

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ & ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ



Πανεπιστήμιο  
Ιωαννίνων

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:**

**«Σχεδίαση και ανάπτυξη συστήματος αξιολόγησης επιδόσεων Φ/Β  
στοιχείων»**

**Κουτσός Χρήστος, Λεωνίδας Σκαλτσώνης**

**ΑΜ:1380, 1431 εξάμηνο :10<sup>ο</sup>, 10<sup>ο</sup>**

**Email: [xriskoutsos@gmail.com](mailto:xriskoutsos@gmail.com) , [leonskalts@gmail.com](mailto:leonskalts@gmail.com)**

**Εποπτεύων καθηγητής**

**Δουμένης Γρηγόριος**

**Επίκουρος καθηγητής**

**TEST SYSTEM FOR LOW POWER PV CELLS**

**Εγκρίθηκε από τριμελή εξεταστική επιτροπή**

Άρτα, 2/9/2021

## **ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ**

1. Επιβλέπων καθηγητής

Δουμένης Γρηγόριος

Επίκουρος καθηγητής

2. Μέλος επιτροπής

Γλαβάς Ευριπίδης

Καθηγητής

3. Μέλος επιτροπής

Βαρτζιώτης Φώτιος

Επίκουρος καθηγητής

© Κουτσός, Χρήστος, 2021.

© Σκαλτσώνης, Λεωνίδα, 2021.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

## Δήλωση μη λογοκλοπής

Δηλώνω υπεύθυνα και γνωρίζοντας τις κυρώσεις του Ν. 2121/1993 περί Πνευματικής Ιδιοκτησίας, ότι η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία είναι εξ ολοκλήρου αποτέλεσμα δικής μου ερευνητικής εργασίας, δεν αποτελεί προϊόν αντιγραφής ούτε προέρχεται από ανάθεση σε τρίτους. Όλες οι πηγές που χρησιμοποιήθηκαν (κάθε είδους, μορφής και προέλευσης) για τη συγγραφή της περιλαμβάνονται στη βιβλιογραφία.

Κουτσός Χρήστος

Σκαλτσώνης Λεωνίδα

Υπογραφή

Υπογραφή

## Ευχαριστίες

---

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε όλα τα μέλη της οικογένειάς μας για την υποστήριξη που μας έδειξαν καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μας. Επίσης θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά τον καθηγητή, μέντορα και υπεύθυνο της πτυχιακής μας Κύριο Γρηγόριο Δουμένη για τη συνεχή καθοδήγησή του σε όλη τη διάρκεια της πτυχιακής, όχι μόνο σε θέματα αυτής αλλά και σε θέματα επαγγελματικού προσανατολισμού. Επιπλέον θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον Κύριο Ιωάννη Μασκλαβάνο, ο οποίος μας βοήθησε στην υλοποίηση του προγράμματος χειρισμού με το λογισμικό LabView, αλλά και σε άλλα κομμάτια της πτυχιακής που μας δημιούργησαν προβληματισμούς με τις γνώσεις τις οποίες κατέχει. Ακόμη θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε το συνάδελφο Πάνο Πέτρου για την ιδέα της πτυχιακής. Επίσης θέλουμε να ευχαριστήσουμε τη μεταπτυχιακή φοιτήτρια Βασιλική Νάσκαρη για τη βοήθεια στο μαθηματικό κομμάτι. Τέλος θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τους φίλους μας για την υποστήριξη και βοήθεια που μας προσέφεραν μέσα από συζητήσεις και έκαναν την υλοποίηση της εργασίας ευκολότερη.

## Περίληψη

---

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία θα γίνει μελέτη της απόδοσης φωτοβολταϊκών εσωτερικών χώρων.

Στο πρώτο κεφάλαιο θα οριστεί το φωτοβολταϊκό φαινόμενο, θα γίνει μια ιστορική αναδρομή, θα αναλυθεί τόσο το φωτοβολταϊκό φαινόμενο αλλά και η αρχιτεκτονική ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου. Στη συνέχεια θα γίνει αναφορά στους όρους solar insolation, radiation και θα παρουσιαστούν οι διαφορές τους. Επίσης, θα γίνει αναφορά στα φωτοβολταϊκά, τις τεχνολογίες και τα υλικά από τα οποία είναι κατασκευασμένα, τόσο τα indoor αλλά και τα outdoor φωτοβολταϊκά. Τέλος, θα γίνει λόγος για τις μονάδες μέτρησης lux, lumen, και candela και πως σχετίζονται αυτά μεταξύ τους.

Στο δεύτερο κεφάλαιο θα γίνει αναφορά στα συστήματα ανάλυσης φωτοβολταϊκών παραμέτρων και πιο συγκεκριμένα για τα υποσυστήματα εξομοίωσης και μετρήσεων φάσματος.

Στο τρίτο κεφάλαιο θα μελετηθούν οι πειραματικές διατάξεις. Θα γίνει ανάλυση του state of the art και παρόμοιων κατασκευών, οι οποίες συμβάλλανε στην κατασκευή της δικής μας πειραματικής διάταξης, που θα αναλυθεί σε επόμενο κεφάλαιο. Τέλος, θα γίνει αναφορά στα υποσυστήματα επεξεργασίας, το υλικό και το λογισμικό.

Στο τέταρτο κεφάλαιο, θα αναλυθεί η πειραματική διάταξη που κατασκευάστηκε. Αρχικά, το μηχανολογικό κομμάτι. Έπειτα, θα γίνει αναφορά στις πηγές φωτισμού που χρησιμοποιήθηκαν στη κατασκευή. Τέλος, θα μελετηθεί το σύστημα ελέγχου και το σύστημα αισθητήρων που χρησιμοποιήθηκαν.

Στο πέμπτο κεφάλαιο θα περιγραφεί η διαδικασία των μετρήσεων. Θα γίνει αναφορά στο λογισμικό LabView VI της National Instruments, το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την διαχείριση και τον έλεγχο των εργαστηριακών οργάνων τα οποία χρησιμοποιήθηκαν.

Στο έκτο κεφάλαιο, θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα των μετρήσεων και θα γίνει συζήτηση των αποτελεσμάτων.

Στο έβδομο και τελευταίο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας, θα γίνει συζήτηση της συνολικής εμπειρίας κατασκευής μιας τέτοιας διάταξης, θα συζητηθούν τυχών προβλήματα και θα παρουσιαστούν μελλοντικές αναβαθμίσεις.

## **Abstract**

---

In the present dissertation, the efficiency of photovoltaic interiors will be studied.

The first chapter will define the photovoltaic phenomenon, a historical review will be noticed, the analyzation of both the photovoltaic phenomenon and the architecture of a photovoltaic cell will be made. Following this, the terms solar insolation and radiation will be referred, and their differences will be presented. Also, reference will be made to photovoltaics, technologies and materials from which they are made, both indoor and outdoor photovoltaics. Finally, the units of measurement lux, lumen, and candela will be analyzed and how they are related to each other.

The second chapter will refer to photovoltaic parameter analysis systems and more specifically to the simulation and spectrum measurement subsystems.

In the third chapter the experimental devices will be studied. An analysis in the state of the art and similar constructions will be made, which contributed to the construction of the experimental device that will be analyzed in the next chapter. Finally, reference will be made to processing subsystems, hardware and software.

In the fourth chapter, the experimental device constructed will be analyzed. First, the mechanical part. After that, reference will be made to the light sources used in the construction. Finally, the control system and the sensor system used will be examined.

The fifth chapter will describe the measurement process. LabView VI software by National Instruments will be presented. This software was used to manage and control the laboratory instruments.

In the sixth chapter, the results of the measurements will be presented, and the results will be discussed.

In the seventh and final chapter of the present work, the overall experience of constructing such a device will be discussed, any problems will be examined, and future upgrades will be presented.



## Λίστα Εικόνων

---

Εικόνα 1: “Photovoltaic Effect.” Encyclopædia Britannica, Encyclopædia Britannica, Inc., [www.britannica.com/science/photovoltaic-effect](http://www.britannica.com/science/photovoltaic-effect).

Εικόνα 2: Armstrong, Roy. (2018). The HARPOONS Vicarious Calibration Project.

Εικόνα 3: “Insolation.” Insolation - Energy Education, [energyeducation.ca/encyclopedia/Insolation](http://energyeducation.ca/encyclopedia/Insolation).

Εικόνα 4: “What Is Radiation?” Mirion Technologies, Inc. Radiation Measurement & Detection Devices, [www.mirion.com/learning-center/radiation-safety-basics/what-is-radiation](http://www.mirion.com/learning-center/radiation-safety-basics/what-is-radiation).

Εικόνα 4: “How Does a Photovoltaic Cell Work?” Planète Énergies, [www.planete-energies.com/en/medias/close/how-does-photovoltaic-cell-work](http://www.planete-energies.com/en/medias/close/how-does-photovoltaic-cell-work).

Εικόνα 5: “How Does a Photovoltaic Cell Work?” Planète Énergies, [www.planete-energies.com/en/medias/close/how-does-photovoltaic-cell-work](http://www.planete-energies.com/en/medias/close/how-does-photovoltaic-cell-work).

Εικόνα 6: Szabo, Lorand. “The History of Using Solar Energy.” 2017 International Conference on Modern Power Systems (MPS), 2017, doi:10.1109/mps.2017.7974451.

Εικόνα 7: “Types of Solar Panels (2021).” GreenMatch, [www.greenmatch.co.uk/blog/2015/09/types-of-solar-panels](http://www.greenmatch.co.uk/blog/2015/09/types-of-solar-panels).

Εικόνα 8: “Knowledge Base.” Barco, [www.barco.com/en/support/knowledge-base/kb8243](http://www.barco.com/en/support/knowledge-base/kb8243).

Εικόνα 9: Photometric Quantities, [www.auersignal.com/en/technical-information/visual-signalling-equipment/luminous-intensity/](http://www.auersignal.com/en/technical-information/visual-signalling-equipment/luminous-intensity/).

Εικόνα 10: Photometric Quantities, [www.auersignal.com/en/technical-information/visual-signalling-equipment/luminous-intensity/](http://www.auersignal.com/en/technical-information/visual-signalling-equipment/luminous-intensity/).

Εικόνα 11: “Measurement Geometries - Chapter 7 - Light Measurement Tutorial.” Measurement Geometries - Chapter 7 - Light Measurement Tutorial | ILT, [www.intl-lighttech.com/measurement-geometries-chapter-7-light-measurement-tutorial](http://www.intl-lighttech.com/measurement-geometries-chapter-7-light-measurement-tutorial).

Εικόνα 12: VeraSol-2 LED Class AAA Solar Simulator, [www.newport.com/f/class-aaa-led-solar-simulators](http://www.newport.com/f/class-aaa-led-solar-simulators).

Εικόνα 13: VeraSol-2 LED Class AAA Solar Simulator, [www.newport.com/f/class-aaa-led-solar-simulators](http://www.newport.com/f/class-aaa-led-solar-simulators).

Εικόνα 14: VeraSol-2 LED Class AAA Solar Simulator, [www.newport.com/f/class-aaa-led-solar-simulators](http://www.newport.com/f/class-aaa-led-solar-simulators).

Εικόνα 15: Class ABA LED Solar Simulator, [www.newport.com/f/class-aba-led-solar-simulators](http://www.newport.com/f/class-aba-led-solar-simulators).

Εικόνα 16: “LED Solar Simulator, Class ABA, MiniSol.” LSH-7320 LED Solar Simulator, [www.newport.com/p/LSH-7320](http://www.newport.com/p/LSH-7320).

Εικόνα 17: “Calibrated Reference Cell, Meter, Quartz Window (RoHS and / or CE Pending).” 91150V Calibrated Reference Cell, [www.newport.com/p/91150V](http://www.newport.com/p/91150V).

Εικόνα 18: “Solar Simulation and PV Testing Equipment.” Sciencetech Inc, [www.sciencetech-inc.com/all-products/solarsimulators.html](http://www.sciencetech-inc.com/all-products/solarsimulators.html).

Εικόνα 19: “Solar Simulation and PV Testing Equipment.” Sciencetech Inc, [www.sciencetech-inc.com/all-products/solarsimulators.html](http://www.sciencetech-inc.com/all-products/solarsimulators.html).

Εικόνα 20: [http://www.extech.com/products/resources/SDL400\\_DS-en.pdf](http://www.extech.com/products/resources/SDL400_DS-en.pdf)

Εικόνα 21: “Milwaukee MW700 PRO Lux (Light) Meter.” Milwaukee Electronics Kft, [milwaukeeinstruments.eu/milwaukee-mw700-pro-lux-light-meter/?sku=MW700&utm\\_source=googleshopping&utm\\_medium=cse&gclid=CjwKCAjwjD0IBhA\\_EiwAHz8xm--EJ4xijNrTAVFU7pH5cKLFsCcdSWbgQQvCG0bFrF4gH2FfHNSF0xoC11gQAvD\\_BwE#product-specifications](http://milwaukeeinstruments.eu/milwaukee-mw700-pro-lux-light-meter/?sku=MW700&utm_source=googleshopping&utm_medium=cse&gclid=CjwKCAjwjD0IBhA_EiwAHz8xm--EJ4xijNrTAVFU7pH5cKLFsCcdSWbgQQvCG0bFrF4gH2FfHNSF0xoC11gQAvD_BwE#product-specifications).

Εικόνα 22: “SparkFun RGB Light Sensor - ISL29125.” Grobotronics.com, [grobotronics.com/sparkfun-rgb-light-sensor-isl29125.html?sl=en](http://grobotronics.com/sparkfun-rgb-light-sensor-isl29125.html?sl=en).

Εικόνα 23: “Incandescent Light Bulb.” Mepits, [www.mepits.com/tutorial/221/electrical/incandescent-light-bulb](http://www.mepits.com/tutorial/221/electrical/incandescent-light-bulb).

Εικόνα 24: “Compact Fluorescent: Light Bulb Types.” Bulbs.com, [www.bulbs.com/learning/cfl.aspx](http://www.bulbs.com/learning/cfl.aspx).

Εικόνα 25: Electrical4U. “Construction of Fluorescent Lamp.” Electrical4U, 25 Oct. 2020, [www.electrical4u.com/construction-of-fluorescent-lamp/](http://www.electrical4u.com/construction-of-fluorescent-lamp/).<https://www.electrical4u.com/construction-of-fluorescent-lamp/>

Εικόνα 26: Harrington, Jeff. “Warehouse Fire Hazards – Part 1: High Intensity Discharge Lighting.” Harrington Group, 11 Feb. 2016, [hgi-fire.com/blog/warehouse-fire-hazards-part-1-high-intensity-discharge-lighting/](http://hgi-fire.com/blog/warehouse-fire-hazards-part-1-high-intensity-discharge-lighting/).

Εικόνα 27: Last Minute Engineers. “Light Emitting Diode (LED).” Last Minute Engineers, Last Minute Engineers, 18 Dec. 2020, [lastminuteengineers.com/light-emitting-diode-led/](http://lastminuteengineers.com/light-emitting-diode-led/).

Εικόνα 28: Lopez-Fraguas, Eduardo, et al. “A Low-Cost LED-Based Solar Simulator.” IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol. 68, no. 12, 2019, pp. 4913–4923., doi:10.1109/tim.2019.2899513.

Εικόνα 29: Lopez-Fraguas, Eduardo, et al. “A Low-Cost LED-Based Solar Simulator.” IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol. 68, no. 12, 2019, pp. 4913–4923., doi:10.1109/tim.2019.2899513.

Εικόνα 30: Lopez-Fraguas, Eduardo, et al. “A Low-Cost LED-Based Solar Simulator.” IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol. 68, no. 12, 2019, pp. 4913–4923., doi:10.1109/tim.2019.2899513.

Εικόνα 31: Lopez-Fraguas, Eduardo, et al. “A Low-Cost LED-Based Solar Simulator.” IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol. 68, no. 12, 2019, pp. 4913–4923., doi:10.1109/tim.2019.2899513.

Εικόνα 32: Scheiman, David, et al. “Spectrally Tunable Collimated Pulsed Solar Simulator.” 2020 47th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), 2020, doi:10.1109/pvsc45281.2020.9300873.

Εικόνα 33: Scheiman, David, et al. “Spectrally Tunable Collimated Pulsed Solar Simulator.” 2020 47th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), 2020, doi:10.1109/pvsc45281.2020.9300873.

Εικόνα 34: Salam, Rahmat Awaludin, et al. “Development of a Simple Low-Scale Solar Simulator and Its Light Distribution.” 2016 International Conference on Instrumentation, Control and Automation (ICA), 2016, doi:10.1109/ica.2016.7811470.

Εικόνα 35: Block diagram

Εικόνα 36: Μπροστινή όψη 3D μοντέλου

Εικόνα 37: Πλάγια όψη 3D μοντέλου

Εικόνα 38: Κάτω όψη 3D μοντέλου

Εικόνα 39: 3D όψη της βάσης

Εικόνα 40: 3D όψη βάσης του bed

Εικόνα 41: 3D απεικόνιση βάσης για τα περικόχλια

Εικόνα 42: Κάτω όψη κατασκευής

Εικόνα 43: Miscellaneous

Εικόνα 44: Μαγνήτες κατασκευής

Εικόνα 45: 3d printed κομμάτια

Εικόνα 46: “LST1-01G03-4095-01.” DigiKey, [www.digikey.be/product-detail/en/new-energy/LST1-01G03-4095-01/1672-1160-ND/9816712](http://www.digikey.be/product-detail/en/new-energy/LST1-01G03-4095-01/1672-1160-ND/9816712).

Εικόνα 47: [https://download.luminus.com/datasheets/Luminus\\_SST-20-WxH\\_Datasheet.pdf](https://download.luminus.com/datasheets/Luminus_SST-20-WxH_Datasheet.pdf)

Εικόνα 48: [https://download.luminus.com/datasheets/Luminus\\_SST-20-WxH\\_Datasheet.pdf](https://download.luminus.com/datasheets/Luminus_SST-20-WxH_Datasheet.pdf)

Εικόνα 49: “What Is LabVIEW? (and Why Do I Care?).” Wireshmith Technology, 19 Jan. 2018, [www.wireshmithtech.com/articles/what-is-labview-and-why-do-i-care/](http://www.wireshmithtech.com/articles/what-is-labview-and-why-do-i-care/).

Εικόνα 50: Keysight E3632A Power Supply

Εικόνα 51: Rigol DP832A Power Supply

Εικόνα 52: “Ultrasonic Sensor HC-SR04.” GeeksValley, 7 Mar. 2021, [geeksville.com/en/product/ultrasonic-sensor/](http://geeksville.com/en/product/ultrasonic-sensor/).

Εικόνα 53:

[www.google.com/search?q=ISL29125&sxsrf=ALeKk02tuqu5VsdILIL27WHBIPXGsqtOVA:1629456272440&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwjfIK7Stb\\_y](http://www.google.com/search?q=ISL29125&sxsrf=ALeKk02tuqu5VsdILIL27WHBIPXGsqtOVA:1629456272440&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwjfIK7Stb_y)

[AhWX\\_7sIHaoKAmIQ\\_AUoAXoECAIQAw&biw=1280&bih=856#imgrc=L0nDUr4bCYNagM.](#)

Εικόνα 54: Front Panel

Εικόνα 55: Back Panel LabView

Εικόνα 56: Keysight stepper PSU

Εικόνα 57: Led PSU

Εικόνα 58: Stepper control moving

Εικόνα 59: Stepper control Stopped

Εικόνα 60: Πειραματική πλακέτα

## Περιεχόμενα

Εισαγωγή.....	1
Κεφάλαιο 1°.....	2
1.1 Ηλιακή ενέργεια.....	2
1.1.1 Φωτοβολταϊκό φαινόμενο.....	2
1.1.2 Ανάλυση φαινομένου.....	2
1.1.3 Solar insolation.....	3
1.1.4 Radiation.....	5
1.2 Πως λειτουργεί ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο.....	7
1.2.1 Τύποι φωτοβολταϊκών στοιχείων.....	7
1.2.2 indoor photovoltaic cells.....	11
1.3 Οι μονάδες Lumen, Lux και Candela.....	12
Κεφάλαιο 2° Συστήματα ανάλυσης φωτοβολταϊκών παραμέτρων.....	16
2.1 Υποσύστημα εξομοίωσης φάσματος.....	16
2.2 Υποσυστήματα μετρήσεων φάσματος.....	22
Κεφάλαιο 3°.....	27
Σχεδίαση συστήματος φωτοβολταϊκών παραμέτρων.....	27
3.1 Τεχνητές πηγές φωτισμού.....	27
3.2 State of the art.....	33
3.2.1 Ανάγκη εξέλιξης φωτοβολταϊκών.....	33
3.2.2 Παραπλήσιες εφαρμογές.....	34
3.3 Προτεινόμενη αρχιτεκτονική.....	39
Κεφάλαιο 4°.....	40
Πειραματική κατασκευή.....	40
4.1 Μηχανολογικό κομμάτι.....	44
4.3 Συστήματα ελέγχου.....	50
4.3.1 LabView.....	50
4.3.2 Arduino.....	52
4.4 Συστήματα αισθητήρων.....	54
4.4.1 Επιλογή αισθητήρων.....	54
Κεφάλαιο 5°.....	56
Ανάλυση LabView VI και συνολικής διαδικασίας.....	57
Κεφάλαιο 6°.....	62
Αποτελέσματα μετρήσεων.....	62
Κεφάλαιο 7°.....	67
Συμπεράσματα.....	67



## Εισαγωγή

---

Η παγκόσμια ανάπτυξη της τεχνολογίας του Internet of Things, σε συνδυασμό με τη πτώση της τιμής του πυριτίου τα τελευταία χρόνια έχουν συμβάλλει στη ραγδαία αύξηση του πλήθους των IoT συσκευών. Η αύξηση αυτή έχει φέρει στην επιφάνεια ανάγκες όσων αφορά τη τροφοδοσία των συστημάτων αυτών ώστε να εξασφαλίζεται η αέναη λειτουργία τους. Για την τροφοδοσία ενός τέτοιου συστήματος δεν είναι πάντα εφικτή η χρήση συνεχούς ρεύματος μέσω καλωδίου λόγω της τοποθέτησης τους στο περιβάλλον. Σε αυτή την περίπτωση είναι σύνηθες η χρήση συσσωρευτών για την τροφοδοσία ενέργειας. Το μέγεθος και η τεχνολογία των συσσωρευτών (κύκλοι ζωής) ωστόσο, καθιστούν την συντήρηση ενός τέτοιου συστήματος δύσκολη καθώς υπάρχει η συνεχής ανάγκη για αντικατάσταση αυτών. Το πρόβλημα αυτό έρχεται να λύσει η τεχνολογία Energy Harvesting/Scavenging. Με τη χρήση της τεχνολογίας αυτής είναι δυνατή η επαναφόρτιση των συσσωρευτών χρησιμοποιώντας μετατροπείς διάχυτης ενέργειας σε ηλεκτρικό ρεύμα. Η παρούσα εργασία θα ασχοληθεί με τη μετατροπή του φωτός (ηλιακού ή τεχνητού) σε ρεύμα. Στόχος της εργασίας είναι η δημιουργία ενός προσομοιωτή τεχνητού φωτός για την αξιολόγηση φωτοβολταϊκών στοιχείων. Η τελική πειραματική διάταξη θα μπορεί να δημιουργεί κατά το δοκούν την όποια ακτινοβολούμενη ισχύ επιλέξει ο χειριστής. Το σύστημα θα συνδυάζει την απόσταση του αισθητήρα από τη φωτεινή πηγή και την ένταση του ρεύματος στην πηγή για να δημιουργεί την ισχύ αυτή. Τέλος, θα γίνει συζήτηση σε προβλήματα που συναντήθηκαν στην πορεία, πως αυτά αντιμετωπίστηκαν και μελλοντικές βελτιώσεις που θα μπορούσαν να πραγματοποιηθούν.

## Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup>

---

### 1.1 Ηλιακή ενέργεια

Η ηλιακή ενέργεια είναι η πιο ευρέως γνωστή από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Η άφθονη ενέργεια του ήλιου που φτάνει καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας στη γη, την καθιστά πρωτοπόρο ανάμεσα στις υπόλοιπες πηγές. Χρησιμοποιεί το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο για την απευθείας μετατροπή του ηλιακού φωτός σε ρεύμα. Για την μετατροπή αυτή χρησιμοποιούνται τα φωτοβολταϊκά συστήματα ή ηλιακά πάνελ. Τα ηλιακά πάνελ είναι κατασκευασμένα από υλικά τα οποία απορροφούν τα φωτόνια από το ηλιακό φως και απελευθερώνουν ηλεκτρικό φορτίο [1].

#### 1.1.1 Φωτοβολταϊκό φαινόμενο

Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο είναι η διαδικασία κατά την οποία δύο ανόμοια υλικά σε στενή επαφή παράγουν ηλεκτρική τάση όταν χτυπηθούν από φως η άλλη ακτινοβολούμενη ενέργεια. Κρύσταλλοι όπως το πυρίτιο ή το γερμάνιο, όπου τα ηλεκτρόνια συνήθως δεν είναι ελεύθερα να κινούνται από άτομο σε άτομο μέσα στον κρύσταλλο, παρέχουν την ενέργεια που απαιτείται για την απελευθέρωση ορισμένων ηλεκτρονίων από τη δεσμευμένη τους κατάσταση. Τα ελεύθερα ηλεκτρόνια διασχίζουν την απόσταση μεταξύ δύο κρυστάλλων πιο εύκολα προς τη μία κατεύθυνση από ό,τι στην άλλη, δίνοντας στη μία πλευρά της σύνδεσης αρνητικό φορτίο, επομένως, αρνητική τάση σε σχέση με την άλλη πλευρά, ακριβώς όπως έχει ένα ηλεκτρόδιο μιας μπαταρίας αρνητική τάση σε σχέση με την άλλη. Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο μπορεί να συνεχίσει να παρέχει τάση και ρεύμα όσο συνεχίζει να πέφτει φως στα δύο υλικά. Αυτό το ρεύμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μέτρηση της φωτεινότητας του προσπίπτοντος φωτός ή ως πηγή ισχύος σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα, όπως σε ένα σύστημα ηλιακής ενέργειας [2].

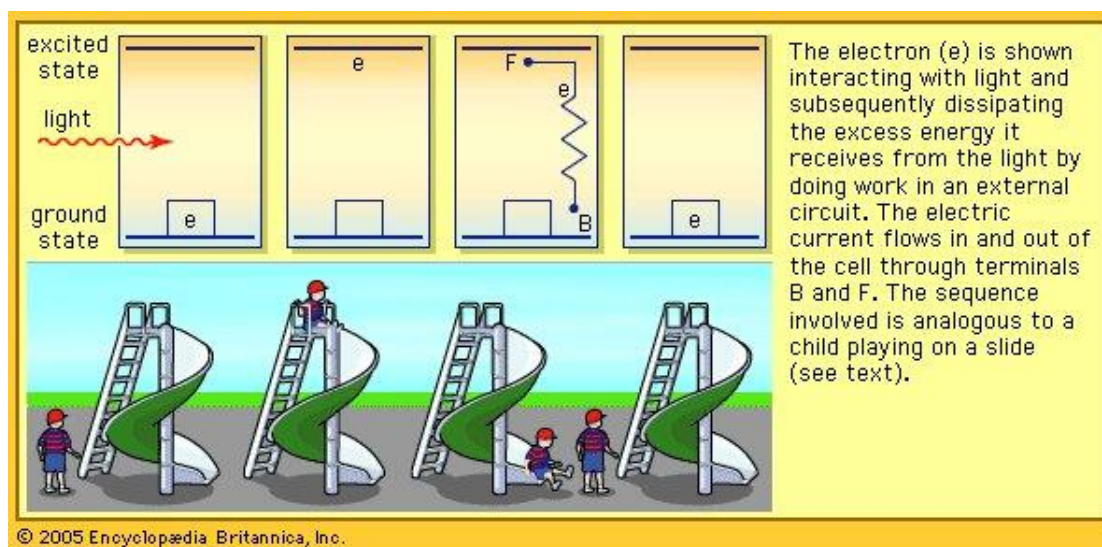
#### 1.1.2 Ανάλυση φαινομένου

Μια απλή απεικόνιση του φωτοβολταϊκού φαινομένου φαίνεται στην εικόνα 1. Το ηλιακό φως σε ένα ηλιακό κελί αναλογεί σε ένα παιδί σε μια τσουλήθρα. Αρχικά, τόσο το ηλεκτρόνιο όσο και το παιδί βρίσκονται στις αντίστοιχες <<καταστάσεις γείωσης>>. Στη συνέχεια, το ηλεκτρόνιο ανυψώνεται στη διεγερμένη του κατάσταση καταναλώνοντας ενέργεια που λαμβάνεται από το εισερχόμενο φως, όπως ακριβώς το παιδί ανυψώνεται σε μια <<διεγερμένη κατάσταση>> στην κορυφή της τσουλήθρας καταναλώνοντας χημική ενέργεια που είναι αποθηκευμένη στο σώμα του. Έτσι και στις δύο περιπτώσεις υπάρχει διαθέσιμη ενέργεια σε κατάσταση διέγερσης που μπορεί να δαπανηθεί. Ελλείψει υλικών που διαμορφώνουν κόμβους τα ελεύθερα ηλεκτρόνια δεν έχουν κίνητρο για διέγερση, έτσι κινούνται προς μια συγκεκριμένη κατεύθυνση. Τελικά επιστρέφουν στην κατάσταση του εδάφους. Από την άλλη πλευρά, κάθε φορά που έρχονται σε επαφή δύο διαφορετικά υλικά, παράγεται ένα ηλεκτρικό πεδίο κατά μήκος της επαφής. Αυτό είναι το λεγόμενο ενσωματωμένο πεδίο και ασκεί δύναμη στα ελεύθερα ηλεκτρόνια, ουσιαστικά



<<γέρνει>> τις καταστάσεις των ηλεκτρονίων και αναγκάζει τα διεγερμένα ελεύθερα ηλεκτρόνια σε ένα εξωτερικό φορτίο όπου η υπερβολική τους ενέργεια μπορεί να διαλυθεί. Το εξωτερικό φορτίο μπορεί να είναι μια απλή αντίσταση ή μπορεί να είναι οποιαδήποτε μυριάδα ηλεκτρικών ή ηλεκτρονικών συσκευών που κυμαίνονται από κινητήρες έως ραδιόφωνα. Αντίστοιχα, το παιδί κινείται στη τσουλήθρα λόγω της επιθυμίας του για ενθουσιασμό. Στη τσουλήθρα το παιδί εξαντλεί την υπερβολική του ενέργεια. Τέλος, όταν εξαντλείται η υπερβολική ενέργεια, τόσο το ηλεκτρόνιο όσο και το παιδί επιστρέφουν στην κατάσταση του εδάφους, όπου μπορούν να ξεκινήσουν ξανά ολόκληρη τη διαδικασία. Η κίνηση του ηλεκτρονίου, όπως αυτή του παιδιού, είναι προς μια κατεύθυνση. Εν ολίγοις, το φωτοβολταϊκό φαινόμενο παράγει συνεχές ρεύμα (DC) το οποίο ρέει συνεχώς σε μία μόνο κατεύθυνση.

Ωστόσο, για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος, τα ηλεκτρόνια πρέπει να ρέουν προς την ίδια κατεύθυνση. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση δύο τύπων πυριτίου. Το στρώμα πυριτίου που είναι εκτεθειμένο στον ήλιο προσβάλλεται με άτομα φωσφόρου, το οποίο έχει ένα περισσότερο ηλεκτρόνιο από το πυρίτιο, ενώ η άλλη πλευρά εμπλουτίζεται με άτομα βορίου, το οποίο έχει ένα λιγότερο ηλεκτρόνιο. Το προκύπτον σύστημα λειτουργεί σαν μια μπαταρία: το στρώμα που έχει πλεόνασμα ηλεκτρονίων γίνεται ο αρνητικός ακροδέκτης (n) και η πλευρά που έχει έλλειμμα ηλεκτρονίων γίνεται ο θετικός ακροδέκτης (p). Ένα ηλεκτρικό πεδίο δημιουργείται στη διασταύρωση μεταξύ των δύο στρωμάτων [3].



Εικόνα 1 Ανάλυση φωτοβολταϊκού φαινομένου

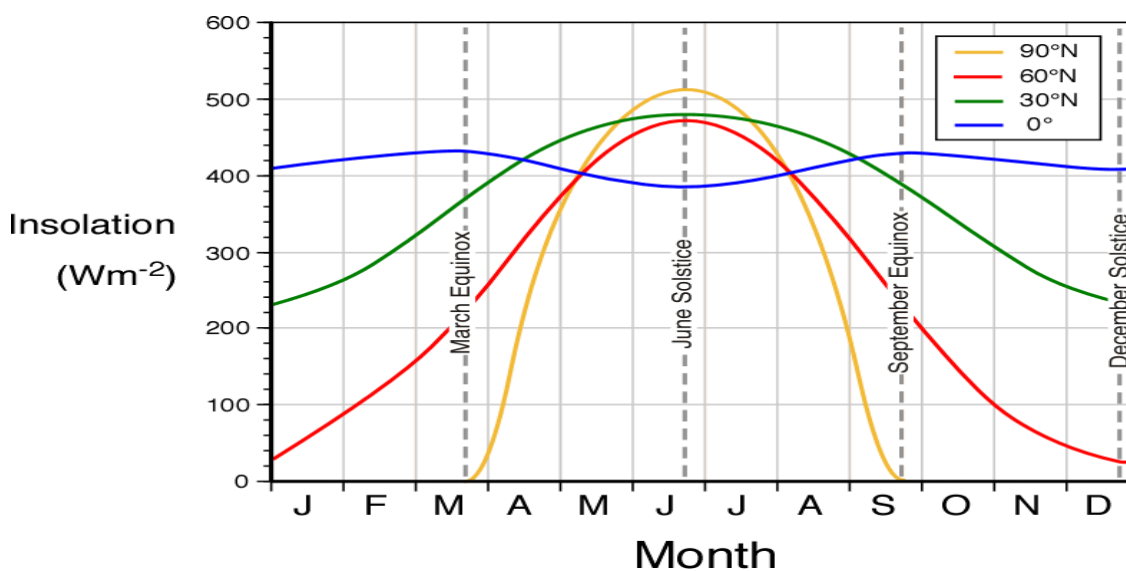
### 1.1.3 Solar insolation

Ο όρος solar insolation αναφέρεται στην προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία σε κάποιο αντικείμενο. Συγκεκριμένα, είναι ένα μέτρο της ηλιακής ενέργειας που συμβαίνει σε μια καθορισμένη περιοχή για μια καθορισμένη χρονική περίοδο. Γενικά η ηλιακή ακτινοβολία εκφράζεται με δύο τρόπους. Μια μονάδα είναι κιλοβατώρες ανά τετραγωνικό μέτρο (kWh/m<sup>2</sup>) ανά ημέρα, που αντιπροσωπεύει τη μέση ποσότητα ενέργειας που χτυπά μια περιοχή κάθε μέρα. Η άλλη μορφή είναι τα watt ανά

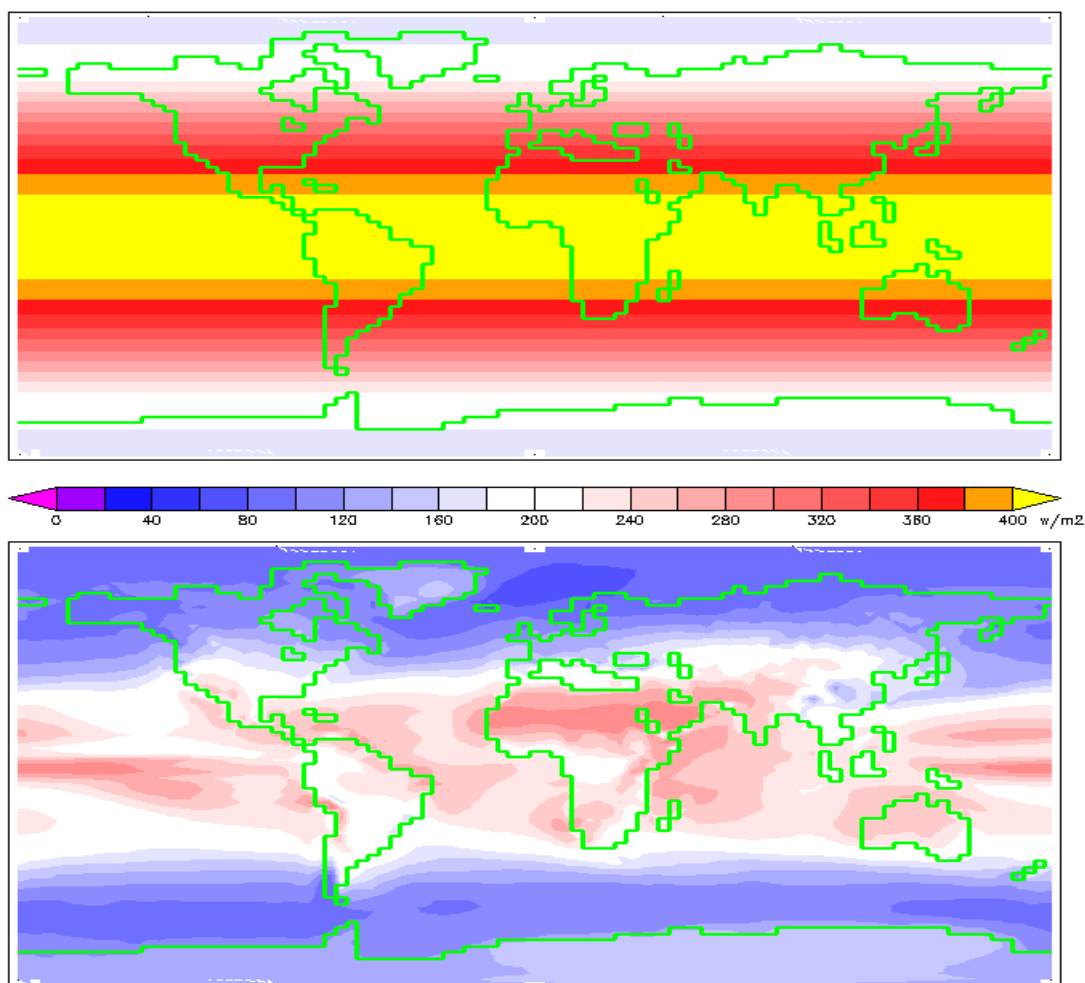
τετραγωνικό μέτρο ( $W / m^2$ ) που αντιπροσωπεύει τη μέση ποσότητα ισχύος που χτυπά μια περιοχή για ένα ολόκληρο έτος.

Στην επιφάνεια της Γης δε φτάνει όλη η ηλιακή ενέργεια που φτάνει στη Γη. Αν και  $1367 W/m^2$  του ηλιακού φωτός προσκρούει στην εξωτερική ατμόσφαιρα, περίπου το 30% αυτού αντανακλάται πίσω στο διάστημα. Μετά από αυτήν την αντανάκλαση, ένα συγκεκριμένο σημείο στη Γη μπορεί να δει σχεδόν όλο ή σχεδόν καθόλου από το ηλιακό αυτό φως. Υπάρχουν πολλοί παράγοντες που επηρεάζουν τον προσδιορισμό της πραγματικής ισχύος από το φως του ήλιου σε μια δεδομένη περιοχή. Μερικοί από αυτούς περιλαμβάνουν και τη γωνία του ήλιου, τη μάζα του αέρα, τη διάρκεια της ημέρας, την κάλυψη του νέφους και τα επίπεδα ρύπανσης.

Όταν η ηλιακή ακτινοβολία χτυπήσει ένα αντικείμενο, μέρος της ενέργειας θα απορροφηθεί ενώ το υπόλοιπο ανακλάται. Γενικά, η απορροφούμενη ηλιακή ακτινοβολία μετατρέπεται σε θερμική ενέργεια, η οποία προκαλεί τη θέρμανση του αντικειμένου. Ωστόσο, σε ορισμένες περιπτώσεις, η προσπίπτουσα ενέργεια μπορεί να απορροφηθεί και να μετατραπεί σε άλλη μορφή ενέργειας. Αυτό συμβαίνει στα φωτοβολταϊκά κελιά που χρησιμοποιούνται σε ηλιακούς συλλέκτες. Έτσι, η κατανόηση της ηλιακής ακτινοβολίας (η ποσότητα ενέργειας που πλήττει μια περιοχή) είναι σημαντική για τη μεγιστοποίηση της παραγωγής των ηλιακών συλλεκτών που απορροφούν και μετατρέπουν αυτήν την ενέργεια. Για τη μεγιστοποίηση της παραγωγής, παράγοντες όπως η γεωγραφική θέση των ηλιακών συλλεκτών και ο προσανατολισμός μπορούν να προσδιοριστούν με την κατανόηση των τιμών ηλιακής ακτινοβολίας [4].



Εικόνα 2: Solar Insolation



Εικόνα 3 Δύο χάρτες που δείχνουν που είναι η μεγαλύτερη ηλιακή ακτινοβολία. Η πρώτη εικόνα δείχνει τα επίπεδα ηλιακής ακτινοβολίας στη κορυφή της ατμόσφαιρας, η δεύτερη είναι οι τιμές ηλιακής ακτινοβολίας στο επίπεδο του εδάφους

#### 1.1.4 Radiation

Η ακτινοβολία είναι ενέργεια που προέρχεται από μια πηγή και ταξιδεύει στο διάστημα και μπορεί να είναι σε θέση να διεισδύσει σε διάφορα υλικά. Το φως, το ραδιόφωνο και τα μικροκύματα είναι τύποι ακτινοβολίας μη ιοντίζοντας.

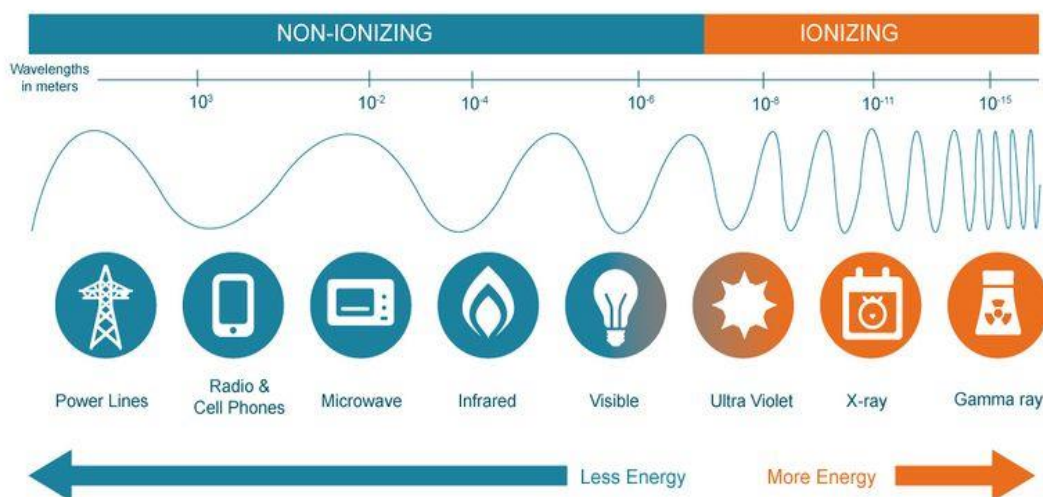
Η ιονίζουσα ακτινοβολία παράγεται από ασταθή άτομα. Τα ασταθή άτομα διαφέρουν από τα σταθερά άτομα επειδή τα ασταθή άτομα έχουν περίσσεια ενέργεια ή μάζα ή και τα δύο. Η ακτινοβολία μπορεί επίσης να παραχθεί από συσκευές υψηλής τάσης (π.χ. x-ray machines).

Τα άτομα με ασταθή πυρήνα λέγεται ότι είναι ραδιενεργά. Προκειμένου να επιτευχθεί σταθερότητα, αυτά τα άτομα εκπέμπουν ή δίνουν την υπερβολική ενέργεια ή μάζα. Αυτές οι εκπομπές ονομάζονται ακτινοβολία. Τα είδη ακτινοβολίας είναι ηλεκτρομαγνητικά (όπως το φως) και σωματιδιακά (δηλαδή, μάζα που εκπέμπεται με την ενέργεια της κίνησης). Η ακτινοβολία Gamma και οι ακτίνες X είναι παραδείγματα ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Η ακτινοβολία Gamma πηγάζει στον πυρήνα, ενώ οι ακτίνες X πηγάζουν από το ηλεκτρονικό τμήμα του ατόμου. Η ακτινοβολία Beta και alpha είναι παραδείγματα ακτινοβολίας σωματιδίων.

