά καταναλώνουν το καθένα $250W + (15-20\% \text{ ballast}) = 300W$.



Σχήμα 14 - Φωτιστικά με λαμπτήρες ατμών νατρίου υψηλής πίεσης στο Ε.Μ.Π.

- B) 111 φωτιστικά με λαμπτήρες ατμών νατρίου χαμηλής πίεσης, τα οποία είναι τοποθετημένα σε 110 ιστούς, όπως φαίνεται στο Σχήμα 15. Τα φωτιστικά αυτά καταναλώνουν το καθένα $90W + (15-20\% \text{ ballast}) = 110W$.



Σχήμα 15 – Φωτιστικά με λαμπτήρες ατμών νατρίου χαμηλής πίεσης στο Ε.Μ.Π.

- C) 783 φωτιστικά με συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού, τα οποία είναι τοποθετημένα σε 771 ιστούς, όπως φαίνεται στο Σχήμα 16. Αυτά τα φωτιστικά καταναλώνουν το καθένα 48W.



Σχήμα 16 - Φωτιστικά με συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού στο Ε.Μ.Π.

D) 287 προβολείς με λαμπτήρες μεταλλικών αλογονιδίων, που είναι τοποθετημένοι στις κορυφές διάφορων κτιρίων, όπως φαίνεται στο Σχήμα 17. Οι 208 από τους προβολείς καταναλώνουν 400W, ενώ οι υπόλοιποι 79 καταναλώνουν 250W.



Σχήμα 17 – Προβολείς με λαμπτήρες μεταλλικών αλογονιδίων στο Ε.Μ.Π.

Τα φωτιστικά αυτά λειτουργούν, ανάλογα την εποχή, 10 ή 14 ώρες καθημερινά και συνολικά 4.374 ώρες ετησίως, όπως υπολογίζεται στον „Πίνακας 1“.

Πίνακας 1 – Ώρες λειτουργίας των φωτιστικών του Ε.Μ.Π.

Περίοδος	Ημέρες	Ώρες λειτουργίας	Πλήθος ωρών ανά περίοδο
Εαρινή	184	20:30 – 06:30	1.840
Χειμερινή	181	17:00 - 07:00	2.534
Συνολικά			4.374 ώρες/έτος

3.1.1 Ετήσια κατανάλωση και αντίστοιχο κόστος λειτουργίας

Τα παραπάνω φωτιστικά καταναλώνουν συνολικά 921.356,86kWh, όπως υπολογίζεται στον „Πίνακας 2“.

Στη συνέχεια υπολογίζουμε την τιμή του ηλεκτρικού ρεύματος που πληρώνει το Ε.Μ.Π. στη ΔΕΗ, σύμφωνα με την οποία θα υπολογίσουμε το ετήσιο οικονομικό κόστος των φωτιστικών της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου.

Πίνακας 2 – Κατανάλωση φωτιστικών Ε.Μ.Π.

Είδος φωτιστικού	Κατανάλωση φωτιστικού	Πλήθος φωτιστικών	Ώρες λειτουργίας	Ετήσια κατανάλωση
A	300W	193	4.374h	253.254,6kWh
B	110W	111		53.406,54kWh
C	48W	783		164.392,42kWh
D	400W	208		450.303,3kWh
	250W	79		
Συνολικά:				921.356,86kWh

Το Ε.Μ.Π. εμπίπτει στο τιμολόγιο ΒΓ της ΔΕΗ, στο οποίο η απλή χρέωση της ενέργειας αναγράφεται στον „Πίνακας 3“.

Πίνακας 3 – Απλή χρέωση ενέργειας για το τιμολόγιο ΒΓ

Είδος χρέωσης	Ημέρες	Ώρες	Τιμή
Απλή χρέωση ενέργειας	Καθημερινές	07:00-23:00	0,06428€/kWh
	(250 ημέρες/έτος)	23:00-07:00	0,05062€/kWh
	Σάββατα, Κυριακές και αργίες	00:00-24:00	0,05062€/kWh
	(115 ημέρες/έτος)		

Έχοντας υπόψη τις ώρες λειτουργίας των φωτιστικών από τον „Πίνακας 1“, καταλήγουμε πως η απλή χρέωση τους για 1.128 ώρες/έτος είναι 0,06428€/kWh, ενώ για τις υπόλοιπες 3.246 ώρες/έτος είναι 0,05062€/kWh. Οπότε η μέση τιμή της απλής χρέωσης ενέργειας είναι 0,05414274€/kWh.

Για το τιμολόγιο ΒΓ ισχύουν όμως και ρυθμιζόμενες χρεώσεις ενέργειας, οι οποίες αποτυπώνονται στον „Πίνακας 4“, και επιβαρύνουν την χρέωση της ηλεκτρικής ενέργειας με επιπλέον 0,02134€/kWh.

Οπότε η συνολική τιμή του κόστους ενέργειας για τα φωτιστικά του Ε.Μ.Π. είναι 0,0754827€/kWh.

Πίνακας 4 – Ρυθμιζόμενες χρεώσεις για το τιμολόγιο ΒΓ

Είδος χρέωσης	Τιμή	
Ρυθμιζόμενες χρεώσεις ενέργειας	Δίκτυο Μεταφοράς	0,00044€/kWh
	Δίκτυο Διανομής	0,003€/kWh
	Υπηρεσίες Κοινής Ωφέλειας	0,0179€/kWh
Μερικό σύνολο	0,02134€/kWh	

Οπότε καταλήγουμε στον „Πίνακας 5“, στον οποίο αναγράφεται το ετήσιο οικονομικό κόστος για κάθε είδος φωτιστικού της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου. Το συνολικό ετήσιο οικονομικό κόστος των φωτιστικών ανέρχεται σε 69.546,5€.

Πίνακας 5 – Ετήσιο κόστος λειτουργίας των φωτιστικών της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου

Είδος φωτιστικού	Ετήσια κατανάλωση	Τιμή ηλεκτρικής ενέργειας	Ετήσιο κόστος λειτουργίας
A	253.254,6kWh		19.116,34€
B	53.406,54kWh		4.031,27€
C	164.392,42kWh	0,0754827€/kWh	12.408,78€
D	450.303,3kWh		33.990,11€
Συνολικά:	921.356,86kWh		69.546,5€

3.1.2 Ετήσιο κόστος συντήρησης

Ο αριθμός των λαμπτήρων που απαιτούν αντικατάσταση κάθε χρόνο, δεν είναι σταθερός. Τα πρώτα χρόνια λειτουργίας της εγκατάστασης, λίγοι λαμπτήρες χρειάζονται αντικατάσταση, ενώ ο αριθμός αυτός αυξάνει με την πάροδο του χρόνου.

Οι πρακτικές που χρησιμοποιούνται για την αντικατάσταση των λαμπτήρων είναι είτε η αντικατάσταση κάθε λαμπτήρα μόλις σταματάει η λειτουργία του ή η προγραμματισμένη αντικατάσταση όλων των λαμπτήρων ταυτόχρονα, ανάλογα με τη διάρκεια ζωής τους, για παράδειγμα κάθε 2 ή 3 χρόνια. Στην τελευταία περίπτωση η ποιότητα του παρεχόμενου φωτισμού είναι πολύ υψηλότερη, ενώ το κόστος αντικατάστασης ανά λαμπτήρα μπορεί να μειωθεί σημαντικά λόγω της παραγγελίας πολύ μεγαλύτερου αριθμού.

Ένα αρκετά ακριβές αριθμό λαμπτήρων που αντικαθίστανται σε ένα συγκεκριμένο διάστημα, μας δίνει ο παρακάτω τύπος:

$$\text{Αριθμός λαμπτήρων} = \frac{\text{Σύνολο λαμπτήρων} \times \text{ώρες λειτουργίας}}{\text{διάρκεια ζωής λαμπτήρα}}$$

Με αυτό τον τύπο θα γίνει παρακάτω ο υπολογισμός του κόστους συντήρησης των εγκατεστημένων φωτιστικών για διάστημα 50.000 ωρών ².

Για να υπολογίσουμε το συνολικό κόστος συντήρησης θα πρέπει να λάβουμε υπόψη τη διάρκεια ζωής και το κόστος αγοράς κάθε λαμπτήρα, αλλά και το κόστος εργασίας για την αντικατάστασή τους.

Για την αντικατάσταση των λαμπτήρων απαιτείται καλαθοφόρο όχημα, το οποίο κοστίζει 370€ (συμπεριλαμβανομένου Φ.Π.Α.) ανά 8ωρο. Επιπλέον, το κόστος εργασίας των τεχνικών ανέρχεται σε 105€ (συμπεριλαμβανομένου Ι.Κ.Α.) ανά 8ωρο. Στο 8ωρο αυτό, γίνεται αντικατάσταση 50 λαμπτήρων.

Συνεπώς, η αντικατάσταση 50 λαμπτήρων κοστίζει 475€ και απαιτεί ένα 8ωρο.

² 50.000 ώρες αντιστοιχούν στη διάρκεια ζωής των φωτιστικών LED (με συντελεστή συντήρησης 0,8), που έχουν επιλεγεί στο επόμενο κεφάλαιο για την αντικατάσταση των εγκατεστημένων φωτιστικών του Ε.Μ.Π.

Η διάρκεια ζωής κάθε λαμπτήρα και το αντίστοιχο κόστος αγοράς του υπολογίζονται στον „Πίνακας 6“. Σύμφωνα με τους υπολογισμούς, το συνολικό κόστος αγοράς νέων λαμπτήρων σε διάρκεια 50.000 ωρών, ανέρχεται σε 69.568€.

Πίνακας 6 – Κόστος αγοράς νέων λαμπτήρων σε διάρκεια 50.000 ωρών

Είδος Φωτιστικού	Πλήθος φωτιστικών	Διάρκεια ζωής	Κόστος αγοράς λαμπτήρα	Απαιτούμενοι λαμπτήρες σε διάρκεια 50.000 ωρών	Συνολικό κόστος αγοράς λαμπτήρων σε διάρκεια 50.000 ωρών
A	193	24.000h	24€	402	9.648€
B	111	28.000h	15€	198	2.970€
C	783	10.000h	6€	3.915	23.490€
D	287	15.000h	35€	956	33.460€
Συνολικά:	1.374			5.471	69.568€

Για την αντικατάσταση 5.471 λαμπτήρων απαιτούνται 110 δωρα, και εφόσον το δωρο εργασίας κοστίζει 475€, το συνολικό κόστος εργασίας για την αντικατάσταση τους ανέρχεται σε 52.250€, όπως υπολογίζεται στον „Πίνακας 7“.

Πίνακας 7 – Κόστος αντικατάστασης λαμπτήρων

Πλήθος λαμπτήρων	Απαιτούμενα δωρα	Κόστος δωρου	Κόστος αντικατάστασης
5.471	110	475€	52.250€

Οπότε το συνολικό κόστος συντήρησης των λαμπτήρων της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου, σε διάστημα 50.000 ωρών, ανέρχεται σε

$$69.568\text{€} + 52.250\text{€} = 121.818\text{€}$$

Συνεπώς το ετήσιο κόστος συντήρησης υπολογίζεται ως εξής:

$$121.818 * 4.374h / 50.000h = 10.656,64\text{€}.$$

3.1.3 Συνολικό ετήσιο κόστος λειτουργίας

Ο εγκατεστημένος φωτισμός στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου, αποτελούμενος από 1.374 φωτιστικά, έχει ετήσιο κόστος, αποτελούμενο από κόστος λειτουργίας και συντήρησης, που ανέρχεται σε

$$69.546,5\text{€} + 10.656,64\text{€} = 80.203,14\text{€}.$$

3.2 Δράσεις για εξοικονόμηση ενέργειας και πόρων, και αντίστοιχα οφέλη

Στο υποκεφάλαιο αυτό αναλύονται οι δράσεις που μπορούμε να ακολουθήσουμε για να εξοικονομήσουμε ενέργεια και πόρους στο φωτισμό εξωτερικών χώρων της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου, και παρουσιάζονται τα αντίστοιχα αποτελέσματά τους.

Οι δράσεις που επιλέχθηκαν στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι οι τρεις παρακάτω:

1. Αντικατάσταση των εγκατεστημένων φωτιστικών με νέα φωτιστικά LED
2. Επιπρόσθετη χρήση συστήματος ρύθμισης της φωτεινής ροής (dimming)
3. Επιπρόσθετη χρήση αισθητήρων κίνησης σε συνδυασμό με χρονοδιακόπτη

Ο λόγος που εξετάζουμε τις παραπάνω δράσεις ξεχωριστά και δεν προχωράμε στην υλοποίηση και των τριών, είναι το επιπλέον κόστος επένδυσης που απαιτεί κάθε δράση, οπότε και οφείλουμε να αξιολογήσουμε τη σκοπιμότητα πραγματοποίησης κάθε επένδυσης. Επιπλέον, θεωρούμε υψίστης προτεραιότητας την αντικατάσταση των φωτιστικών με νέα φωτιστικά LED και για το λόγο αυτό εξετάζουμε τις υπόλοιπες δράσεις ως επιπρόσθετες στην αντικατάσταση και όχι ανεξάρτητα μεταξύ τους.

3.2.1 1^η δράση: Αντικατάσταση των εγκατεστημένων φωτιστικών με νέα φωτιστικά LED

Η αντικατάσταση των εγκατεστημένων φωτιστικών με νέα φωτιστικά LED κρίνεται απαραίτητη για πολλούς λόγους. Τα παλαιά φωτιστικά είναι αρκετά ενεργοβόρα, βρίσκονται σε κακή φυσική κατάσταση, όπως άλλωστε υποδεικνύουν τα σχήματα „Σχήμα 18“ και „Σχήμα 19“, και πλέον πολλά από αυτά βρίσκονται εκτός λειτουργίας λόγω κλοπών καλωδίων και συστημάτων τροφοδοσίας τους, όπως βλέπουμε στο Σχήμα 20.

Για την αντικατάσταση των φωτιστικών θα εργαστούμε ξεχωριστά για κάθε είδος φωτιστικού που είναι εγκατεστημένο στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου, ανάλογα τον αντίστοιχο λαμπτήρα του.

Τα φωτιστικά κατηγοριοποιήθηκαν σύμφωνα με αντίστοιχα πρότυπα και στη συνέχεια έγιναν ξεχωριστές μελέτες, ώστε να βρεθούν κατάλληλα φωτιστικά LED που να καλύπτουν τις προδιαγραφές των προτύπων.

Να σημειωθεί πως οι μελέτες έγιναν στους ήδη υπάρχοντες ιστούς και εκτελέστηκαν με το πρόγραμμα προσομοίωσης RELUX.



Σχήμα 18 - Φωτιστικό με έλλειψη καλύμματος και χαλασμένο λαμπτήρα



Σχήμα 19 - Φωτιστικό με σπασμένο λαμπτήρα και κάλυμμα



Σχήμα 20 - Φωτιστικό χωρίς πλήρες σύστημα λειτουργίας

3.2.1.1 Αντικατάσταση των φωτιστικών με λαμπτήρες ατμών νατρίου υψηλής πίεσης

Διακρίνουμε τέσσερις διαφορετικές ομάδες φωτιστικών με λαμπτήρες ατμών νατρίου υψηλής πίεσης, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά των δρόμων που φωτίζουν.

Η 1^η ομάδα περιλαμβάνει φωτιστικά που φωτίζουν βασικούς δρόμους της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου, με χαρακτηριστικά που αναγράφονται στον „Πίνακας 8“. Στην ομάδα αυτή εμπίπτουν τα 72 από τα 193 φωτιστικά, τα οποία επισημαίνονται με κόκκινο χρώμα στο Σχήμα 21.



Σχήμα 21 – Φωτιστικά της 1^{ης} ομάδας φωτιστικών με λαμπτήρες ατμών νατρίου υψηλής πίεσης (κόκκινο χρώμα)

Πίνακας 8 – Χαρακτηριστικά της 1^{ης} ομάδας φωτιστικών με λαμπτήρες ατμών νατρίου υψηλής πίεσης

Απόσταση μεταξύ φωτιστικών	25m
Ύψος φωτιστικού	8
Outreach	-0,5
Πλάτος δρόμου	8,5
Κλίση φωτιστικού	15°

Η κατηγοριοποίηση των δρόμων αυτών έγινε σύμφωνα με το πρότυπο EN 13201:01. Τα χαρακτηριστικά τους και η αντίστοιχη κλάση φωτισμού στην οποία εμπίπτουν αναγράφονται στον „Πίνακας 9“.

Ταχύτητα κίνησης	>5 + <30 km/h
Επιτρεπόμενοι χρήστες	μηχανοκίνητα οχήματα, δικυκλιστές
Επιπλέον χρήστες	Πεζοί, αργά οχήματα
Αποκλειόμενοι χρήστες	-
ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	D3
Επίπεδο εγκληματικότητας	Κανονικό
Αναγνώριση προσώπων	Απαραίτητη
Πυκνότητα κίνησης	Κανονική
Περιβάλλον φωτισμός	Χαμηλός
Δυσκολία πλοήγησης	Αυξημένη
ΥΠΟΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	S4

Η κλάση φωτισμού S4 ορίζει ελάχιστη ένταση φωτισμού 1lx και ελάχιστη μέση ένταση φωτισμού 5lx.

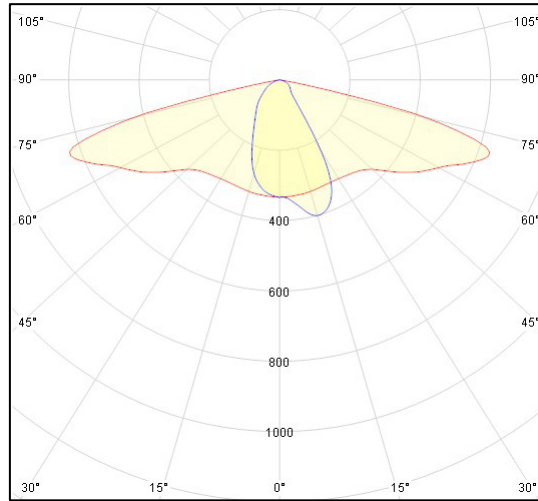
Έπειτα από αναζήτηση, επιλέχθηκε το φωτιστικό VOLTANA 2 της εταιρείας Schreder[13] (Σχήμα 22), αποτελούμενο από 16 LED, με ρεύμα οδήγησης 350mA και κατανάλωση 20W. Επίσης επιλέχθηκε ο φακός 5136, για να πετύχουμε την απαιτούμενη ομοιομορφία φωτισμού.



Σχήμα 22 – Φωτιστικό Voltana της εταιρείας Schreder[13]

Η απόδοση του φωτιστικού είναι στα 104,19 lm/W, η θερμοκρασία χρώματος είναι 4.000°K, προσφέροντας ουδέτερο χρώμα φωτισμού, ενώ η απόδοση χρώματος είναι μεγαλύτερη από 70%, αποδίδοντας αρκετά καλά τα χρώματα του περιβάλλοντος, βοηθώντας και στην αναγνώριση προσώπων.

Το πολικό διάγραμμα του φωτιστικού φαίνεται στο Σχήμα 23, ενώ τα αποτελέσματα της προσομοίωσης παρουσιάζονται στα σχήματα „Σχήμα 24“, „Σχήμα 25“ και „Σχήμα 26“.

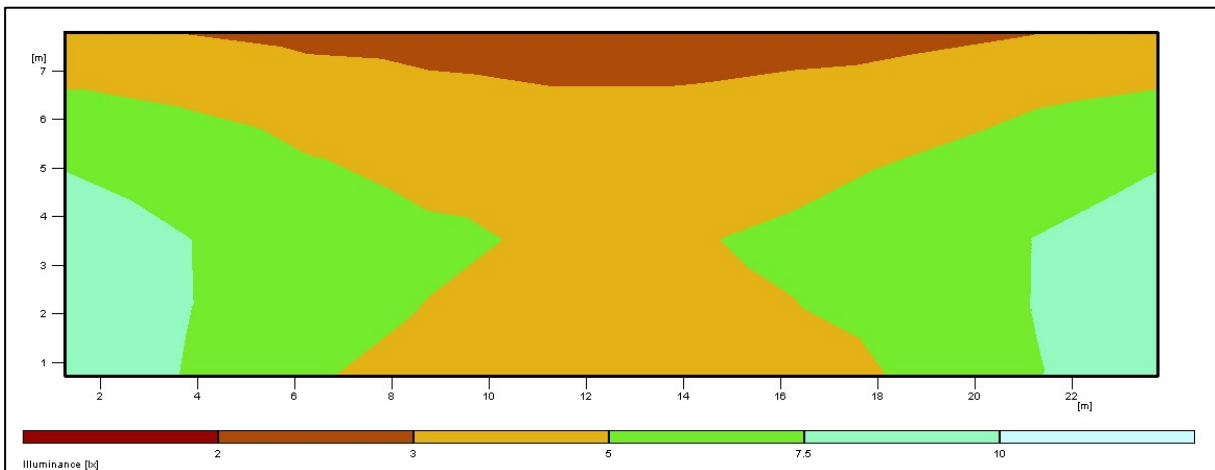


Σχήμα 23 – Πολικό διάγραμμα Voltana, με φακό 5136[13]

Table, Road (E horizontal)

[m]	3.08	2.95	2.52	2.35	(2.16)	(2.16)	2.35	2.52	2.95	3.08
7.79	5.42	4.82	4.05	3.54	3.24	3.24	3.54	4.05	4.82	5.42
6.38	7.48	6.48	5.28	4.48	4.22	4.22	4.48	5.28	6.48	7.48
4.96	8.78	7.56	6.24	5.36	4.77	4.77	5.36	6.24	7.56	8.78
3.54	9.21	7.58	5.81	4.93	4.43	4.43	4.93	5.81	7.58	9.21
2.13	[9.6]	7.37	5.29	4	3.43	3.43	4	5.29	7.37	[9.6]
0.71										
	1.25	3.75	6.25	8.75	11.25	13.75	16.25	18.75	21.25	23.75
	Illuminance [lx]									

Σχήμα 24 – Αποτελέσματα της προσομοίωσης σε πίνακα



Σχήμα 25 – Αποτελέσματα της προσομοίωσης σε ψευδοχρώματα

Height of the reference plane		: 0.00 m
Average illuminance	E_{av}	: 5.21 lx
Minimum illuminance	E_{min}	: 2.16 lx
Maximum illuminance	E_{max}	: 9.6 lx
Uniformity U_0	min/average	: 1 : 2.42 (0.41)
Diversity U_d	min/max	: 1 : 4.45 (0.22)

Σχήμα 26 – Τελικά αποτελέσματα της προσομοίωσης

Παρατηρούμε λοιπόν, πως τα αποτελέσματα καλύπτουν τις προδιαγραφές που ορίζονται από την κλάση φωτισμού S4:

	Προδιαγραφές Προτύπου	Αποτελέσματα Προσομοίωσης
E_{min}	1lx	2,16lx
\bar{E}_{min}	5lx	5,21lx

Η 2^η ομάδα περιλαμβάνει φωτιστικά που φωτίζουν πλατύς δρόμους και διασταυρώσεις της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου, με χαρακτηριστικά που αναγράφονται στον „Πίνακας 10“. Στην ομάδα αυτή εμπίπτουν τα 35 από τα 193 φωτιστικά, τα οποία επισημαίνονται με κόκκινο χρώμα στο Σχήμα 27.



Σχήμα 27 – Φωτιστικά της 2^{ης} ομάδας φωτιστικών με λαμπτήρες ατμών νατρίου υψηλής πίεσης (κόκκινο χρώμα)

Πίνακας 10 – Χαρακτηριστικά της 2^{ης} ομάδας φωτιστικών με λαμπτήρες ατμών νατρίου υψηλής πίεσης

Απόσταση μεταξύ φωτιστικών	25m
Ύψος φωτιστικού	8m
Outreach	-1
Πλάτος δρόμου	13/20
Κλίση φωτιστικού	15°

Η κατηγοριοποίηση των δρόμων αυτών έγινε σύμφωνα με το πρότυπο EN 13201:01. Τα χαρακτηριστικά τους και η αντίστοιχη κλάση φωτισμού στην οποία εμπίπτουν αναγράφονται στον „Πίνακα 11“.

Πίνακας 11 – Κατηγοριοποίηση των δρόμων της 2^{ης} ομάδας φωτιστικών σύμφωνα με το πρότυπο EN 13201:01

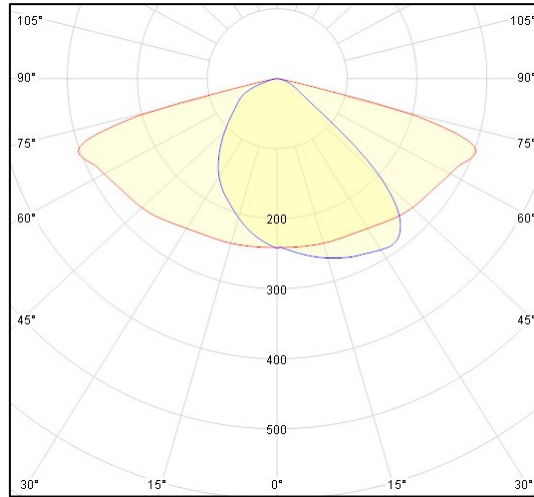
Ταχύτητα κίνησης	>5 + <30 km/h
Επιτρεπόμενοι χρήστες	μηχανοκίνητα οχήματα, δικυκλιστές
Επιπλέον χρήστες	Πεζοί, αργά οχήματα
Αποκλειόμενοι χρήστες	-
ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	D3
Επίπεδο εγκληματικότητας	Κανονικό
Αναγνώριση προσώπων	Απαραίτητη
Πυκνότητα κίνησης	Κανονική
Περιβάλλον φωτισμός	Χαμηλός
Δυσκολία πλοήγησης	Αυξημένη
ΥΠΟΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	S4

Η κλάση φωτισμού S4 ορίζει ελάχιστη ένταση φωτισμού 1lx και ελάχιστη μέση ένταση φωτισμού 5lx.