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία παράγεται με την επιτάχυνση των φορτίων και μετακινείται μέσω του χώρου όπως με τα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία που ταλαντεύονται. Αυτή η ακτινοβολία είναι επίσης γνωστή ως ηλεκτρομαγνητικό κύμα καθώς αποτελείται από εναλλασσόμενα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία. Αυτός ο τύπος ακτινοβολίας είναι διακριτά πακέτα γνωστά ως φωτόνια.

Υπάρχουν διάφοροι τύποι ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και οι ιδιότητες τους εξαρτώνται από την ενέργεια και το μήκος κύματός τους. Μερικοί από τους διαφορετικούς τύπους περιλαμβάνουν ραδιοκύματα, υπέρυθη ακτινοβολία (αισθητή ως θερμότητα), μικροκύματα, ορατό φως, υπεριώδη ακτινοβολία, ακτίνες X, ακτίνες Gamma και κοσμικές ακτίνες.

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος είναι γενικά μη ιονίζουσα (ραδιόφωνο προς ορατά κύματα φωτός). Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία μικρότερου μήκους κύματος (υπεριώδες φως έως ακτίνες Gamma τείνει να ιοντίζεται).



Εικόνα 4 Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα χωρίζεται σε ιονίζουσα και μη ιονίζουσα ακτινοβολία

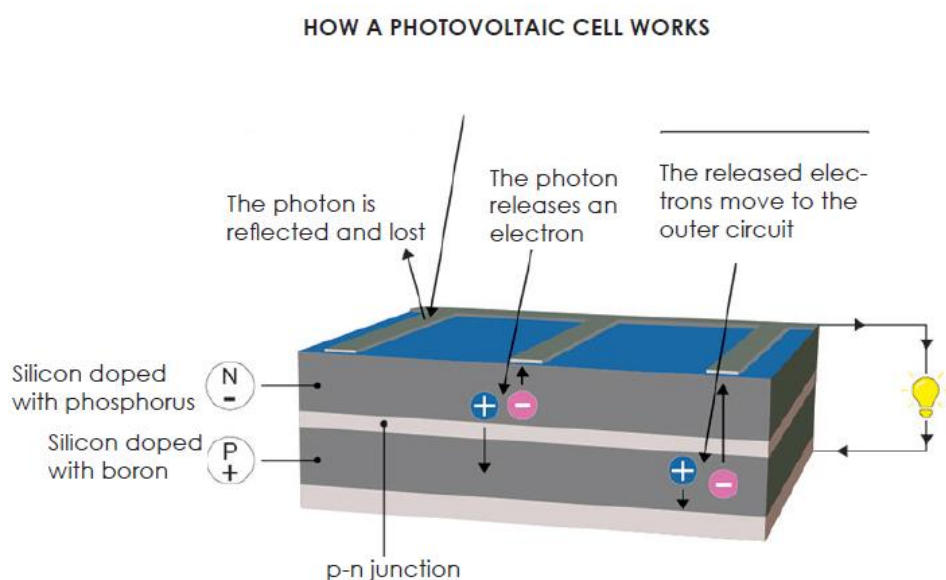
Η θερμική ακτινοβολία είναι ένας τύπος ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Όσον αφορά τη μεταφορά θερμότητας, η ακτινοβολία είναι η εκπομπή θερμικής ενέργειας με τη μορφή υπέρυθρων κυμάτων. Γενικά, η θερμική ακτινοβολία και τα υπέρυθρα κύματα αναφέρονται απλά ως "θερμότητα". Δεδομένου ότι η θερμότητα μεταφέρεται από ηλεκτρομαγνητικά κύματα, δεν χρειάζεται φυσικό μέσο για τη μεταφορά της. Αντ' αυτού, ακτινοβολεί μέσω του διαστήματος – έτσι θερμαίνεται η Γη από τον ήλιο, παρά το γεγονός ότι το διάστημα είναι κενό.

Όλα τα αντικείμενα σε κανονική θερμοκρασία εκπέμπουν θερμική ακτινοβολία, ωστόσο δεν είναι ορατή με γυμνό μάτι. Οι υπέρυθρες κάμερες μπορούν να πάρουν αυτήν την αόρατη ακτινοβολία και να την μετατρέψουν ψηφιακά σε μια ορατή εικόνα. Μερικές φορές αυτή η ακτινοβολούμενη θερμότητα είναι ορατή. Για παράδειγμα, ένα κερί εκπέμπει θερμότητα. Δίνει επίσης ορατό φως, το οποίο αντιστοιχεί στη θερμοκρασία της φλόγας. Η φλόγα καίει πιο καυτά στο φυτίλι και εκπέμπει μπλε ή λευκό φως καθώς βρίσκεται στο υψηλότερο άκρο του φάσματος ορατού φωτός. Γύρω από το φυτίλι, η φλόγα είναι κίτρινη και έπειτα κόκκινη, η

οποία βρίσκεται στο κάτω άκρο του φάσματος ορατού φωτός. Η περιοχή που περιβάλλει τη φλόγα δεν εκπέμπει φως καθώς εκπέμπει κύματα υπέρυθρων, αλλά είναι ζεστή στην αφή [5].

## 1.2 Πως λειτουργεί ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο

Όταν τα ηλεκτρόνια διεγείρονται από τα φωτόνια, σαρώνονται προς τα πλάγια από ένα ηλεκτρικό πεδίο, ενώ οι οπές μετακινούνται στην πλευρά p. Τα ηλεκτρόνια και οι οπές κατευθύνονται στις ηλεκτρικές επαφές που εφαρμόζονται και στις δύο πλευρές προτού ρέουν στο εξωτερικό κύκλωμα με τη μορφή ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό παράγει συνεχές ρεύμα. Μια αντιανακλαστική επικάλυψη προστίθεται στην κορυφή του κελιού για να ελαχιστοποιηθεί η απώλεια φωτονίων λόγω της ανάκλασης της επιφάνειας [6].



Εικόνα 5 Πως λειτουργεί ένα φωτοβολταϊκό πάνελ

### 1.2.1 Τύποι φωτοβολταϊκών στοιχείων

#### Outdoor photovoltaic cells τεχνολογίες κατασκευής

##### Μονοκρυσταλλικά ηλιακά πάνελ (Monocrystalline Solar Panels (Mono-SI))

Αυτός ο τύπος ηλιακών συλλεκτών (από μονοκρυσταλλικό πυρίτιο) είναι ο πιο αγνός. Μπορούν εύκολα να τα αναγνωριστούν από την ομοιόμορφη σκοτεινή εμφάνιση και



τις στρογγυλεμένες άκρες. Η υψηλή καθαρότητα του πυριτίου προκαλεί αυτόν τον τύπο ηλιακού συλλέκτη να έχει ένα από τα υψηλότερα ποσοστά απόδοσης, με τα νεότερα να φτάνουν πάνω από 20%.

Τα μονοκρυσταλλικά πάνελ έχουν υψηλή ισχύ εξόδου, καταλαμβάνουν λιγότερο χώρο και διαρκούν το μεγαλύτερο. Φυσικά, αυτό σημαίνει επίσης ότι είναι τα πιο ακριβά. Ένα άλλο πλεονέκτημα που πρέπει να ληφθεί υπόψη είναι ότι τείνουν να επηρεάζονται ελαφρώς λιγότερο από τις υψηλές θερμοκρασίες σε σύγκριση με τα πολυκρυσταλλικά πάνελ.

### **Πολυκρυσταλλικά ηλιακά πάνελ (Polycrystalline Solar Panels (Poly-SI))**

Αυτός ο τύπος ηλιακών πλαισίων έχει τετράγωνα, οι γωνίες του δεν κόβονται και έχει μια μπλε, στιγματισμένη εμφάνιση. Κατασκευάζονται με τήξη ακατέργαστου πυριτίου, η οποία είναι μια ταχύτερη και φθηνότερη διαδικασία από αυτήν που χρησιμοποιείται για μονοκρυσταλλικά πάνελ.

Αυτό οδηγεί σε χαμηλότερη τελική τιμή, αλλά και χαμηλότερη απόδοση (περίπου 15%), χαμηλότερη απόδοση χώρου και μικρότερη διάρκεια ζωής, καθώς επηρεάζονται από τις υψηλές θερμοκρασίες σε μεγαλύτερο βαθμό. Ωστόσο, οι διαφορές μεταξύ μονο- και πολυκρυσταλλικών τύπων ηλιακών συλλεκτών δεν είναι τόσο σημαντικές και η επιλογή θα εξαρτηθεί σε μεγάλο βαθμό από τη συγκεκριμένη περίπτωση σας. Η πρώτη επιλογή προσφέρει ελαφρώς υψηλότερη απόδοση χώρου σε ελαφρώς υψηλότερη τιμή, αλλά οι έξοδοι ισχύος είναι βασικά οι ίδιες.

### **Ηλιακά πάνελ λεπτής μεμβράνης (Thin-Film Solar Cells (TFSC))**

Τα ηλιακά πάνελ λεπτής μεμβράνης κατασκευάζονται τοποθετώντας ένα ή περισσότερα φιλμ φωτοβολταϊκού υλικού (όπως πυρίτιο, κάδμιο ή χαλκό) πάνω σε ένα υπόστρωμα. Αυτοί οι τύποι ηλιακών συλλεκτών είναι οι ευκολότεροι στην παραγωγή και οι οικονομίες κλίμακας τα καθιστούν φθηνότερα από τις εναλλακτικές λύσεις λόγω του ότι απαιτείται λιγότερο υλικό για την παραγωγή τους.

Είναι επίσης ευέλικτα και επηρεάζονται λιγότερο από τις υψηλές θερμοκρασίες. Το κύριο ζήτημα είναι ότι καταλαμβάνουν πολύ χώρο, καθιστώντας τους γενικά ακατάλληλους για οικιακές εγκαταστάσεις. Επιπλέον, έχουν τις μικρότερες εγγυήσεις, επειδή η διάρκεια ζωής τους είναι μικρότερη από τους μονο- και πολυκρυσταλλικούς τύπους ηλιακών συλλεκτών.

### **Άμορφο πάνελ πυριτίου (Amorphous Silicon Solar Cell (A-Si))**

Το άμορφο ηλιακό στοιχείο πυριτίου είναι μεταξύ των διαφόρων τύπων ηλιακών συλλεκτών, το οποίο χρησιμοποιείται κυρίως σε υπολογιστές τσέπης. Αυτός ο τύπος ηλιακού συλλέκτη χρησιμοποιεί τεχνολογία τριπλής στρώσης, η οποία είναι η καλύτερη από την ποικιλία λεπτής μεμβράνης.

Για να δώσουμε μια σύντομη εντύπωση για το τι σημαίνει «λεπτό», σε αυτήν την περίπτωση, μιλάμε για πάχος 1 μικρομέτρου (ένα εκατοστό του μέτρου). Με ποσοστό απόδοσης μόνο 7%, αυτά τα κύτταρα είναι λιγότερο αποτελεσματικά από τα

κρυσταλλικά πυρίτιου - που έχουν ρυθμό απόδοσης περίπου 18% - αλλά το πλεονέκτημα είναι το γεγονός ότι τα πάνελ A-Si έχουν σχετικά χαμηλό κόστος.

### **Βιοϋβριδικό ηλιακό πάνελ (Biohybrid Solar Cell)**

Το ηλιακό πάνελ Biohybrid είναι ένας από τους τύπους των ηλιακών συλλεκτών, που βρίσκεται ακόμη στο στάδιο της έρευνας. Ανακαλύφθηκε από μια ομάδα εμπειρογνομώνων στο Πανεπιστήμιο Vanderbilt. Η ιδέα πίσω από τη νέα τεχνολογία είναι να εκμεταλλευτεί το φωτοσύστημα 1 και έτσι να μιμηθεί τη φυσική διαδικασία της φωτοσύνθεσης. Πολλά από τα υλικά που χρησιμοποιούνται σε αυτό το πάνελ είναι παρόμοια με τις παραδοσιακές μεθόδους, αλλά μόνο συνδυάζοντας τα πολλαπλά στρώματα του φωτοσυστήματος 1, η μετατροπή από χημική σε ηλεκτρική ενέργεια γίνεται πολύ πιο αποτελεσματική (έως και 1000 φορές πιο αποτελεσματική από τους τύπους 1ης γενιάς ηλιακούς συλλέκτες).

### **Ηλιακό πάνελ κάδμιο (Cadmium Telluride Solar Cell (CdTe))**

Τα ηλιακά πάνελ από κάδμιο επιτρέπουν την παραγωγή ηλιακών κυττάρων με σχετικά χαμηλό κόστος και επομένως μικρότερο χρόνο απόδοσης (λιγότερο από ένα χρόνο). Από όλες τις τεχνολογίες ηλιακής ενέργειας, αυτή είναι που απαιτεί τη λιγότερη ποσότητα νερού για την παραγωγή. Λαμβάνοντας υπόψη τον σύντομο χρόνο απόδοσης ενέργειας, τα ηλιακά κύτταρα CdTe θα διατηρήσουν το αποτύπωμα άνθρακα όσο το δυνατόν χαμηλότερα. Το μόνο μειονέκτημα της χρήσης του κάδμιου είναι το χαρακτηριστικό του να είναι τοξικό, σε περίπτωση κατάποσης ή εισπνοής. Στην Ευρώπη ειδικά, αυτό είναι ένα από τα μεγαλύτερα εμπόδια που πρέπει να ξεπεραστούν, καθώς πολλοί άνθρωποι ανησυχούν πολύ για τη χρήση της τεχνολογίας πίσω από αυτόν τον τύπο ηλιακού συλλέκτη.

### **Συμπυκνωμένο φωτοβολταϊκό στοιχείο (CVP και HCVP)**

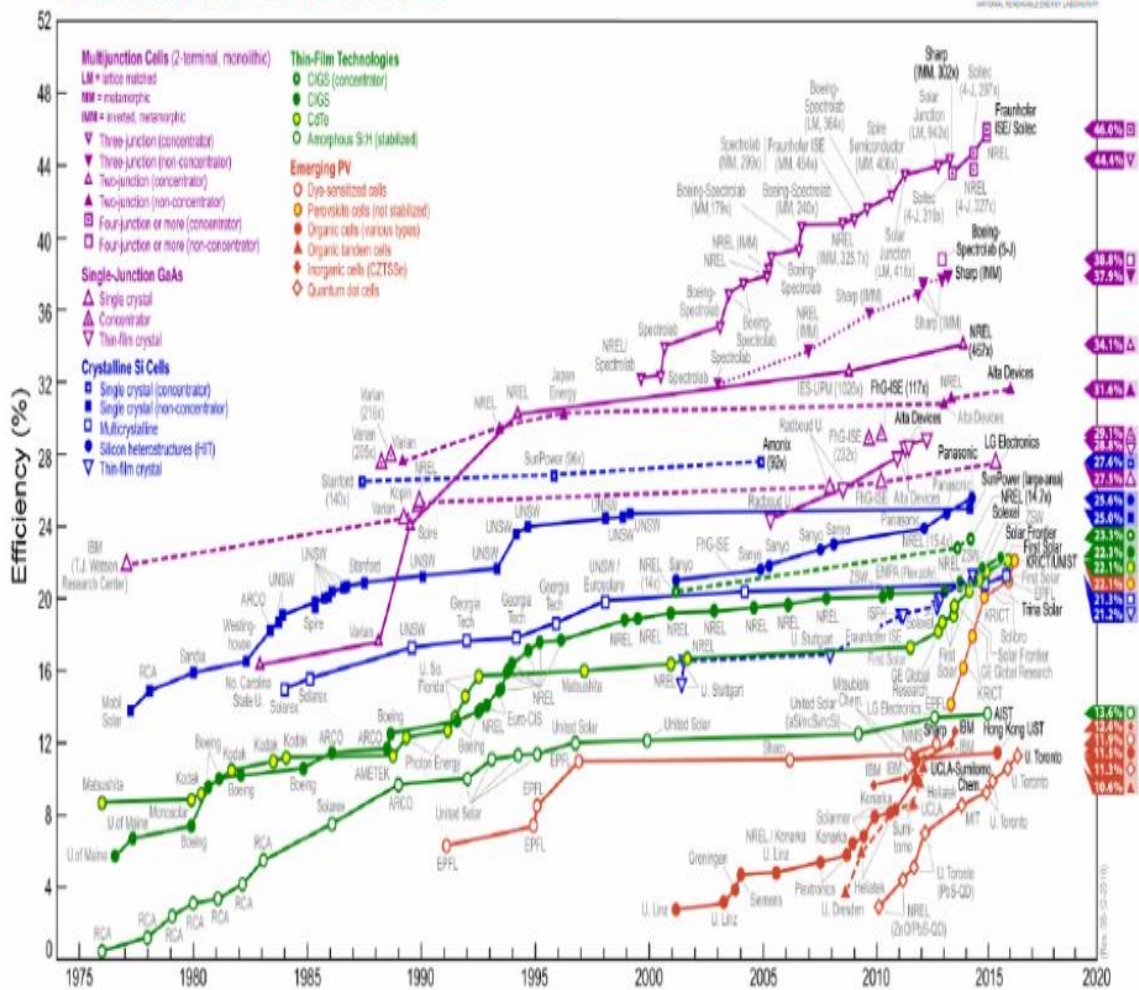
Τα συμπυκνωμένα φωτοβολταϊκά πάνελ παράγουν ηλεκτρική ενέργεια όπως τα συμβατικά φωτοβολταϊκά συστήματα. Αυτοί οι τύποι ηλιακών συλλεκτών πολλαπλών συνδέσεων έχουν ποσοστό απόδοσης έως 41%, το οποίο, μεταξύ όλων των φωτοβολταϊκών συστημάτων, είναι το υψηλότερο μέχρι τώρα.

### **Συμπυκνωμένο ηλιακό κύτταρο**

Το όνομα τέτοιων πάνελ CVP σχετίζεται με αυτό που τα καθιστά τόσο αποτελεσματικά, σε σύγκριση με άλλους τύπους ηλιακών συλλεκτών: κυρτές επιφάνειες καθρεφτών, φακοί και μερικές φορές ακόμη και συστήματα ψύξης χρησιμοποιούνται για τη δέσμη των ακτίνων του ήλιου και έτσι αυξάνουν την αποδοτικότητά τους.

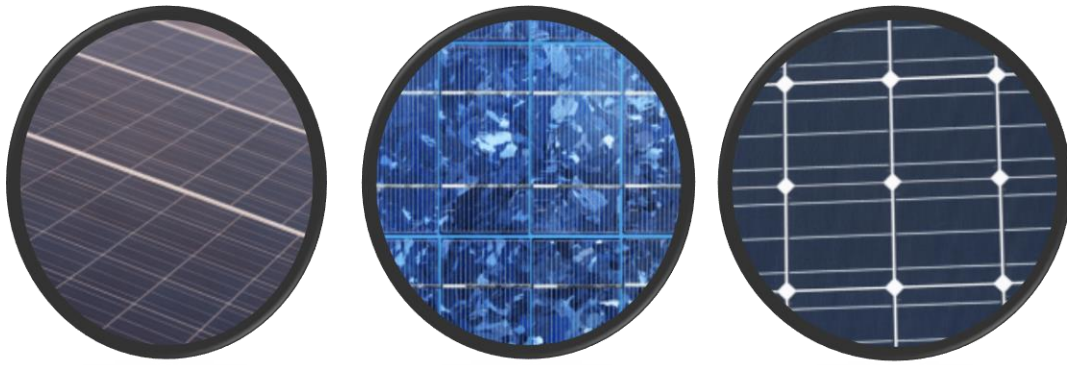
Με αυτόν τον τρόπο, τα κύτταρα CVP έχουν γίνει ένα από τα πιο αποδοτικά ηλιακά πάνελ, με υψηλό ποσοστό απόδοσης και αποδοτικότητας έως και 41%. Αυτό που απομένει είναι το γεγονός ότι τέτοια ηλιακά πάνελ CVP μπορούν να είναι εξίσου αποτελεσματικά μόνο αν αντιμετωπίζουν τον ήλιο σε τέλεια γωνία. Προκειμένου να επιτευχθούν τόσο υψηλά ποσοστά απόδοσης, ένας ηλιακός ανιχνευτής μέσα στο ηλιακό πλαίσιο είναι υπεύθυνος για την παρακολούθηση του ήλιου [7].

# Best Research-Cell Efficiencies



Εικόνα 6 Απόδοση ηλιακών πάνελ με τη πάροδο των χρόνων





*Polycrystalline Solar Panels (Poly-Si)*

*Monocrystalline Solar Panels (Mono-Si)*

*Thin-Film Solar Cells (TFSC)*

*Εικόνα 7 Τύποι φωτοβολταϊκών πάνελ*

### **1.2.2 indoor photovoltaic cells**

Όταν βρίσκονται σε εσωτερικούς χώρους χωρίς πρόσβαση σε ηλιακή ακτινοβολία, τα IPV φωτοβολταϊκά κύτταρα συλλέγουν την ενέργεια που εκπέμπεται από τεχνητές πηγές φωτός, με ένταση φωτισμού συνήθως 3 τάξεις μικρότερο από το φως του ήλιου. Λειτουργία φωτοβολταϊκών κυττάρων σε τόσο χαμηλές εντάσεις φωτισμού, σε συνδυασμό με τις σημαντικές διαφορές στην πυρακτωμένη, CFL, LED, αλογόνο και το ηλιακό φάσμα, έχουν σημαντική επίδραση στην απόδοση των κυττάρων κάτω από συνθήκες φωτισμού εσωτερικού χώρου. Για ηλιακά κύτταρα πυριτίου, ένα πρακτικό όριο απόδοσης 29% έχει τεκμηριωθεί, ενώ η καλύτερη τιμή που έχει επιτευχθεί είναι 26,7% κάτω από 1 ήλιο. Η εκτίμηση της εσωτερικής απόδοσης είναι δύσκολη γιατί δεν υπάρχει καθολικά αποδεκτό πρότυπο για ποιότητα φασματικού εσωτερικού χώρου και ολοκληρωμένη ακτινοβολία (δηλαδή, ισοδύναμο εσωτερικού χώρου με το πρότυπο εξωτερικού AM1.5G). Έτσι, παραμένει δύσκολο να συγκριθούν άμεσα τα αποτελέσματα, δεδομένου του διαφορετικού μεγέθους και διατάξεων κυψελίδων ή μονάδων που χρησιμοποιούνται, η έλλειψη των κυττάρων κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, οι διαφορετικές πηγές φωτισμού και η χρήση μη βαθμονομημένων μετρητών ισχύος και lux, στην ουσία, έλλειψη τυπικής πρακτικής μέτρησης IPV [8].

### 1.3 Οι μονάδες Lumen, Lux και Candela

#### Lumen

Ένα lumen (σύμβολο: lm) είναι η μονάδα φωτεινής ροής. Μετρά τη συνολική ποσότητα φωτός που εκπέμπεται από μια πηγή φωτός προς όλες τις κατευθύνσεις. Η φωτεινή ροή λαμβάνει υπόψη την ευαισθησία του ματιού στο ορατό μέρος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Το Lumen είναι επομένως η μονάδα μέτρησης της φωτεινότητας μιας πηγής φωτός ανεξάρτητα από την κατεύθυνση της δέσμης φωτός. Η φωτεινή ροή είναι ένα μέτρο της συνολικής ποσότητας φωτός σε μια δέσμη φωτός. Η ένταση του φωτός είναι ένα μέτρο της πυκνότητας του φωτός. Εάν κάποιος δει ένα μέρος μιας φωτεινής δέσμης, αυτό το τμήμα έχει μια μικρότερη φωτεινή ροή (σε lumen) αλλά την ίδια φωτεινή ένταση (σε candela) με ολόκληρη τη δέσμη. Η φωτεινή ροή εξαρτάται από την ισχύ της πηγής και από το χρώμα του φωτός. Ένας λαμπτήρας πυρακτώσεως δίνει φωτεινή ροή περίπου 12 lm / W. Όσο μικρότερη είναι η γωνία ακτινοβολίας στην οποία εκπέμπεται το φως, τόσο υψηλότερη είναι η φωτεινή ένταση (με σταθερή φωτεινή ροή).

#### Lux

Το lux (σύμβολο: lx) είναι μια μονάδα φωτισμού: 1 lux είναι η φωτεινότητα που παράγεται από 1 candela σε μια επιφάνεια κάθετη προς τις ακτίνες φωτός σε απόσταση 1 μέτρου από την πηγή.

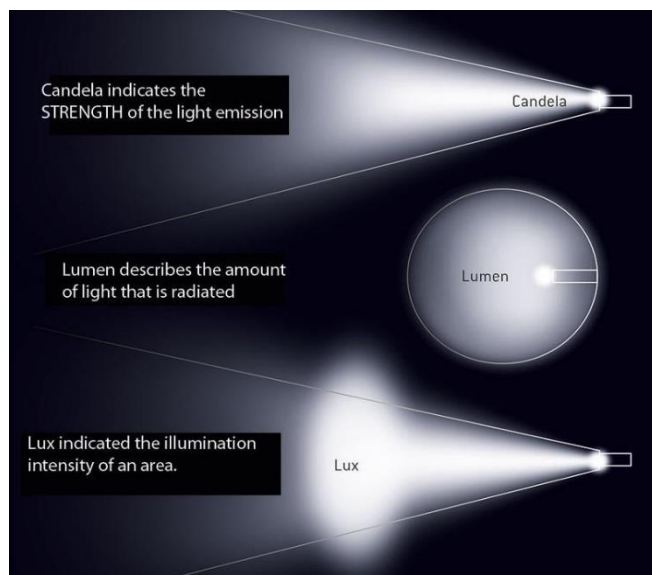
Το lux αντιστοιχεί στη φωτεινότητα που λαμβάνεται όταν κάθε τετραγωνικό μέτρο της εξεταζόμενης επιφάνειας λαμβάνει μια φωτεινή ροή ενός lumen. Ο αριθμός lux εμφανίζεται έτσι ως το πηλίκο της συνολικής λαμβανόμενης φωτεινής ροής, εκφραζόμενη σε lumens, και το μέγεθος της φωτιζόμενης περιοχής εκφρασμένης σε τετραγωνικά μέτρα. Επομένως  $1 \text{ lux} = 1 \text{ lumen} / \text{m}^2$ . Ένας λαμπτήρας που δίνει τον ίδιο αριθμό lux σε απόσταση τριών μέτρων από έναν λαμπτήρα που μετράται σε ένα μέτρο είναι πολύ πιο ισχυρός από αυτόν που μετράται σε έναν μετρητή.

Με έναν μετρητή φωτός μπορεί να γίνει η μέτρηση των lux μίας επιφάνειας ή χώρου. Καθώς αυξάνεται η απόσταση από την πηγή φωτός προς το αντικείμενο προς φωτισμό, η φωτεινότητα μειώνεται στο τετράγωνο [9][10].

#### Candela

Η φωτεινότητα υποδεικνύεται από τη candela (σύμβολο cd). Η ένταση του φωτός δείχνει πόσο φως είναι σε κάθε κομμάτι μιας φωτεινής δέσμης. Μία candela αντιστοιχεί περίπου στην ένταση του φωτός ενός κανονικού κεριού.

Μία candela σχετίζεται με τις μονάδες lumen και lux. Η μονάδα lumen χρησιμοποιείται για τη συνολική φωτεινή ροή σε μια φωτεινή δέσμη. Μια ακτίνα φωτός με ισχύ 1 candela και μια γωνία διαστήματος 1 steradian έχει συνολική φωτεινή ροή 1 lumen. Έτσι, 1 candela ισούται με 1 lumen ανά steradian. Όταν μια δέσμη ισχύος 1 lumen πέφτει σε επιφάνεια 1 τετραγωνικού μέτρου, αυτό δίνει φωτεινότητα 1 lux. Επομένως, 1 lux ισούται με 1 lumen ανά τετραγωνικό μέτρο [10] [11][12].



Εικόνα 8 Candela, Lumen and Lux view

### Luminous efficacy

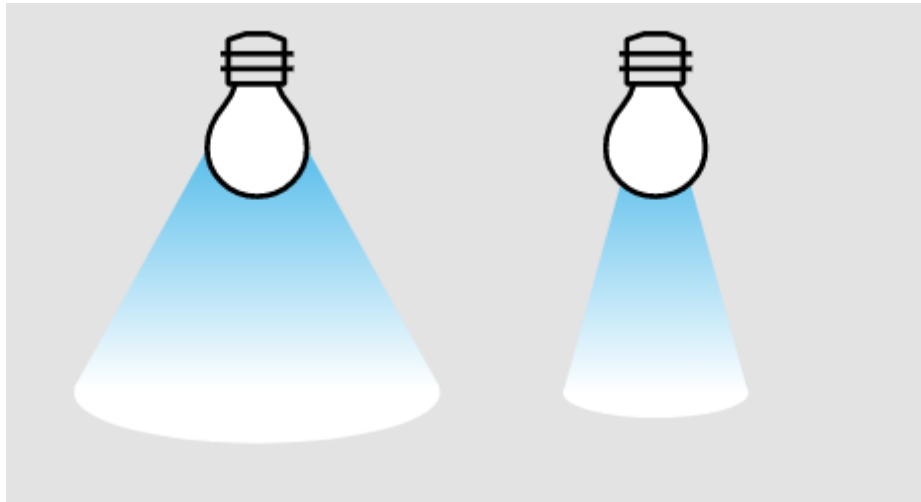
Luminous efficacy είναι ένα μέτρο του πόσο καλά μια πηγή φωτός παράγει ορατό φως. Είναι ο λόγος φωτεινής ροής προς ισχύ. Ανάλογα με το πλαίσιο, η ισχύς μπορεί να είναι είτε η ακτινοβολία της εξόδου της πηγής, είτε η συνολική ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνεται από την πηγή. Οι λαμπτήρες μετατρέπουν την ηλεκτρική ενέργεια σε φως [13].

### Φωτεινή ένταση

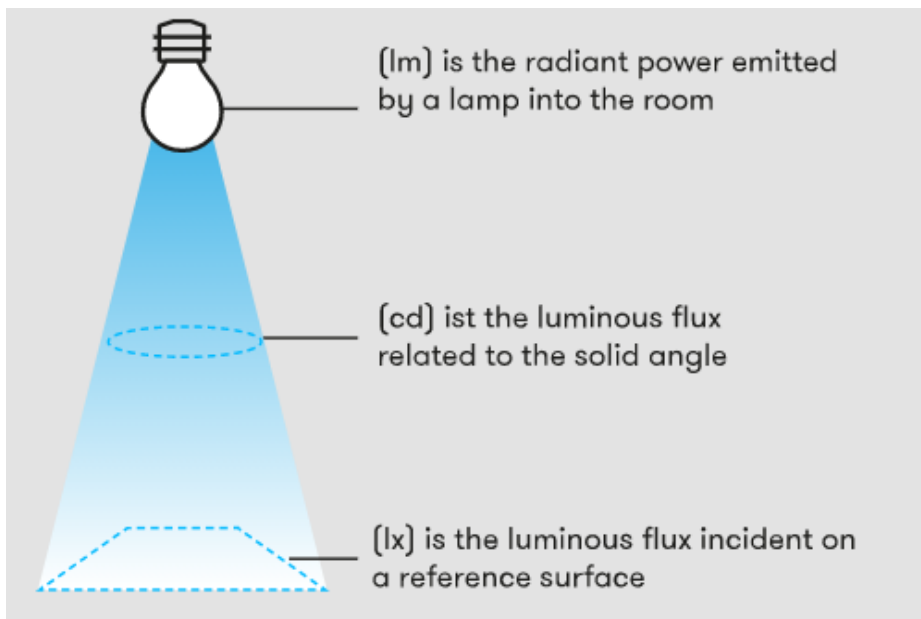
Η φωτεινή ένταση είναι μια σημαντική τιμή για τη σύγκριση διαφορετικών λαμπτήρων. Οι λαμπτήρες με την ίδια φωτεινή ροή μπορούν να έχουν εντελώς διαφορετικές φωτεινές εντάσεις λόγω της γωνίας της δέσμης. Η γωνία δέσμης δείχνει τη γωνία με την οποία εκπέμπεται το φως από τη λάμπα. Η φωτεινή ένταση δείχνει πόσο έντονα εκπέμπεται το φως. Όσο πιο συγκεντρωμένο εκπέμπεται το φως, τόσο πιο έντονο είναι. Το διάγραμμα δείχνει δύο λαμπτήρες με την ίδια φωτεινή ροή αλλά διαφορετικές γωνίες δέσμης. Η φωτεινή ένταση του λαμπτήρα με τη μικρότερη γωνία δέσμης είναι υψηλότερη από εκείνη του λ, εκείνη του λαμπτήρα με την ευρύτερη γωνία δέσμης.

### Πως σχετίζονται τα lumen, candela και lux.

Οι όροι lumen, candela και lux εμφανίζονται πολύ συχνά στη μέτρηση του φωτός. Είναι όλες φωτομετρικές ποσότητες. Το παρακάτω διάγραμμα δείχνει τη σχέση μεταξύ των τριών όρων.



Εικόνα 9 Γωνίες δέσμης λαμπτήρων

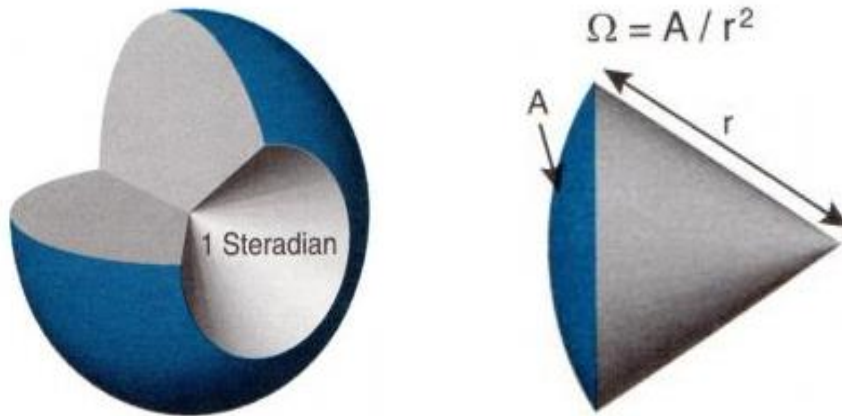


Εικόνα 10 Σχέση μεταξύ lumen, candela, lux

Η μονάδα lumen αντιπροσωπεύει τη συνολική έξοδο φωτός μιας φωτεινής πηγής που εκπέμπεται προς όλες τις κατευθύνσεις. Ωστόσο, δεδομένου ότι το φως εκπέμπεται από διαφορετικές φωτεινές πηγές, δεν εκπέμπεται ομοιόμορφα προς όλες τις κατευθύνσεις, η φωτεινή ένταση δίνεται σε candela. Αυτή η τιμή δείχνει πόσο εκπέμπεται το φως σε μια συγκεκριμένη κατεύθυνση. Σε αντίθεση με αυτές τις δύο εκπεμπόμενες ποσότητες, υπάρχει επίσης η τιμή lux. Η μονάδα lux δεν μετρά πόσο φως εκπέμπεται, αλλά πόσο από το εκπεμπόμενο φως φτάνει σε μια συγκεκριμένη επιφάνεια. Οι μονάδες lumen και candela αναφέρονται από τους περισσότερους κατασκευαστές. Οι κατασκευαστές δεν μπορούν να αναφέρουν τη τιμή lux, επειδή αυτή η τιμή εξαρτάται από τις συνθήκες περιβάλλοντος της περιοχής εφαρμογής [14].

### Solid Angle

Solid Angle είναι το τρισδιάστατο μέγεθος του κώνου φωτός. Εάν μια φωτεινή πηγή εκπέμπει φως, η γωνία του εκπεμπόμενου φωτός είναι τρισδιάστατη. Η μονάδα της Solid Angle είναι το steradian(sr). Η φωτεινή ένταση υποδηλώνει την ποσότητα φωτός που εκπέμπει μια πηγή φωτός ανά σταθερή γωνία(solid Angle). Η σταθερή γωνία υπολογίζεται διαιρώντας την περιοχή (A) με την ακτίνα ( $r^2$ ) [15].



Εικόνα 11 Solid angle και steradian

## Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup> Συστήματα ανάλυσης φωτοβολταϊκών παραμέτρων

---

### 2.1 Υποσύστημα εξομοίωσης φάσματος

Στην αγορά υπάρχουν εξομοιωτές φάσματος οι οποίοι έχουν δημιουργηθεί από γνωστές εταιρίες πάνω σε αυτόν το τομέα και αναφέρουν πως λειτουργούν, τα υλικά τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για τη κατασκευή τους και πως μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Κάποιοι από αυτούς είναι οι εξής

#### **-VeraSol-2 LED Class AAA Solar Simulator**

Η Oriel θέτει κάθε σύστημα βασισμένο σε LED μέσω αυστηρών δοκιμών για όλες τις πτυχές των προτύπων για να εξασφαλίσει τη συμμόρφωση και παρέχει πιστοποιητικό calibration.

#### **Εξαρτήματα συστήματος**

Ο ηλιακός προσομοιωτής VeraSol-2 περιλαμβάνει τον ελεγκτή LSS-7120, την πηγή φωτός LED LSH-7520, το καλώδιο σύνδεσης CC720 και μια διάταξη κατακόρυφης ρύθμισης ύψους. Το σύστημα μπορεί να τοποθετηθεί απευθείας σε ένα τραπέζι.



Εικόνα 12 Verasol-2

#### **Ανεξάρτητος έλεγχος LED**

Ο καινοτόμος σχεδιασμός του οδηγεί ανεξάρτητα πολλαπλές λυχνίες LED σε 19 μεμονωμένα μήκη κύματος σε απόσταση από το φάσμα από 400 έως 1100 nm για να εξασφαλίσει μια φασματική αντιστοιχία που συναντά την πιστοποίηση της κατηγορίας A. Ο ανεξάρτητος έλεγχος κάθε LED επιτρέπει στο χρήστη να ρυθμίσει την έξοδο στις συγκεκριμένες απαιτήσεις της δοκιμής. Παραδείγματα εφαρμογών περιλαμβάνουν, την προσομοίωση μπλε ή κόκκινου φωτός για την περιποίηση του

δέρματος και άλλες βιοϊατρικές δοκιμές στη βιομηχανία καλλυντικών. Αυτή η ρύθμιση μπορεί να γίνει από τον μπροστινό πίνακα του ελεγκτή για ολόκληρο το φάσμα ή μεμονωμένες ζώνες μήκους κύματος. Ο χρήστης μπορεί επίσης να προσαρμόσει την έξοδο των 19 επιμέρους LED μέσω της εφαρμογής λογισμικού. Αυτά τα φασματικά προφίλ μπορούν να αποθηκευτούν ως προσαρμοσμένα φάσματα στο χειριστήριο και να ανακληθούν εύκολα με το πάτημα ενός κουμπιού.

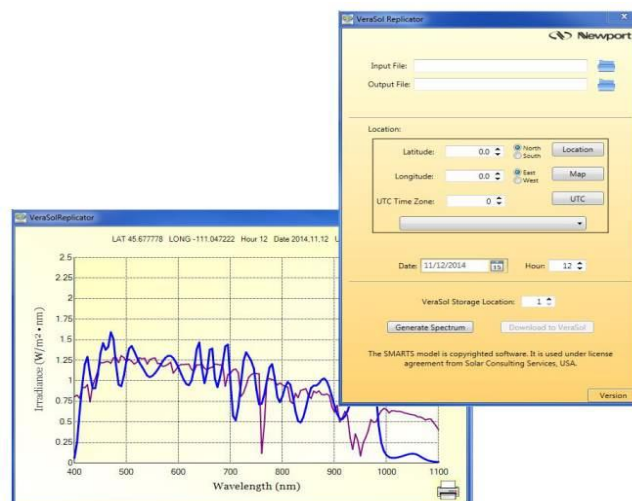


Εικόνα 13 Verasol software

### Γεωγραφική θέση Ηλιακά φάσματα

Το VeraSol Replicator δίνει στον χρήστη μια μέθοδο για να δημιουργήσει ένα ηλιακό φάσμα με βάση τις γεωγραφικές τοποθεσίες, καθώς και την ημερομηνία και την ώρα της ημέρας. Αυτό το φάσμα χρησιμοποιείται για τη δημιουργία ενός φάσματος VeraSol LED, αναπαράγοντας το ηλιακό φάσμα [16].





Εικόνα 14 Ηλιακό φάσμα γεωγραφικής θέσης

### -MiniSol model LSH-7320

Το συμπαγές και εύχρηστο μοντέλο MiniSol™ LSH-7320 ενσωματώνει τα πλεονεκτήματα της τεχνολογίας LED σε έναν εύκαμπτο ηλιακό προσομοιωτή. Η εντελώς ανεξάρτητη κεφαλή περιλαμβάνει όλα τα χειριστήρια, τα LED και τα οπτικά του, επιτρέπουν στους ερευνητές ευέλικτες επιλογές τοποθέτησης και προσανατολισμού. Σε αντίθεση με τους τυπικούς ηλιακούς προσομοιωτές που βασίζονται σε λαμπτήρες, οι ηλιακοί προσομοιωτές με βάση LED έχουν διάρκεια ζωής λαμπτήρων που μπορεί να υπερβαίνουν τις 10.000 ώρες και δεν απαιτούν μεγάλο χρόνο προθέρμανσης. Το κλείστρο μπορεί να επιτευχθεί με απλή ενεργοποίηση και απενεργοποίηση της εξόδου. Δεν απαιτείται μηχανικό κλείστρο. Η προσοχή στο σχεδιασμό και τη χρήση LED στερεάς κατάστασης επιτρέπουν στο MiniSol μοντέλο LSH-7320 να τοποθετηθεί σε οποιοδήποτε προσανατολισμό εξόδου για να καλύψει μια ποικιλία αναγκών εφαρμογής.



Εικόνα 15 MiniSol™ model LSH-7320



## Ευέλικτος προσανατολισμός πηγής φωτός

Η χρήση λυχνιών LED στερεάς κατάστασης και το ισχυρό οπτικό υλικό τοποθέτησης καθιστά δυνατό τον προσανατολισμό της κεφαλής σε οποιαδήποτε θέση ώστε να ταιριάζει σε διάφορες εφαρμογές. Για να διευκολυνθεί η τοποθέτηση της πηγής φωτός, περιλαμβάνεται μια βάση μεταβλητής ρύθμισης ύψους μαζί με μια ένδειξη δείκτη λέιζερ για να διασφαλιστεί ότι το κελί δοκιμής βρίσκεται πάντα στη σωστή θέση κάτω από το κεφάλι. Η ευελιξία του ηλιακού προσομοιωτή MiniSol model LSH-7320 επιτρέπει στον χρήστη να προσαρμόσει τον προσομοιωτή στη δοκιμή και όχι τη δοκιμή στον ηλιακό προσομοιωτή [17].



Εικόνα 16 Κεφαλή MiniSolTM model LSH-7320

## Προαιρετικό κελί αναφοράς

Ένα βαθμονομημένο κελί αναφοράς αποτελεί αναπόσπαστο μέρος της βαθμονόμησης του ηλιακού προσομοιωτή και του χαρακτηρισμού I-V των ηλιακών κυψελών. Το μοντέλο Oriel 91150V αποτελείται από έναν μετρητή ανάγνωσης και μια βαθμονομημένη ηλιακή κυψέλη 2 x 2 cm από μονοκρυσταλλικό πυρίτιο. Το κελί είναι επίσης εξοπλισμένο με θερμοστοιχείο συναρμολογημένο σύμφωνα με το IEC 60904-2. Διαβάζει ακτινοβολία ηλιακού προσομοιωτή σε μονάδες "SUN". Όπου ένας ΗΛΙΟΣ είναι ίσος με 1000 W/m<sup>2</sup> στους 25 ° C και AM 1.5G. Ο μετρητής περιλαμβάνει δύο συνδετήρες για αναλογικές εξόδους, για την ηλιακή ακτινοβολία και τη θερμοκρασία [18].