Έπειτα από αναζήτηση επιλέχθηκε το φωτιστικό VOLTANA 2 της εταιρείας Schreder (Σχήμα 22), αποτελούμενο από 16 LED, αυτή τη φορά όμως με ρεύμα οδήγησης 700mA και τελική κατανάλωση 39W. Επίσης επιλέχθηκε ο φακός 5138, για να πετύχουμε την απαιτούμενη ομοιομορφία φωτισμού.

Η απόδοση του φωτιστικού είναι στα 95,64 lm/W, η θερμοκρασία χρώματος είναι 4.000°K, προσφέροντας ουδέτερο χρώμα φωτισμού, ενώ η απόδοση χρώματος είναι μεγαλύτερη από 70%, αποδίδοντας αρκετά καλά τα χρώματα του περιβάλλοντος, βοηθώντας και στην αναγνώριση προσώπων.

Το πολικό διάγραμμα του φωτιστικού φαίνεται στο Σχήμα 28, ενώ τα αποτελέσματα της προσομοίωσης παρουσιάζονται στα σχήματα „Σχήμα 29“, „Σχήμα 30“ και „Σχήμα 31“.

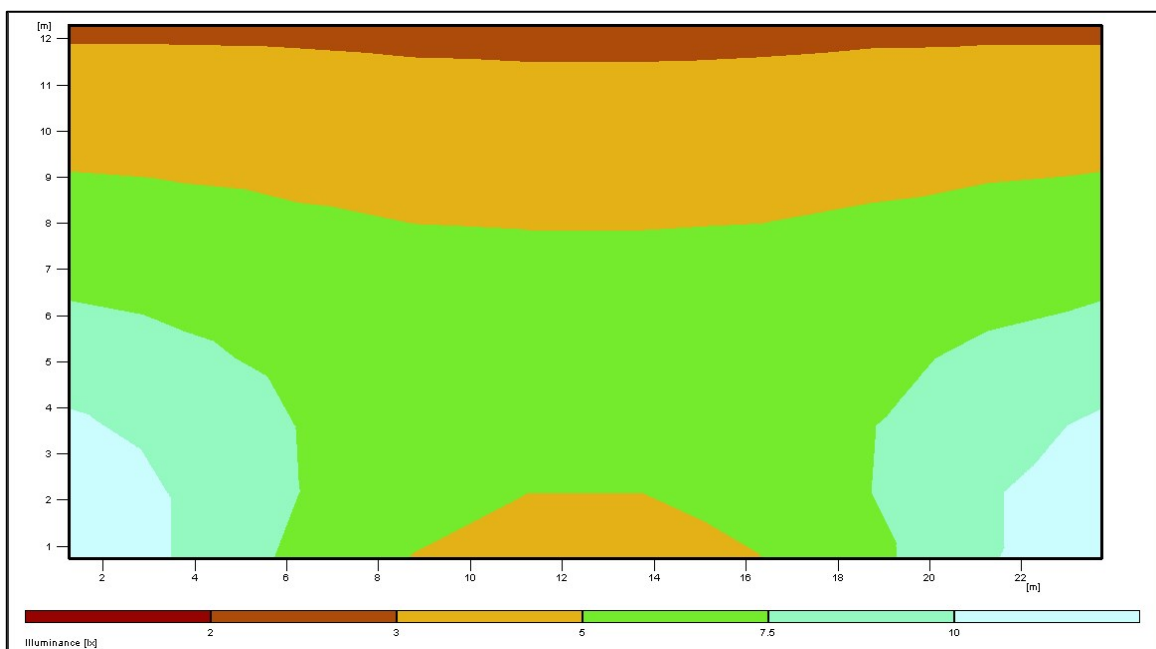


Σχήμα 28 – Πολικό διάγραμμα Voltana, με φακό 5138[13]

2.3.1 Table, Road (E horizontal)

[m]	2,7	2,7	2,7	(2,6)	(2,6)	(2,6)	(2,6)	2,7	2,7	2,7
12.28	3,7	3,6	3,6	3,4	3,4	3,4	3,4	3,6	3,6	3,7
10.83	4,8	4,6	4,4	4,3	4,2	4,2	4,3	4,4	4,6	4,8
9.39	6	5,7	5,3	5	5	5	5	5,3	5,7	6
7.94	7,3	6,8	6,1	5,7	5,5	5,5	5,7	6,1	6,8	7,3
6.50	8,8	8	6,9	6,2	5,7	5,7	6,2	6,9	8	8,8
5.06	10,4	9,1	7,4	6,2	5,5	5,5	6,2	7,4	9,1	10,4
3.61	11,6	9,7	7,5	5,8	5	5	5,8	7,5	9,7	11,6
2.17	[12,3]	9,7	6,9	4,9	4	4	4,9	6,9	9,7	[12,3]
0.72										
	1.25	3.75	6.25	8.75	11.25	13.75	16.25	18.75	21.25	23.75
	Illuminance [lx]									

Σχήμα 29 – Αποτελέσματα της προσομοίωσης σε πίνακα



Σχήμα 30 - Αποτελέσματα της προσομοίωσης σε ψευδοχρώματα

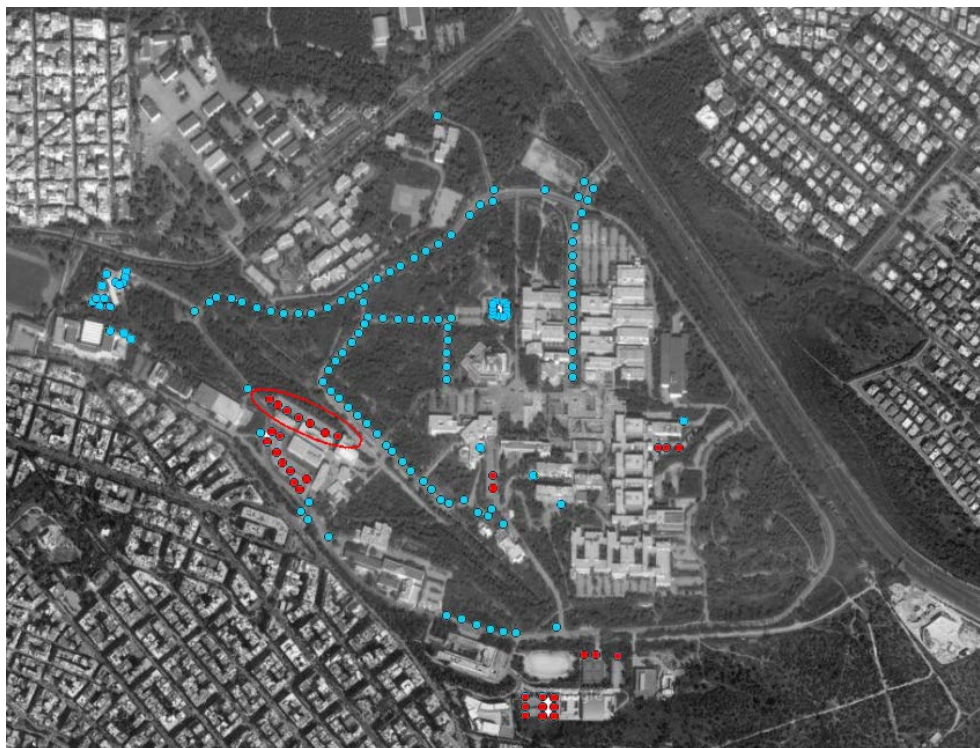
Height of the reference plane		: 0.00 m
Average illuminance	Eav	: 5.9 lx
Minimum illuminance	Emin	: 2.6 lx
Maximum illuminance	Emax	: 12.3 lx
Uniformity Uo	min/average	: 1 : 2.27 (0.44)
Diversity Ud	min/max	: 1 : 4.75 (0.21)

Σχήμα 31 – Τελικά αποτελέσματα της προσομοίωσης

Παρατηρούμε λοιπόν, πως τα αποτελέσματα καλύπτουν τις προδιαγραφές που ορίζονται από την κλάση φωτισμού S4:

	Προδιαγραφές Προτύπου	Αποτελέσματα Προσομοίωσης
E_{min}	1lx	2,6lx
\bar{E}_{min}	5lx	5,9lx

Η 3^η ομάδα περιλαμβάνει φωτιστικά που φωτίζουν τους χώρους στάθμευσης αυτοκινήτων στην Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου, με χαρακτηριστικά που αναγράφονται στον „Πίνακας 12“. Στην ομάδα αυτή εμπίπτουν τα 51 από τα 193 φωτιστικά, τα οποία επισημαίνονται με κόκκινο χρώμα στο Σχήμα 32.



Σχήμα 32 – Φωτιστικά σε χώρους στάθμευσης αυτοκινήτων με λαμπτήρες ατμών νατρίου υψηλής πίεσης (κόκκινο χρώμα)

Πίνακας 12 – Χαρακτηριστικά των χώρων στάθμευσης αυτοκινήτων στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου

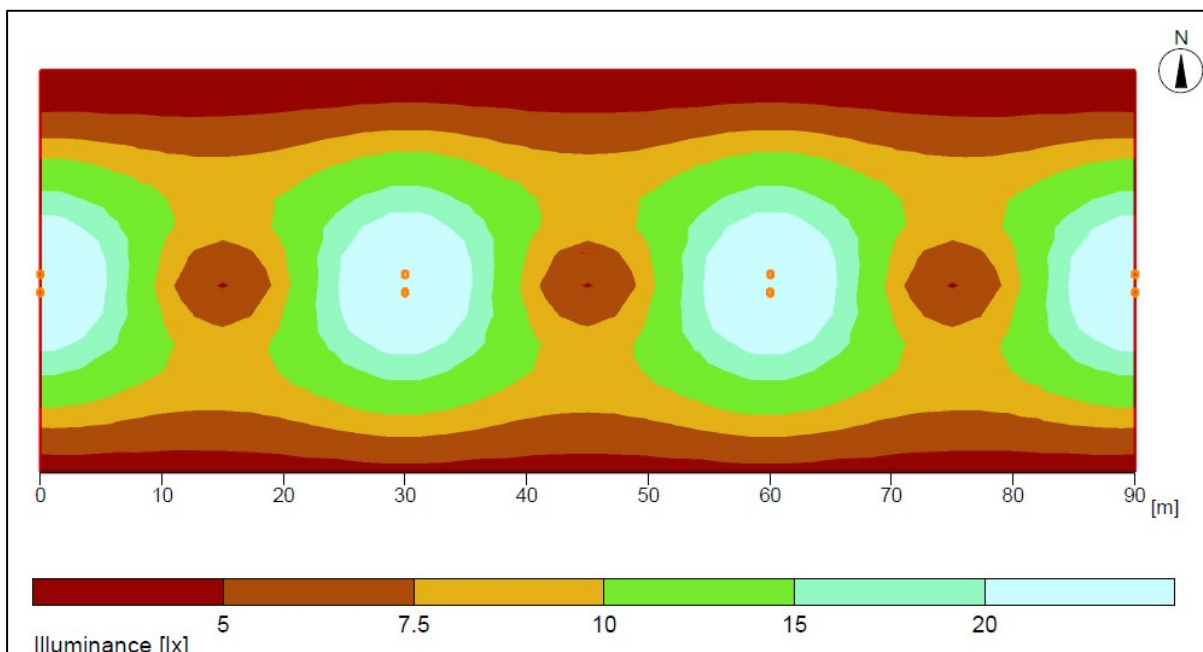
Απόσταση μεταξύ φωτιστικών	30
Ύψος φωτιστικού	9/12
Πλάτος „δρόμου“	15-20
Κλίση φωτιστικού	15°

Η κατηγοριοποίηση των χώρων στάθμευσης αυτοκινήτων έγινε σύμφωνα με το πρότυπο 12464-2:2007, το οποίο ορίζει ελάχιστη μέση ένταση φωτισμού 10lx και ελάχιστη ομοιομορφία 0,25. Η προσομοίωση με το πρόγραμμα RELUX έγινε με αναπαράσταση ενός χώρου στάθμευσης αυτοκινήτων κοντά στα κτίρια των Πολιτικών Μηχανικών, που επισημαίνεται στο Σχήμα 32.

Έπειτα από αναζήτηση επιλέχθηκε το φωτιστικό VOLTANA 4 της εταιρείας Schreder (Σχήμα 22), αποτελούμενο από 32 LED, με ρεύμα οδήγησης 700mA και τελική κατανάλωση 75W. Επίσης επιλέχθηκε ο φακός 5138, για να πετύχουμε την απαιτούμενη ομοιομορφία φωτισμού.

Η απόδοση του φωτιστικού είναι στα 99,47 lm/W, η θερμοκρασία χρώματος είναι 4.000°K, προσφέροντας ουδέτερο χρώμα φωτισμού, ενώ η απόδοση χρώματος είναι μεγαλύτερη από 70%, αποδίδοντας αρκετά καλά τα χρώματα του περιβάλλοντος, βοηθώντας και στην αναγνώριση προσώπων.

Το πολικό διάγραμμα του φωτιστικού φαίνεται στο Σχήμα 28, ενώ τα αποτελέσματα της προσομοίωσης παρουσιάζονται στα σχήματα „Σχήμα 33“ και „Σχήμα 34“.



Σχήμα 33 - Αποτελέσματα της προσομοίωσης χώρου στάθμευσης αυτοκινήτων σε ψευδοχρώματα

Height of the reference plane		: 0.00 m
Average illuminance	Eav	: 10.8 lx
Minimum illuminance	Emin	: 3 lx
Maximum illuminance	E _{max}	: 32.9 lx
Uniformity U _o	E _{min} /E _{av}	: 1 : 3.62 (0.28)
Diversity U _d	E _{min} /E _{max}	: 1 : 11.08 (0.09)

Σχήμα 34 – Τελικά αποτελέσματα της προσομοίωσης χώρου στάθμευσης

Αυτό που κρατάμε από την προσομοίωση αυτή, είναι ότι το συγκεκριμένο φωτιστικό μπορεί να καλύψει τις απαιτήσεις του προτύπου και ως εκ τούτου μπορεί να χρησιμοποιηθεί και στους υπόλοιπους χώρους στάθμευσης αυτοκινήτων στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου.

	Προδιαγραφές Προτύπου EN 12464-2:2007	Αποτελέσματα Προσομοίωσης
\bar{E}_{min}	10lx	10,8lx
Uniformity/Ομοιομορφία	0,25	0,28

Η 4^η ομάδα περιλαμβάνει τα φωτιστικά με λαμπτήρες ατμών νατρίου υψηλής πίεσης που χρησιμεύουν ως προβολείς στις κορυφές κτιρίων. Στην ομάδα αυτή εμπίπτουν τα 35 από τα 193 φωτιστικά, τα οποία επισημαίνονται με κόκκινο χρώμα στο Σχήμα 35.



Σχήμα 35 – Φωτιστικά με λαμπτήρες ατμών νατρίου υψηλής πίεσης ως προβολείς σε κτίρια (κόκκινο χρώμα)

Για περιοχές γύρω από κτίρια δεν υπάρχει κάποιο συγκεκριμένο πρότυπο, συνεπώς στόχο αποτελούσε η εύρεση ενός φωτιστικού, το οποίο θα επιφέρει ίδια ή και καλύτερα αποτελέσματα με τα παλαιά φωτιστικά, καλύπτοντας όμως τουλάχιστον την ελάχιστη μέση ένταση φωτισμού των 5lx που καλύπτουν και τα υπόλοιπα φωτιστικά της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου.

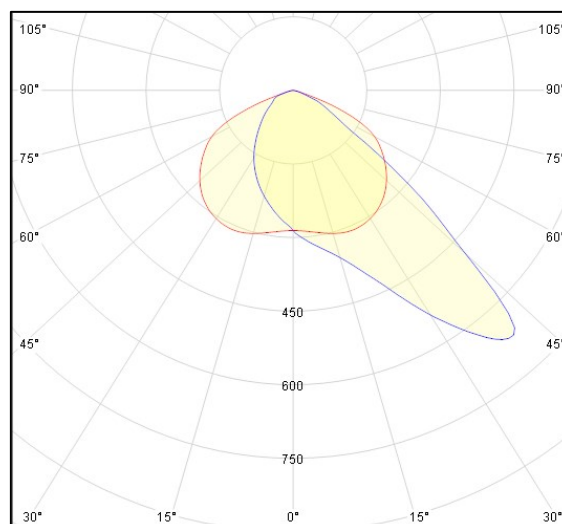
Η προσομοίωση έγινε σε επόμενο υποκεφάλαιο, μαζί με τους υπόλοιπους προβολείς στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου. Συγκεκριμένα, τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στις σελίδες 71 και 72.

Μετά την προσομοίωση και έπειτα από αναζήτηση, επιλέχθηκε το φωτιστικό NEOS 2 της εταιρείας Schreder (Σχήμα 36), αποτελούμενο από 48 LED, με ρεύμα οδήγησης 500mA και τελική κατανάλωση 75W. Επίσης επιλέχθηκε ο φακός 5120, για να πετύχουμε την απαιτούμενη ομοιομορφία φωτισμού.



Σχήμα 36 – Φωτιστικό Neos της εταιρείας Schreder[13]

Η απόδοση του φωτιστικού είναι στα 106,26 lm/W, η θερμοκρασία χρώματος είναι 4.000°K, προσφέροντας ουδέτερο χρώμα φωτισμού, ενώ η απόδοση χρώματος είναι μεγαλύτερη από 70%, αποδίδοντας αρκετά καλά τα χρώματα του περιβάλλοντος, βοηθώντας και στην αναγνώριση προσώπων. Το πολικό διάγραμμα του φωτιστικού φαίνεται στο Σχήμα 37.



Σχήμα 37 – Πολικό διάγραμμα Neos, φακός 5120[13]

3.2.1.2 Αντικατάσταση των φωτιστικών με λαμπτήρες ατμών νατρίου χαμηλής πίεσης

Διακρίνουμε τρεις διαφορετικές ομάδες φωτιστικών με λαμπτήρες ατμών νατρίου χαμηλής πίεσης, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά των δρόμων που φωτίζουν.

Η 1^η ομάδα περιλαμβάνει φωτιστικά που φωτίζουν δρόμους της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου με χαρακτηριστικά που αναγράφονται στον „Πίνακας 13“. Στην ομάδα αυτή εμπίπτουν τα 57 από τα 111 φωτιστικά, τα οποία επισημαίνονται με κόκκινο χρώμα στο Σχήμα 38.

Πίνακας 13 – Χαρακτηριστικά της 1^{ης} ομάδας φωτιστικών με λαμπτήρες ατμών νατρίου χαμηλής πίεσης

Απόσταση μεταξύ φωτιστικών	25-30
Ύψος φωτιστικού	9
Outreach	0/0,5
Πλάτος δρόμου	7,5-8
Κλίση φωτιστικού	15°



Σχήμα 38 - Φωτιστικά της 1^{ης} ομάδας φωτιστικών με λαμπτήρες ατμών νατρίου χαμηλής πίεσης (κόκκινο χρώμα)

Η κατηγοριοποίηση των δρόμων αυτών έγινε σύμφωνα με το πρότυπο EN 13201:01. Τα χαρακτηριστικά τους και η αντίστοιχη κλάση φωτισμού στην οποία εμπίπτουν αναγράφονται στον „Πίνακας 14“.

Ταχύτητα κίνησης	>5 + <30 km/h
Επιτρεπόμενοι χρήστες	μηχανοκίνητα οχήματα, δικυκλιστές
Επιπλέον χρήστες	Πεζοί, αργά οχήματα
Αποκλειόμενοι χρήστες	-
ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	D3
Επίπεδο εγκληματικότητας	Κανονικό
Αναγνώριση προσώπων	Απαραίτητη
Πυκνότητα κίνησης	Κανονική
Περιβάλλον φωτισμός	Χαμηλός
Δυσκολία πλοήγησης	Αυξημένη
ΥΠΟΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	S4

Η κλάση φωτισμού S4 ορίζει ελάχιστη ένταση φωτισμού 1lx και ελάχιστη μέση ένταση φωτισμού 5lx.

Έπειτα από αναζήτηση, επιλέχθηκε το φωτιστικό VOLTANA 2 της εταιρείας Schreder (Σχήμα 22), αποτελούμενο από 16 LED, με ρεύμα οδήγησης 700mA και κατανάλωση 39W. Επίσης επιλέχθηκε ο φακός 5138, για να πετύχουμε την απαιτούμενη ομοιομορφία φωτισμού.

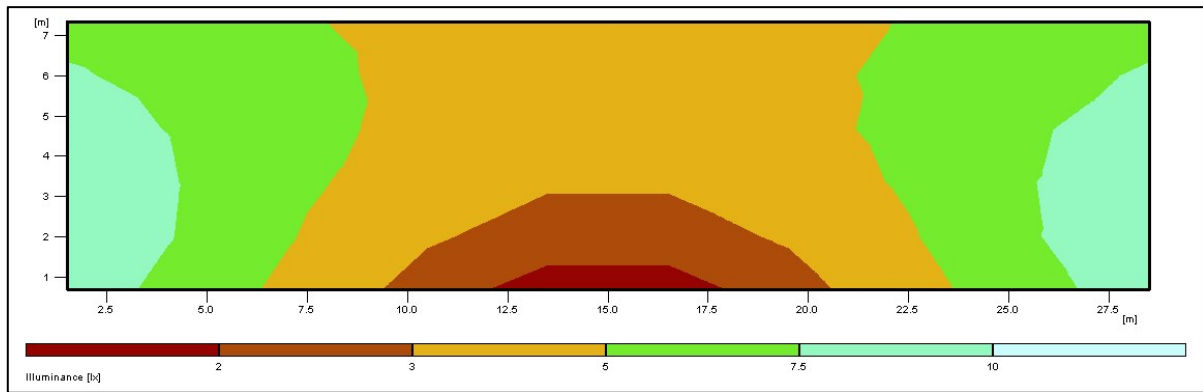
Η απόδοση του φωτιστικού είναι στα 95,64 lm/W, η θερμοκρασία χρώματος είναι 4.000°K, προσφέροντας ουδέτερο χρώμα φωτισμού, ενώ η απόδοση χρώματος είναι μεγαλύτερη από 70%, αποδίδοντας αρκετά καλά τα χρώματα του περιβάλλοντος, βοηθώντας και στην αναγνώριση προσώπων.

Το πολικό διάγραμμα του φωτιστικού φαίνεται στο Σχήμα 28, ενώ τα αποτελέσματα της προσομοίωσης παρουσιάζονται στα σχήματα „Σχήμα 39“, „Σχήμα 40“ και „Σχήμα 41“.

2.3.1 Table, Road (E horizontal)

[m]										
7.33	6.73	6	5.1	4.44	4.06	4.06	4.44	5.1	6	6.73
6.00	7.77	6.68	5.4	4.48	3.96	3.96	4.48	5.4	6.68	7.77
4.67	8.67	7.2	5.53	4.33	3.69	3.69	4.33	5.53	7.2	8.67
3.33	9.33	7.37	5.27	3.85	3.14	3.14	3.85	5.27	7.37	9.33
2.00	[9.55]	7.25	4.78	3.17	2.42	2.42	3.17	4.78	7.25	[9.55]
0.67	8.89	6.52	4.04	2.38	(1.64)	(1.64)	2.38	4.04	6.52	8.89
	1.50	4.50	7.50	10.50	13.50	16.50	19.50	22.50	25.50	28.50
	Illuminance [lx]									

Σχήμα 39 – Αποτελέσματα της προσομοίωσης σε πίνακα



Σχήμα 40 – Αποτελέσματα της προσομοίωσης σε ψευδοχρώματα

Height of the reference plane		: 0.00 m
Average illuminance	E_{av}	: 5.45 lx
Minimum illuminance	E_{min}	: 1.64 lx
Maximum illuminance	E_{max}	: 9.55 lx
Uniformity U_0	min/average	: 1 : 3.33 (0.3)
Diversity U_d	min/max	: 1 : 5.83 (0.17)

Σχήμα 41 – Τελικά αποτελέσματα της προσομοίωσης

Παρατηρούμε λοιπόν, πως τα αποτελέσματα καλύπτουν τις προδιαγραφές που ορίζονται από την κλάση φωτισμού S4:

	Προδιαγραφές Προτύπου	Αποτελέσματα Προσομοίωσης
E_{min}	1lx	1,64lx
\bar{E}_{min}	5lx	5,45lx

Η 2^η ομάδα περιλαμβάνει φωτιστικά που φωτίζουν δρόμους στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου με χαρακτηριστικά που αναγράφονται στον Πίνακας 15. Στην ομάδα αυτή εμπίπτουν τα 52 από τα 111 φωτιστικά, τα οποία επισημαίνονται με κόκκινο χρώμα στο Σχήμα 42.