*Εικόνα 17 Oriel model 91150V*

### **-Solar Simulator Class AAA UHE-NL-150**

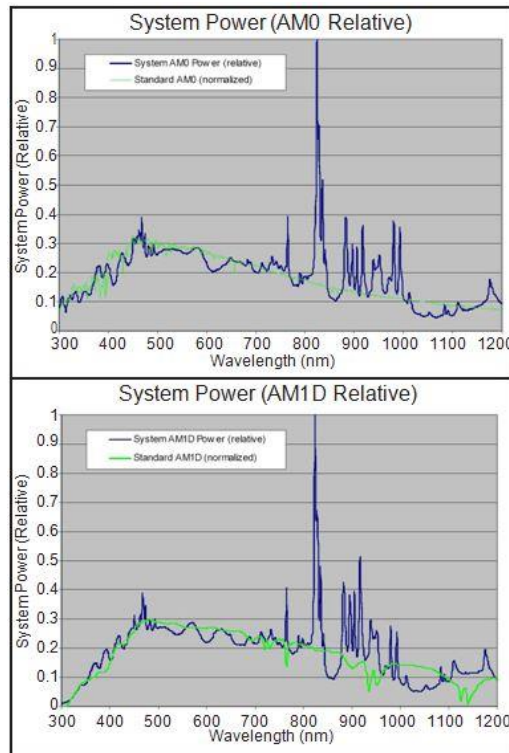
Οι περισσότεροι ηλιακοί προσομοιωτές Sciencetech χρησιμοποιούν λάμπες xenon, το οποίο επιτρέπει στο σύστημα να παράγει μια έντονη, ευθυγραμμισμένη δέσμη φωτός, παρόμοια με αυτή ενός μαύρου σώματος 5,8K. Η μεγαλύτερη διαφορά μεταξύ των δύο είναι ότι οι γραμμές xenon υπάρχουν στο φάσμα τόξου και οι ατμοσφαιρικές απορροφήσεις στα ηλιακά φάσματα, η οποία επισημαίνεται ιδιαίτερα στο εύρος 800-1100nm λόγω της έντονης εξόδου γραμμής του λαμπτήρα. Ένα φίλτρο AM0 μπορεί να μειώσει αυτό το αποτέλεσμα έτσι ώστε το μέσο επίπεδο σε καθορισμένες ζώνες να ταιριάζει με τα επίπεδα ηλίου πάνω από την ατμόσφαιρα καλύτερα από 25%, αν και η πλήρης εξάλειψη των γραμμών xenon διατηρώντας το υπόλοιπο φάσμα είναι αδύνατη με ένα πρακτικό φίλτρο. Τα φίλτρα AM1.0, 1.5 και 2.0 τροποποιούν περαιτέρω τα ορατά και τα υπεριώδη τμήματα του φάσματος για διαφορετικές συνθήκες στο επίπεδο της θάλασσας και σε συνδυασμό με τη χρήση λαμπτήρων τόξου Xenon υψηλής πίεσης, η Sciencetech είναι ικανή να παράγει πρότυπα κατηγορίας A για τους ηλιακούς προσομοιωτές.



*Εικόνα 18 UHE-NL-150 solar simulator*

Τα γραφήματα δείχνουν τα τυπικά φάσματα εξόδου των πλήρως ανακλαστικών ηλιακών προσομοιωτών της Sciencetech. Αυτές οι καμπύλες φασματικής ακτινοβολίας συνδυάζουν τις φασματικές καμπύλες της πηγής λυχνίας τόξου xenon, του φίλτρου μάζας αέρα και των καθρεπτών που χρησιμοποιούνται στο εσωτερικό του ομογενοποιητή δέσμης ηλιακού προσομοιωτή.

Τα πραγματικά φάσματα εξόδου μπορεί να διαφέρουν λόγω της κατάστασης του λαμπτήρα και των ανοχών κατασκευής των φίλτρων μάζας αέρα. Προκειμένου να απλοποιηθεί η οπτική σύγκριση των φασματικών καμπυλών των ηλιακών μας προσομοιωτών με τις τυπικές καμπύλες ASTM E927-10, οι εξοδοί του προσομοιωτή κανονικοποιούνται στο αντίστοιχο τυπικό φάσμα [19].



Εικόνα 19 spectral irradiance curves of the xenon arc lamp

## 2.2 Υποσυστήματα μετρήσεων φάσματος

### Τι είναι ένα lux meter

Ένας μετρητής φωτός μετρά την ποσότητα του ορατού φωτός, γνωστή και ως φωτισμός, σε μια δεδομένη περιοχή. Για πολλές μάρκες μετρητών, ο φωτισμός εκφράζεται σε μονάδες μέτρησης lux και foot-candles. Υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί τύποι φωτισμού που μπορούν να μετρηθούν. Τα πιο συνηθισμένα είναι: νάτριο, βολφράμιο, υδράργυρος και φθορισμός. Η παρακάτω λίστα εμφανίζει κοινές εφαρμογές για κάθε τύπο φωτισμού [20].

Φωτισμός νατρίου: χώροι στάθμευσης, μετρήσεις ασφαλείας

Φωτισμός βολφραμίου: Μετρήσεις φωτός ήλιου και πυρακτώσεως

Φωτισμός υδραργύρου: Αυτοκινητόδρομοι, πάρκινγκ, στάδια

Φωτισμός φθορισμού: Φωτισμός εσωτερικού χώρου για χώρους εργασίας και χώρο προβολής καταστημάτων

### -Extech light Meter SDL400

Το SDL400 καταγράφει δεδομένα σε κάρτα SD σε μορφή Excel. Ευρύ φάσμα έως 10.000Fc ή 100kLux. Μετρήσεις με διόρθωση χρώματος. Χρησιμοποιεί φωτοδιόδους πυριτίου ακριβείας και φίλτρο φασματικής απόκρισης. Η προσαρμογή μετατόπισης χρησιμοποιείται για μηδενική λειτουργία για τη λήψη σχετικών μετρήσεων. Ρυθμιζόμενο ποσοστό δειγματοληψίας δεδομένων. Αποθηκεύει 99 αναγνώσεις με μη αυτόματο τρόπο και 20M ανάγνωση μέσω κάρτας SD 2G. Τύπος K/J Θερμοστοιχείου εισόδου για μετρήσεις υψηλής θερμοκρασίας. Μεγάλη οθόνη LCD με οπίσθιο

φωτισμό. Εγγραφή/Ανάκληση Ελάχιστη, Μέγιστη, Διατήρηση δεδομένων και Αυτόματη απενεργοποίηση.



Εικόνα 20 SDL400 light Meter

#### **Επιπλέον χαρακτηριστικά**

Η προσαρμογή offset μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μηδενική λειτουργία ή για σχετικές μετρήσεις. Ρυθμιζόμενος ρυθμός δειγματοληψίας δεδομένων από 1 έως 3600 δευτερόλεπτα [21].

#### **-Milwaukee MW700 PRO Lux (Light) Meter**

Το MW700 είναι ένας φορητός μετρητής Lux που έχει σχεδιαστεί για να εκτελεί μετρήσεις φωτός από 0 έως 50000 Lux. Αυτός ο εύχρηστος και εργονομικά σχεδιασμένος μετρητής Lux είναι ιδανικός για όσους αναζητούν γρήγορες και αξιόπιστες μετρήσεις φωτός. Αυτός ο μετρητής είναι κατάλληλος για ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, όπως Υδατοκαλλιέργεια, Υδροπονική, Γεωργία, Κηπουρική και Περιβαλλοντική ανάλυση.

Ο αδιάβροχος αισθητήρας φωτός είναι προσαρτημένος σε καλώδιο 1,3 μέτρων και είναι κατάλληλος για την επαλήθευση της έντασης του φωτός στο κάτω μέρος των ενυδρείων.

Ο μέσος φωτισμός εσωτερικού χώρου κυμαίνεται από 100 έως 1000 Lux και ο μέσος υπαίθριος φωτισμός περίπου 50000 Lux. Το Lux είναι μια μονάδα που δείχνει την πυκνότητα του φωτός που πέφτει σε μια επιφάνεια.



Εικόνα 21 Milwaukee MW700 PRO LUX METER

Ο αδιάβροχος αισθητήρας φωτός είναι προσαρτημένος σε καλώδιο 1,3 μέτρων και είναι κατάλληλος για την επαλήθευση της έντασης του φωτός στο κάτω μέρος των ενυδρείων.

Ο μέσος φωτισμός εσωτερικού χώρου κυμαίνεται από 100 έως 1000 Lux και ο μέσος υπαίθριος φωτισμός περίπου 50000 Lux. Το Lux είναι μια μονάδα που δείχνει την πυκνότητα του φωτός που πέφτει σε μια επιφάνεια.

Το ανθρώπινο μάτι είναι ευαίσθητο μόνο στο μπλε, πράσινο και κόκκινο φως, οπότε στον υπολογισμό του Lux που πέφτει σε ένα αντικείμενο, μετράται μόνο το φως που βλέπει το ανθρώπινο μάτι. Όταν μόνο ένα υπέρυθρο φως πέφτει σε ένα αντικείμενο, το Lux υπολογίζεται ως μηδέν αφού τα μάτια μας δεν βλέπουν τίποτα. Μαθηματικά, μια φασματική συνάρτηση στάθμισης συμπλέκεται με το πραγματικό φάσμα φωτισμού για τον ακριβή υπολογισμό του Lux [22].

- Γρήγορα, ευανάγνωστα αποτελέσματα με μεγάλη ψηφιακή ανάγνωση LCD
- Αδιάβροχος αισθητήρας φωτοδιόδου πυριτίου προσαρτημένος σε καλώδιο 4,4'
- Τρεις ρυθμίσεις ανάλυσης - 1, 10 και 100 Lux
- Ακρίβεια  $\pm 6\%$  ανάγνωσης  $\pm 1$  ψηφίου
- Ελαφρύ και φορητό
- 150 ώρες μπαταρίας με συνεχή χρήση (περιλαμβάνεται η μπαταρία) με προειδοποίηση χαμηλής μπαταρίας

### Προδιαγραφές

- Εύρος: 0.000 έως 1999 Lux. 2000 έως 19999 Lux. 20000 έως 50000 Lux
- Ρύθμιση εύρους: Χειροκίνητα μέσω πλήκτρων
- Ανάλυση: 0.000 έως 1999 Lux: Lux 1 Lux. 2000 έως 19999 Lux - 10 Lux Lux; 20000 έως 50000 Lux -  $\pm 100$  Lux
- Ακρίβεια:  $\pm 6\%$  της ανάγνωσης  $\pm 1$  ψηφία
- Μέγιστο μήκος κύματος: 560 (nm)

- Τύπος αισθητήρα: Φωτοδίοδος πυριτίου (συνδεδεμένος στο μετρητή)
- Ευαισθησία αισθητήρα: 100 scotopic LUX
- Σταθερότητα αισθητήρα: change 2% αλλαγή ετησίως (τα πρώτα δύο χρόνια)
- Περιβάλλον: 0 έως 50 ° C / 32 έως 122 ° F. μέγιστο RH 95%
- Τύπος μπαταρίας: 1 x 9V αλκαλική
- Διάρκεια ζωής μπαταρίας: Περίπου 150 ώρες συνεχούς χρήσης
- Αυτόματη απενεργοποίηση: μετά από περίπου 5 λεπτά μη χρήσης
- Διαστάσεις: 5,6 x 3,1 x 1,25 ίντσες

### **-Αισθητήρας φάσματος ISL29125**

Το ISL29125 είναι αισθητήρας χρώματος χαμηλής ισχύος, υψηλής ευαισθησίας, ΚΟΚΚΙΝΟΥ, ΠΡΑΣΙΝΟΥ και ΜΠΛΕ (RGB) με διεπαφή I2C. Η υπερσύγχρονη σειρά φωτοδίοδων παρέχει ακριβή φασματική απόκριση RGB και εξαιρετική πηγής φωτός σε παραλλαγή πηγής φωτός. Το ISL29125, κάνει εύκολη την αίσθηση και την καταγραφή της έντασης φωτός των γενικών κόκκινων, πράσινων και μπλε φάσεων του ορατού φωτός, ενώ απορρίπτει την υπέρυθη ακτινοβολία από πηγές φωτός. Το ενσωματωμένο ADC απορρίπτει το τρεμόπαιγμα 50Hz και 60Hz που προκαλείται από τεχνητές πηγές φωτός. Ένα επιλέξιμο εύρος επιτρέπει στον χρήστη να βελτιστοποιήσει την ευαισθησία που είναι κατάλληλη για τη συγκεκριμένη εφαρμογή. Σε κανονική λειτουργία, η συσκευή καταναλώνει 56μΑ, το οποίο μειώνεται σε 0.5μΑ σε κατάσταση απενεργοποίησης. Το ISL29125 υποστηρίζει προγραμματιζόμενα κατώφλια διακοπής για προγραμματιστές χρηστών υλικού και λογισμικού. Η δυνατότητα επιμονής διακοπής μειώνει την ψευδή ειδοποίηση ενεργοποίησης. Η συσκευή λειτουργεί με τροφοδοτικά (VDD) από 2.25V έως 3.63V, τροφοδοσία I2C από 1.7V έως 3.63V και θερμοκρασία λειτουργίας από -40 ° C έως +85 ° C.

Έτσι μπορεί να χρησιμοποιηθούν αυτές οι μετρήσεις αισθητήρων χρώματος για σκοπούς καταγραφής και εύρεσης μοτίβων ή να υπολογίζει και να λαμβάνει αποφάσεις ελέγχου στα ηλεκτρονικά έργα.

Ο αισθητήρας φωτός ISL29125 λειτουργεί στα 3.3V, αλλά εάν σκοπεύετε να χρησιμοποιήσετε αυτό το τσιπ με μικροελεγκτή 5V, πρέπει να λειτουργεί με μετατροπέα λογικής στάθμης [23].



Εικόνα 22 αισθητήρας ISL29125

- Χαρακτηριστικά
  - 56μΑ ρεύμα λειτουργίας, 0.5μΑ ρεύμα τερματισμού
  - Επιλέξιμο εύρος (μέσω I2C)
  - Έξοδος I2C (συμβατό με SMBus)
  - Ανάλυση ADC 16 bit
  - Προγραμματιζόμενα παράθυρα διακοπών
  - Δύο εύρη οπτικής ευαισθησίας
  - Εύρος 0 = 5,7m lux έως 375 lux
  - Εύρος 1 = 0,152 lux έως 10.000 lux
  - Τροφοδοσία λειτουργίας 2,25 έως 3,63V
  - Τροφοδοσία I2C 1.7V έως 3.63V
- 
-



## Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup>

### Σχεδίαση συστήματος φωτοβολταϊκών παραμέτρων

---

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναλυθεί η σχεδίαση του συστήματος φωτοβολταϊκών παραμέτρων. Αρχικά θα γίνει αναφορά στις διάφορες πηγές τεχνητού φωτισμού. Έπειτα θα γίνει αναφορά στο state of the art για την δημιουργία μιας τέτοιας κατασκευής. Και τέλος θα παρουσιαστεί η αρχιτεκτονική του συστήματος όπως αυτό προτείνεται.

#### 3.1 Τεχνητές πηγές φωτισμού

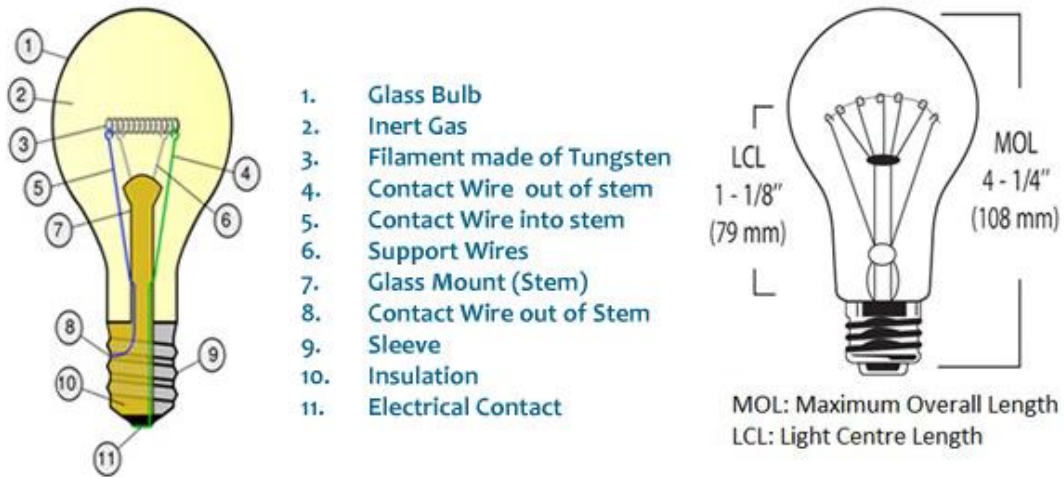
Οι τεχνητές πηγές φωτός κατηγοριοποιούνται με βάση την τεχνολογία που χρησιμοποιείται για την παραγωγή του φωτός. Υπάρχουν δεκάδες πηγές, με μερικές κοινές σε οικιακές εφαρμογές και άλλες πιο κατάλληλες για βιομηχανικές χρήσεις. Οι πέντε πιο συνηθισμένες πηγές φωτός είναι οι εξής:

- Λαμπτήρας πυρακτώσεως.
- Συμπαγής λαμπτήρας φθορισμού.
- Λάμπες φθορισμού.
- Λυχνίες εκκένωσης.
- Δίοδος εκπομπής φωτός (LED).

#### Λαμπτήρας πυρακτώσεως

Μέχρι πρόσφατα, η πιο κοινή ηλεκτρική πηγή φωτός ήταν η λάμπα πυρακτώσεως. Χρησιμοποιείται ακόμα ευρέως σε μεγάλο βαθμό, αν και η σχετικά χαμηλή ενεργειακή του απόδοση οδηγεί στην αντικατάστασή του από άλλους πιο αποδοτικούς λαμπτήρες όπως το CFL.

Διατίθεται μεγάλη ποικιλία σχημάτων, μεγεθών και ισχύος, καθώς και διαφορετικές σειρές χρωμάτων. Οι τυπικοί λαμπτήρες για οικιακή χρήση κυμαίνονται από περίπου 40 έως 100 W, παρέχοντας φωτεινή ισχύ 420 έως 1360lm με τυπική απόδοση λαμπτήρα περίπου 12% [24].

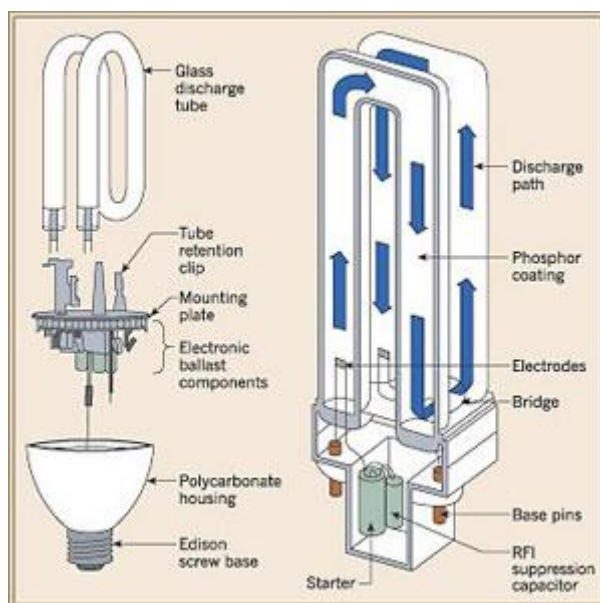


Εικόνα 23 Κατασκευή λαμπτήρα πυρακτώσεως

### Συμπαγής λαμπτήρας φθορισμού.

Ο συμπαγής λαμπτήρας φθορισμού (CFL) σχεδιάστηκε ως πιο αποτελεσματική αντικατάσταση λαμπτήρων πυρακτώσεως. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πολλά φωτιστικά που έχουν σχεδιαστεί για λαμπτήρες πυρακτώσεως. Οι συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού είναι λειτουργικά όμοιοι με τους γραμμικούς λαμπτήρες φθορισμού.

Και οι δύο είναι λαμπτήρες εκκένωσης αερίου χρησιμοποιούν ηλεκτρική ενέργεια που εκπέμπεται από τις καθόδους για να διεγείρουν τους ατμούς υδραργύρου που περιέχονται στο γυάλινο περίβλημα, χρησιμοποιώντας μια διαδικασία γνωστή ως ανελαστική σκέδαση. Φώσφοροι και ένα ευγενές αέριο όπως το αργό περιέχονται επίσης στο γυάλινο περίβλημα. Τα άτομα υδραργύρου παράγουν υπεριώδες φως (UV), το οποίο με τη σειρά του προκαλεί φθορισμό ή λάμψη των φωσφόρων στη λάμπα, παράγοντας ορατό φως [25].



Εικόνα 24 Κατασκευή Συμπαγή λαμπτήρα φθορισμού

### Λάμπες φθορισμού

Οι λαμπτήρες φθορισμού είναι η κύρια μορφή φωτισμού για γραφεία και εμπορικά κτίρια.

Είναι μια μορφή λαμπτήρα εκκένωσης αερίου και διαμορφώνονται σε ένα μακρύ λεπτό γυάλινο κύλινδρο με επαφές στο κάθε άκρο που τα ασφαλίζουν στο εξάρτημα (ή στο φωτιστικό) και παρέχουν την ηλεκτρική σύνδεση.

Ο σωλήνας περιέχει ατμούς υδραργύρου σε χαμηλή πίεση και το εσωτερικό τοίχωμα του γυαλιού είναι επικαλυμμένο με φώσφορο που αντιδρά στην υπεριώδη ακτινοβολία. Όταν ο ηλεκτρισμός διέρχεται μέσω των ατμών εκπέμπει υπεριώδη ακτινοβολία που μετατρέπεται από τον φώσφορο σε ορατό φως.

Οι πιο αποδοτικοί λαμπτήρες φθορισμού είναι οι T5. Με μικρότερη διάμετρο (16mm) από τους προηγούμενους σωλήνες, αυτά μπορούν να επιτύχουν μια φωτεινή αποτελεσματικότητα έως και 104lm/W [26].

## Construction of Fluorescent Lamps



Εικόνα 25 Κατασκευή λαμπτήρα φθορισμού

### **Λυχνίες εκκένωσης.**

Οι λαμπτήρες εκκένωσης λειτουργούν χτυπώντας ένα ηλεκτρικό τόξο μεταξύ δύο ηλεκτροδίων, προκαλώντας ένα αέριο πλήρωσης να εκπέμπει φως. Οι λαμπτήρες εκκένωσης παρέχουν υψηλή φωτεινή απόδοση σε συνδυασμό με μεγάλη διάρκεια ζωής, με αποτέλεσμα την πιο οικονομική διαθέσιμη πηγή φωτός. Οι λαμπτήρες εκκένωσης παρέχουν υψηλή φωτεινή απόδοση σε συνδυασμό με μεγάλη διάρκεια ζωής, με αποτέλεσμα την πιο οικονομική διαθέσιμη πηγή φωτός

Τύποι λαμπτήρων εκκένωσης αερίου:

Οι λαμπτήρες εκκένωσης αερίου έχουν τρεις τύπους ως εξής:

#### **1. Λαμπτήρες εκκένωσης χαμηλής πίεσης:**

Οι λαμπτήρες χαμηλής πίεσης έχουν πίεση λειτουργίας πολύ μικρότερη από την ατμοσφαιρική πίεση. Για παράδειγμα, οι συνήθεις λαμπτήρες φθορισμού λειτουργούν σε πίεση περίπου 0,3% της ατμοσφαιρικής πίεσης.

Συμπαγής λαμπτήρας φθορισμού,

- λαμπτήρες φθορισμού,

- Λαμπτήρες νατρίου χαμηλής πίεσης: ο πιο αποδοτικός τύπος λαμπτήρα εκκένωσης αερίου, που παράγει έως 200 lumen ανά watt, αλλά σε βάρος της πολύ κακής απόδοσης χρώματος. Το σχεδόν μονόχρωμο κίτρινο φως είναι αποδεκτό μόνο για φωτισμό δρόμου και παρόμοιες εφαρμογές.

#### **2. Λαμπτήρες εκκένωσης υψηλής πίεσης:**

Οι λαμπτήρες υψηλής πίεσης έχουν εκκένωση που λαμβάνει χώρα στο αέριο υπό ελαφρώς μικρότερη έως μεγαλύτερη από την ατμοσφαιρική πίεση. Για παράδειγμα, ένας λαμπτήρας νατρίου υψηλής πίεσης έχει ένα σωλήνα τόξου κάτω από πίεση 100 έως 200 torr, περίπου 14% έως 28% της ατμοσφαιρικής πίεσης. μερικοί προβολείς HID αυτοκινήτου έχουν έως και 50 bar ή πενήντα φορές ατμοσφαιρική πίεση.

- Λαμπτήρες μεταλλικών αλογονιδίων: Αυτοί οι λαμπτήρες παράγουν σχεδόν λευκό φως και φτάνουν τα 100 lumen ανά watt. Οι εφαρμογές περιλαμβάνουν εσωτερικό φωτισμό υψηλών κτιρίων, χώρους στάθμευσης, καταστήματα, αθλητικά γήπεδα.

- Λαμπτήρες νατρίου υψηλής πίεσης: παράγουν έως και 150 lumens ανά watt. Αυτοί οι λαμπτήρες παράγουν ευρύτερο φάσμα φωτός από τους λαμπτήρες νατρίου χαμηλής πίεσης. Χρησιμοποιείται επίσης για φωτισμό δρόμου και για τεχνητή φωτοαφομοίωση για αναπτυσσόμενα φυτά

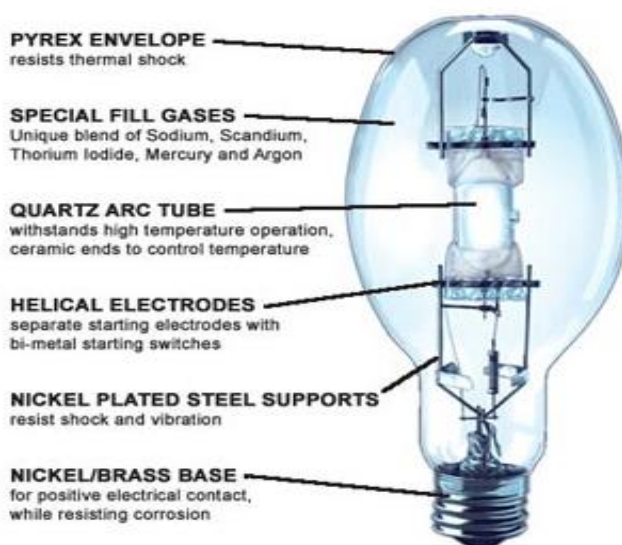
- Λαμπτήρες υδραργύρου υψηλής πίεσης: Αυτός ο τύπος λαμπτήρα είναι ο παλαιότερος τύπος λαμπτήρων υψηλής πίεσης, που αντικαθίσταται στις περισσότερες εφαρμογές από τον λαμπτήρα αλογονιδίου μετάλλου και τον λαμπτήρα νατρίου υψηλής πίεσης.

### 3. Λαμπτήρες εκκένωσης υψηλής έντασης:

Ένας λαμπτήρας εκκένωσης υψηλής έντασης (HID) είναι ένας τύπος ηλεκτρικού λαμπτήρα που παράγει φως μέσω ενός ηλεκτρικού τόξου μεταξύ ηλεκτροδίων βολφραμίου που βρίσκονται μέσα σε έναν ημιδιαφανή ή διαφανή συγχωνευμένο χαλαζία ή σωλήνα τόξου αλουμινίου. Σε σύγκριση με άλλους τύπους λαμπτήρων, υπάρχει σχετικά υψηλή ισχύς τόξου για το μήκος του τόξου [27].

Παραδείγματα λαμπτήρων HID περιλαμβάνουν:

Λαμπτήρες υδραργύρου, Λαμπτήρες μεταλλικών αλογονιδίων, Κεραμικοί λαμπτήρες μεταλλικών αλογονιδίων, Λαμπτήρες ατμού νατρίου.



Εικόνα 26 Κατασκευή λυχνίας εκκένωσης

### Δίοδος εκπομπής φωτός (LED).

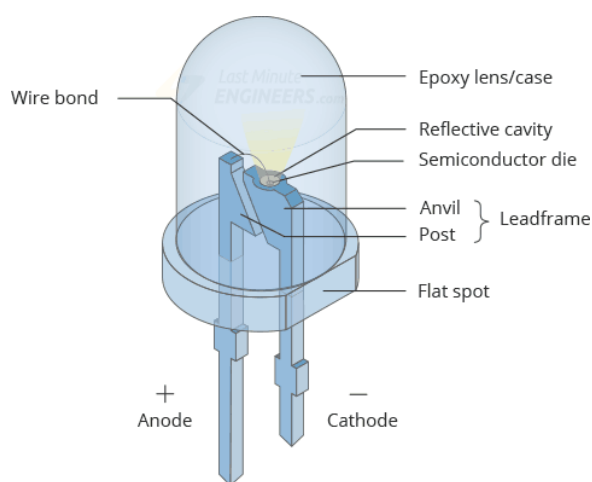
Το LED σημαίνει δίοδος εκπομπής φωτός (light emitting diode) . Τα προϊόντα φωτισμού LED παράγουν φως έως και 90% πιο αποτελεσματικά από τους λαμπτήρες πυρακτώσεως. Ένα ηλεκτρικό ρεύμα περνά μέσα από ένα μικροτσίπ, το οποίο φωτίζει τις μικροσκοπικές πηγές φωτός που ονομάζουμε LED και το αποτέλεσμα είναι ορατό φως. Για την αποφυγή προβλημάτων απόδοσης, η θερμότητα που παράγουν τα LED απορροφάτε σε μια ψήκτρα.

Ο φωτισμός LED διαφέρει από τον πυρακτωμένο και τον φθορισμού με διάφορους τρόπους. Όταν σχεδιάζεται καλά, ο φωτισμός LED είναι πιο αποδοτικός, ευέλικτος και διαρκεί περισσότερο.

Οι λυχνίες LED είναι κατευθυντικές πηγές φωτός, πράγμα που σημαίνει ότι εκπέμπουν φως προς μια συγκεκριμένη κατεύθυνση, σε αντίθεση με τους πυρακτώσεως και τους CFL, που εκπέμπουν φως και θερμότητα προς όλες τις

κατευθύνσεις. Αυτό σημαίνει ότι οι λυχνίες LED είναι σε θέση να χρησιμοποιούν το φως και την ενέργεια πιο αποτελεσματικά σε πολλές εφαρμογές. Ωστόσο, σημαίνει επίσης ότι απαιτείται περίπλοκη μηχανική για την παραγωγή ενός λαμπτήρα LED που φωτίζει προς κάθε κατεύθυνση.

Τα κοινά χρώματα των LED περιλαμβάνουν κόκκινο, πράσινο και μπλε. Για την παραγωγή λευκού φωτός, LED διαφορετικού χρώματος συνδυάζονται ή καλύπτονται με υλικό φωσφόρου που μετατρέπει το χρώμα του φωτός σε ένα οικείο «λευκό» φως που χρησιμοποιείται στα σπίτια. Ο φωσφόρος είναι ένα κιτρινωπό υλικό που καλύπτει ορισμένα LED. Τα έγχρωμα LED χρησιμοποιούνται ευρέως ως φώτα σήματος και ενδεικτικά φώτα, όπως το κουμπί λειτουργίας σε έναν υπολογιστή [28].



Εικόνα 27 Κατασκευή LED

Στη κατασκευή θα χρησιμοποιηθούν λάμπες LED για τους παρακάτω λόγους:

- Ενεργειακή απόδοση
- Παρατεταμένη διάρκεια ζωής
- Λειτουργία σε ψυχρή θερμοκρασία
- Αντοχή
- Άμεση ενεργοποίηση
- Ελεγκτικότητα
- Δεν υπάρχουν εκπομπές θερμότητας ή υπεριώδους ακτινοβολίας
- Κατευθυντικότητα

## 3.2 State of the art

### 3.2.1 Ανάγκη εξέλιξης φωτοβολταϊκών

Η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών (PV) γίνεται συνεχώς και πιο σημαντική κάθε μέρα, διότι έχει αυξηθεί η ανάγκη για ηλιακή ενέργεια εξαιτίας της μεγάλης αύξησης στην ενέργεια κατανάλωσης και εξάντλησης των παραδοσιακών πηγών. Η αξιολόγηση της απόδοσης των φωτοβολταϊκών με βάση το σύστημα σε διάφορες συνθήκες, όπως η αλλαγή στην ακτινοβολία, θερμοκρασία ή μερική σκίαση είναι απαραίτητες για το σχεδιασμό του συστήματος. Οι μεταβαλλόμενες συνθήκες του πεδίου μπορεί να επηρεάζουν τη λειτουργική απόδοση του φωτοβολταϊκού συστήματος το οποίο μπορεί να οδηγήσει σε πλήρη αποτυχία του συστήματος. Έτσι είναι απαραίτητο να αξιολογηθεί η απόδοση του συστήματος υπό όλες τις διαφορετικές συνθήκες. Οι δοκιμές με τη χρήση πραγματικών φωτοβολταϊκών συστοιχιών έχουν ορισμένα μειονεκτήματα όπως υψηλό κόστος, μεγάλο μέγεθος, χρονοβόρα, υψηλή συντήρηση και μεγάλη εξάρτηση από την ισχύ εξόδου σε καιρικές συνθήκες.

Κατά τη διάρκεια των δοκιμών, είναι απαραίτητο να προσδιοριστούν οι τιμές των φωτοηλεκτρικών συσκευών, όπως η τάση ρεύματος (VCC), ρεύμα βραχυκυκλώματος, τάση κατά την αδράνεια, απόδοση και μέγιστη ισχύ σε πραγματικές συνθήκες. Οι φωτοβολταϊκές μονάδες (PV) αξιολογούνται συνήθως υπό τυπικές συνθήκες δοκιμής (STC).

Η βελτίωση της τεχνολογίας φωτοβολταϊκών είναι αδύνατη χωρίς τη βελτίωση των μεθόδων ελέγχου των παραμέτρων των φωτοβολταϊκών, οι οποίες αποτελούν βασικό παράγοντα για την έρευνα και την παραγωγή ηλιακών συλλεκτών. Ωστόσο, οι εργαστηριακές δοκιμές πρέπει να πλησιάζουν τις πραγματικές συνθήκες λειτουργίας. Οι μετρήσεις μπορούν να πραγματοποιηθούν κάτω από το φυσικό φως του ήλιου σε ανοιχτό χώρο ή σε κλειστό εργαστηριακό περιβάλλον χρησιμοποιώντας ηλιακό προσομοιωτή. Στην πρώτη περίπτωση, είναι αδύνατο να επιτευχθούν οι ίδιες συνθήκες (ένταση και φασματική κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας, γεωγραφική θέση, κλιματολογικές και καιρικές συνθήκες, ατμοσφαιρική σύνθεση, υψόμετρο, χρόνος και εποχιακές περίοδοι) για έρευνα. Η δεύτερη επιλογή είναι πιο αποτελεσματική λόγω της απλότητας, της αναπαραγωγιμότητας και της αξιοπιστίας των μετρήσεων.

Ο προσομοιωτής ηλιακής ακτινοβολίας είναι μια τεχνητή πηγή ακτινοβολίας που παρέχει μια φασματική και οπτική σύνθεση παρόμοια με την ένταση του ηλιακού φωτός και ένα οπτικό σύστημα σχηματισμού που κατευθύνει τη ροή στη ζώνη εργασίας. Ο κύριος σκοπός αυτών των συσκευών, στην περίπτωση αυτή, είναι να ελέγξει τα φωτοκύτταρα και τις φωτοβολταϊκές μονάδες σε ελεγχόμενες εργαστηριακές συνθήκες [29].

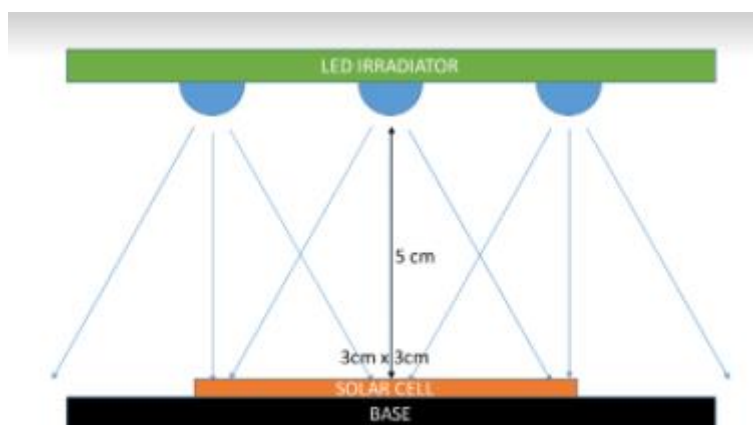


### 3.2.2 Παραπλήσιες εφαρμογές

Ύστερα από έρευνα στη βιβλιογραφία για αναζήτηση παρόμοιων εφαρμογών, διακρίθηκαν οι παρακάτω εφαρμογές.

#### -A Low-Cost LED-Based Solar Simulator

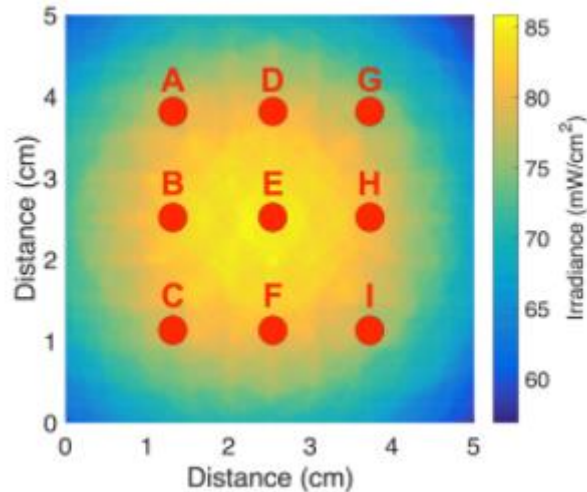
Στο [25] οι συγγραφείς κατασκεύασαν ένα προσομοιωτή με τεχνολογία LED. Η κατασκευή είναι πιο ανθεκτική, αξιόπιστη και έχει σταθερό φως. Κατασκευάστηκε ένα PCB 5cm x 5cm γεμάτο LED σε τέτοια κατανομή ώστε να εκπέμπει φως σαν τον ήλιο, σε μια επίπεδη επιφάνεια παράλληλη με αυτήν και να ακτινοβολεί ομοιόμορφα σε ένα τετραγωνικό εμβασόν 3cm x 3cm. Ο σχεδιασμός ήταν τέτοιος ώστε να αφήνει χώρο για να τοποθετηθεί το φωτοβολταϊκό κελί και οι επαφές του στο επίπεδο, για να είναι δυνατή η μέτρηση παραμέτρων για την καταγραφή γραφημάτων I-V (Current Voltage).



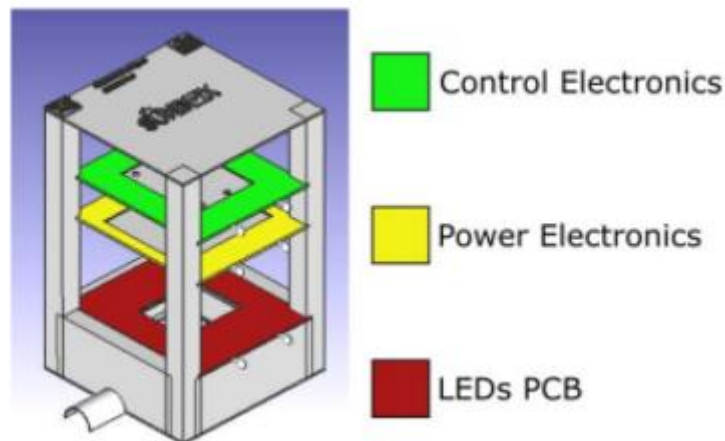
Εικόνα 28 Σχηματική σχεδίαση του ηλιακού προσομοιωτή

Τα κριτήρια για ολόκληρο το σετ είναι: υψηλή απόδοση (υψηλή ακτινοβολία με χαμηλό ρεύμα), που καλύπτει το φασματικό εύρος από 350 έως 1100 nm και μπορεί να διαχειριστεί το εύρος αυτό για να επιτύχει μια ηλιακή απόκριση. Για τη συγκεκριμένη εφαρμογή επιλέχθηκαν 14 τύποι LED, ο καθένας με μια εκπομπή επικεντρωμένη σε διαφορετικά μήκη κύματος. Τα LED αυτά είναι τοποθετημένα κατά μήκος της περιοχής για να υπάρχει η δυνατότητα ρύθμισης της συνολικής ακτινοβολίας. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η κατανομή ακτινοβολίας σε ολόκληρη τη περιοχή 5cm κάτω από τα 34 LEDs PCB σε μια επιφάνεια.





Εικόνα 29 Προσομοιωμένη χωρική κατανομή ακτινοβολίας σε εννέα σημεία βαθμονόμησης.



Εικόνα 30 Σχεδίαση CAD της κατασκευής

Από τη σκοπιά του hardware. Για να καλυφθούν εξωτερικές πηγές φωτός και αντανακλάσεις χρησιμοποιήθηκε 3-d printed μαύρο νήμα PLA. Ο μικροελεγκτής ο οποίος τοποθετήθηκε για τον έλεγχο της κατασκευής ήταν ένα Arduino Uno. Ενώ για τη ψύξη της χρησιμοποιήθηκε μια ψύκτρα με ένα απλό ανεμιστήρα υπολογιστή 12V, ο οποίος δουλεύει συνεχώς και το κάθε LED έχει δικιά του θερμική διαδρομή.

Για το Software, χρησιμοποιήθηκε η εφαρμογή LabView η οποία ήταν υπεύθυνη για τον έλεγχο του Arduino. Στην εικόνα 24 απεικονίζεται μέρος του front panel του LabView. Στην εικόνα φαίνονται τα 14 εύρη μήκους κύματος με τα αντίστοιχα κουμπιά. Το καθένα από αυτά αντιστοιχεί σε μια ομάδα των LED και μπορεί να διαχειρίζεται ξεχωριστά. Με αυτόν το τρόπο μπορεί να γίνει εύκολα έλεγχος του ρεύματος που διαρρέει τα LED. Που συνεπάγεται τον έλεγχο ολόκληρου του φάσματος με 14 διαχωρισμένα εύρη μήκους κύματος. Έτσι ο χρήστης μπορεί να

ακτινοβολήσει σε συνδυασμό κόκκινο / πράσινο ή απλά με υπεριώδη ακτινοβολία [30].



Εικόνα 31 Η κατασκευή ελέγχεται μέσω του προγράμματος LabView

### - Spectrally Tunable Collimated Pulsed Solar Simulator

Στην εφαρμογή αυτή[31], υπάρχει η ανάγκη για συγκέντρωση ηλιακού φωτός, τόσο σε επίγειες όσο και διαστημικές εφαρμογές. Η διάταξη αυτή περιλαμβάνει σύστημα μετρήσεων ηλιακών πανελ υπο γωνία και σύστημα συγκεντρωτή φωτός. Το Ναυτικό Εργαστήριο Έρευνας (NRL) δημιούργησε 3 ζώνες Spectrolab LAPSS (Large Area Pulsed Solar Simulator) για παροχή ρυθμιζόμενου φάσματος με κλίση  $1^\circ$  για δοκιμή ηλιακών συστοιχειών. Το NRL έχει προσθέσει φίλτρα και ένα πλήρες σύστημα μέτρησης ικανό για δοκιμές μεμονομένων πάνελ και μικρών συμπυκνωτών.