Πίνακας 15 – Χαρακτηριστικά της 2^{ης} ομάδας φωτιστικών με λαμπτήρες ατμών νατρίου χαμηλής πίεσης

Απόσταση μεταξύ φωτιστικών	25-30
Ύψος φωτιστικού	9,5
Outreach	-0,5/0/0,5
Πλάτος δρόμου	10-12
Κλίση φωτιστικού	15°



Σχήμα 42 – Φωτιστικά της 2^{ης} ομάδας φωτιστικών με λαμπτήρες ατμών νατρίου χαμηλής πίεσης (κόκκινο χρώμα)

Η κατηγοριοποίηση των δρόμων αυτών έγινε σύμφωνα με το πρότυπο EN 13201:01. Τα χαρακτηριστικά τους και η αντίστοιχη κλάση φωτισμού στην οποία εμπίπτουν αναγράφονται στον „Πίνακας 16“.

Πίνακας 16 – Κατηγοριοποίηση των δρόμων της 2^{ης} ομάδας φωτιστικών σύμφωνα με το πρότυπο EN 13201:01

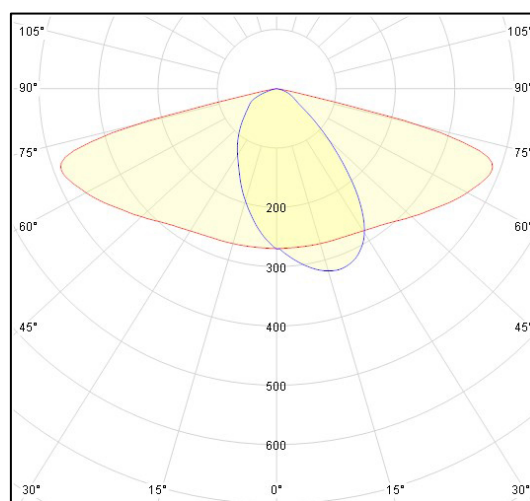
Ταχύτητα κίνησης	>5 + <30 km/h
Επιτρεπόμενοι χρήστες	μηχανοκίνητα οχήματα, δικυκλιστές
Επιπλέον χρήστες	Πεζοί, αργά οχήματα
Αποκλειόμενοι χρήστες	-
ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	D3
Επίπεδο εγκληματικότητας	Κανονικό
Αναγνώριση προσώπων	Απαραίτητη
Πυκνότητα κίνησης	Κανονική
Περιβάλλον φωτισμός	Χαμηλός
Δυσκολία πλοήγησης	Αυξημένη
ΥΠΟΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	S4

Η κλάση φωτισμού S4 ορίζει ελάχιστη ένταση φωτισμού 1lx και ελάχιστη μέση ένταση φωτισμού 5lx.

Έπειτα από αναζήτηση επιλέχθηκε το φωτιστικό VOLTANA 2 της εταιρείας Schreder (Σχήμα 22), αποτελούμενο από 16 LED, με ρεύμα οδήγησης 700mA και τελική κατανάλωση 39W. Επίσης επιλέχθηκε ο φακός 5137, για να πετύχουμε την απαιτούμενη ομοιομορφία φωτισμού.

Η απόδοση του φωτιστικού είναι στα 95,64 lm/W, η θερμοκρασία χρώματος είναι 4.000°K, προσφέροντας ουδέτερο χρώμα φωτισμού, ενώ η απόδοση χρώματος είναι μεγαλύτερη από 70%, αποδίδοντας αρκετά καλά τα χρώματα του περιβάλλοντος, βοηθώντας και στην αναγνώριση προσώπων.

Το πολικό διάγραμμα του φωτιστικού φαίνεται στο Σχήμα 43, ενώ τα αποτελέσματα της προσομοίωσης παρουσιάζονται στα σχήματα „Σχήμα 44“, „Σχήμα 45“ και „Σχήμα 46“.

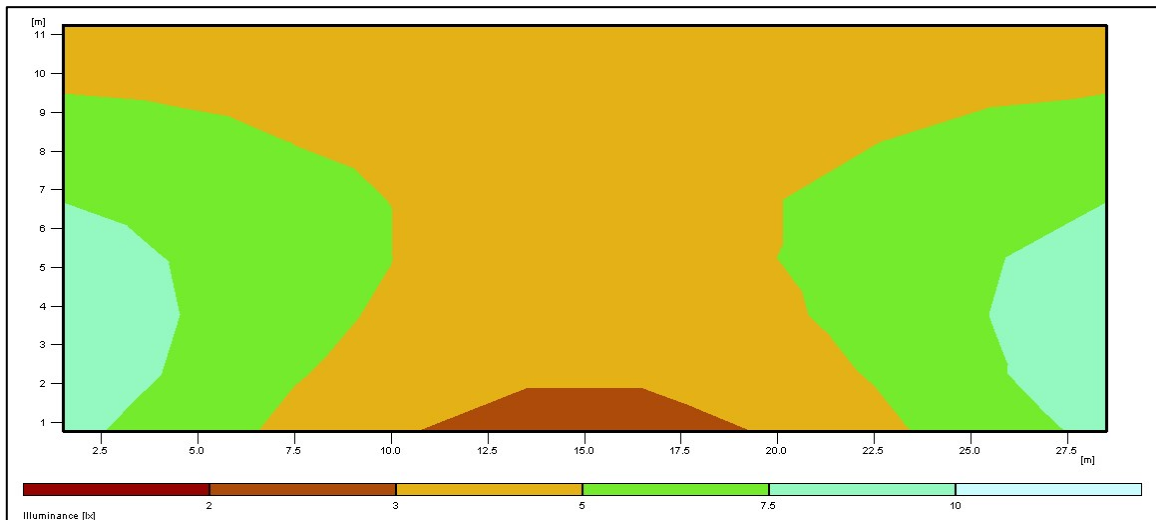


Σχήμα 43 – Πολικό διάγραμμα Voltana, με φακό 5137[13]

2.3.1 Table, Road (E horizontal)

[m]	3,66	3,5	3,36	3,21	3,17	3,17	3,21	3,36	3,5	3,66
11.25	4,77	4,55	4,16	3,86	3,74	3,74	3,86	4,16	4,55	4,77
9.75	6,08	5,63	4,95	4,43	4,2	4,2	4,43	4,95	5,63	6,08
8.25	7,45	6,66	5,62	4,83	4,44	4,44	4,83	5,62	6,66	7,45
6.75	8,52	7,34	5,87	4,84	4,36	4,36	4,84	5,87	7,34	8,52
5.25	9,08	7,51	5,7	4,47	3,87	3,87	4,47	5,7	7,51	9,08
3.75	[9,09]	7,22	5,17	3,85	3,22	3,22	3,85	5,17	7,22	[9,09]
2.25	8,14	6,34	4,37	3,04	(2,37)	(2,37)	3,04	4,37	6,34	8,14
0.75	1,50	4,50	7,50	10,50	13,50	16,50	19,50	22,50	25,50	28,50
	Illuminance [lx]									

Σχήμα 44 – Αποτελέσματα της προσομοίωσης σε πίνακα



Σχήμα 45 - Αποτελέσματα της προσομοίωσης σε ψευδοχρώματα

Height of the reference plane		: 0.00 m
Average illuminance	E_{av}	: 5.17 lx
Minimum illuminance	E_{min}	: 2.37 lx
Maximum illuminance	E_{max}	: 9.09 lx
Uniformity U_0	min/average	: 1 : 2.18 (0.46)
Diversity U_d	min/max	: 1 : 3.84 (0.26)

Σχήμα 46 – Τελικά αποτελέσματα της προσομοίωσης

Παρατηρούμε λοιπόν, πως τα αποτελέσματα καλύπτουν τις προδιαγραφές που ορίζονται από την κλάση φωτισμού S4:

	Προδιαγραφές Προτύπου	Αποτελέσματα Προσομοίωσης
E_{min}	1lx	2,37lx
\bar{E}_{min}	5lx	5,17lx

Στην 3^η ομάδα εμπίπτει μόνο ένας ιστός με δύο φωτιστικά που χρησιμοποιούνται σε χώρο στάθμευσης αυτοκινήτων που επισημαίνεται στο Σχήμα 47. Τα φωτιστικά αυτά θα αντικατασταθούν όπως και τα αντίστοιχα φωτιστικά ατμών νατρίου υψηλής πίεσης, τα οποία χρησιμοποιούνται σε χώρους στάθμευσης αυτοκινήτων, με το φωτιστικό VOLTANA 4 της εταιρείας Schreder (Σχήμα 22), αποτελούμενο από 32 LED, με ρεύμα οδήγησης 700mA και τελική κατανάλωση 75W. Επίσης, επιλέγεται ο φακός 5138 (Σχήμα 28), για την επίτευξη της απαιτούμενης ομοιομορφίας φωτισμού.

Υπενθυμίζεται πως η απόδοση του φωτιστικού είναι στα 99,47 lm/W, η θερμοκρασία χρώματος είναι 4.000°K, προσφέροντας ουδέτερο χρώμα φωτισμού, ενώ η απόδοση χρώματος είναι μεγαλύτερη από 70%, αποδίδοντας αρκετά καλά τα χρώματα του περιβάλλοντος, βοηθώντας και στην αναγνώριση προσώπων.



Σχήμα 47 – Ιστός (κόκκινο χρώμα) σε χώρο στάθμευσης με φωτιστικά λαμπτήρων ατμών νατρίου χαμηλής πίεσης

3.2.1.3 Αντικατάσταση των φωτιστικών με συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού

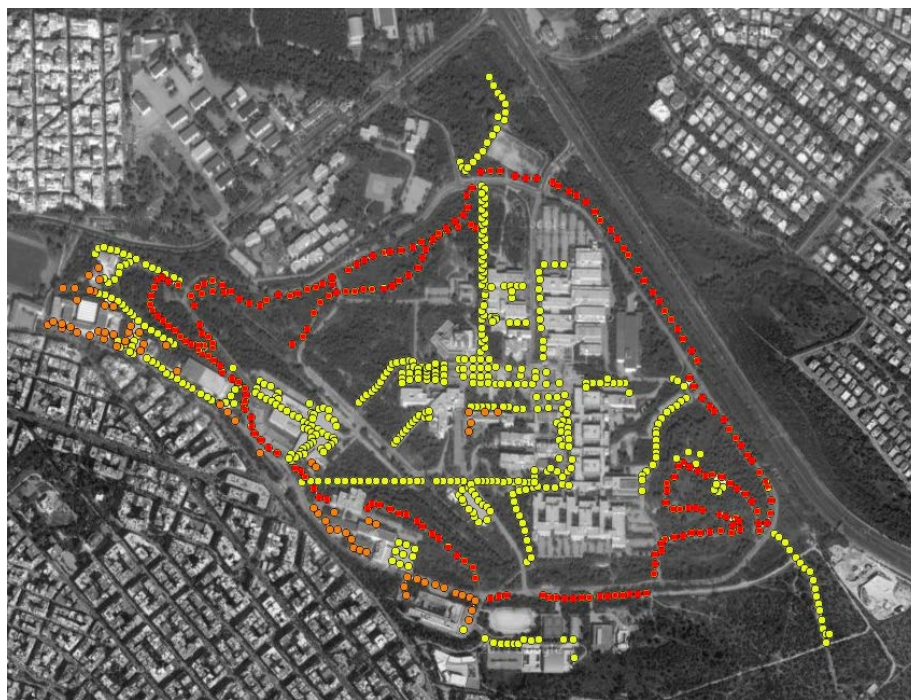
Διακρίνουμε τέσσερις διαφορετικές ομάδες φωτιστικών με συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά των δρόμων που φωτίζουν.

Η 1^η ομάδα περιλαμβάνει φωτιστικά που φωτίζουν τον ποδηλατόδρομο της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου με χαρακτηριστικά που αναγράφονται στον „Πίνακας 17“. Στην ομάδα αυτή εμπίπτουν τα 227 από τα 783 φωτιστικά, τα οποία επισημαίνονται με κόκκινο χρώμα στο Σχήμα 48.

Πίνακας 17 – Χαρακτηριστικά του ποδηλατόδρομου

Απόσταση μεταξύ φωτιστικών	18-20m
Ύψος φωτιστικού	4m
Πλάτος δρόμου	1,5m

Η κατηγοριοποίηση του ποδηλατόδρομου έγινε σύμφωνα με το πρότυπο EN 13201:01. Τα χαρακτηριστικά του και η αντίστοιχη κλάση φωτισμού στην οποία εμπίπτει, αναγράφονται στον „Πίνακας 18“.



Σχήμα 48 – Φωτιστικά του ποδηλατόδρομου (με κόκκινο χρώμα)

Πίνακας 18 – Κατηγοριοποίηση του ποδηλατόδρομου σύμφωνα με το πρότυπο EN 13201:01

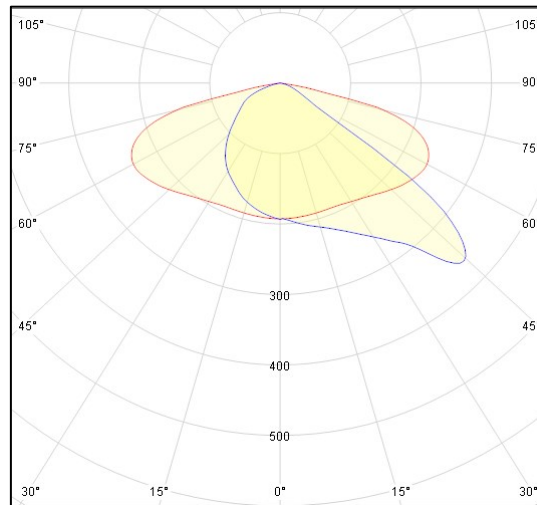
Ταχύτητα κίνησης	Ταχύτητα πεζών
Επιτρεπόμενοι χρήστες	πεζοί, ποδήλατα
Επιπλέον χρήστες	-
Αποκλειόμενοι χρήστες	μηχανοκίνητα οχήματα
ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	E1
Επίπεδο εγκληματικότητας	Κανονικό
Αναγνώριση προσώπων	Απαραίτητη
Πυκνότητα κίνησης	Κανονική
Περιβάλλον φωτισμός	Χαμηλός
Δυσκολία πλοήγησης	Αυξημένη
ΥΠΟΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	S4

Η κλάση φωτισμού S4 ορίζει ελάχιστη ένταση φωτισμού 1lx και ελάχιστη μέση ένταση φωτισμού 5lx.

Έπειτα από αναζήτηση επιλέχθηκε το φωτιστικό VOLTANA 1 της εταιρείας Schreder (Σχήμα 22), αποτελούμενο από 8 LED, με ρεύμα οδήγησης 350mA και κατανάλωση 10W. Επίσης επιλέχθηκε ο φακός 5139, για να πετύχουμε την απαιτούμενη ομοιομορφία φωτισμού.

Η απόδοση του φωτιστικού είναι στα 101,94 lm/W, η θερμοκρασία χρώματος είναι 4.000°K, προσφέροντας ουδέτερο χρώμα φωτισμού, ενώ η απόδοση χρώματος είναι μεγαλύτερη από 70%, αποδίδοντας αρκετά καλά τα χρώματα του περιβάλλοντος, βοηθώντας και στην αναγνώριση προσώπων.

Το πολικό διάγραμμα του φωτιστικού παρουσιάζεται στο Σχήμα 49, ενώ τα αποτελέσματα της προσομοίωσης παρουσιάζονται στα σχήματα „Σχήμα 50“, „Σχήμα 51“, και „Σχήμα 52“.

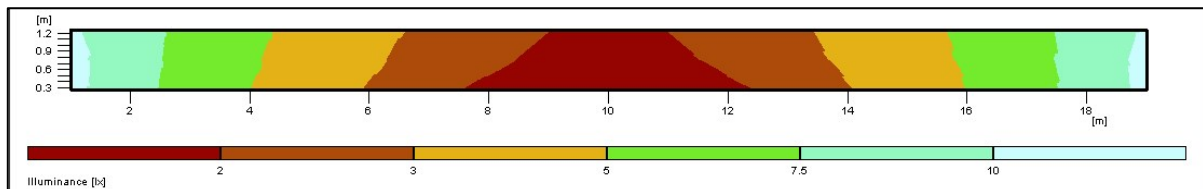


Σχήμα 49 – Πολικό διάγραμμα Voltana, νε φακό 5139[13]

2.3.1 Table, Road (E horizontal)

[m]	10.3	6.7	4.2	2.7	2	2	2.7	4.2	6.7	10.3
0.75	[10.6]	6.6	4	2.5	1.8	1.8	2.5	4	6.6	[10.6]
0.25	[10.6]	6.4	3.7	2.2	(1.5)	(1.5)	2.2	3.7	6.4	[10.6]
	1.00	3.00	5.00	7.00	9.00	11.00	13.00	15.00	17.00	19.00
	Illuminance [lx]									

Σχήμα 50 – Αποτελέσματα της προσομοίωσης σε πίνακα



Σχήμα 51 - Αποτελέσματα της προσομοίωσης σε ψευδοχρώματα

Height of the reference plane		: 0.00 m
Average illuminance	Eav	: 5 lx
Minimum illuminance	Emin	: 1.5 lx
Maximum illuminance	Emax	: 10.6 lx
Uniformity U ₀	min/average	: 1 : 3.27 (0.31)
Diversity U _d	min/max	: 1 : 6.89 (0.15)

Σχήμα 52 – Τελικά αποτελέσματα της προσομοίωσης

Παρατηρούμε λοιπόν, πως τα αποτελέσματα καλύπτουν τις προδιαγραφές που ορίζονται από την κλάση φωτισμού S4:

	Προδιαγραφές Προτύπου	Αποτελέσματα Προσομοίωσης
E_{min}	1lx	1,5lx
\overline{E}_{min}	5lx	5lx

Η 2^η ομάδα περιλαμβάνει φωτιστικά που φωτίζουν τους πεζόδρομους στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου, με χαρακτηριστικά που αναγράφονται στον „Πίνακας 19“. Στην ομάδα αυτή εμπίπτουν τα 209 από τα 783 φωτιστικά, τα οποία επισημαίνονται με κόκκινο χρώμα στο Σχήμα 53.

Πίνακας 19 – Χαρακτηριστικά πεζοδρομίων

Απόσταση μεταξύ φωτιστικών	20m
Ύψος φωτιστικού	4m
Πλάτος δρόμου	5-8m



Σχήμα 53 - Φωτιστικά με συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού σε πεζοδρόμια (κόκκινο χρώμα)

Σημειώνεται πως υπάρχουν 12 ιστοί στο χώρο του γυμναστηρίου, τα οποία επισημαίνονται με κύκλο στο Σχήμα 53, με δύο φωτιστικά το καθένα, τα οποία θα αντικατασταθούν από ένα φωτιστικό LED, διότι τα δύο φωτιστικά αποτελούν πλεονασμό.

Η κατηγοριοποίηση των πεζοδρομίων έγινε σύμφωνα με το πρότυπο EN 13201:01. Τα χαρακτηριστικά τους και η αντίστοιχη κλάση φωτισμού στην οποία εμπίπτουν αναγράφονται στον „Πίνακα 20“.

Πίνακας 20 – Κατηγοριοποίηση των πεζοδρομίων σύμφωνα με το πρότυπο EN 13201:01

Ταχύτητα κίνησης	Ταχύτητα πεζών
Επιτρεπόμενοι χρήστες	πεζοί, ποδήλατα
Επιπλέον χρήστες	-
Αποκλειόμενοι χρήστες	μηχανοκίνητα οχήματα
ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	E1
Επίπεδο εγκληματικότητας	Κανονικό
Αναγνώριση προσώπων	Απαραίτητη
Πυκνότητα κίνησης	Κανονική
Περιβάλλον φωτισμός	Χαμηλός
Δυσκολία πλοήγησης	Αυξημένη
ΥΠΟΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	S4

Η κλάση φωτισμού S4 ορίζει ελάχιστη ένταση φωτισμού 1lx και ελάχιστη μέση ένταση φωτισμού 5lx.

Έπειτα από αναζήτηση επιλέχθηκε το φωτιστικό VOLTANA 1 της εταιρείας Schreder (Σχήμα 22), αποτελούμενο από 8 LED, με ρεύμα οδήγησης 500mA και τελική κατανάλωση 15W. Επίσης επιλέχθηκε ο φακός 5138 (Σχήμα 28), για να πετύχουμε την απαιτούμενη ομοιομορφία φωτισμού.

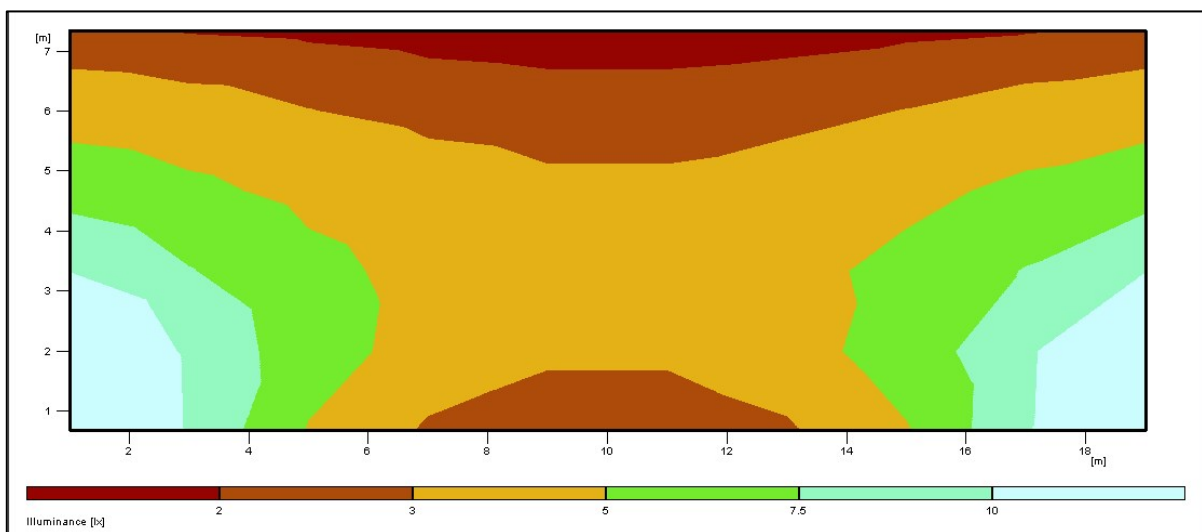
Η απόδοση του φωτιστικού είναι στα 93,29 lm/W, η θερμοκρασία χρώματος είναι 4.000°K, προσφέροντας ουδέτερο χρώμα φωτισμού, ενώ η απόδοση χρώματος είναι μεγαλύτερη από 70%, αποδίδοντας αρκετά καλά τα χρώματα του περιβάλλοντος, βοηθώντας και στην αναγνώριση προσώπων.

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης παρουσιάζονται στα σχήματα „Σχήμα 54“, „Σχήμα 55“, „Σχήμα 56“.

2.3.1 Table, Road (E horizontal)

[m]										
7.33	2.1	1.9	1.8	1.7	(1.6)	(1.6)	1.7	1.8	1.9	2.1
6.00	4	3.6	3	2.6	2.5	2.5	2.6	3	3.6	4
4.67	6.6	5.5	4.4	3.7	3.3	3.3	3.7	4.4	5.5	6.6
3.33	9.9	7.6	5.6	4.3	3.6	3.6	4.3	5.6	7.6	9.9
2.00	14.2	9.6	6.1	4.1	3.3	3.3	4.1	6.1	9.6	14.2
0.67	[16.5]	9.7	4.8	2.8	2.1	2.1	2.8	4.8	9.7	[16.5]
	1.00	3.00	5.00	7.00	9.00	11.00	13.00	15.00	17.00	19.00
	Illuminance [lx]									

Σχήμα 54 – Αποτελέσματα της προσομοίωσης σε πίνακα



Σχήμα 55 - Αποτελέσματα της προσομοίωσης σε ψευδοχρώματα

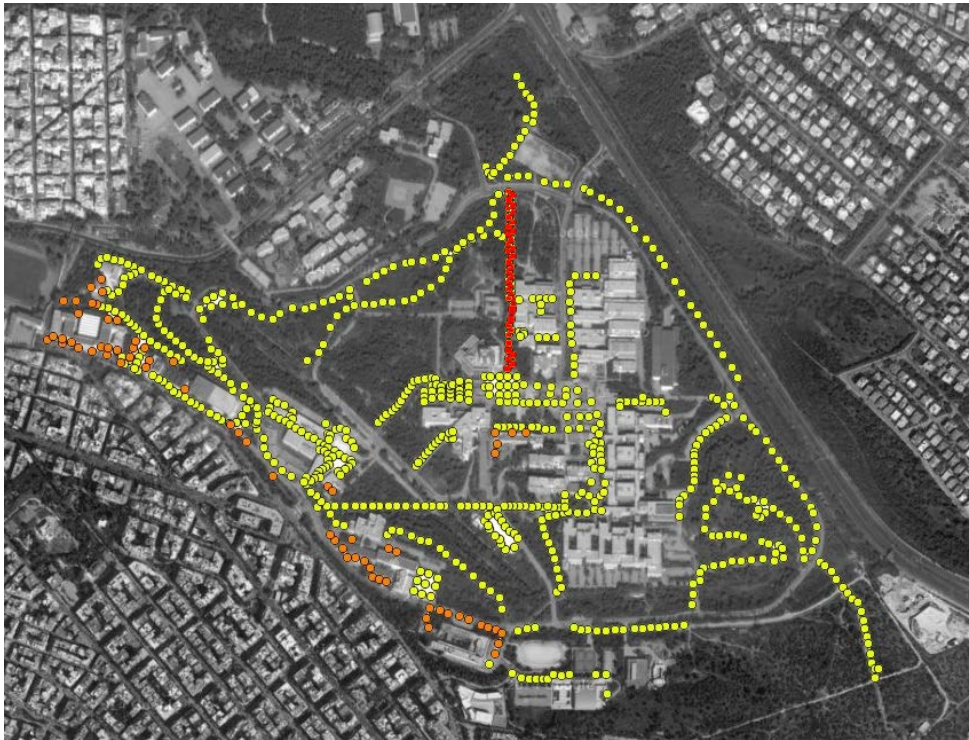
Height of the reference plane		: 0.00 m
Average illuminance	E_{av}	: 5.1 lx
Minimum illuminance	E_{min}	: 1.6 lx
Maximum illuminance	E_{max}	: 16.5 lx
Uniformity U_0	min/average	: 1 : 3.24 (0.31)
Diversity U_d	min/max	: 1 : 10.5 (0.09)

Σχήμα 56 – Τελικά αποτελέσματα της προσομοίωσης

Παρατηρούμε λοιπόν, πως τα αποτελέσματα καλύπτουν τις προδιαγραφές που ορίζονται από την κλάση φωτισμού S4:

	Προδιαγραφές Προτύπου	Αποτελέσματα Προσομοίωσης
E_{min}	1lx	1,6lx
\bar{E}_{min}	5lx	5,1lx

Η 3^η ομάδα περιλαμβάνει φωτιστικά που φωτίζουν τον πεζόδρομο πλησίον των Νέων Κτιρίων Ηλεκτρολόγων της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου, με χαρακτηριστικά που αναγράφονται στον „Πίνακας 21“. Στην ομάδα αυτή εμπίπτουν τα 39 από τα 783 φωτιστικά, τα οποία επισημαίνονται με κόκκινο χρώμα στο Σχήμα 57.



Σχήμα 57 – Φωτιστικά με συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού στο πεζοδρόμιο πλησίον των Νέων Κτιρίων Ηλεκτρολόγων (κόκκινο χρώμα)

Πίνακας 21 – Χαρακτηριστικά πεζοδρομίου πλησίον των Νέων Κτιρίων Ηλεκτρολόγων

Απόσταση μεταξύ φωτιστικών	20m
Διάταξη φωτιστικών	εναλλάξ
Ύψος φωτιστικού	4m
Πλάτος δρόμου	8,5/2m

Η κατηγοριοποίηση του πεζοδρομίου έγινε σύμφωνα με το πρότυπο EN 13201:01. Τα χαρακτηριστικά του και η αντίστοιχη κλάση φωτισμού στην οποία εμπίπτει αναγράφονται στον „Πίνακας 22“.

Πίνακας 22 – Κατηγοριοποίηση του πεζοδρομίου πλησίον των Νέων Κτιρίων Ηλεκτρολόγων σύμφωνα με το πρότυπο EN 13201:01

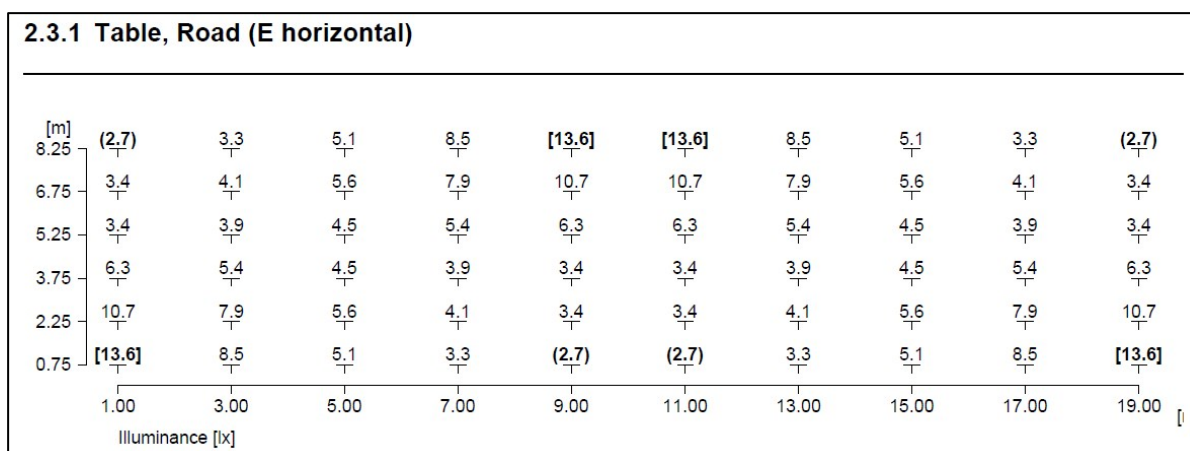
Ταχύτητα κίνησης	Ταχύτητα πεζών
Επιτρεπόμενοι χρήστες	πεζοί, ποδήλατα
Επιπλέον χρήστες	-
Αποκλειόμενοι χρήστες	μηχανοκίνητα οχήματα
ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	E1
Επίπεδο εγκληματικότητας	Κανονικό
Αναγνώριση προσώπων	Απαραίτητη
Πυκνότητα κίνησης	Κανονική
Περιβάλλον φωτισμός	Χαμηλός
Δυσκολία πλοήγησης	Αυξημένη
ΥΠΟΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	S4

Η υποκατηγορία S4 ορίζει ελάχιστη ένταση φωτισμού 1lx και ελάχιστη μέση ένταση φωτισμού 5lx.

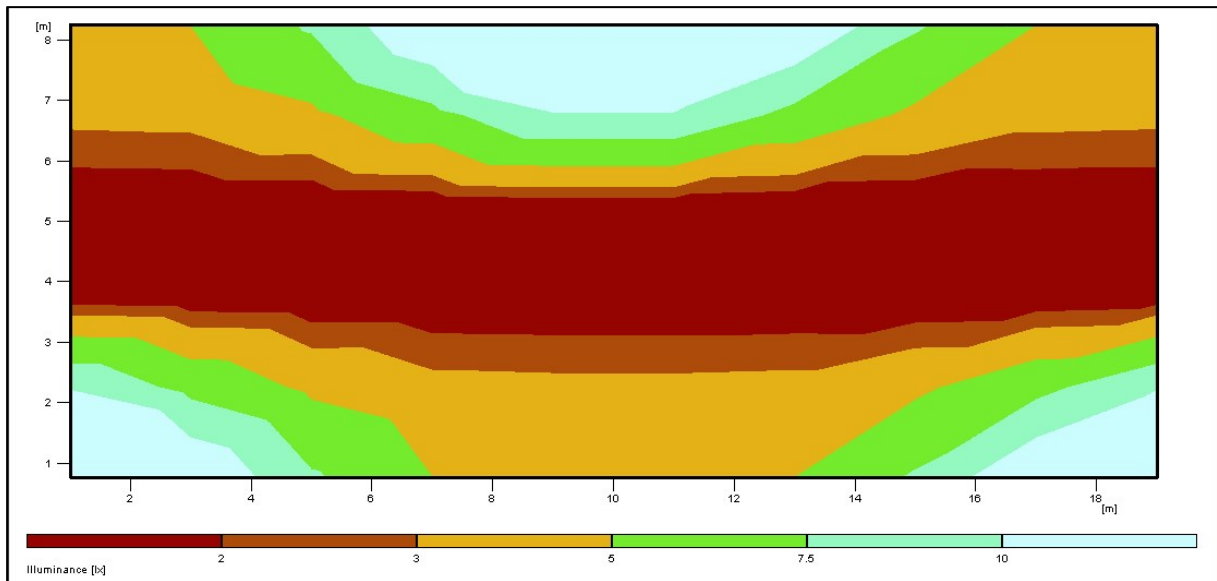
Έπειτα από αναζήτηση επιλέχθηκε το φωτιστικό VOLTANA 1 της εταιρείας Schreder (Σχήμα 22), αποτελούμενο από 8 LED, με ρεύμα οδήγησης 350mA και τελική κατανάλωση 10W. Επίσης επιλέχθηκε ο φακός 5136 (Σχήμα 23), για να πετύχουμε την απαιτούμενη ομοιομορφία φωτισμού.

Η απόδοση του φωτιστικού είναι στα 102,18 lm/W, η θερμοκρασία χρώματος είναι 4.000°K, προσφέροντας ουδέτερο χρώμα φωτισμού, ενώ η απόδοση χρώματος είναι μεγαλύτερη από 70%, αποδίδοντας αρκετά καλά τα χρώματα του περιβάλλοντος, βοηθώντας και στην αναγνώριση προσώπων.

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης παρουσιάζονται στα σχήματα „Σχήμα 58“, „Σχήμα 59“ και „Σχήμα 60“.



Σχήμα 58 – Αποτελέσματα της προσομοίωσης σε πίνακα



Σχήμα 59 - Αποτελέσματα της προσομοίωσης σε ψευδοχρώματα

Height of the reference plane		: 0.00 m
Average illuminance	E_{av}	: 5.9 lx
Minimum illuminance	E_{min}	: 2.7 lx
Maximum illuminance	E_{max}	: 13.6 lx
Uniformity U_0	min/average	: 1 : 2.17 (0.46)
Diversity U_d	min/max	: 1 : 5 (0.2)

Σχήμα 60 – Τελικά αποτελέσματα της προσομοίωσης

Παρατηρούμε λοιπόν, πως τα αποτελέσματα καλύπτουν τις προδιαγραφές που ορίζονται από την κλάση φωτισμού S4:

	Προδιαγραφές Προτύπου	Αποτελέσματα Προσομοίωσης
E_{min}	1lx	2,7lx
\bar{E}_{min}	5lx	5,9lx

Η 4^η ομάδα περιλαμβάνει τα φωτιστικά στις πλατείες της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου, με χαρακτηριστικά που αναγράφονται στον „Πίνακας 23“. Στην ομάδα αυτή εμπίπτουν τα 308 από τα 783 φωτιστικά, τα οποία επισημαίνονται με κόκκινο χρώμα στο Σχήμα 61.

Πίνακας 23 – Χαρακτηριστικά των πλατειών

Απόσταση μεταξύ φωτιστικών	15-20m
Ύψος φωτιστικού	4m

Η κατηγοριοποίηση των πλατειών έγινε σύμφωνα με το πρότυπο EN 13201:01. Τα χαρακτηριστικά τους και η αντίστοιχη κλάση φωτισμού στην οποία εμπίπτουν αναγράφονται στον „Πίνακας 24“.



Σχήμα 61 – Φωτιστικά σε πλατείες της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου (κόκκινο χρώμα)

Πίνακας 24 – Κατηγοριοποίηση των πλατειών σύμφωνα με το πρότυπο EN 13201:01

Ταχύτητα κίνησης	Ταχύτητα πεζών
Επιτρεπόμενοι χρήστες	πεζοί, ποδήλατα
Επιπλέον χρήστες	-
Αποκλειόμενοι χρήστες	μηχανοκίνητα οχήματα
ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	E1
Επίπεδο εγκληματικότητας	Κανονικό
Αναγνώριση προσώπων	Απαραίτητη
Πυκνότητα κίνησης	Κανονική
Περιβάλλον φωτισμός	Χαμηλός
Δυσκολία πλοήγησης	Αυξημένη
ΥΠΟΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	S4

Η κλάση φωτισμού S4 ορίζει ελάχιστη ένταση φωτισμού 1lx και ελάχιστη μέση ένταση φωτισμού 5lx.

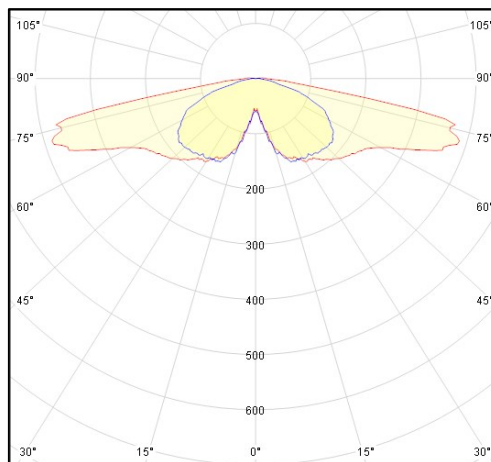
Έπειτα από αναζήτηση επιλέχθηκε το φωτιστικό PILZEO της εταιρείας Schreder (Σχήμα 62), αποτελούμενο από 16 LED, με ρεύμα οδήγησης 500mA και τελική κατανάλωση 26W. Επίσης επιλέχθηκε ο φακός 5068, για να πετύχουμε την καλύτερη δυνατή ομοιομορφία φωτισμού.



Σχήμα 62 – Φωτιστικό *Pilzeo* της εταιρείας *Schreder*[13]

Η απόδοση του φωτιστικού είναι στα 112,1 lm/W, η θερμοκρασία χρώματος είναι 4.000°K, προσφέροντας ουδέτερο χρώμα φωτισμού, ενώ η απόδοση χρώματος είναι μεγαλύτερη από 70%, αποδίδοντας αρκετά καλά τα χρώματα του περιβάλλοντος, βοηθώντας και στην αναγνώριση προσώπων.

Το πολικό διάγραμμα του φωτιστικού φαίνεται στο Σχήμα 63, ενώ τα αποτελέσματα της προσομοίωσης παρουσιάζονται στα σχήματα „Σχήμα 64“, „Σχήμα 65“ και „Σχήμα 66“.



Σχήμα 63 – Πολικό διάγραμμα *Pilzeo*, με φακό 5068[13]

Height of the reference plane		: 0.00 m
Average illuminance	Eav	: 5.8 lx
Minimum illuminance	Emin	: 2.3 lx
Maximum illuminance	Emax	: 12.2 lx
Uniformity Uo	Emin/Eav	: 1 : 2.51 (0.40)
Diversity Ud	Emin/Emax	: 1 : 5.31 (0.19)

Σχήμα 66 – Τελικά αποτελέσματα της προσομοίωσης

Παρατηρούμε λοιπόν, πως τα αποτελέσματα καλύπτουν τις προδιαγραφές που ορίζονται από την κλάση φωτισμού S4:

	Προδιαγραφές Προτύπου	Αποτελέσματα Προσομοίωσης
E_{min}	1lx	2,3lx
\bar{E}_{min}	5lx	5,8lx

3.2.1.4 Αντικατάσταση των φωτιστικών με λαμπτήρες μεταλλικών αλογονιδίων

Οι μελέτες για τους προβολείς έγιναν χωρίς συγκεκριμένες προδιαγραφές. Στόχος ήταν να βρεθεί φωτιστικό το οποίο να έχει την ίδια απόδοση με τα υπάρχοντα φωτιστικά.

Συγκεκριμένα έγινε μελέτη στα Παλιά Κτίρια Ηλεκτρολόγων και στην πύλη Ζωγράφου, που θεωρήθηκαν αντιπροσωπευτικές περιπτώσεις χρήσης προβολέων στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου.



Σχήμα 67 - Πύλη Ζωγράφου αριστερά και Παλιά Κτίρια Ηλεκτρολόγων δεξιά

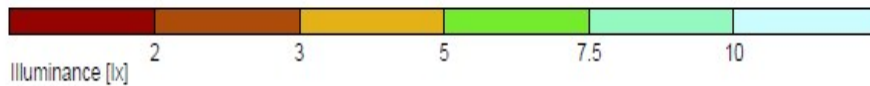
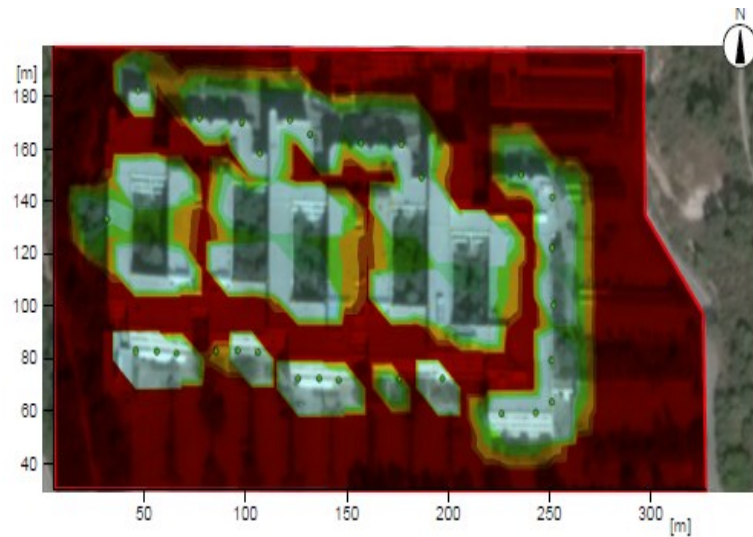
Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις προσομοιώσεις, πριν και μετά την αντικατάσταση των φωτιστικών, παρουσιάζονται στη σελίδα 71 και στη σελίδα 72.

Για τους 287 προβολείς με λαμπτήρες μεταλλικών αλογονιδίων, επιλέχθηκε έπειτα από αναζήτηση, το φωτιστικό NEOS 2 της εταιρείας Schreder (Σχήμα 36), αποτελούμενο από 48 LED, με ρεύμα οδήγησης 500mA και κατανάλωση 75W. Επίσης, επιλέχθηκε ο φακός 5120 (Σχήμα 37), για να πετύχουμε την απαιτούμενη ομοιομορφία φωτισμού.

Η απόδοση του φωτιστικού είναι στα 106,26 lm/W, η θερμοκρασία χρώματος είναι 4.000°K, προσφέροντας ουδέτερο χρώμα φωτισμού, ενώ η απόδοση χρώματος είναι μεγαλύτερη από 70%, αποδίδοντας αρκετά καλά τα χρώματα του περιβάλλοντος, βοηθώντας και στην αναγνώριση προσώπων.

Οι προσομοιώσεις επιβεβαιώνουν την καταλληλότητα των επιλεγμένων φωτιστικών, αφού πετυχαίνουμε το ίδιο ή και καλύτερο αποτέλεσμα φωτισμού με την αντικατάσταση των συμβατικών προβολέων με προβολείς LED:

	Πριν	Μετά
Παλιά Κτίρια ΗΜΜΥ	5,46lx	5,88lx
Πύλη Ζωγράφου	16,9lx	18,1lx



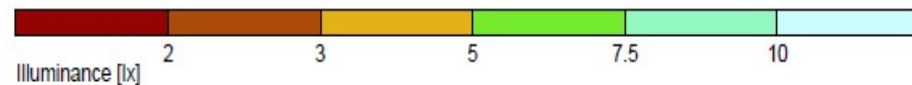
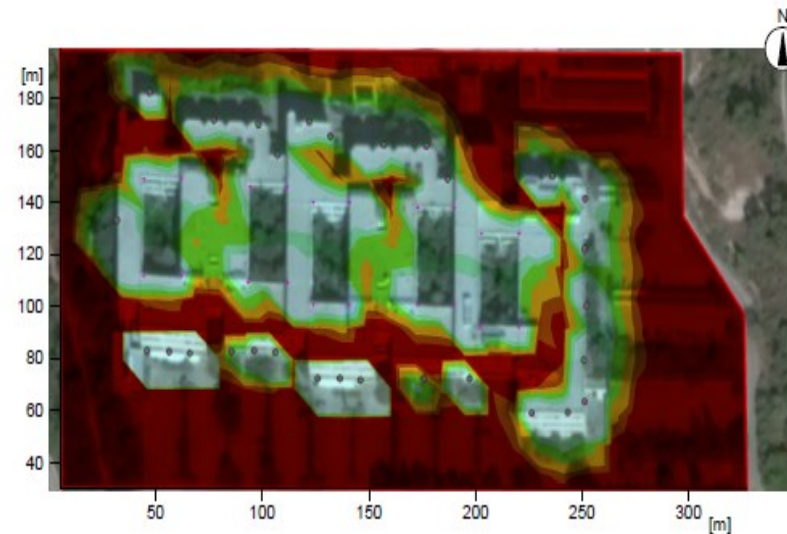
General

Calculation algorithm used	Average indirect fraction
Maintenance factor	0.80
Total luminous flux of all lamps	475000 lm
Total power	20000.0 W
Total power per area (51436.13 m ²)	0.39 W/m ² (7.12 W/m ² /100lx)

Evaluation area 1 Reference plane 1.1

	Horizontal
E _m	5.46 lx
E _{min}	0 lx
E _{min} /E _{av} (U ₀)	---
E _{min} /E _{max} (U _d)	---
Position	0.00 m

Σχήμα 68 – Φωτισμός Παλιών Κτιρίων Ηλεκτρολόγων με λαμπτήρες μεταλλικών αλογονιδίων



General

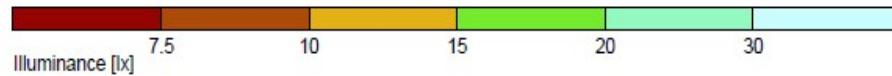
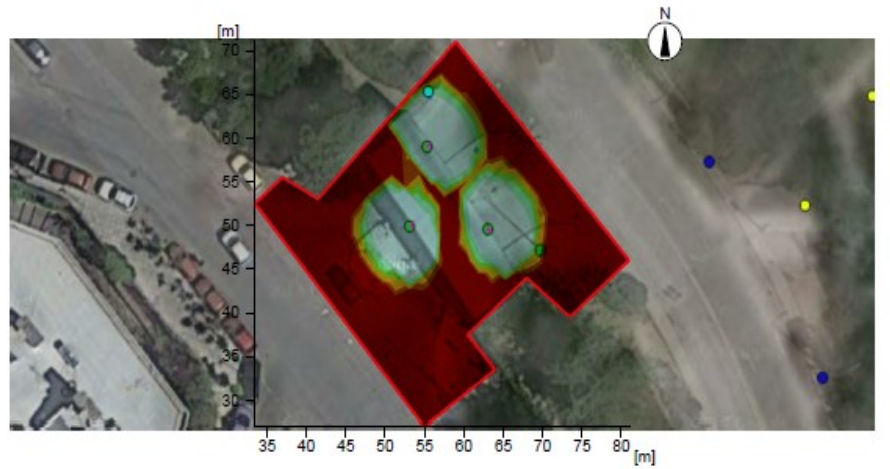
Calculation algorithm used	Average indirect fraction
Maintenance factor	0.80
Total luminous flux of all lamps	390487.188 lm
Total power	3675.0 W
Total power per area (51436.13 m ²)	0.07 W/m ² (1.22 W/m ² /100lx)

Evaluation area 1 Reference plane 1.1

	Horizontal
E _m	5.88 lx
E _{min}	0.01 lx
E _{min} /E _{av} (U ₀)	0.00
E _{min} /E _{max} (U _d)	0.00
Position	0.00 m

Σχήμα 69 - Φωτισμός Παλιών Κτιρίων Ηλεκτρολόγων με λαμπτήρες LED

2.2.1 Result overview, Evaluation area 1



General

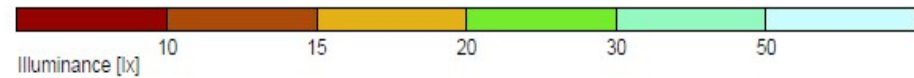
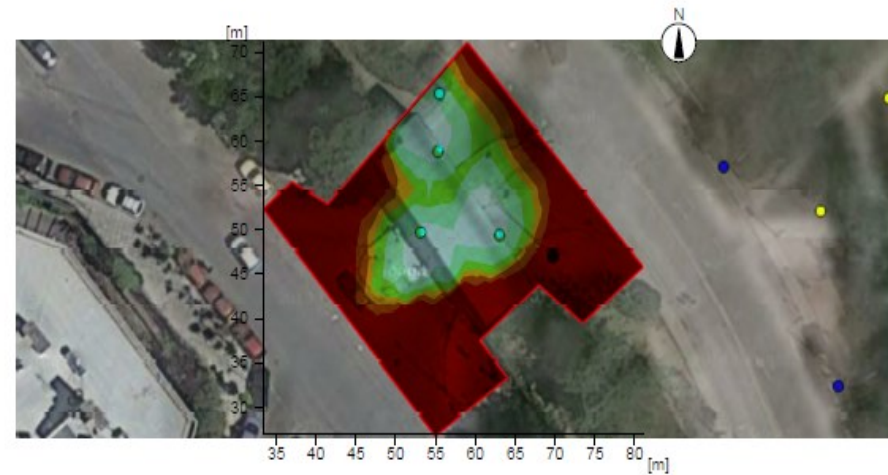
Calculation algorithm used	Average indirect fraction
photometric centre height.	5.50 m
Maintenance factor	0.80
Total luminous flux of all lamps	28500 lm
Total power	1200.0 W
Total power per area (946.63 m ²)	1.27 W/m ² (7.52 W/m ² /100lx)

Evaluation area 1 Reference plane 1.1

	Horizontal
Em	16.9 lx
Emin	0 lx
Emin/Eav (Uo)	0.00
Emin/Emax (Ud)	0.00
Position	0.00 m

Σχήμα 70 – Φωτισμός Πύλης Ζωγράφου με λαμπτήρες μεταλλικών αλογονιδίων

2.2.1 Result overview, Evaluation area 1



General

Calculation algorithm used	Average indirect fraction
photometric centre height.	5.52 m
Maintenance factor	0.80
Total luminous flux of all lamps	23907.4004 lm
Total power	225.0 W
Total power per area (946.63 m ²)	0.24 W/m ² (1.31 W/m ² /100lx)

Evaluation area 1 Reference plane 1.1

	Horizontal
Em	18.1 lx
Emin	0.1 lx
Emin/Eav (Uo)	0.00
Emin/Emax (Ud)	0.00
Position	0.00 m

Σχήμα 71 - Φωτισμός Πύλης Ζωγράφου με λαμπτήρες LED

3.2.1.5 Αποτελέσματα της αντικατάστασης των παλιών φωτιστικών με νέα φωτιστικά LED

Στον „Πίνακας 25“ παρουσιάζονται το πλήθος των νέων φωτιστικών που τοποθετήθηκαν, η αντίστοιχη κατανάλωσή τους και το αντίστοιχο ετήσιο κόστος λειτουργίας τους. Ο υπολογισμός της ετήσιας κατανάλωσης έγινε για 4.374 ώρες/έτος, ενώ ο υπολογισμός του ετήσιου κόστους λειτουργίας έγινε βάσει της τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας που υπολογίστηκε στο υποκεφάλαιο 3.1.1, και είναι 0,0754827€/kWh.