Το Spectrolab LAPSS II σχεδιάστηκε για τη μέτρηση πολλαπλών ηλιακών πάνελ και συστοιχειών υπο AM0 και AM1.5G φωτισμό, σε απόσταση μεγαλύτερη των 5 μέτρων και για μετρήσεις σε μεγάλες περιοχές κρύου. Αποτελείται από 2 σειρές συνδεδεμένων λαμπτήρων Xenon που βρίσκονται σε απόσταση 15 cm μεταξύ τους, τοποθετημένοι σε ένα περίβλημα το οποίο δε θα επιτρέπει την εισροή και εκροή φωτός. Η ένταση της λάμπας είναι ρυθμιζόμενη και υπάρχουν 2 σετ κίνησης μετακινούμενων φίλτρων που παρέχουν φασματικό συντονισμό, το ένα σετ βρίσκεται μπροστά από τους λαμπτήρες και το δεύτερο σετ στα πλάγια με καθρέφτες. Ο φασματικός συντονισμός γίνεται με τη χρήση 3 βαθμονομημένων υποκυττάρων InGaP (Indium gallium phosphide), GaAs (Gallium arsenide) και Ge (germanium). Εναλλακτικά, κάθε υποκύτταρο μετριέται σε ρεύμα βραχυκυκλώματος (ISC), η ένταση του φωτός και τα σετ φίλτρων ρυθμίζονται μέχρι να επιτευχθεί το επιθυμητό ISC, αυτό είναι μια επαναληπτική διαδικασία. Τα υποκύτταρα μπορούν να

βαθμονομηθούν για οποιοδήποτε AM0, AM1.5G ή και τα δύο. Τα βαθμονομημένα υποκύτταρα είναι πρωτεύοντα ή δευτερεύοντα πρότυπα με ανιχνεύσιμες μετρήσεις από τη NASA για AM0 ή NREL για AM1.5G.

Για να μην υπάρξει απόλεια φωτός στον εξωτερικό χώρο χρησιμοποιήθηκαν πλευρικά φίλτρα, επίσης η κατασκευή ήταν βαμμένη σε μαύρο χρώμα από όλες τις πλευρές. Ενώ για την ευθυγράμμιση του επιπέδου χρησιμοποιείται ένα laser για να υπολογίζει τις αποστάσεις.



*Εικόνα 32 panel board*

Η ηλικία και το επίπεδο ισχύος των λαμπτήρων επηρεάζουν τη φασματική έξοδο. Οι ρυθμιζόμενες φασματικές ζώνες τροποποιήθηκαν για να φιλοξενήσουν νεότερες τεχνολογίες πάνελ. Τα 3D εκτυπωμένα φίλτρα παρείχαν υποστήριξη δυνατότητας προσαρμογής για επιπλέον φίλτρα. Το NRL πρόσθεσε ένα μεγάλο φίλτρο πίσω από τους λαμπτήρες το οποίο ενισχύει το μπλε τμήμα του φάσματος. Ενώ προστέθηκε και ένα φίλτρο κάτω από το μπροστινό φίλτρο που ενίσχυσε το υπέρυθρο τμήμα του φάσματος. Για την ευθυγράμμιση των φίλτρων χρησιμοποιήθηκε λείζερ για να αντανακλά ομοιόμορφα το φως στο επίπεδο.



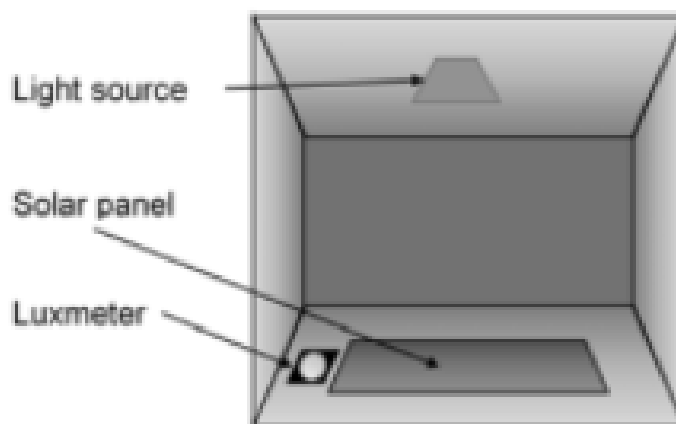
*Εικόνα 33 τροποποιημένη κατασκευή Spectrolab LAPSS*

## - Development of a Simple Low-Scale Solar Simulator and Its Light Distribution

Στο [32], αναπτύχθηκε ένας απλός προσομοιωτής χαμηλής κλίμακας. Χρησιμοποιήθηκαν τρεις διαφορετικοί λαμπτήρες, συμβατικοί λαμπτήρες, ηλεκτρικοί λαμπτήρες και λαμπτήρες αλογόνου ως πηγές φωτός. Η λάμπα αλογόνου, στην πραγματικότητα, έδωσε καλύτερη ένταση σε σύγκριση με τους άλλους λαμπτήρες στους οποίους η ένταση είναι πιο κοντά στο πεδίο έντασης του ήλιου. Το φως ήταν συγκεντρωμένο κάτω από την πηγή φωτός για να κατανέμεται ομοιόμορφα μέσα στο θάλαμο. Η ένταση κατά μήκος του οριζώντιου επιπέδου ποικίλλει ανάλογα με τη θέση του. Το σύστημα μπορεί επομένως να χρησιμοποιείται για την προσομοίωση του ηλιακού φωτός.

Σε αυτή την εφαρμογή θα γίνει αναφορά σε ένα προσομοιωτή με μικρό μέγεθος. Κατασκευάστηκε ένας απλός προσομοιωτής, ο οποίος αποτελείται από μια πηγή φωτός με φως που εναλλάσσεται, ένα luxmeter (Lutron LX-101A) και ένα ηλιακό πάνελ, τα οποία τοποθετούνται σε κλειστό κουτί με διάσταση 40 cm × 40 cm × 40 cm. Η πηγή φωτός είναι εξοπλισμένη με αναλογικό ρυθμιστή εναλλασσόμενου ρεύματος για τον έλεγχο της έντασης, τοποθετείται στο πάνω μέρος του κουτιού σε σταθερή θέση για να δώσει ένα ομοιογενή φωτισμό στο πάνελ.

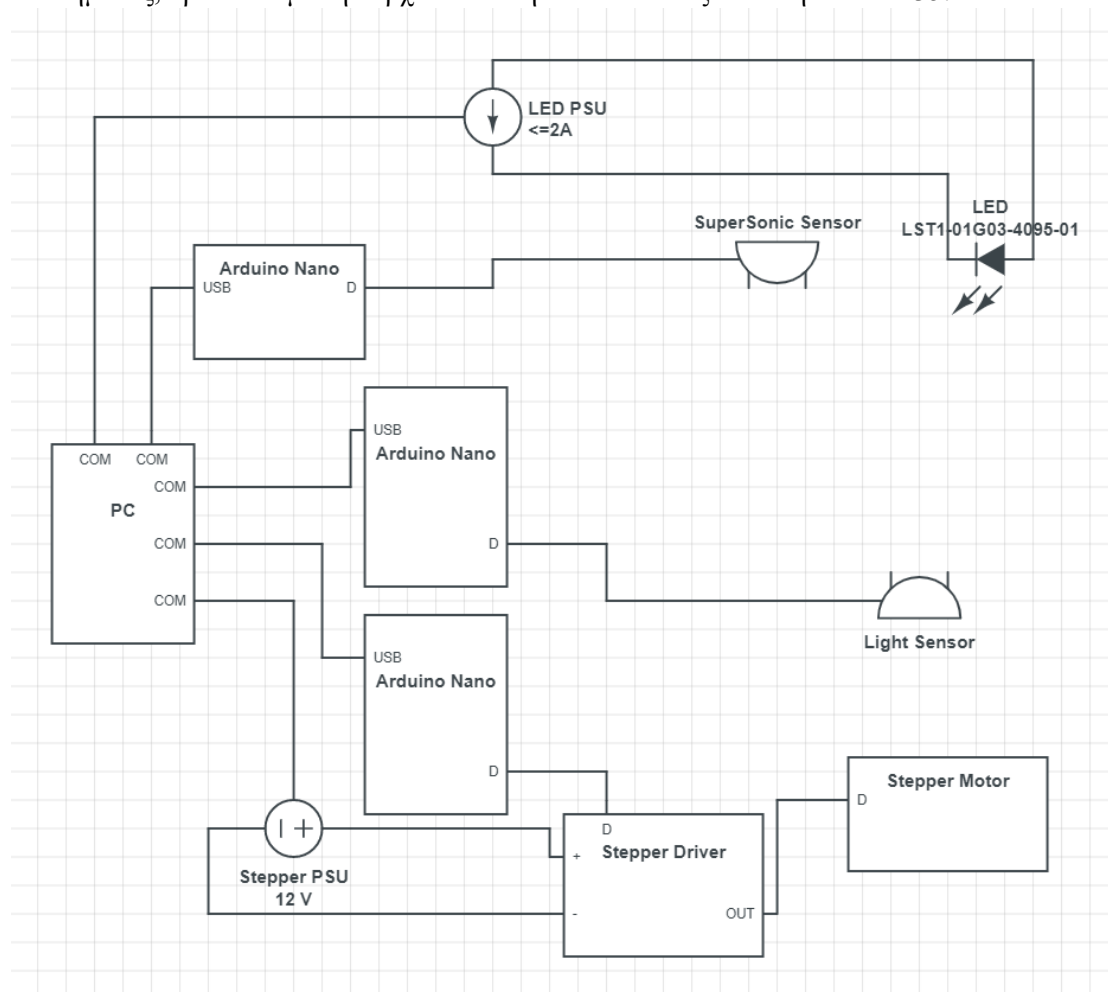
Η πηγή φωτός χρησιμοποίησε 3 διαφορετικούς λαμπτήρες. Ένα luxmeter βρίσκεται δίπλα στο ηλιακό πάνελ και μέσα στη κατασκευή, προκειμένου να προσδιορίσει την ένταση που λαμβάνει το ηλιακό πάνελ. Το luxmeter τοποθετήθηκε και σε άλλες θέσεις στη θήκη του ηλιακού συλλέκτη για τη λήψη περισσότερων μετρήσεων. Δεδομένου ότι η πηγή φωτός παρέχει τεράστια ένταση φωτός, το κουτί θερμαίνεται. Επομένως, το κουτί ήταν εξοπλισμένο με 4 ανεμιστήρες για τη ψύξη της κατασκευής.



Εικόνα 34 Σχεδιασμός ηλιακού προσομοιωτή

### 3.3 Προτεινόμενη αρχιτεκτονική

Έχοντας αποκτήσει γνώση από τη βιβλιογραφία και βλέποντας τις ανάγκες ενός τέτοιου συστήματος, προτείνουμε την αρχιτεκτονική που απεικονίζεται στην εικόνα 35.



Εικόνα 35 block diagram

Το σύστημα που προτείνεται θα λειτουργεί αυτόματα και αυτόνομα μέσω υπολογιστή με λογισμικό ελέγχου για όλα τα όργανα που θα χρησιμοποιηθούν.

Διαχωρίζοντας το σύστημα ελέγχου και σύστημα αισθητήρων έχουμε:

- **Το σύστημα ελέγχου**

Το σύστημα ελέγχου περιλαμβάνει έλεγχο του συστήματος σε δύο υποσυστήματα. Το υποσύστημα ελέγχου της φωτεινής πηγής και το υποσύστημα ελέγχου της (κινούμενης) βάσης.

- **Το σύστημα αισθητήρων**

Το σύστημα αισθητήρων περιλαμβάνει τα διάφορα αισθητήρια που θα χρησιμοποιηθούν είτε αυτόνομα είτε ως μέρος της συνολικής πειραματικής διάταξης. Αρχικά προτείνεται η χρήση ενός υπερηχητικού αισθητήρα για την ακριβή μέτρηση της απόστασης της βάσης από την πηγή. Στη βάση προτείνεται η χρήση περισσότερων του ενός αισθητήρων ανάγνωσης φάσματος, για τη δημιουργία ακριβούς γραφήματος όπως της εικόνας 35.

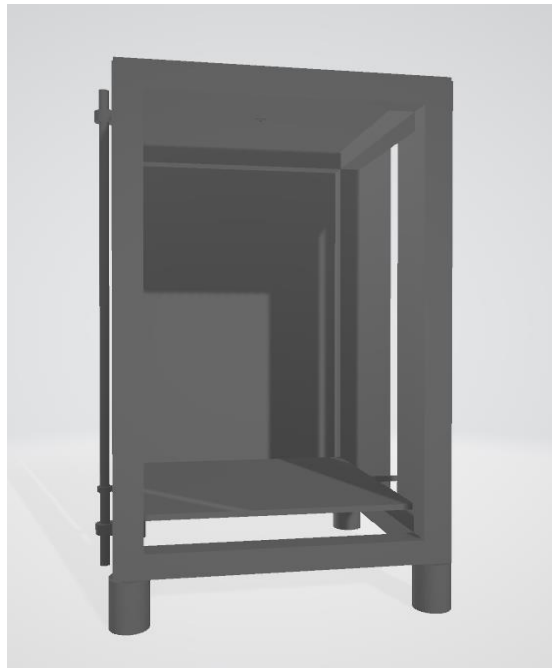
## Κεφάλαιο 4°

### Πειραματική κατασκευή

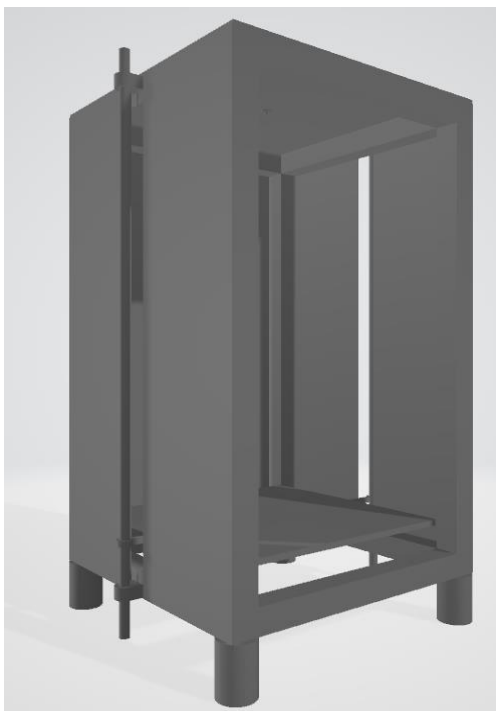
---

#### 4.1 Κατασκευή προτύπου σε ψηφιακή μορφή

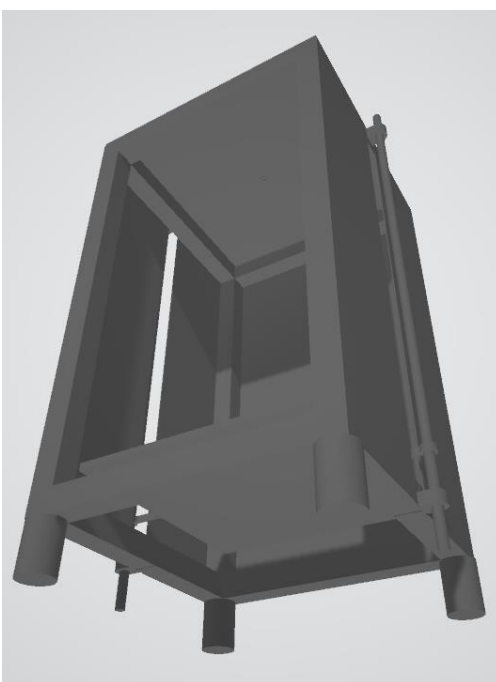
Αρχικά αποφασίστηκε να δημιουργηθεί μια ψηφιακή μορφή της κατασκευής με τη βοήθεια της εφαρμογής fusion 360. Αυτό επιτρέπει να προχωρήσει η κατασκευή με τα σωστά βήματα και να μη γίνουν λάθη τα οποία θα χρειαστούν ολόκληρη την ανακατασκευή του έργου. Το 3D μοντέλο το οποίο δημιουργήθηκε φαίνεται στις παρακάτω εικόνες.