Πίνακας 25 – Ετήσια κατανάλωση φωτιστικών LED για 4.374 ώρες/έτος και ετήσιο κόστος λειτουργίας για τιμή ηλεκτρικής ενέργειας 0,0754827€/kWh

Είδος φωτιστικού	Κατανάλωση φωτιστικού	Πλήθος	Ετήσια κατανάλωση	Ετήσιο κόστος λειτουργίας
Voltana 1	10W	266	11.634,84kWh	878,23€
	15W	197	12.925,17kWh	975,63€
Voltana 2	20W	72	6.298,56kWh	475,43€
	39W	144	24.564,384kWh	1.854,19€
Voltana 4	75W	53	17.386,65kWh	1.312,39€
Pilzeo	26W	308	35.026,992kWh	2.643,93€
Neos 2	75W	322	105.632,1kWh	7.973,39€
Συνολικά:		1.362	213.468,696kWh	16.113,19€

Σε αντίθεση με τα συμβατά φωτιστικά, τα νέα φωτιστικά LED δεν απαιτούν αντικατάσταση λαμπτήρα και συνεπώς το κόστος συντήρησής τους είναι σχεδόν μηδενικό. Αυτό συμβαίνει διότι η διάρκεια ζωής των φωτιστικών LED αγγίζουν τις 100.000 ώρες λειτουργίας, δηλαδή 22,88 έτη (υπολογίζοντας 4.374 ώρες/έτος για τα φωτιστικά της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου). Όμως, με την πάροδο του χρόνου μειώνεται σημαντικά η φωτεινή ροή των φωτιστικών LED, και μετά από κάποιο σημείο δεν είναι σε θέση να καλύψουν τις απαιτήσεις και τις προδιαγραφές που έχουν τεθεί για τον χώρο της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου.

Το πρόβλημα αυτό συνυπολογίστηκε στις μελέτες φωτισμού που έγιναν στα προηγούμενα υποκεφάλαια, δηλαδή οι προσομοιώσεις στο πρόγραμμα RELUX έγιναν με πρόβλεψη της μειούμενης φωτεινής ροής των φωτιστικών LED. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκε συντελεστής συντήρησης 0,8, δηλαδή πρόβλεψη μέχρι η φωτεινή ροή των φωτιστικών να μειωθεί στο 80% της πλήρους απόδοσής τους. Αυτό συμβαίνει στα φωτιστικά που επιλέχθηκαν μετά από 50.000 ώρες λειτουργίας (ή 11,43 έτη³).

Συνεπώς για 50.000 ώρες δεν τίθεται ζήτημα αντικατάστασης λαμπτήρων στα φωτιστικά LED. Αυτό που απασχολεί όμως τη συντήρηση των LED είναι η πιθανότητα σφάλματος των driver των φωτιστικών. Η κανονική διάρκεια ζωής τους ανέρχεται επίσης στις 100.000 ώρες λειτουργίας, όμως σύμφωνα με στατιστικά στοιχεία των φωτιστικών LED που επιλέχθηκαν, δίνεται ο παράγοντας MTBF των driver ίσος με 1.213.000 ώρες.

³ Τα 11,43 έτη αποτελούν τη διάρκεια ζωής της επένδυσης που προκύπτει για την αντικατάσταση των φωτιστικών της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου

Ο παράγοντας αυτός εκπροσωπεί το χρόνο που μεσολαβεί μεταξύ δυο διαδοχικών σφαλμάτων. Σύμφωνα με τα παραπάνω μπορούμε να υπολογίσουμε την πιθανότητα σφάλματος ενός driver σε διάστημα 50.000 ωρών, από την εξής σχέση:

$$P(50.000h) = 1 - e^{-50.000/1.213.000} = 4,04\%$$

Συνεπώς, σε διάστημα 50.000 ωρών, θα προκύψει σφάλμα σε 55 driver των 1.362 νέων φωτιστικών του ΕΜΠ. Το κόστος αντικατάστασης ενός driver ανέρχεται στα 100€ και συνεπώς το κόστος συντήρησης των LED, για διάστημα 50.000 ωρών, και για 1.362 φωτιστικά, ανέρχεται σε 5.500€, όπως επισημαίνεται στον „Πίνακας 26“.

Πίνακας 26 – Κόστος συντήρησης των φωτιστικών LED, λόγω σφαλμάτων σε driver

Πλήθος driver	Πλήθος driver που θα χρειαστούν αντικατάσταση σε 50.000 ώρες	Κόστος αντικατάστασης	Συνολικό κόστος συντήρησης για 50.000 ώρες
1.362	55	100€	5.500€

Για να αντικατασταθούν 55 driver, απαιτούνται 1,1 8ωρα εργασίας, τα οποία κοστίζουν σύμφωνα με την ανάλυση κόστους συντήρησης που έγινε στο υποκεφάλαιο 3.1.2:

$$1,1 \times 475\text{€} = 522,5\text{€}$$

Συνεπώς μπορούμε να υπολογίσουμε και το ετήσιο κόστος συντήρησης των φωτιστικών LED, δηλαδή με αναγωγή σε 4.374ώρες/έτος, ως εξής:

$$(5.500\text{€} + 522,5\text{€}) \times (4.374\text{h}/50.000\text{h}) = 526,85\text{€/έτος}$$

Οπότε τα νέα φωτιστικά LED στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου, θα έχουν ετήσιο κόστος, αποτελούμενο από κόστος λειτουργίας και κόστος συντήρησης, που ανέρχεται σε

$$16.113,19\text{€} + 526,85\text{€} = 16.640,04\text{€}.$$

Συνεπώς, η αντικατάσταση των συμβατών φωτιστικών με νέα φωτιστικά LED επιφέρει εξοικονόμηση ενέργειας της τάξης του 76,83% και εξοικονόμηση πόρων της τάξης του 79,25%, όπως υπολογίζεται στον „Πίνακας 27“.

Πίνακας 27 - Κατανάλωση ενέργειας και κόστος λειτουργίας πριν και μετά την αντικατάσταση των φωτιστικών στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου, σε ετήσια βάση

	Ετήσια Κατανάλωση Ενέργειας	Ετήσιο Κόστος λειτουργίας
Συμβατικά φωτιστικά	921.356,86kWh	80.203,14€
Φωτιστικά LED	213.468,69kWh	16.640,04€
Εξοικονόμηση	707.888,17kWh	63.563,1€
Εξοικονόμηση %	76,83%	79,25%

Στη συνέχεια θα υπολογίσουμε το κόστος της επένδυσης που απαιτείται για την αντικατάσταση των φωτιστικών στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου. Στον „Πίνακας 28“ αναγράφεται το κόστος αγοράς κάθε είδους φωτιστικού LED που επιλέχθηκε για την αντικατάσταση των εγκατεστημένων συμβατικών φωτιστικών.

Πίνακας 28 – Κόστος αγοράς των φωτιστικών LED για την αντικατάσταση των συμβατικών φωτιστικών

Είδος φωτιστικού	Πλήθος	Τιμή φωτιστικού	Συνολικά
Voltana 1	463	264€	122.232€
Voltana 2	216	334€	72.144€
Voltana 4	53	436€	23.108€
Pilzeo	308	587€	180.796€
Neos 2	322	568€	182.896€
Συνολικά:	1362		581.176€

Συνεπώς το συνολικό κόστος επένδυσης για την 1^η δράση για εξοικονόμηση ενέργειας και πόρων, ανέρχεται σε 581.176€.

3.2.2 2^η δράση: Επιπρόσθετη χρήση συστήματος ρύθμισης της φωτεινής ροής (dimming)

Συστήματα ρύθμισης της φωτεινής ροής, αποτελούν συστήματα τα οποία με την ενεργοποίηση κάποιου αυτοματισμού, π.χ. ενός χρονοδιακόπτη, αισθητήρα, ή ενός απλού διακόπτη, χαμηλώνει η τάση τροφοδοσίας των φωτιστικών και ως εκ τούτου και η φωτεινή ροή τους.

Τα νέα φωτιστικά LED που έχουν επιλεγεί για την αντικατάσταση των φωτιστικών του ΕΜΠ, Voltana, Pilzeo και Neos, διαθέτουν ενσωματωμένο σύστημα ρύθμισης της στάθμης φωτισμού.

Συγκεκριμένα, υπάρχει δυνατότητα ρύθμισης 5 διαφορετικών σταθμών φωτισμού κατά την εγκατάσταση των φωτιστικών, σε συνάρτηση με τις ώρες λειτουργίας τους.

Αυτή η ρύθμιση dimming μπορεί να χρησιμοποιηθεί στα φωτιστικά που φωτίζουν δρόμους και πλατείες, διότι κατά τις πολύ βραδινές ώρες 01:00-06:00, η κυκλοφορία στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου είναι ιδιαίτερα χαμηλή, και συνεπώς η κλάση φωτισμού είναι πλέον S5, με χαμηλότερες απαιτήσεις φωτισμού από την S4.

Αντιθέτως, η ρύθμιση dimming δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί στους προβολείς τις κορυφές κτιρίων, διότι η φωτεινή ροή τους απαιτείται να παραμένει στο 100% για λόγους ασφαλείας.

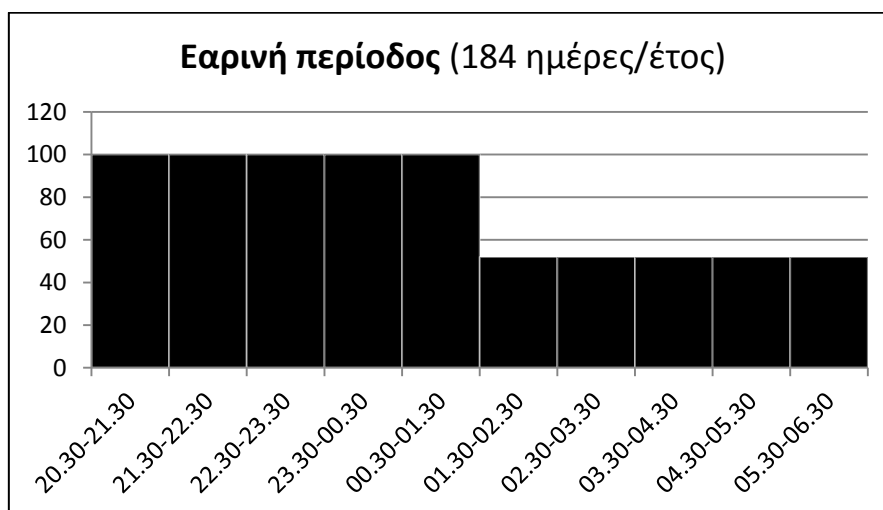
Η νέα κλάση φωτισμού S5 ορίζει ελάχιστη ένταση φωτισμού $E_{min} = 3lx$ και ελάχιστη μέση ένταση φωτισμού $\bar{E}_{min} = 0,6lx$.

Σύμφωνα με νέες μελέτες στα φωτιστικά LED, με το πρόγραμμα προσομοίωσης RELUX, υπολογίστηκαν οι απαιτούμενες στάθμες φωτισμού ανά φωτιστικό, ώστε να καλύπτονται οι παραπάνω προδιαγραφές. Τα αποτελέσματα αναγράφονται στον „Πίνακα 29“.

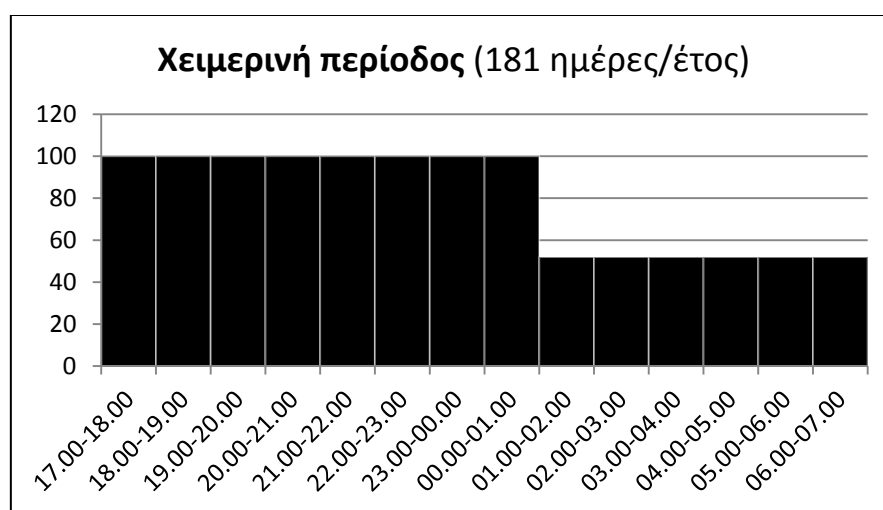
Πίνακας 29 – Απαιτούμενες στάθμες φωτισμού των φωτιστικών για την κάλυψη των νέων προδιαγραφών

Φωτιστικό	Απαιτούμενη στάθμη φωτισμού
Voltana 1	55%
Voltana 2	55%
Voltana 4	55%
Pilzeo	50%

Σύμφωνα με τα παραπάνω, προκύπτουν οι ημερήσιες καμπύλες διάρκειας φορτίου των φωτιστικών LED για τις δυο εποχιακές περιόδους, εαρινή και χειμερινή, όπως παρουσιάζονται στα σχήματα „Σχήμα 72“ και „Σχήμα 73“.



Σχήμα 72 – Στάθμες φωτισμού των φωτιστικών ανά ώρα, κατά την εαρινή περίοδο



Σχήμα 73 - Στάθμες φωτισμού των φωτιστικών ανά ώρα, κατά την εαρινή περίοδο

Η κατανάλωση των φωτιστικών για τις επιλεγμένες στάθμες φωτισμού δίνεται από τον κατασκευαστή και παρουσιάζεται μαζί με την τελική ετήσια κατανάλωση στον

„Πίνακας 30“. Πρέπει να σημειώσουμε πως η μείωση της φωτεινής ροής στις επιθυμητές στάθμες, δεν επιφέρει απαραίτητα ανάλογη μείωση στην κατανάλωση των φωτιστικών.

Πίνακας 30 – Κατανάλωση των φωτιστικών για επιλεγμένες στάθμες φωτισμού και αντίστοιχη ετήσια κατανάλωσή τους

Είδος φωτιστικού	Πλήθος	Στάθμη φωτισμού	Κατανάλωση φωτιστικού	Ώρες λειτουργίας ανά έτος	Τελική Κατανάλωση
Voltana 1	266	100%	10W	2.368	6.298,88 kWh
		55%	6W	2.006	3.201,576 kWh
Voltana 1	209	100%	15W	2.368	7.423,68 kWh
		55%	9W	2.006	3.773,286 kWh
Voltana 2	72	100%	20W	2.368	3.409,92 kWh
		55%	12W	2.006	1.733,184 kWh
Voltana 2	144	100%	39W	2.368	13.298,688 kWh
		55%	20W	2.006	5.777,28 kWh
Voltana 4	53	100%	75W	2.368	9.412,8 kWh
		55%	37W	2.006	3.933,766 kWh
Pilzeo	308	100%	26W	2.368	18.962,944 kWh
		50%	14W	2.006	8.649,872 kWh
Neos 2	322	100%	75W	4.374	105.632,1 kWh
Συνολικά:					191.507,98 kWh

Το αντίστοιχο κόστος λειτουργίας των φωτιστικών LED για τιμή ηλεκτρικής ενέργειας 0,0754827€/kWh, είναι 14.455,54€/έτος, οπότε μαζί με το κόστος συντήρησης που παραμένει ίδιο και ίσο με 526,85€/έτος, το νέο ετήσιο κόστος λειτουργίας των φωτιστικών LED ανέρχεται σε 14.982,39€.

Συνεπώς, η επιπρόσθετη χρήση του συστήματος dimming αυξάνει την εξοικονόμηση ενέργειας στο 79,21% και την εξοικονόμηση πόρων στο 81,23%, όπως υπολογίζεται στον „Πίνακας 31“.

Πίνακας 31 - Κατανάλωση ενέργειας και κόστος λειτουργίας μετά την επιπρόσθετη χρήση του συστήματος dimming σε ετήσια βάση

	Ετήσια Κατανάλωση Ενέργειας	Ετήσιο Κόστος λειτουργίας
Συμβατικά φωτιστικά	921.356,86kWh	80.203,14€
Φωτιστικά LED + σύστημα dimming	191.507,98 kWh	14.982,39€
Εξοικονόμηση	729.848,88kWh	65.220,75€
Εξοικονόμηση %	79,21%	81,32%

Το κόστος επένδυσης παραμένει ίδιο, αφού το απλό σύστημα ρύθμισης της φωτεινής ροής είναι ενσωματωμένο στα φωτιστικά LED που έχουν επιλεγεί.

Εκτός από το ενσωματωμένο σύστημα ρύθμισης, υπάρχει και η δυνατότητα εγκατάστασης και χρήσης κεντρικού συστήματος διαχείρισης των φωτιστικών.

Ένα τέτοιο σύστημα προσφέρει, εκτός από δυνατότητα ρύθμισης της φωτεινής ροής (dimming), και τη δυνατότητα:

- ρύθμισης ειδικής λειτουργίας σε συγκεκριμένες περιόδους (εορταστικός φωτισμός)
- αποστολής ειδοποιήσεων, αν προκύψει κάποιο πρόβλημα (π.χ. μη τροφοδοσία περισσότερων φωτιστικών)

ενώ προσφέρει επίσης πλήρη εποπτεία της λειτουργίας των φωτιστικών, και συγκεκριμένα:

- της ομαλής λειτουργίας
- των ωρών λειτουργίας τους
- της ακριβής κατανάλωσής τους
- των ηλεκτρικών παραμέτρων τους (τάσης και ρεύματος λειτουργίας, συντελεστή ισχύος)

Ένα σύστημα διαχείρισης και ελέγχου φωτιστικών, που χρησιμοποιείται συχνά σε συνδυασμό με τα συγκεκριμένα φωτιστικά που επιλέχθηκαν, είναι το σύστημα Owllet, της εταιρείας Owllet GmbH[14].

Το συγκεκριμένο σύστημα ελέγχου μπορεί να ελέγχει μέχρι και 150 φωτιστικά, με ασύρματη σύνδεση, και έχει κόστος αγοράς 2.000€ για την κεντρική μονάδα ελέγχου και 150€ για κάθε τοπικό ελεγκτή σε κάθε φωτιστικό.

Για τα 1.362 νέα φωτιστικά LED, το απαιτούμενο πλήθος των ελεγκτών και το αντίστοιχο κόστος αγοράς υπολογίζονται στον „Πίνακας 32“.

Πίνακας 32 – Κόστος αγοράς κεντρικού συστήματος διαχείρισης φωτιστικών

Είδος ελεγκτή	Κόστος αγοράς	Πλήθος	Συνολικό κόστος αγοράς
Κεντρικός	2.000€	10	20.000€
Τοπικός	150€	1362	204.300€
Συνολικά:			224.300€

Το συνολικό κόστος αγοράς για την εγκατάσταση ενός κεντρικού συστήματος διαχείρισης των φωτιστικών ανέρχεται σε 224.300€.

Η επιλογή ενός τέτοιου κεντρικού συστήματος διαχείρισης δεν προτείνεται σε αυτό το σημείο, αφού δεν επιφέρει κανένα επιπλέον ενεργειακό ή οικονομικό όφελος έναντι του απλού συστήματος ρύθμισης της φωτεινής ροής, που είναι ήδη ενσωματωμένο στα φωτιστικά LED που επιλέχθηκαν.

3.2.3 3^η δράση: Επιπρόσθετη χρήση αισθητήρων κίνησης σε συνδυασμό με χρονοδιακόπτη

Μια επιπλέον μέθοδος για την επίτευξη εξοικονόμησης ενέργειας στο φωτισμό, είναι η χρήση αισθητήρων κίνησης στα φωτιστικά, έτσι ώστε να μην φωτίζουν, και συνεπώς να μην καταναλώνουν ενέργεια, όταν δεν είναι απαραίτητο.

Αυτό επιτυγχάνεται είτε με μείωση της φωτεινής ροής σε χαμηλότερη στάθμη, είτε με την πλήρη απενεργοποίηση ομάδων φωτιστικών, όταν δεν υπάρχει κίνηση πεζών ή μηχανοκίνητων στο χώρο της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου.

Όμως, την πρώτη επιλογή της μείωσης της φωτεινής ροής σε χαμηλότερη στάθμη, την εξετάσαμε ήδη στην προηγούμενη δράση για εξοικονόμηση ενέργειας και μπορεί να λειτουργήσει ανεξάρτητα από τη χρήση αισθητήρων.

Η δεύτερη επιλογή, η χρήση αισθητήρων κίνησης με αποτέλεσμα την απενεργοποίηση ομάδων φωτιστικών είναι αποτελεσματική όταν εφαρμοστεί σε συγκεκριμένα φωτιστικά, κυρίως αυτών του ποδηλατόδρομου, αλλά και κάποιων ακόμα που φωτίζουν κομμάτια δρόμου που η επίσκεψή τους γίνεται μόνο από πεζούς και είναι ιδιαίτερα σπάνια στο διάστημα 01:00-07:00 π.μ.

Τα φωτιστικά αυτά ανήκουν στην κατηγορία φωτιστικών με συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού, και επισημαίνονται με κόκκινο χρώμα στο Σχήμα 74.



Σχήμα 74 – Φωτιστικά που ελέγχονται από αισθητήρες κίνησης

Οι αισθητήρες κίνησης δεν ενδείκνυται να χρησιμοποιηθούν στα υπόλοιπα φωτιστικά στο χώρο της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου, δηλαδή στα φωτιστικά δρόμου και στους προβολείς στα κτίρια, για λόγους ασφαλείας, αλλά και διότι υπάρχουν αμέτρητοι εισοδοί στους εν λόγω δρόμους, με αποτέλεσμα να μην υπάρχει τρόπος τοποθέτησης των αισθητήρων για αξιόπιστη κάλυψη όλων των ενδεχομένων εισόδων ενός πεζού ή μηχανοκίνητου.

Οι αισθητήρες κίνησης, προτείνεται να τοποθετηθούν σε 42 συγκεκριμένα φωτιστικά που αποτελούν πιθανά σημεία εισόδου στο δίκτυο φωτιστικών, που θα τίθενται εκτός λειτουργίας, όταν δεν θα ανιχνεύεται κάποια κίνηση πεζών, μετά τις 01:00 π.μ. Τα φωτιστικά αυτά που θα φέρουν αισθητήρες κίνησης, επισημαίνονται στο Σχήμα 75 με γαλάζιο χρώμα.



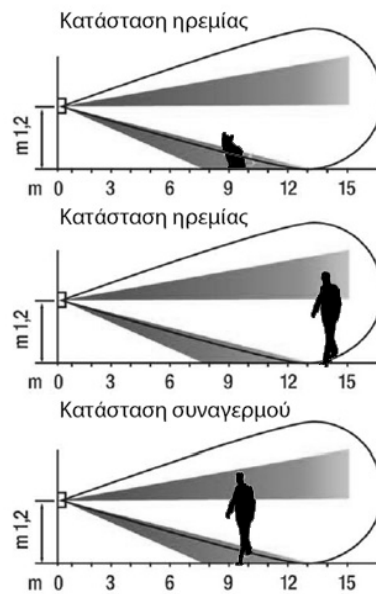
Σχήμα 75 – Φωτιστικά στα οποία θα τοποθετηθούν αισθητήρες

Προτείνεται να χρησιμοποιηθεί ένας αισθητήρας ανίχνευσης κίνησης εξωτερικού χώρου, ικανός να ανιχνεύσει αποκλειστικά ανθρώπινη κίνηση, και όχι κίνηση ζώων ή φυλλωμάτων. Για το λόγο αυτό θα πρέπει ο αισθητήρας να λειτουργεί με ανίχνευση μέσω υπέρυθρης ακτινοβολίας για την αποφυγή ανίχνευσης κίνησης φυλλωμάτων, κλαδιών ή έντονης βροχής, ενώ προτείνεται η τοποθέτησή του σε κατάλληλο ύψος, ώστε να αποφεύγεται η ανίχνευση κίνησης από ζώα.

Ένας αισθητήρας που καλύπτει τις παραπάνω απαιτήσεις, π.χ. ο αισθητήρας Bobby της εταιρείας Lince[15], έχει κόστος αγοράς περίπου 90€.

Ο συγκεκριμένος αισθητήρας λειτουργεί με δυο διαφορετικά συστήματα ανίχνευσης, ένα με υπέρυθρες και ένα με υπέρηχο, με τα οποία εξασφαλίζει την ενεργοποίησή του μόνο

από ανθρώπους και μόνο αν υπάρχει πρόθεση χρήσης των φωτιστικών που ελέγχει, όπως φαίνεται στο Σχήμα 76.



Σχήμα 76 – Αρχή λειτουργίας του αισθητήρα κίνησης Bobby[15]

Η συνολικές ετήσιες ώρες λειτουργίας των αισθητήρων κίνησης υπολογίζονται στον „Πίνακας 33“. Τα φωτιστικά, τα οποία θα ελέγχονται από τους αισθητήρες, αναγράφονται στον

Πίνακας 34“, μαζί με την αντίστοιχη ισχύ τους και τη μέγιστη εξοικονόμηση ενέργειας που μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση των αισθητήρων κίνησης.

Πίνακας 33 – Ώρες λειτουργίας των αισθητήρων κίνησης

Περίοδος	Ημέρες	Ώρες λειτουργίας	Πλήθος ωρών
Εαρινή	184	01:00 – 06:30	5,5
Χειμερινή	181	01:00 - 07:00	6
Συνολικά:			2.098 ώρες/έτος

Πίνακας 34 – Μέγιστη εξοικονόμηση ενέργειας που μπορεί να επιτευχθεί με χρήση αισθητήρων κίνησης

Είδος φωτιστικού	Ισχύς	Πλήθος	Μέγιστο πλήθος ωρών απενεργοποίησης	Μέγιστη εξοικονόμηση
Voltana 1	10W	227	2098h/έτος	4.762,46kWh
Voltana 1	15W	31		975,57kWh
Pilzeo	26W	44		2.400,112kWh
Συνολικά:				8.138,142kWh

Η νέα κατανάλωση ενέργειας των φωτιστικών στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου, μετά από αντικατάσταση των φωτιστικών με LED, την επιπρόσθετη χρήση συστήματος ρύθμισης της φωτεινής ροής, αλλά και την επιπρόσθετη χρήση αισθητήρων κίνησης, ανέρχεται πλέον σε 183.369,84kWh, ενώ το αντίστοιχο ετήσιο κόστος λειτουργίας σε 13.361,89€, όπως υπολογίζονται στον „Πίνακας 35“.

Συνεπώς, η επιπρόσθετη χρήση αισθητήρων κίνησης αυξάνει την εξοικονόμηση ενέργειας στο 80,09% και την εξοικονόμηση πόρων στο 82,74%, όπως επίσης υπολογίζεται στον „Πίνακας 35“.

Πίνακας 35 – Εξοικονόμηση ενέργειας και πόρων λόγω επιπρόσθετης χρήσης αισθητήρων κίνησης

	Ετήσια Κατανάλωση Ενέργειας	Ετήσιο Κόστος λειτουργίας
Συμβατικά φωτιστικά	921.356,86kWh	80.203,14€
Φωτιστικά LED + σύστημα dimming + αισθητήρες κίνησης	191.507,98kWh -8.138,14kWh = 183.369,84kWh	13.841,25€
Εξοικονόμηση	737.987,02kWh	66.361,89€
Εξοικονόμηση %	80,09%	82,74%

Το συνολικό κόστος επένδυσης αυξάνεται πλέον, αφού προστίθεται η αγορά των αισθητήρων κίνησης και ανέρχεται πλέον σε 584.956€, όπως υπολογίζεται στον „Πίνακας 36“.

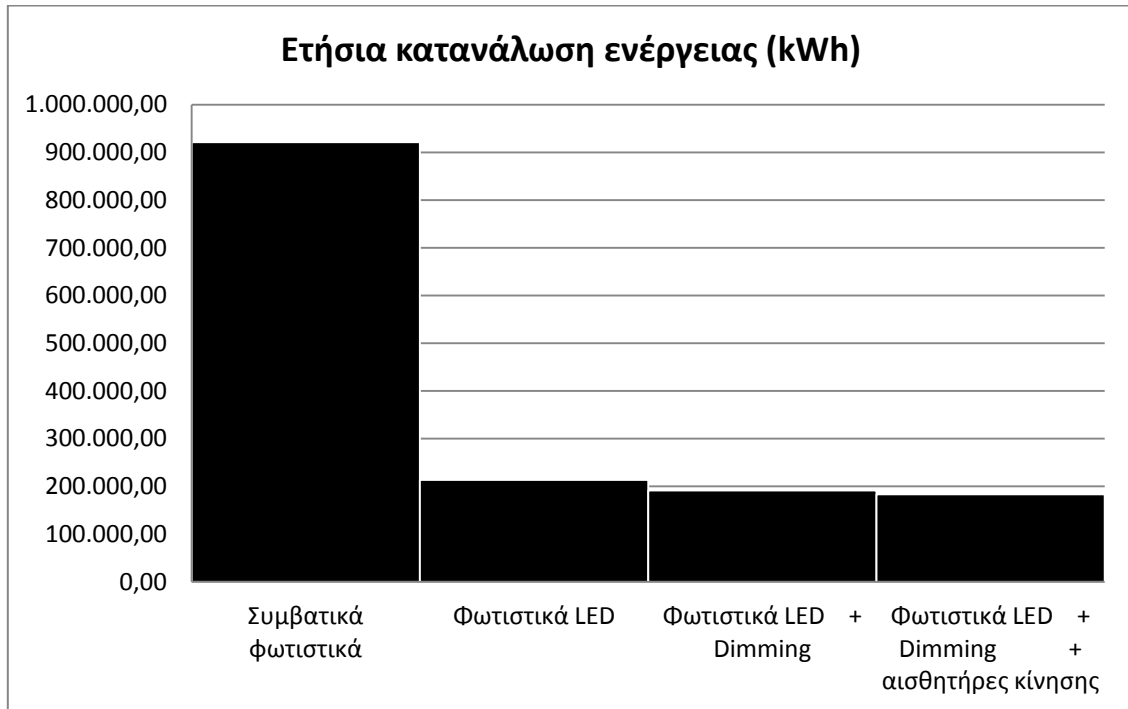
Πίνακας 36 – Νέο κόστος επένδυσης, λόγω αισθητήρων κίνησης

	Κόστος αγοράς	Πλήθος	Κόστος επένδυσης
Φωτιστικά		1362	581.176€
Αισθητήρες κίνησης	90€	42	3.780€
		Συνολικά:	584.956€

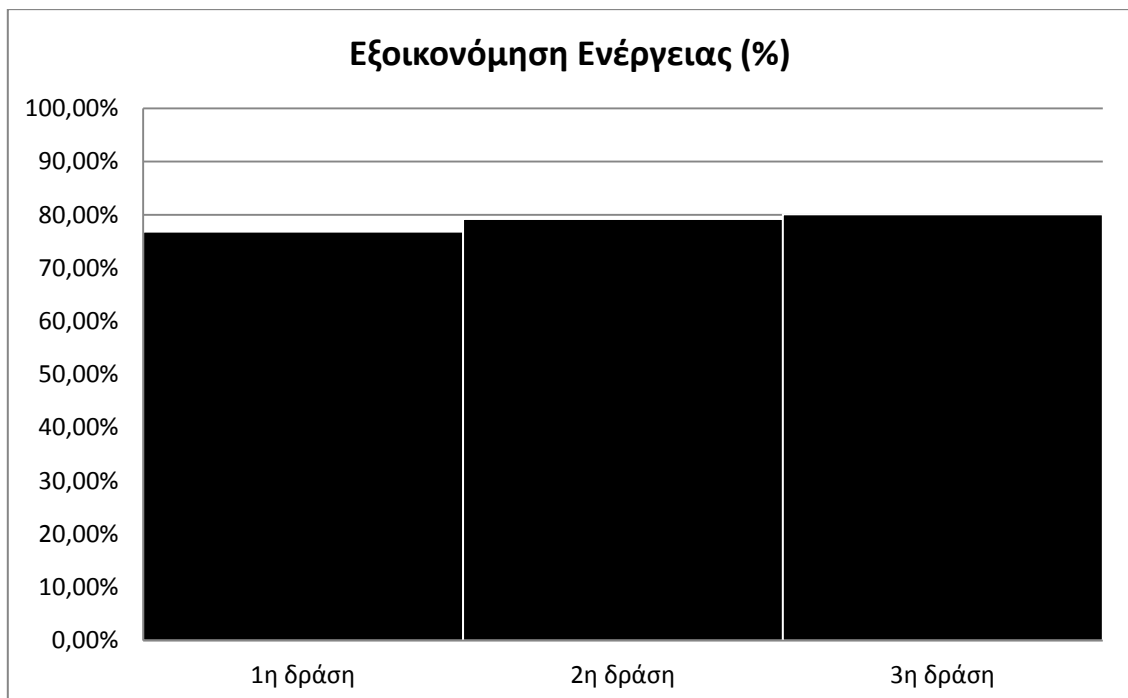
Σημειώνεται ότι το κόστος λειτουργίας των αισθητήρων θεωρείται αμελητέο.

3.3 Σύγκριση των αποτελεσμάτων των δράσεων

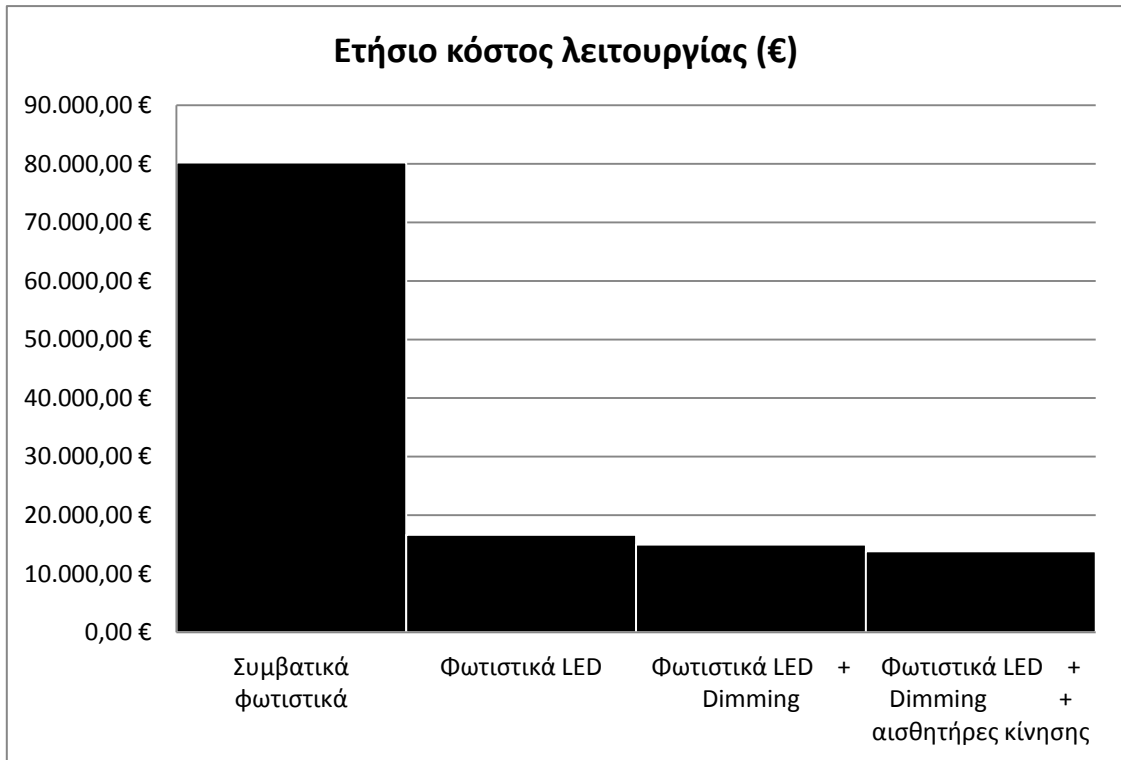
Τα αποτελέσματα των τριών δράσεων σε σχέση με την υφιστάμενη κατάσταση, παρουσιάζονται στα σχήματα „Σχήμα 77“, „Σχήμα 78“, „Σχήμα 79“, „Σχήμα 80“ και „Σχήμα 81“.



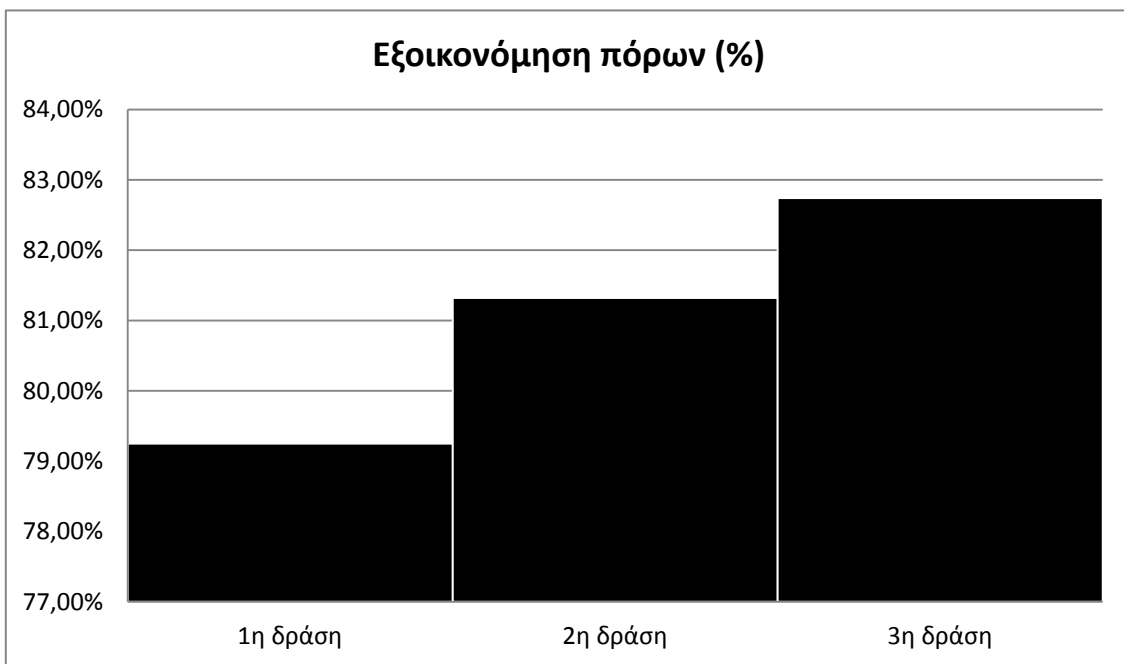
Σχήμα 77 – Σύγκριση υφιστάμενης κατάστασης και των τριών δράσεων στην ετήσια κατανάλωση ενέργειας



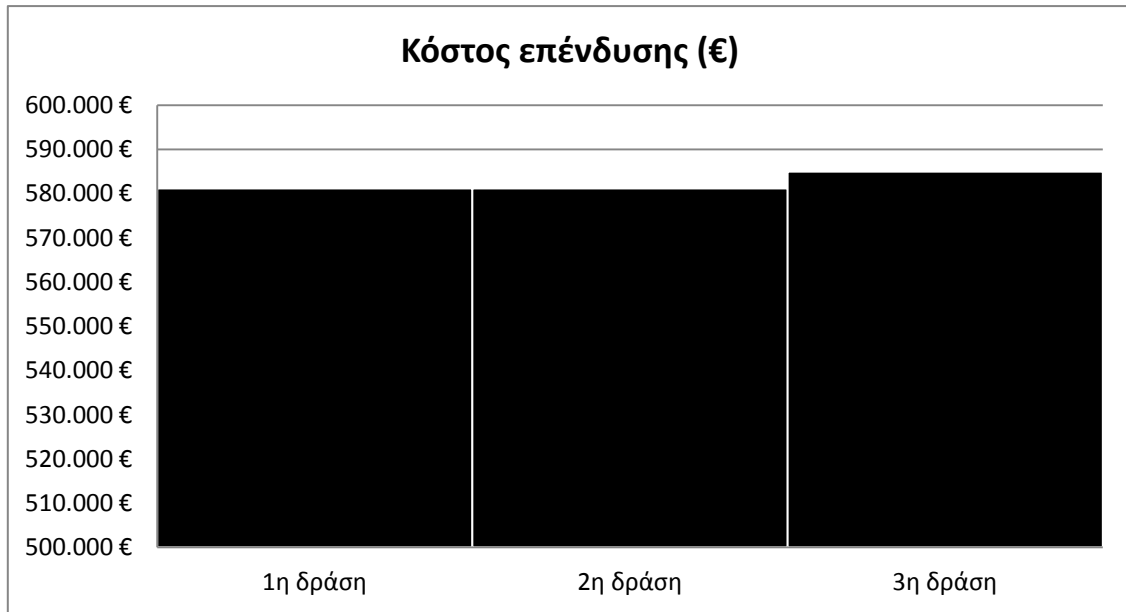
Σχήμα 78 - Σύγκριση των τριών δράσεων στην εξοικονόμηση ενέργειας



Σχήμα 79 - Σύγκριση υφιστάμενης κατάστασης και των τριών δράσεων στο ετήσιο κόστος λειτουργίας



Σχήμα 80 - Σύγκριση των τριών δράσεων στην εξοικονόμηση πόρων



Σχήμα 81 - Σύγκριση των τριών δράσεων στο κόστος επένδυσης

Και οι τρεις δράσεις, μειώνουν αναμφισβήτητα την κατανάλωση ενέργειας και το κόστος λειτουργίας σε σημαντικά χαμηλά επίπεδα.

Μεταξύ των πρώτων δυο δράσεων, η 2^η επιφέρει τη μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας και πόρων, έχοντας όμως ίδιο κόστος επένδυσης με την 1^η, αφού το σύστημα ρύθμισης της φωτεινής ροής είναι ενσωματωμένο στα φωτιστικά LED που έχουν επιλεγεί.

Συγκρίνοντας και τις τρεις δράσεις, η 3^η επιφέρει τη μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας και πόρων, το οποίο ήταν αναμενόμενο, αφού συνδυάζει της πρώτες δυο δράσεις μαζί με την επιπρόσθετη χρήση αισθητήρων κίνησης. Αυτή η δράση έχει όμως και το μεγαλύτερο κόστος επένδυσης, ελαφρώς μεγαλύτερο των άλλων δυο, λόγω της αγοράς των αισθητήρων κίνησης.

4. ΤΕΧΝΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ - ΧΡΗΜΑΤΟΔΟΤΗΣΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

4.1 Οικονομικά στοιχεία των δράσεων

Τα επενδυτικά σχέδια διακρίνονται, μεταξύ άλλων, ανάλογα με τον χαρακτήρα των ωφελειών τους[16]:

- την αύξηση εσόδων ή μείωση κόστους
- τη μείωση του κινδύνου
- την αύξηση εμμέσων ωφελειών

Η συγκεκριμένη επένδυση που μελετάται στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής, αποσκοπεί στη μείωση των λειτουργικών δαπανών του Ε.Μ.Π., μέσω της μείωσης των οφειλών προς τη Δ.Ε.Η. για την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος, αλλά αποσκοπεί και στη μείωση έμμεσων οφειλών, αυτών προς τον προμηθευτή των ανταλλακτικών των φωτιστικών για τη συντήρηση και προς τους τεχνικούς που αναλαμβάνουν την αντίστοιχη συντήρηση.

Από τον ορισμό της επένδυσης προκύπτει ότι τα κύρια χαρακτηριστικά της στοιχεία είναι[16]:

▪ Η διάρκεια ζωής της επένδυσης

Η διάρκεια ζωής κάθε σχεδίου επένδυσης⁴ που μελετήθηκε, υπολογίστηκε στο υποκεφάλαιο 3.2.1.5 και αποτελεί 11,43 έτη. Το χρονικό διάστημα αυτό, αντιστοιχεί σε συντελεστή συντήρησης 0,8 που επιλέχθηκε για τα φωτιστικά LED, και αντιστοιχεί με τη σειρά του σε 50.000 ώρες και 11,43 έτη (για 4.374 ώρες/έτος στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου).

▪ Η ροή των οικονομικών πόρων που δεσμεύονται για την κατασκευή και λειτουργία της επένδυσης

Ή αλλιώς «κεφάλαιο επένδυσης» ή «κόστος επένδυσης», το οποίο παρουσιάζεται για τα τρία σχέδια επένδυσης στον „Πίνακας 37“, όπου το σχέδιο επένδυσης 1 αντιστοιχεί στην αντικατάσταση των συμβατικών φωτιστικών με φωτιστικά LED, το σχέδιο επένδυσης 2 στην επιπρόσθετη χρήση συστήματος ρύθμισης της φωτεινής ροής και το σχέδιο επένδυσης 3 στην επιπρόσθετη χρήση αισθητήρων κίνησης.

Πίνακας 37 – Κεφάλαιο επένδυσης για τα τρία σχέδια επένδυσης προς εξοικονόμηση ενέργειας και πόρων

Σχέδιο Επένδυσης	Κεφάλαιο επένδυσης
1	581.176€
2	581.176€
3	584.956€

⁴ Στο κεφάλαιο αυτό αποκαλούνται σχέδια επένδυσης οι δράσεις που μελετήσαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο.

▪ Η ροή των ωφελειών από την παραγωγή αγαθών ή υπηρεσιών

Κοινώς, η εξοικονόμηση πόρων, που θα αποφέρει το υπό μελέτη έργο στο Ε.Μ.Π., η οποία παρουσιάζεται για κάθε σχέδιο επένδυσης στον „Πίνακας 38“.

Πίνακας 38 – Οικονομικά οφέλη κάθε σχεδίου επένδυσης

Σχέδιο Επένδυσης	Ετήσιο οικονομικό όφελος / Ετήσια εξοικονόμηση πόρων	Όφελος καθόλη τη διάρκεια ζωής του έργου
1	63.563,10€	726.526,23€
2	65.220,75€	745.473,17€
3	66.361,89€	758.516,40€

4.2 Οικονομική Ανάλυση και Αξιολόγηση των δράσεων

Εκ πρώτης όψεως θα συμπεραίναμε πως εφόσον το όφελος καθόλης της διάρκειας ζωής της επένδυσης είναι μεγαλύτερο του κεφαλαίου επένδυσης κάθε σχεδίου, αξίζει να γίνει η επένδυση, και μάλιστα θα επιλέγαμε αυτή με το μεγαλύτερο όφελος. Αυτό που δεν λαμβάνουμε όμως υπόψη είναι η διαχρονική αξία του χρήματος.

Η έννοια της διαχρονικής αξίας του χρήματος βασίζεται στο ότι ποσά που εισπράττονται ή πληρώνονται σε διαφορετικές χρονικές στιγμές δεν είναι συγκρίσιμα[17]. Αυτό συμβαίνει λόγω του ανατοκισμού, δηλαδή, ένα ποσό χρημάτων σήμερα, σε ένα χρόνο δεν θα έχει την ίδια αξία, αλλά μεγαλύτερη κατά τον τόκο που αυτό δημιουργήσει (εφόσον είχε τοκιστεί), ή λόγω προεξόφλησης, δηλαδή ένα χρηματικό ποσό που ορίζεται να πληρωθεί στο μέλλον, αν πληρωθεί τώρα, θα έχει μικρότερη αξία.

Για να υπολογίσουμε την τελική αξία (ΤΑ) ενός χρηματικού ποσού σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή, πρέπει να γνωρίζουμε:

- Το χρηματικό αυτό ποσό, δηλαδή την αξία των χρημάτων, σε κάποια χρονική στιγμή αναφοράς (Α)
- Το επιτόκιο ανατοκισμού ή επιτόκιο προεξόφλησης (k)
- Τη χρονική στιγμή που θέλουμε να υπολογίσουμε την αξία του χρηματικού ποσού (t)

Οπότε η τελική αξία δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$TA = A \times \frac{1}{(1+k)^t}$$

όπου το κλάσμα $\frac{1}{(1+k)^t}$ ονομάζεται και συντελεστής αναγωγής.

4.2.1 Εκτίμηση των Καθαρών Ταμειακών Ροών (ΚΤΡ)

Η καθαρή ταμειακή ροή κάθε έτους είναι η διαφορά μεταξύ της εξοικονόμησης κόστους (ταμειακές εισροές) και των πληρωμών για τους διάφορους συντελεστές παραγωγής και τη

διάθεση των προϊόντων καθώς επίσης για την πληρωμή του φόρου εισοδήματος που καταβάλλει η επιχείρηση (ταμειακές εκροές). Δηλαδή, η ΚΤΡ ενός σχεδίου επένδυσης για κάποιο έτος, είναι το άθροισμα του κέρδους μετά την φορολογία και των κρατήσεων για αποσβέσεις, ενώ όταν δεν υπάρχει φορολογία τότε η ΚΤΡ είναι ίση με το ακαθάριστο λειτουργικό κέρδος της παραγωγικής μονάδας[16].

Στη δική μας περίπτωση οι καθαρές ταμειακές ροές αποτελούνται από το ετήσιο οικονομικό όφελος, όπως παρουσιάστηκε και στον „Πίνακας 38“.

4.2.2 Κριτήριο αξιολόγησης της επένδυσης – Κριτήριο Καθαρής Παρούσας Αξίας (ΚΠΑ)

Η καθαρή παρούσα αξία μιας επένδυσης τη χρονική στιγμή έναρξης της εμπορικής της λειτουργίας, ορίζεται από την ακόλουθη σχέση[16]:

$$ΚΠΑ = -K_0 + \sum_{t=1}^T \frac{ΚΤΡ_t}{(1 + k)^t}$$

όπου

- K_0 : το κόστος της επένδυσης
- $ΚΤΡ_t$: οι καθαρές ταμειακές ροές του έτους t εκφρασμένες σε τιμές συγκεκριμένης περιόδου
- k : επιτόκιο αναγωγής ή επιτόκιο ανατοκισμού ή επιτόκιο προεξόφλησης ή ελάχιστη απαιτούμενη απόδοση των κεφαλαίων που επενδύονται
- T : η διάρκεια ζωής της επένδυσης

Ο δείκτης αυτός της Καθαρής Παρούσας Αξίας αξιολογεί μια επένδυση, η οποία εγκρίνεται αν ο δείκτης είναι θετικός, δηλαδή $ΚΠΑ > 0$, ή απορρίπτεται αν ο δείκτης είναι αρνητικός, δηλαδή $ΚΠΑ < 0$. Αν $ΚΠΑ = 0$, τότε υπάρχει αδιαφορία ως προς την επένδυση.

Ειδικότερα, όταν υπάρχουν περισσότερα σχέδια επένδυσης, όπως στην περίπτωση μας, επιλέγεται η επένδυση με τον μεγαλύτερο δείκτη ΚΠΑ, εφόσον τα διαφορετικά σενάρια επένδυσης αποκλείονται μεταξύ τους και έχουν την ίδια διάρκεια ζωής. Στη δική μας περίπτωση η διάρκεια ζωής είναι κοινή για τα τρία σχέδια επένδυσης και η επιλογή του ενός σχεδίου αποκλείει την επιλογή των υπολοίπων.

Το μειονέκτημα του κριτηρίου αυτού για τη δική μας μελέτη, είναι ότι υπολογίζει μόνο καθαρές ταμειακές ροές που υπολογίζονται στο τέλος ενός οικονομικού έτους, δηλαδή μπορεί να αξιολογήσει μια επένδυση για διάρκεια ζωής επένδυσης ακέρατου αριθμού ετών. Τα υπό μελέτη σχέδια επενδύσεων έχουν όμως διάρκεια ζωής 11,43 έτη, δηλαδή δεν θα υπολογιστούν οι ΚΤΡ του τελευταίου 0,43 έτους.

Για τον υπολογισμό του δείκτη ΚΠΑ για κάθε σχέδιο επένδυσης χρησιμοποιήθηκαν τα κόστη επένδυσης του „Πίνακας 37“, οι ΚΤΡ του „Πίνακας 38“, ενώ για επιτόκιο αναγωγής χρησιμοποιήθηκαν δύο τιμές k , μια χαμηλή 3% και μια μεγαλύτερη 5%. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στους πίνακες „Πίνακας 39“ και „Πίνακας 40“.

Πίνακας 39 - Δείκτες ΚΠΑ των τριών σχεδίων επένδυσης για επιτόκιο αναγωγής k=3%

k=3%		Σχέδιο 1		Σχέδιο2		Σχέδιο 3	
Έτος	Συντελεστής αναγωγής t	KTPt	KTP	KTPt	KTP	KTPt	KTP
0	1	-581.176 €	-581.176 €	-581.176 €	-581.176 €	-584.956 €	-584.956 €
1	0,970873786	63.563,10 €	61.711,75 €	65.220,75 €	63.321 €	66.361,89 €	64.429 €
2	0,942595909	63.563,10 €	59.914,32 €	65.220,75 €	61.477 €	66.361,89 €	62.552 €
3	0,915141659	63.563,10 €	58.169,24 €	65.220,75 €	59.686 €	66.361,89 €	60.731 €
4	0,888487048	63.563,10 €	56.474,99 €	65.220,75 €	57.948 €	66.361,89 €	58.962 €
5	0,862608784	63.563,10 €	54.830,09 €	65.220,75 €	56.260 €	66.361,89 €	57.244 €
6	0,837484257	63.563,10 €	53.233,10 €	65.220,75 €	54.621 €	66.361,89 €	55.577 €
7	0,813091511	63.563,10 €	51.682,62 €	65.220,75 €	53.030 €	66.361,89 €	53.958 €
8	0,789409234	63.563,10 €	50.177,30 €	65.220,75 €	51.486 €	66.361,89 €	52.387 €
9	0,766416732	63.563,10 €	48.715,82 €	65.220,75 €	49.986 €	66.361,89 €	50.861 €
10	0,744093915	63.563,10 €	47.296,92 €	65.220,75 €	48.530 €	66.361,89 €	49.379 €
11	0,722421277	63.563,10 €	45.919,34 €	65.220,75 €	47.117 €	66.361,89 €	47.941 €
		ΚΠΑ1:	6.949 €	ΚΠΑ2:	22.287 €	ΚΠΑ3:	29.066 €

Πίνακας 40 - Δείκτες ΚΠΑ των τριών σχεδίων επένδυσης για επιτόκιο αναγωγής k=5%

k=5%		Σχέδιο 1		Σχέδιο2		Σχέδιο 3	
Έτος	Συντελεστής αναγωγής t	KTPt	KTP	KTPt	KTP	KTPt	KTP
0	1	-581.176 €	-581.176 €	-581.176 €	-581.176 €	-584.956 €	-584.956 €
1	0,952380952	63.563,10 €	60.536,29 €	65.220,75 €	62.115 €	66.361,89 €	63.202 €
2	0,907029478	63.563,10 €	57.653,61 €	65.220,75 €	59.157 €	66.361,89 €	60.192 €
3	0,863837599	63.563,10 €	54.908,20 €	65.220,75 €	56.340 €	66.361,89 €	57.326 €
4	0,822702475	63.563,10 €	52.293,52 €	65.220,75 €	53.657 €	66.361,89 €	54.596 €
5	0,783526166	63.563,10 €	49.803,35 €	65.220,75 €	51.102 €	66.361,89 €	51.996 €
6	0,746215397	63.563,10 €	47.431,76 €	65.220,75 €	48.669 €	66.361,89 €	49.520 €
7	0,71068133	63.563,10 €	45.173,11 €	65.220,75 €	46.351 €	66.361,89 €	47.162 €
8	0,676839362	63.563,10 €	43.022,01 €	65.220,75 €	44.144 €	66.361,89 €	44.916 €
9	0,644608916	63.563,10 €	40.973,34 €	65.220,75 €	42.042 €	66.361,89 €	42.777 €
10	0,613913254	63.563,10 €	39.022,23 €	65.220,75 €	40.040 €	66.361,89 €	40.740 €
11	0,584679289	63.563,10 €	37.164,03 €	65.220,75 €	38.133 €	66.361,89 €	38.800 €
		ΚΠΑ1:	-53.194,56	ΚΠΑ2:	-39.425,43	ΚΠΑ3:	-33.726,65

Παρατηρούμε λοιπόν, πως για χαμηλό επιτόκιο ανατοκισμού k=3%, εγκρίνονται θεωρητικά και τα τρία σχέδια επένδυσης, ενώ πρακτικά προτείνεται το σχέδιο επένδυσης 3, δηλαδή αντικατάσταση των συμβατικών φωτιστικών με νέα φωτιστικά LED και επιπρόσθετα ρύθμιση της φωτεινής ροής, αλλά και χρήση αισθητήρων κίνησης.

Όμως για επιτόκιο ανατοκισμού k=5%, δεν εγκρίνεται κανένα σχέδιο επένδυσης. Δηλαδή αν υπάρχει δυνατότητα επένδυσης, παραδείγματος χάριν να κατατεθεί το χρηματικό ποσό του κεφαλαίου επένδυσης σε τράπεζα με επιτόκιο 5%, τότε προτείνεται αυτή η επένδυση έναντι των τριών σχεδίων που μελετάμε στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής.

4.2.3 Κριτήριο Παρούσας Αξίας Συνολικού Κόστους

Στο σημείο της αξιολόγησης της επένδυσης, καλούμαστε να αξιολογήσουμε αν θα προκριθεί κάποιο από τα προτεινόμενα σχέδια επένδυσης ή αν θα συνεχίσουμε με τα εγκατεστημένα φωτιστικά. Επειδή η επένδυση αυτή δεν επιφέρει άμεσα έσοδα, δηλαδή αύξηση εσόδων, αλλά στοχεύει στη μείωση εξόδων, είναι σκόπιμο να αξιολογήσουμε τα σχέδια επένδυσης σε αυτόν ακριβώς τον τομέα.

Θα συγκρίνουμε λοιπόν το συνολικό κόστος που επιφέρει κάθε ένα από τα σχέδια επένδυσης, αλλά και το υφιστάμενο μοντέλο, στον προϋπολογισμό του Ε.Μ.Π. Αυτό γίνεται με το Κριτήριο Παρούσας Αξίας Συνολικού Κόστους, το οποίο ορίζεται ως εξής:

$$\text{ΠΑΣΚ} = K_0 + \sum_{t=1}^T \frac{\Delta_t}{(1+k)^t}$$

όπου

- K_0 : το κόστος της επένδυσης
- Δ_t : οι λειτουργικές δαπάνες του έτους t εκφρασμένες σε τιμές συγκεκριμένης περιόδου
- k : επιτόκιο αναγωγής ή επιτόκιο ανατοκισμού ή επιτόκιο προεξόφλησης ή ελάχιστη απαιτούμενη απόδοση των κεφαλαίων που επενδύονται
- T : η διάρκεια ζωής της επένδυσης

Το σχέδιο με το χαμηλότερο συνολικό κόστος προτείνεται να υλοποιηθεί. Όμως και με αυτό το κριτήριο έχουμε το ίδιο μειονέκτημα, όπως και με το προηγούμενο, σε σχέση με τη διάρκεια ζωής των επενδύσεων που είναι εκφρασμένη σε δεκαδικό αριθμό.

Για τον υπολογισμό του δείκτη ΠΑΣΚ για κάθε σχέδιο επένδυσης χρησιμοποιήθηκαν τα κόστη επένδυσης του „Πίνακας 37“, οι Δ που υπολογίστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο και παρουσιάζονται στο „Σχήμα 79“, ενώ για επιτόκιο αναγωγής χρησιμοποιήθηκαν δύο τιμές k , μια χαμηλή 3% και μια μεγαλύτερη 5%.

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στους „Πίνακας 41“ και „Πίνακας 42“.

Παρατηρούμε λοιπόν πάλι, πως για χαμηλό επιτόκιο ανατοκισμού $k=3\%$, προτείνεται το σχέδιο επένδυσης 3, δηλαδή αντικατάσταση των συμβατικών φωτιστικών με νέα φωτιστικά LED και επιπρόσθετα ρύθμιση της φωτεινής ροής, αλλά και χρήση αισθητήρων κίνησης.

Όμως για επιτόκιο ανατοκισμού $k=5\%$, η προτιμότερη λύση είναι να παραμείνουν τα εγκατεστημένα συμβατικά φωτιστικά.

Πίνακας 41 - Δείκτες ΠΑΣΚ των τριών σχεδίων επένδυσης και της υφιστάμενης κατάστασης για επιτόκιο αναγωγής k=3%

k=3%		Υφιστάμενη Κατάσταση		Σχέδιο 1		Σχέδιο 2		Σχέδιο 3	
Έτος	Συντελεστής αναγωγής t	ΛΔt	ΛΔ	ΛΔt	ΛΔ	ΛΔt	ΛΔ	ΛΔt	ΛΔ
0	1	0 €	0 €	581.176 €	581.176 €	581.176 €	581.176 €	584.956 €	584.956 €
1	0,970873786	80.203,14 €	77.867 €	16.640,04 €	16.155,38 €	14.982,39 €	14.546 €	13.841,25 €	13.438 €
2	0,942595909	80.203,14 €	75.599 €	16.640,04 €	15.684,83 €	14.982,39 €	14.122 €	13.841,25 €	13.047 €
3	0,915141659	80.203,14 €	73.397 €	16.640,04 €	15.227,99 €	14.982,39 €	13.711 €	13.841,25 €	12.667 €
4	0,888487048	80.203,14 €	71.259 €	16.640,04 €	14.784,46 €	14.982,39 €	13.312 €	13.841,25 €	12.298 €
5	0,862608784	80.203,14 €	69.184 €	16.640,04 €	14.353,84 €	14.982,39 €	12.924 €	13.841,25 €	11.940 €
6	0,837484257	80.203,14 €	67.169 €	16.640,04 €	13.935,77 €	14.982,39 €	12.548 €	13.841,25 €	11.592 €
7	0,813091511	80.203,14 €	65.212 €	16.640,04 €	13.529,88 €	14.982,39 €	12.182 €	13.841,25 €	11.254 €
8	0,789409234	80.203,14 €	63.313 €	16.640,04 €	13.135,80 €	14.982,39 €	11.827 €	13.841,25 €	10.926 €
9	0,766416732	80.203,14 €	61.469 €	16.640,04 €	12.753,21 €	14.982,39 €	11.483 €	13.841,25 €	10.608 €
10	0,744093915	80.203,14 €	59.679 €	16.640,04 €	12.381,75 €	14.982,39 €	11.148 €	13.841,25 €	10.299 €
11	0,722421277	80.203,14 €	57.940 €	16.640,04 €	12.021,12 €	14.982,39 €	10.824 €	13.841,25 €	9.999 €
		ΠΑΣΚο:	742.090 €	ΠΑΣΚ1:	735.140 €	ΠΑΣΚ2:	719.802 €	ΠΑΣΚ3:	713.024 €

Πίνακας 42 - Δείκτες ΠΑΣΚ των τριών σχεδίων επένδυσης και της υφιστάμενης κατάστασης για επιτόκιο αναγωγής k=5%

k=5%		Υφιστάμενη Κατάσταση		Σχέδιο 1		Σχέδιο 2		Σχέδιο 3	
Έτος	Συντελεστής αναγωγής t	ΛΔt	ΛΔ	ΛΔt	ΛΔ	ΛΔt	ΛΔ	ΛΔt	ΛΔ
0	1	0 €	0 €	581.176 €	581.176 €	581.176 €	581.176 €	584.956 €	584.956 €
1	0,952380952	80.203,14 €	76.384 €	16.640,04 €	15.847,66 €	14.982,39 €	14.269 €	13.841,25 €	13.182 €
2	0,907029478	80.203,14 €	72.747 €	16.640,04 €	15.093,01 €	14.982,39 €	13.589 €	13.841,25 €	12.554 €
3	0,863837599	80.203,14 €	69.282 €	16.640,04 €	14.374,29 €	14.982,39 €	12.942 €	13.841,25 €	11.957 €
4	0,822702475	80.203,14 €	65.983 €	16.640,04 €	13.689,80 €	14.982,39 €	12.326 €	13.841,25 €	11.387 €
5	0,783526166	80.203,14 €	62.841 €	16.640,04 €	13.037,91 €	14.982,39 €	11.739 €	13.841,25 €	10.845 €
6	0,746215397	80.203,14 €	59.849 €	16.640,04 €	12.417,05 €	14.982,39 €	11.180 €	13.841,25 €	10.329 €
7	0,71068133	80.203,14 €	56.999 €	16.640,04 €	11.825,77 €	14.982,39 €	10.648 €	13.841,25 €	9.837 €
8	0,676839362	80.203,14 €	54.285 €	16.640,04 €	11.262,63 €	14.982,39 €	10.141 €	13.841,25 €	9.368 €
9	0,644608916	80.203,14 €	51.700 €	16.640,04 €	10.726,32 €	14.982,39 €	9.658 €	13.841,25 €	8.922 €
10	0,613913254	80.203,14 €	49.238 €	16.640,04 €	10.215,54 €	14.982,39 €	9.198 €	13.841,25 €	8.497 €
11	0,584679289	80.203,14 €	46.893 €	16.640,04 €	9.729,09 €	14.982,39 €	8.760 €	13.841,25 €	8.093 €
		ΠΑΣΚο:	666.201 €	ΠΑΣΚ1:	719.395 €	ΠΑΣΚ2:	705.626 €	ΠΑΣΚ3:	699.927 €

4.2.4 Κριτήριο περιόδου επανάκτησης του κεφαλαίου (payback period)

Ένας επιπλέον τρόπος αξιολόγησης μιας επένδυσης είναι ο υπολογισμός της περιόδου επανάκτησης του κεφαλαίου επένδυσης, δηλαδή ο χρόνος αποπληρωμής του κεφαλαίου ή χρόνος απόσβεσης της επένδυσης. Αν ο χρόνος απόσβεσης ενός σχεδίου επένδυσης είναι μικρότερος από τη διάρκεια ζωής της επένδυσης (11,43 έτη), τότε το σχέδιο επένδυσης εγκρίνεται.

Είναι ένα αρκετά απλό κριτήριο που υπολογίζει τον χρόνο απόσβεσης ως πηλίκο του κεφαλαίου επένδυσης προς το ύψος των Καθαρών Ταμειακών Ροών:

$$\text{Χρόνος απόσβεσης} = \frac{\text{Κεφάλαιο επένδυσης}}{\text{ΚΤΡ}}$$

Στον „Πίνακας 43“ υπολογίστηκαν οι χρόνοι απόσβεσης των τριών σχεδίων επένδυσης.

Πίνακας 43 – Χρόνος απόσβεσης των τριών σχεδίων επένδυσης

Σχέδιο επένδυσης	Κεφάλαιο επένδυσης	ΚΤΡ	Χρόνος απόσβεσης
1	581.176€	63.563,10€	9,14 έτη
2	581.176€	65.220,75€	8,91 έτη
3	584.956€	66.361,89€	8,81 έτη

Παρατηρούμε πως το τρίτο σχέδιο επένδυσης έχει το χαμηλότερο χρόνο απόσβεσης.

Όμως το κριτήριο αυτό δεν συνυπολογίζει το επιτόκιο αναγωγής, και για αυτό το λόγο δεν αποτελεί ισχυρό κριτήριο για να κριθεί μια επένδυση χωρίς άλλα κριτήρια.

4.2.5 Κριτήριο περιόδου επανάκτησης του κεφαλαίου σε συνδυασμό με την παρούσα αξία (Discounted Payback Period)

Στο υποκεφάλαιο αυτό μας ενδιαφέρει ο προσαρμοσμένος στην παρούσα αξία χρόνος επανάκτησης του κεφαλαίου[17]. Η διαφορά του προσαρμοσμένου με τον απλό χρόνο επανάκτησης του κεφαλαίου, είναι ότι υπολογίζει, βάσει του επιτοκίου αναγωγής, την παρούσα αξία των μελλοντικών καθαρών ταμειακών ροών και συνεπώς υπολογίζει έναν πιο ρεαλιστικό χρόνο απόσβεσης της επένδυσης.

Το κριτήριο αυτό δεν λαμβάνει εξ αρχής υπόψη τη διάρκεια ζωής του σχεδίου επένδυσης και για το λόγο αυτό αποτελεί για τη δική μας μελέτη το πιο αξιόπιστο κριτήριο από αυτά που έχουμε δει μέχρι στιγμής.

Στους πίνακες „Πίνακας 44“ και „Πίνακας 45“ υπολογίστηκε η παρούσα αξία των καθαρών ταμειακών ροών καθενός των τριών σχεδίων επένδυσης για διάρκεια ζωής μεγαλύτερη της πραγματικής και για δυο τιμές ανατοκισμού, οι αθροιστικές καθαρές ταμειακές ροές και ο αντίστοιχος προσαρμοσμένος χρόνος επανάκτησης κεφαλαίου (ΠΧΕΚ) βάσει του τύπου:

$$\text{ΠΧΕΚ} = (a-1) + \frac{c}{e}$$

όπου:

- a: το έτος, στο τέλος του οποίου οι αθροιστικές καθαρές ταμειακές ροές ξεπερνάνε το κεφάλαιο επένδυσης
- c: οι αθροιστικές ταμειακές ροές πριν ξεπεράσουν το κεφάλαιο επένδυσης ($c < K_0$)
- e: οι αθροιστικές ταμειακές ροές αφού ξεπεράσουν το κεφάλαιο επένδυσης ($e > K_0$)

Πίνακας 44 - Δείκτες ΠΧΕΚ των τριών σχεδίων επένδυσης για επιτόκιο αναγωγής k=3%

k=3%	Σχέδιο 1			Σχέδιο 2			Σχέδιο 3		
Έτος	ΚΤΡt	ΚΤΡ	Σ(ΚΤΡ)	ΚΤΡt	ΚΤΡ	Σ(ΚΤΡ)	ΚΤΡt	ΚΤΡ	Σ(ΚΤΡ)
	Κο = 581.176€			Κο = 581.176€			Κο = 584.956€		
1	63.563,10 €	61.711,75 €	61.711,75 €	65.220,75 €	63.321 €	63.321 €	66.361,89 €	64.429 €	64.429 €
2	63.563,10 €	59.914,32 €	121.626,07 €	65.220,75 €	61.477 €	124.798 €	66.361,89 €	62.552 €	126.981 €
3	63.563,10 €	58.169,24 €	179.795,31 €	65.220,75 €	59.686 €	184.484 €	66.361,89 €	60.731 €	187.712 €
4	63.563,10 €	56.474,99 €	236.270,30 €	65.220,75 €	57.948 €	242.432 €	66.361,89 €	58.962 €	246.674 €
5	63.563,10 €	54.830,09 €	291.100,39 €	65.220,75 €	56.260 €	298.692 €	66.361,89 €	57.244 €	303.918 €
6	63.563,10 €	53.233,10 €	344.333,48 €	65.220,75 €	54.621 €	353.313 €	66.361,89 €	55.577 €	359.495 €
7	63.563,10 €	51.682,62 €	396.016,10 €	65.220,75 €	53.030 €	406.344 €	66.361,89 €	53.958 €	413.453 €
8	63.563,10 €	50.177,30 €	446.193,40 €	65.220,75 €	51.486 €	457.830 €	66.361,89 €	52.387 €	465.840 €
9	63.563,10 €	48.715,82 €	494.909,22 €	65.220,75 €	49.986 €	507.816 €	66.361,89 €	50.861 €	516.701 €
10	63.563,10 €	47.296,92 €	542.206,14 €	65.220,75 €	48.530 €	556.346 €	66.361,89 €	49.379 €	566.080 €
11	63.563,10 €	45.919,34 €	588.125,47 €	65.220,75 €	47.117 €	603.463 €	66.361,89 €	47.941 €	614.022 €
12	63.563,10 €	44.581,88 €	632.707,35 €	65.220,75 €	45.745 €	649.208 €	66.361,89 €	46.545 €	660.567 €
		ΠΧΕΚ1:	10,92		ΠΧΕΚ1:	10,92		ΠΧΕΚ1:	10,92

Όπου:

- ΠΧΕΚ1 = (11-1) x (542.206,14/588.125,47) = 10,92
- ΠΧΕΚ2 = (11-1) x (556.346/603.463) = 10,92
- ΠΧΕΚ3 = (11-1) x (566.080/614.022) = 10,92

Πίνακας 45 - Δείκτες ΠΧΕΚ των τριών σχεδίων επένδυσης για επιτόκιο αναγωγής k=5%

k=5%	Σχέδιο 1			Σχέδιο 2			Σχέδιο 3		
Έτος	ΚΤΡt	ΚΤΡ	Σ(ΚΤΡ)	ΚΤΡt	ΚΤΡ	Σ(ΚΤΡ)	ΚΤΡt	ΚΤΡ	Σ(ΚΤΡ)
	Κο = 581.176€			Κο = 581.176€			Κο = 584.956€		
1	63.563,10 €	60.536,29 €	60.536,29 €	65.220,75 €	62.115 €	62.115 €	66.361,89 €	63.202 €	63.202 €
2	63.563,10 €	57.653,61 €	118.189,89 €	65.220,75 €	59.157 €	121.272 €	66.361,89 €	60.192 €	123.394 €
3	63.563,10 €	54.908,20 €	173.098,09 €	65.220,75 €	56.340 €	177.612 €	66.361,89 €	57.326 €	180.720 €
4	63.563,10 €	52.293,52 €	225.391,61 €	65.220,75 €	53.657 €	231.270 €	66.361,89 €	54.596 €	235.316 €
5	63.563,10 €	49.803,35 €	275.194,96 €	65.220,75 €	51.102 €	282.372 €	66.361,89 €	51.996 €	287.312 €
6	63.563,10 €	47.431,76 €	322.626,72 €	65.220,75 €	48.669 €	331.040 €	66.361,89 €	49.520 €	336.833 €
7	63.563,10 €	45.173,11 €	367.799,83 €	65.220,75 €	46.351 €	377.392 €	66.361,89 €	47.162 €	383.995 €
8	63.563,10 €	43.022,01 €	410.821,84 €	65.220,75 €	44.144 €	421.536 €	66.361,89 €	44.916 €	428.911 €
9	63.563,10 €	40.973,34 €	451.795,18 €	65.220,75 €	42.042 €	463.577 €	66.361,89 €	42.777 €	471.688 €
10	63.563,10 €	39.022,23 €	490.817,41 €	65.220,75 €	40.040 €	503.617 €	66.361,89 €	40.740 €	512.429 €
11	63.563,10 €	37.164,03 €	527.981,44 €	65.220,75 €	38.133 €	541.751 €	66.361,89 €	38.800 €	551.229 €
12	63.563,10 €	35.394,31 €	563.375,75 €	65.220,75 €	36.317 €	578.068 €	66.361,89 €	36.953 €	588.182 €
13	63.563,10 €	33.708,87 €	597.084,62 €	65.220,75 €	34.588 €	612.656 €	66.361,89 €	35.193 €	623.375 €
		ΠΧΕΚ1:	12,94		ΠΧΕΚ1:	12,94		ΠΧΕΚ1:	11,94

Όπου:

- ΠΧΕΚ1 = (13-1) x (563.375,75/597.084,62) = 12,94
- ΠΧΕΚ2 = (13-1) x (578.068/612.656) = 12,94
- ΠΧΕΚ3 = (12-1) x (551.229/588.182) = 11,94

Παρατηρούμε λοιπόν πως, για επιτόκιο k=3% και τα τρία σχέδια επένδυσης έχουν χρόνο επανάκτησης κεφαλαίου μικρότερο από τη διάρκεια ζωής τους και μάλιστα ίδιο μεταξύ τους (διαφέρουν στο 7^ο δεκαδικό ψηφίο – πρακτικά αδιάφορο για τις επενδύσεις). Συνεπώς με βάσει αυτό το κριτήριο προτείνονται και τα τρία σχέδια επένδυσης. Για να επιλέξουμε

ποιο σχέδιο επένδυσης τελικά θα προχωρήσει, θα πρέπει να βασιστούμε και σε άλλους δείκτες αξιολόγησης, όπως τους τρεις που εξετάσαμε στα προηγούμενα υποκεφάλαια.

Όμως, για επιτόκιο $k=5\%$, παρατηρούμε για άλλη μια φορά πως κανένα από τα σχέδια επένδυσης δεν προτείνεται για υλοποίηση.

4.2.6 Αποτελέσματα κριτηρίων αξιολόγησης των σχεδίων επένδυσης

Από τα αποτελέσματα που εξάγαμε από τα κριτήρια αξιολόγησης των σχεδίων επένδυσης συμπεραίνουμε τα εξής:

- αν επιλέξουμε επιτόκιο ελάχιστης απαιτούμενης απόδοσης των κεφαλαίων $k=3\%$, τότε προτείνεται να υλοποιηθεί το σχέδιο επένδυσης 3, δηλαδή αντικατάσταση των συμβατικών φωτιστικών με νέα φωτιστικά LED, επιπρόσθετη χρήση ρύθμισης της φωτεινής ροής, και επιπρόσθετη χρήση αισθητήρων κίνησης (σε συνδυασμό με χρονοδιακόπτη).
- αν επιλέξουμε επιτόκιο ελάχιστης απαιτούμενης απόδοσης των κεφαλαίων $k=5\%$, τότε δεν προτείνεται η υλοποίηση κανενός από τα σχέδια επένδυσης που μελετήθηκαν στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής.

Υπενθυμίζουμε πως ο δείκτης k έχει διττή φύση:

- Είναι το επιτόκιο ανατοκισμού, το οποίο διαμορφώνεται από το οικονομικό περιβάλλον στο οποίο πρόκειται να γίνει η επένδυσή μας. Εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως το επιτόκιο το οποίο προσφέρουν οι τράπεζες στους καταθέτες τους, το επιτόκιο με το οποίο δανείζει η Ευρωπαϊκή Κεντρική Τράπεζα κ.λπ.
- Μπορεί να αποτελεί και τα ελάχιστα προσδοκώμενα κέρδη του επενδυτή από την επένδυση. Αν η επένδυση δεν επιφέρει τα κέρδη που αναμένει ο επενδυτής, τότε δεν θα προχωρήσει στην επένδυση αυτή.

Στον „Πίνακα 46“ υπολογίζουμε τον Εσωτερικό Βαθμό Απόδοσης (EBA) των σχεδίων επένδυσης, δηλαδή τον δείκτη k , για τον οποίο η ΚΠΑ μηδενίζεται. Ο EBA θα μας δείξει για ποιες τιμές του επιτοκίου συμφέρει η κάθε επένδυση.

Πίνακας 46 – Υπολογισμός EBA για τα τρία σχέδια επένδυσης

Σχέδιο	EBA
1	$KPA = -581.176 + \sum_{t=1}^{11} \frac{63.563,1}{(1 + EBA)^t} = 0 \Rightarrow \mathbf{EBA = 3,215\%}$
2	$KPA = -581.176 + \sum_{t=1}^{11} \frac{65.220,75}{(1 + EBA)^t} = 0 \Rightarrow \mathbf{EBA = 3,685\%}$
3	$KPA = -584.956 + \sum_{t=1}^{11} \frac{66.361,89}{(1 + EBA)^t} = 0 \Rightarrow \mathbf{EBA = 3,885\%}$

Σημειώνουμε πάλι, πως η διάρκεια ζωής των επενδύσεων στρογγυλοποιήθηκε προς τα κάτω, στα 11 έτη.

4.3 Τρόποι χρηματοδότησης της επένδυσης

4.3.1 Μέσω του τακτικού προϋπολογισμού του Ε.Μ.Π.

Ο συνήθης τρόπος για την χρηματοδότηση ενός έργου που αφορά ένα ίδρυμα, είναι η επιβάρυνση του τακτικού προϋπολογισμού αυτού.

Ο προϋπολογισμός των ιδρυμάτων της Ελλάδας, όπως και ο προϋπολογισμός του Ε.Μ.Π. προέρχεται αποκλειστικά από πόρους του κράτους. Εν έτη 2015, η οικονομική κατάσταση της Ελλάδας δεν είναι σε θέση να αφήσει περιθώρια στους τακτικούς προϋπολογισμούς των ιδρυμάτων να προβούν σε τέτοιες επενδύσεις.

Ως εκ τούτου, δεν δύναται στην παρούσα χρονική περίοδο να χρηματοδοτηθεί το έργο αυτό μέσω του τακτικού προϋπολογισμού του Ε.Μ.Π.

4.3.2 Ελληνικά και Ευρωπαϊκά προγράμματα χρηματοδότησης

Ένας άλλος τρόπος χρηματοδότησης του έργου είναι να βρεθεί κάποιο πρόγραμμα, ελληνικό ή ευρωπαϊκό το οποίο να χρηματοδοτεί έργα για εξοικονόμηση ενέργειας, για ανάπλαση τοπίων ή/και μείωσης επικίνδυνων απορριμμάτων.

Τέτοια προγράμματα μπορεί να είναι τα εξής:

- ELENA

Ο μηχανισμός ELENA είναι μια Ευρωπαϊκή βοήθεια για τοπικά ενεργειακά προγράμματα, που παρέχει επιδοτήσεις για τεχνική βοήθεια. Ο μηχανισμός αυτός μπορεί να χρηματοδοτήσει μέχρι και το 90% ενός έργου[18].

Το μειονέκτημα είναι πως χρηματοδοτούνται κυρίως τοπικές αρχές για έργα ύψους μεγαλύτερου των 6 εκ. €. Αυτό σημαίνει πως το δικό μας έργο θα πρέπει να προστεθεί σε κάποιο πακέτο έργων είτε του δήμου Ζωγράφου, είτε της Περιφέρειας Αττικής, μαζί με άλλα ενεργειακά έργα τα οποία να απαιτούν τουλάχιστον 6 εκ. € για την υλοποίησή τους.

- JESSICA

Το πρόγραμμα JESSICA είναι μια πρωτοβουλία η οποία αναπτύχθηκε από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή και την Ευρωπαϊκή Τράπεζα Επενδύσεων σε συνεργασία με την Τράπεζα Ανάπτυξης του Συμβουλίου της Ευρώπης, με το οποίο μπορούν να χρηματοδοτηθούν επιστρεπτές επενδύσεις σε έργα τα οποία αποτελούν μέρος ενός ολοκληρωμένου σχεδίου για βιώσιμη αστική ανάπτυξη.

Το μειονέκτημα του προγράμματος αυτού είναι πως κάθε επένδυση πρέπει να έχει και κοινωνικό όφελος, πράγμα το οποίο δεν αναδεικνύεται σε αυτή τη διπλωματική.

Επίσης, το πρόγραμμα αυτό είναι μια αρχική υποστήριξη επενδύσεων και απαιτεί την επιστροφή του κεφαλαίου που θα χρηματοδοτηθεί αρχικά από το πρόγραμμα αυτό. Όμως στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής δεν έχει μελετηθεί το νομικό πλαίσιο για την αποπληρωμή χρέους ενός ελληνικού ιδρύματος προς ευρωπαϊκούς φορείς.

▪ Το Πράσινο Ταμείο

Το Πράσινο Ταμείο είναι ένα ελληνικό ταμείο υπό την εποπτεία του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής και χρηματοδοτεί προγράμματα που, με γνώμονα την εξυπηρέτηση του δημόσιου και κοινωνικού συμφέροντος, στοχεύουν[19]:

- στην προστασία, ανάδειξη και αποκατάσταση του περιβάλλοντος σε συνδυασμό με την ενίσχυση της ανάπτυξης
- στην αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής
- στη στήριξη της εθνικής περιβαλλοντικής πολιτικής της Χώρας

Για την ένταξη μιας επένδυσης στο πράσινο ταμείο εξετάζονται μεταξύ άλλων, τα τυπικά προσόντα του φορέα, η επάρκεια πόρων, η συνάφεια του αντικειμένου του φορέα με περιβαλλοντικές δράσεις, η οικονομική βιωσιμότητα, το κοινωνικό όφελος, και η συνεκτικότητα της δράσης με εθνικές και κοινοτικές πολιτικές.

Σύμφωνα με τα παραπάνω το έργο αντικατάστασης των συμβατικών φωτιστικών της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου με στόχο την εξοικονόμηση ενέργειας, μπορεί να ενταχθεί στο πρόγραμμα χρηματοδότησης του Πράσινου Ταμείου.

4.3.3 Χρηματοδότηση από τρίτους

Οι νέες ενεργειακές τεχνολογίες έχουν προσελκύσει στον τομέα της εξοικονόμησης ενέργειας πολλούς επιχειρηματίες και εταιρείες, που αναλαμβάνουν ολοκληρωμένα έργα, από την προμήθεια του εξοπλισμού και την εγκατάσταση, έως και τη χρηματοδότηση της δαπάνης.

Η συνεργασία αυτή υλοποιείται μέσω των λεγόμενων Ενεργειακών Συμβολαίων, που ορίζουν ιδιωτικές επενδύσεις εξοικονόμησης ενέργειας, συνήθως όταν ο πελάτης δεν κατέχει ίδια κεφάλαια για την επένδυση, όπως αυτή τη στιγμή το Ε.Μ.Π.. Εταιρείες Υπηρεσιών Ενέργειας (EYE ή Energy Service Companies-ESCO) μπορούν να συντάξουν ένα Ενεργειακό Συμβόλαιο για την πραγματοποίηση επενδύσεων που θα επιφέρουν μείωση της κατανάλωσης ενέργειας[20].

Η Εταιρεία Υπηρεσιών Ενέργειας αναλαμβάνει συνήθως την αγορά του εξοπλισμού, δηλαδή το κεφάλαιο της επένδυσης μπορεί να προέρχεται αρχικά από την ίδια την εταιρεία. Επίσης αναλαμβάνει τη μεταφορά και εγκατάσταση του νέου εξοπλισμού.

Η αποπληρωμή του κεφαλαίου της εταιρείας από τον πελάτη προκύπτει από το όφελος της διαφοράς των εξόδων ενέργειας πριν και μετά την επένδυση. Συνήθως η δόση αποπληρωμής αποτελεί το 80% των εξοικονομούμενων πόρων. Μετά το πέρας της σύμβασης, ο πελάτης εισπράττει όλο το όφελος.

Οι Εταιρείες Υπηρεσιών Ενέργειας είναι συνήθως πιστοποιημένοι οργανισμοί, ενώ με νόμο ορίζονται προνόμια και διευκολύνσεις, καθώς και νομικά ζητήματα, όπως υπάρχουν αυτή τη στιγμή στο νομικό πλαίσιο της Ελλάδας, το οποίο δεν επιτρέπει τη σύμπραξη αυτή μεταξύ Α.Ε.Ι. και ιδιωτικού τομέα.

5. ΣΥΝΟΨΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

5.1 Σύνοψη

Η Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου φωτίζεται αυτή τη στιγμή από 1.374 φωτιστικά, μεταξύ των οποίων φωτιστικά με λαμπτήρες ατμών νατρίου υψηλής και χαμηλής πίεσης, φωτιστικά με συμπαγείς λαμπτήρες φωτισμού και προβολείς με λαμπτήρες μεταλλικών αλογονιδίων. Τα φωτιστικά αυτά καταναλώνουν ετησίως 921.356,86kWh. Υπολογίζοντας τιμή ηλεκτρικής ενέργειας 0,0754827€/kWh, τα φωτιστικά αυτά κοστίζουν ετησίως 69.546,5€. Επιπλέον έχουν ετήσιο κόστος συντήρησης 10.656,64€, οπότε το συνολικό ετήσιο κόστος τους ανέρχεται σε 80.203.14€.

Το έργο που αξιολογήθηκε ως σκόπιμο να υλοποιηθεί, περιλαμβάνει 1.362 νέα φωτιστικά LED, με ενσωματωμένο σύστημα ρύθμισης της φωτεινής ροής (dimming), και 42 αισθητήρες κίνησης, τα οποία έχουν ετήσια κατανάλωση ενέργειας 183.369,84kWh, δηλαδή η εξοικονόμηση ενέργειας ανέρχεται σε 737.987,02kWh (80,09%). Μαζί με το αντίστοιχο κόστος συντήρησης, το οποίο είναι 526,85€/έτος, το νέο συνολικό ετήσιο κόστος λειτουργίας ανέρχεται σε 13.841,25€, δηλαδή η εξοικονόμηση πόρων ανέρχεται σε 66.361,89€/έτος (82,74%).

Το έργο αυτό έχει διάρκεια ζωής 11,43 έτη και κόστος επένδυσης 584.956€. Ο απλός χρόνος επανάκτησης του κεφαλαίου υπολογίζεται σε 8,81 έτη, ενώ ο προσαρμοσμένος στην παρούσα αξία σε 10,92 έτη.

Πίνακας 47 – Σύνοψη του έργου που αξιολογήθηκε ως σκόπιμο προς υλοποίηση

	ΠΡΙΝ	ΜΕΤΑ	ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ
Πλήθος φωτιστικών	1374	1362	
Σύστημα ρύθμισης της φωτεινής ροής (dimming)	-	ενσωματωμένο	
Αισθητήρες	-	42	
Ετήσια κατανάλωση ενέργειας	921.356,86kWh	183.369,84kWh	737.987,02kWh (80,09%)
Ετήσιο κόστος λειτουργίας	80.203,14€	13.841,25€	66.361,89€ (82,74%)
Διάρκεια Ζωής		11,43 έτη	
Κόστος επένδυσης		584.956€	
Απλός χρόνος επανάκτησης του κεφαλαίου		8,81 έτη	
Προσαρμοσμένος χρόνος επανάκτησης κεφαλαίου		10,92 έτη	

5.2 Συμπεράσματα

Στην εποχή μας οι ανάγκες για ενέργεια αυξάνονται διαρκώς και η κάλυψή τους απαιτεί τη συνεχή διερεύνηση αποδοτικών τρόπων παραγωγής ενέργειας. Παρόλο που έχουν αναπτυχθεί οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, οι ανάγκες δεν μπορούν να καλυφθούν, με αποτέλεσμα ακόμα και στον 21^ο αιώνα να καταφεύγουμε στην παραγωγή ενέργειας με μη-φιλικούς προς το περιβάλλον τρόπους, όπως πυρηνικά εργοστάσια, εξόρυξη και επεξεργασία πετρελαίου κτλ.

Ως εκ τούτου ωθούμαστε, εκτός από την αύξηση της παραγωγής ενέργειας, να αναζητούμε τρόπους για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας. Οι τρόποι εξοικονόμησης ενέργειας είναι αρκετοί, όμως συνήθως υπάρχουν έξοδα επένδυσης, με αποτέλεσμα να αποτρέπονται πολλοί ενδιαφερόμενοι να προχωρήσουν σε δράσεις εξοικονόμησης ενέργειας.

Στον φωτισμό, οι τρόποι εξοικονόμησης ενέργειας είναι επίσης αρκετοί, όμως ο πλέον αποτελεσματικός είναι η αντικατάσταση των συμβατικών ενεργοβόρων φωτιστικών με νέα φωτιστικά LED.

Τα LED αποτελούν τη νέα τεχνολογία φωτισμού που πρόκειται να εδραιωθεί στον τομέα του φωτισμού, λόγω των πολλών πλεονεκτημάτων που προσφέρουν έναντι άλλων ειδών φωτισμού. Μπορούν να καλύψουν σχεδόν όλες[5] τις απαιτήσεις που τίθενται από τις ευρωπαϊκές προδιαγραφές και να φωτίσουν ικανοποιητικά, με ελάχιστα συγκριτικά έξοδα, οποιοδήποτε χώρο.

Το βασικό αποτελέσματα που εξάγεται από τη διπλωματική αυτή είναι το γεγονός πως υπάρχουν περιθώρια εξοικονόμησης ενέργειας στο φωτισμό της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου, τα οποία φτάνουν μάλιστα το 80% της αρχικής κατανάλωσης ενέργειας. Εξίσου υψηλά είναι και τα ποσοστά στην εξοικονόμηση οικονομικών πόρων στο φωτισμό, πράγμα το οποίο μπορεί να δώσει κίνητρα σε επενδυτές να επενδύσουν στον τομέα αυτό.

Παρόλα αυτά το σχέδιο επένδυσης που επιλέχθηκε αξιολογήθηκε σκόπιμο μόνο για χαμηλές προσδοκίες απόδοσης κεφαλαίων ($k=3\%$), λόγω του συγκριτικά υψηλού αρχικού κεφαλαίου επένδυσης, δηλαδή του κόστους αγοράς των φωτιστικών LED.

Η τεχνολογία των φωτιστικών LED εξελίσσεται όμως συνεχώς και συνεπώς αναμένουμε την πτώση του κόστους αγοράς τους σε χαμηλότερα επίπεδα, οπότε και θα είναι πιο συμφέρουσες οι επενδύσεις στον τομέα αυτό. Επίσης, η εξέλιξη της τεχνολογίας LED αναμένεται να αυξήσει την απόδοσή τους σε διάρκεια χρόνου, με αποτέλεσμα η φωτεινή ροή τους να μειώνεται στο 80% της πλήρους λειτουργίας τους σε περισσότερο από 50.000 ώρες λειτουργίας, αυξάνοντας τη διάρκεια ζωής της επένδυσης. Ως εκ τούτου θα αυξηθούν οι θετικές ταμειακές ροές στην οικονομική ανάλυση της επένδυσης και η επένδυση θα επιφέρει περισσότερα κέρδη, οπότε και θα είναι περισσότερο ελκυστική σε επενδυτές.

Τέλος, όσο αφορά τους τρόπους χρηματοδότησης του έργου, υπάρχουν μεν προγράμματα στα οποία πιθανότατα να ενταχθεί, όμως αυτή τη στιγμή δεν υπάρχουν εναλλακτικές σε περίπτωση που αυτό δεν γίνει. Αυτό οφείλεται κυρίως στο νομικό πλαίσιο που πλαισιώνει τέτοιες επενδύσεις σε δημόσια πανεπιστήμια και αφήνει θολό το τοπίο συνεργασίας με κάποια Εταιρεία Υπηρεσιών Ενέργειας.

Σε περίπτωση που μπορέσει να βρεθεί λύση στο νομικό εμπόδιο, τότε το έργο αυτό της ανάπλασης του φωτισμού της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου θα έχει μόνο θετικές επιπτώσεις για ολόκληρη την πολυτεχνειακή κοινότητα, από τη μείωση της κατανάλωσης της ενέργειας και των λειτουργικών δαπανών μέχρι και τον ενιαίο, ομοιόμορφο και επαρκή φωτισμό όλων των χώρων της Πολυτεχνειούπολης.

6. Βιβλιογραφία

- [1] D. M. Pehnt, «Bundeszentrale für politische Bildung,» 1 Μαρτίου 2013. [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.bpb.de/politik/wirtschaft/energiepolitik/152893/energieeinsparung-und-effizienz>.
- [2] «U.S. Energy Information Administration,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.eia.gov/>.
- [3] F. Gsteiger, «SRF,» 14 Σεπτεμβρίου 2015. [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://m.srf.ch/news/international/trotz-schweizer-energiewende-die-zukunft-gehört-der-atomenergie>.
- [4] «European Commission,» 2010. [Ηλεκτρονικό]. Available: http://ec.europa.eu/europe2020/europe-2020-in-a-nutshell/targets/index_el.htm.
- [5] Δ. Νικολάου, Η εφαρμογή των LED στον φωτισμό δρόμων και οι προοπτικές εξοικονόμησης ενέργειας, Αθήνα: Εκδόσεις Ε.Μ.Π., 2013.
- [6] «EnergieSchweiz,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.energieschweiz.ch/de-ch/wohnen/beleuchtung.aspx>.
- [7] «The Led Company,» 17 Ιουλίου 2014. [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://theledcompany.gr/led/σημασία-του-σωστού-φωτισμού>.
- [8] Φ. Β. Τοπαλής, «Βιβλιοθήκη ΤΕΕ,» Ε.Μ.Π., [Ηλεκτρονικό]. Available: http://library.tee.gr/digital/m2413/m2413_topalis.pdf.
- [9] Φ. Β. Τοπαλής, Λ. Οικονόμου και Σ. Κουρτέση, Φωτοτεχνία, Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Τζιόλα, 2010.
- [10] «Lighting Research Center,» Rensselaer Polytechnic Institute, 1995-2015. [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.lrc.rpi.edu/researchAreas/outdoor.asp>.
- [11] Δ. Ευθυμιάτος, Φως και Ήχος, Αθήνα: Εκδόσεις Φοίβος, 1985.
- [12] «U.S. Department of Energy,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://energy.gov/energysaver/articles/how-energy-efficient-light-bulbs-compare-traditional-incandescents>.
- [13] «Schreder,» Schreder, [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.schreder.com/BE->

EN/Pages/default.aspx.

- [14] «Owlet,» Owlet GmbH, [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://owlet-streetlight.com/de/>.
- [15] «E-mimikos Electronics,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.emimikos.gr/BOBBY/>.
- [16] Π. Κάπρος και Κ. Ντελκής, Οικονομική Ανάλυση Επιχειρήσεων, Αθήνα: Εκδοσεις Ε.Μ.Π..
- [17] Ι. Ν. Αποστολόπουλος, Ειδικά θέματα χρηματοδοτικής Διοικήσεως - Μέθοδοι, εργαλεία, εφαρμογές, Αθήνα: Εκδόσεις Σταμούλη Α.Ε., 2012.
- [18] «Το σύμφωνο των Δημάρχων,» European Commission, [Ηλεκτρονικό]. Available: http://www.eumayors.eu/index_el.html.
- [19] «Πράσινο Ταμείο,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.prasinotameio.gr/>.
- [20] «Ενεργειακό Γραφείο Ίου-Αιγαίου,» Νοέμβριος 2010. [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.aegean-energy.gr/pdf/newsletter/newsletter-vol04.pdf>.