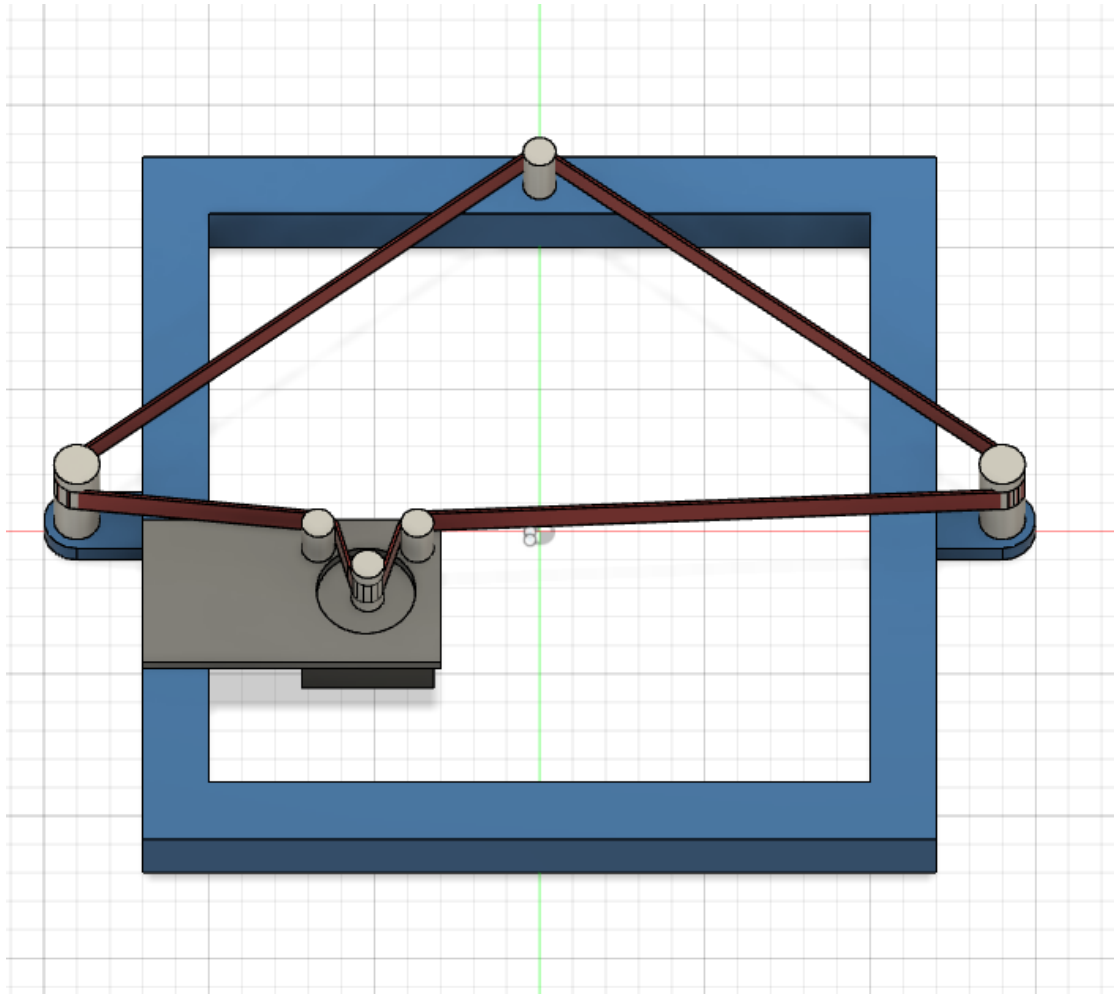
*Εικόνα 36 Μπροστινή όψη 3D μοντέλου*



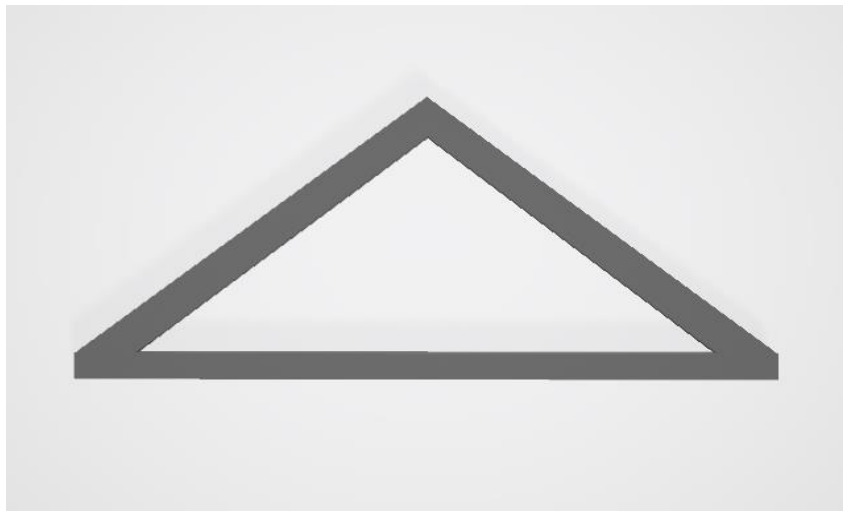
*Εικόνα 37 Πλάγια όψη 3D μοντέλου*



*Εικόνα 38 Κάτω όψη 3D μοντέλου*

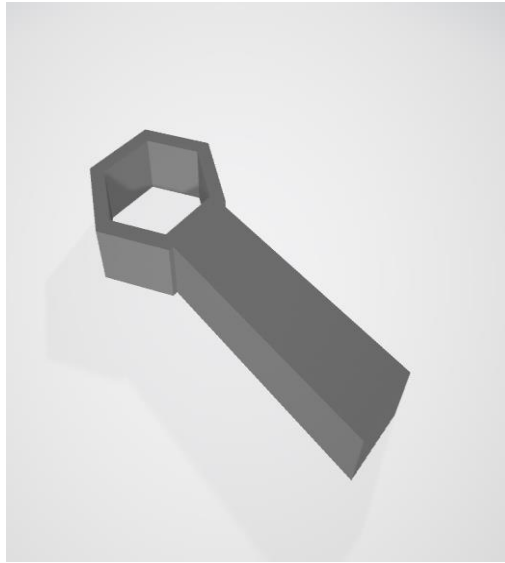


*Εικόνα 39 3D όψη της βάσης*



*Εικόνα 40 3D όψη βάσης του bed*





*41 3D απεικόνιση βάσης για τα περικόχλια*

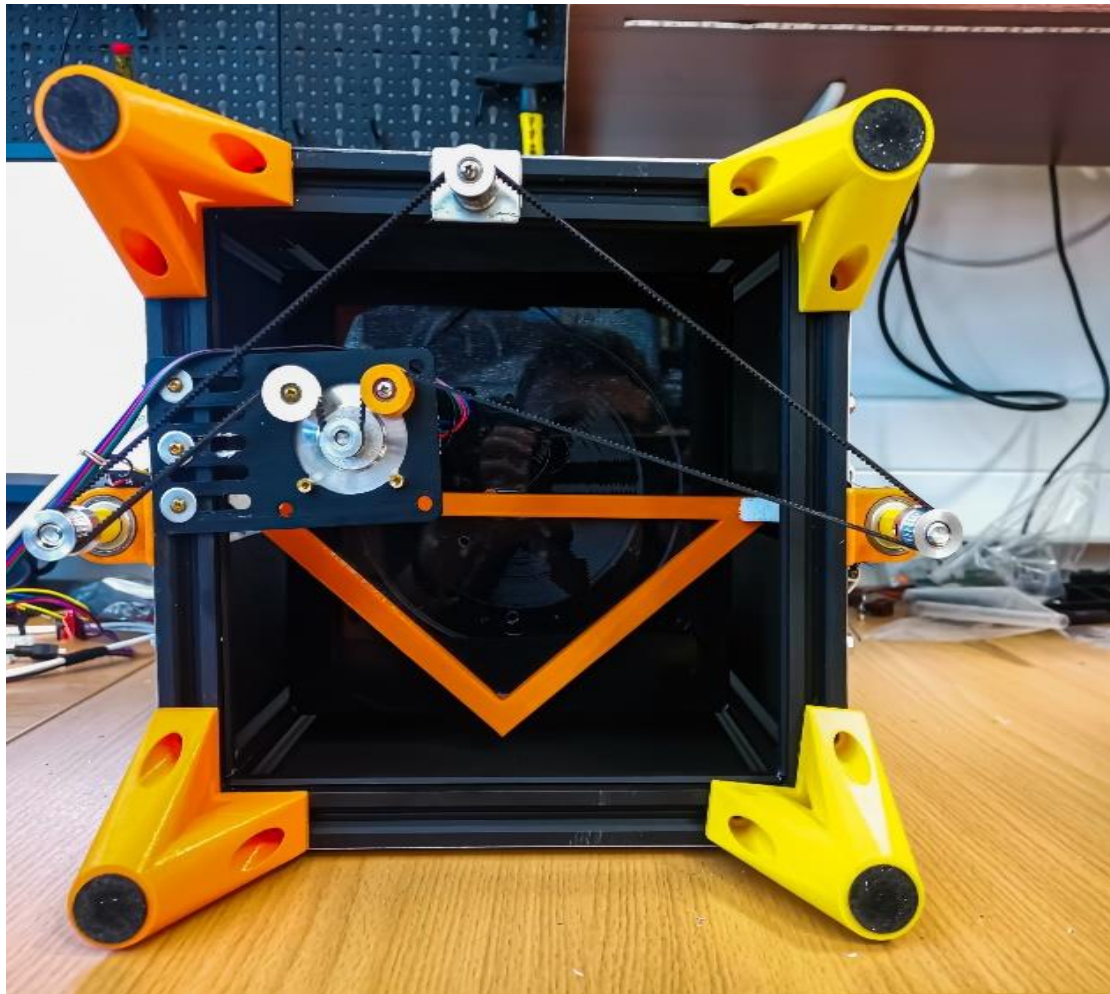
Όπως φαίνεται στα 3D μοντέλα αποφασίστηκε η κατασκευή να είναι σε μορφή παραλληλόγραμμου. Στο κάτω μέρος της να τοποθετηθεί μία βάση πάνω στην οποία θα είναι ο αισθητήρας μέτρησης. Δεξιά και αριστερά τοποθετήθηκαν κοχλίες οι οποίοι επιτρέπουν την ομαλή ανύψωση της βάσης. Ανάμεσα στους κοχλίες και τη βάση υπάρχει κενό για να μπορεί να κινηθεί ελεύθερα η βάση. Στο κάτω μέρος ενσωματώθηκαν πέλματα τα οποία θα κρατούν σταθερή τη κατασκευή. Στο επάνω μέρος τοποθετήθηκε μια πλάκα η οποία θα έχει επάνω της το led και θα είναι κατάλληλη για τη ψύξη του. Τέλος όλη η κατασκευή θα είναι καλυμμένη από όλες τις πλευρές με πλάκες οι οποίες δε θα επιτρέπουν εισροή και εκροή φωτεινών ακτινών.

## 4.2 Μηχανολογικό κομμάτι

Για τη δημιουργία της κατασκευής επιλέχθηκαν τα εξής υλικά κατασκευής , πηγές φωτισμού, σύστημα ελέγχου, σύστημα αισθητήρων με σκοπό να έχει το μικρότερο κόστος, να δίνει τα πιο ακριβή αποτελέσματα και να επιτρέπει τον ευκολότερο δυνατό χειρισμό.

<b>Κύρια υλικά κατασκευής</b>
Προφίλ αλουμινίου
20 X 20mm
4 X 40cm
8 X 20cm
16 σύνδεσμοι ενώσεων 90°
3 mm Πλάκα Αλουμινίου κεφαλής
2 κοχλίες κίνησης Z άξονα με περικόχλια

<b>Για την εξωτερική επένδυση</b>	
<b>Υλικά</b>	<b>Τεμάχια</b>
Φύλλο αλουμινίου 1mm	1
Βουρτσάκια Διαχωρισμού άξονα	4
NEMA 17 stepper motor	1
Βάση NEMA 17	1
67cm GT2 belt-Ιμάντας	1
GT2 8mm bore Pulleys	3
GT2 5mm bore Pulley	1
Z 608 bearings	4
Plexiglass Bed 20 X 20	1

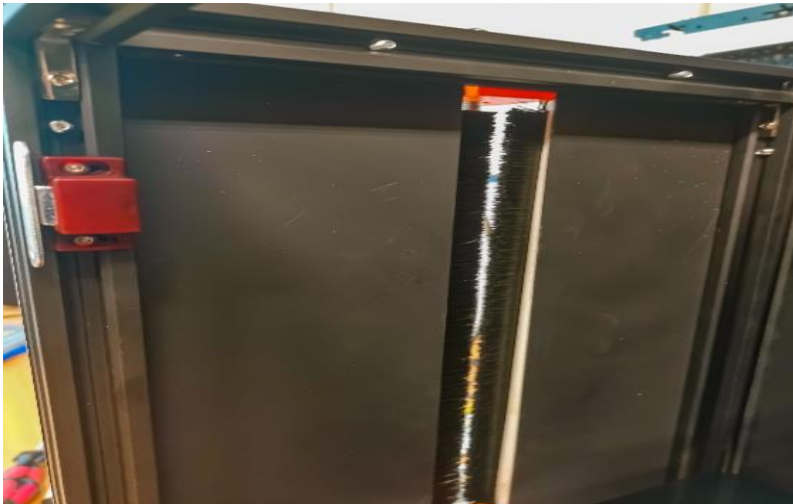


Εικόνα 42 Κάτω όψη κατασκευής

Miscellaneous
M3 T-slot παξιμάδια
M3 βίδες
M5 βίδες
M4 βίδες και παξιμάδια
Ταινία διπλής όψης
Τσογάκια – πατάκια
4 X Μαγνήτες



Εικόνα 43 Miscellaneous



Εικόνα 44 Μαγνήτες κατασκευής

Τέλος δημιουργήθηκαν και κάποια 3d printed κομμάτια με τον 3d printer του εργαστηρίου.

<b>3D printed κομμάτια</b>	
<b>Υλικά</b>	<b>Τεμάχια</b>
<b>βάσεις κατασκευής</b>	<b>4</b>
<b>αποστάτες κοχλία 8mm</b>	<b>4</b>
<b>βάσεις ρουλεμάν</b>	<b>4</b>
<b>Βάση Bed</b>	<b>1</b>
<b>Idler</b>	<b>2</b>



Εικόνα. 45 3d printed κομμάτια

### Τρόποι σύνδεσης

Καταρχάς ο κλωβός είναι κατασκευασμένος από το 20 X 20 προφίλ αλουμινίου του οποίου οι εξωτερικές διαστάσεις είναι 24cm X 24cm ( Μήκος X Πλάτος) και 40cm ύψος. Οι εσωτερικές διαστάσεις του κλωβού είναι:

**20cm X 20cm (Μήκος X Πλάτος) X 36cm ύψος**

Οι συνδέσεις του προφίλ αλουμινίου έχουν γίνει με εσωτερικούς συνδέσμους των 90° . Ο κλωβός τοποθετείται σε 4 3d εκτυπωμένες βάσεις οι οποίες προσφέρουν στη κατασκευή το απαραίτητο ύψος, έτσι ώστε να υπάρχει ο κατάλληλος χώρος για το σύστημα μετάδοσης κίνησης των Z αξόνων. Στις βάσεις έχουν τοποθετηθεί αντιολισθητικά πέλματα. Η εξωτερική κάλυψη της κατασκευής έχει γίνει με φύλλο αλουμινίου πάχους 1 χιλιοστού. Στη κατασκευή ο Z άξονας είναι κινούμενος. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση 2 κοχλιών M8 οι οποίοι περιστρέφονται ταυτόχρονα από τον NEMA 17 βηματικό κινητήρα. Η κίνηση μεταδίδεται από το κινητήρα στους κοχλίες με οδοντωτά γρανάζια GT2. Σημειώνεται ότι οι κοχλίες έχουν ίδια γρανάζια, ενώ ο κινητήρας λίγο μικρότερο. Η μετάδοση της κίνησης γίνεται με έναν μάντα κλειστού κυκλώματος, ο οποίος δίνει ισόποση κίνηση και στους δύο κοχλίες. Ο κάθε κοχλίας στηρίζεται σε 2 3d εκτυπωμένες βάσεις μία στο κάτω και μία στο πάνω μέρος του. Οι βάσεις διαθέτουν εσοχές για τη τοποθέτηση του Z608 ρουλεμάν. Επίσης διαθέτουν 3d αποστάτες για την εξάλειψη του κενού μεταξύ ρουλεμάν και

οδοντωτού γραναζιού. Η επιφάνεια μετρήσεων η οποία θα χαρακτηρίζεται ως bed στηρίζεται επάνω στους 2 κοχλίες. Για την αποφυγή πιθανόν ανακλάσεων οι κοχλίες τοποθετήθηκαν στο έξω μέρος της κατασκευής. Λόγω του κενού που έχει δημιουργηθεί στο εξωτερικό περίβλημα του κλωβού, έχουν τοποθετηθεί βουρτσάκια τα οποία απομονώνουν το εσωτερικό μέρος του κλωβού από φως, αλλά επιτρέπουν και την ομαλή κίνηση του bed. Το bed της κατασκευής είναι μια βάση από plexiglass το οποίο έχει ντυθεί με μαύρο αυτοκόλλητο. Επίσης ο λόγος που είναι από plexiglass είναι για την αποφυγή βραχυκυκλωμάτων που μπορεί να δημιουργηθούν από άλλα υλικά. Το bed είναι τοποθετημένο πάνω σε 3d βάση η οποία δέχεται και τα περικόχλια για τη κίνηση του. Πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι η εμπρός επιφάνεια του κλωβού έχει αφαιρούμενο περίβλημα για την εύκολη πρόσβαση σε εναλλαγή αισθητήρων η φωτοβολταϊκών πλακών. Η εμπρόσθια όψη είναι μαγνητικά αποσπώμενη. Η κεφαλή του κλωβού είναι κατασκευασμένη από πλάκα αλουμινίου πάχους 3 χιλιοστών το οποίο λειτουργεί και σαν ψήκτρα. Είναι ευκόλως αποσπώμενη με 4 βίδες για την εναλλαγή της με άλλες κεφαλές όπου τα φωτιστικά σώματα μπορεί να διαφέρουν χωροταξικά. Πάνω στη κεφαλή τοποθετούνται τα LED για τις απαραίτητες μετρήσεις.

<b>Χαρακτηριστικές προδιαγραφές κλωβού αξιολόγησης φωτοβολταϊκών</b>	
<b>Ύψος ολικό</b>	<b>40cm</b>
<b>Πλάτος ολικό</b>	<b>24cm</b>
<b>Μήκος ολικό</b>	<b>24cm</b>
<b>Μέγεθος Bed</b>	<b>20X20cm</b>
<b>Κίνηση Z άξονα Bed</b>	<b>34cm</b>
<b>Χώρος Μετρήσεων κλωβού</b>	<b>20X20X34cm</b>
<b>Μέγιστο Μέγεθος φωτοβολταϊκού</b>	<b>10X10cm</b>
<b>Κεφαλή Φωτοβόλησης</b>	<b>24X24X0,3cm Αλουμινίου</b>
<b>Κύρια τοπολογία</b>	<b>1 φωτιστικό σώμα στο κέντρο της κεφαλής</b>



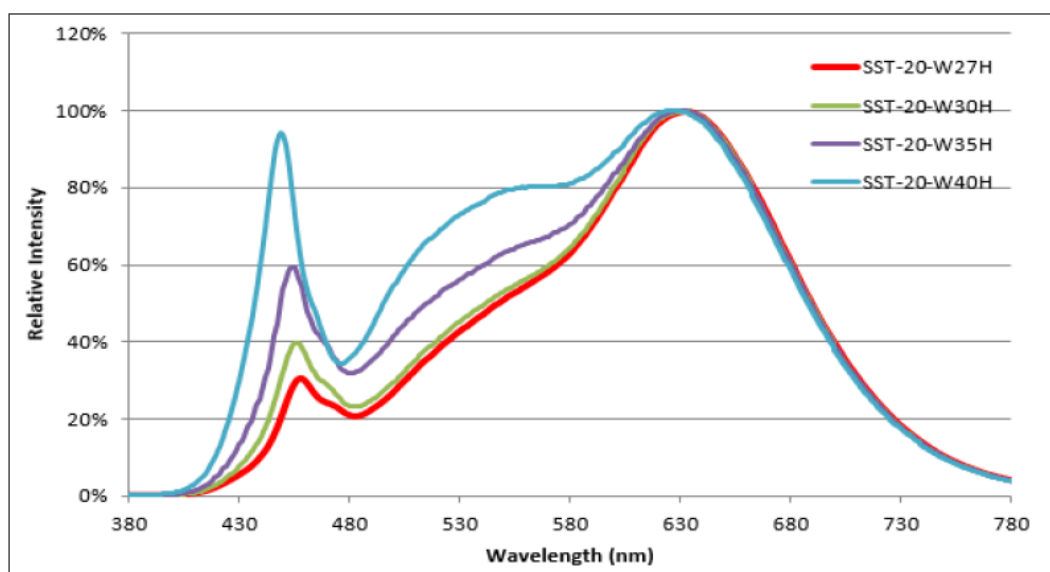
## Φωτεινή πηγή

Το LED που θα χρησιμοποιηθεί στην κατασκευή είναι το LST1-01G03-4095-01. Οι NewEnergy SST-20 Luminus High Power LED Starboards προσφέρουν ανώτερη απόδοση με ευελιξία στο σχεδιασμό, χρησιμοποιώντας LED υψηλής έντασης. Οι SST-20 Starboards παρέχουν σύντομο χρόνο ανάπτυξης και γρήγορο σχεδιασμό χρησιμοποιώντας ακριβείς προδιαγραφές. Οι SST-20 Luminus Starboards διαθέτουν εύρος CCT 2700K-6500K, CRI 70 (Cool) ή 95 (Warm) και 3A DC ρεύμα. Πρόσθετα χαρακτηριστικά περιλαμβάνουν εύρος τάσης 3.1V-3.3V και μέγιστη θερμοκρασία 105 ° C. Τα Starboards μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μεγάλη ποικιλία εφαρμογών, όπως κηπουρική, ψυχαγωγία, συναυλίες, προβολείς και πολλά άλλα [33].



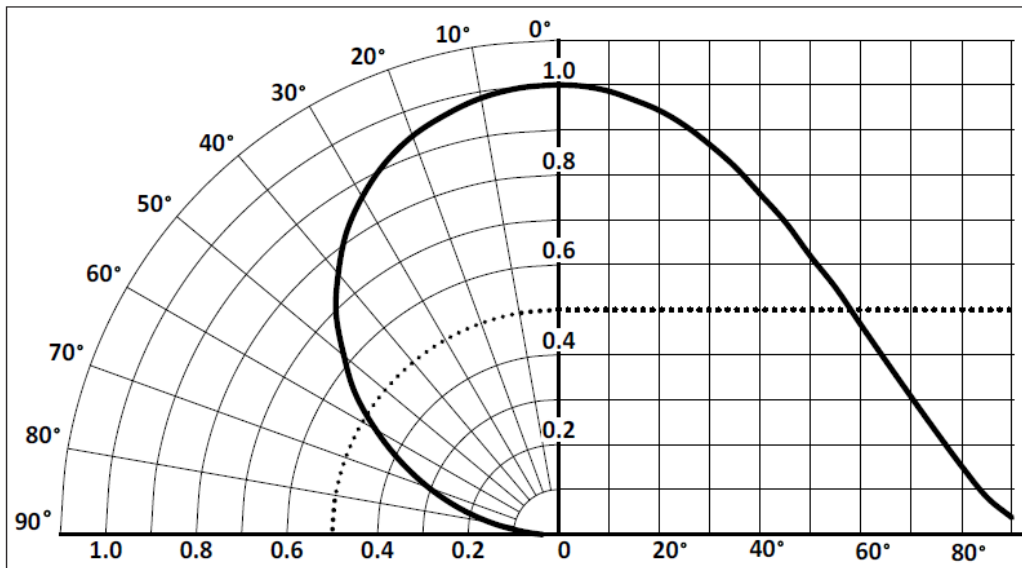
Εικόνα 46 LST1-01G03-4095-01

### Typical Relative Radiant Power (%)<sup>1</sup>



Εικόνα 47 τυπική ισχύς ακτινοβολίας

Typical Angular Pattern of Radiant Power  
Types A120 and B120<sup>2</sup>



Εικόνα 48 τυπικό γωνιακό μοτίβο ακτινοβολίας

### 4.3 Συστήματα ελέγχου

Για το σύστημα ελέγχου του κλωβού θα χρησιμοποιηθούν οι εξής εφαρμογές, οι οποίες μπορούν να ανταπεξέλθουν στις απαιτήσεις του συστήματος. Για το χειρισμό του κλωβού μέσω υπολογιστή θα χρησιμοποιηθεί το λογισμικό LabView σε συνεργασία με ένα Arduino που θα τρέχει τον κώδικα. Ενώ για τη τροφοδοσία του συστήματος θα χρησιμοποιηθούν δύο τροφοδοτικά του εργαστηρίου.

#### 4.3.1 LabView

Το LabVIEW είναι λογισμικό μηχανικής συστημάτων για εφαρμογές που απαιτούν δοκιμή, μέτρηση και έλεγχο με γρήγορη πρόσβαση σε πληροφορίες υλικού και δεδομένων.

Το LabVIEW προσφέρει μια γραφική προσέγγιση προγραμματισμού που βοηθάει να απεικονίσει κάθε πτυχή μίας εφαρμογής, συμπεριλαμβανομένης της διαμόρφωσης υλικού, των δεδομένων μέτρησης και του εντοπισμού σφαλμάτων. Αυτή η απεικόνιση καθιστά απλή την ενσωμάτωση υλικού μέτρησης από οποιονδήποτε προμηθευτή, την αναπαράσταση σύνθετης λογικής στο διάγραμμα, την ανάπτυξη αλγορίθμων ανάλυσης δεδομένων και τον σχεδιασμό προσαρμοσμένων διεπαφών χρήστη μηχανικής.



Επίσης το LabView μπορεί να χρησιμοποιηθεί:

- Μετρήσεις φυσικών συστημάτων με αισθητήρες ή ενεργοποιητές

Με το υλικό LabVIEW και NI DAQ, μπορεί να δημιουργηθεί μια προσαρμοσμένη λύση μέτρησης, να απεικονιστεί, να αναλύσει σήματα πραγματικού κόσμου και να λάβει αποφάσεις βάσει δεδομένων.

- Επικύρωση ή επαλήθευση ηλεκτρονικών σχεδίων

Χρησιμοποιώντας LabVIEW και NI ή υλικό τρίτου μέρους, μπορεί να αυτοματοποιήσει την επικύρωση του προϊόντος για να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις αγοράς και τις επιδόσεις.

- Ανάπτυξη συστημάτων δοκιμής παραγωγής

Σε συνεργασία με το LabVIEW, μπορεί να δημιουργηθούν ευέλικτες δοκιμαστικές εφαρμογές που ελέγχουν πολλαπλά όργανα και σχεδιάζουν διεπαφές χρήστη για τη βελτιστοποίηση της απόδοσης δοκιμής κατασκευής και του λειτουργικού κόστους.

- Σχεδιασμό έξυπνων μηχανών ή βιομηχανικών εξοπλισμών

Μπορεί να κατασκευάσει γρηγορότερα βιομηχανικό εξοπλισμό και έξυπνα μηχανήματα. Η ενσωματωμένη πλατφόρμα σχεδίασης της NI συνδυάζει μια πλήρη στοιβιά λογισμικού, στενά ενσωματωμένο και προσαρμόσιμο υλικό και ένα ζωντανό οικοσύστημα χρηστών και IP [34].



Εικόνα 49 LabView Πρόγραμμα

### 4.3.2 Arduino

Το Arduino είναι μια ηλεκτρονική πλατφόρμα ανοιχτού κώδικα που βασίζεται στο εύρηστο υλικό και λογισμικό. Οι πίνακες Arduino είναι σε θέση να διαβάζουν εισόδους, όπως φως σε έναν αισθητήρα ενεργοποιώντας έναν κινητήρα, ενεργοποιώντας ένα LED. Μπορεί κάποιος να πει στον πίνακα τι να κάνει στέλνοντας ένα σύνολο οδηγιών από τον μικροελεγκτή στον πίνακα. Για να γίνει αυτό, χρησιμοποιείται η γλώσσα προγραμματισμού Arduino και το λογισμικό Arduino (IDE), με βάση την επεξεργασία. Επιπλέον κάποιιοι λόγοι για τους οποίους επιλέχτηκε το Arduino για τη κατασκευή είναι οι εξής.

- **Φθινό:** οι πλακέτες Arduino είναι σχετικά φθηνές σε σύγκριση με άλλες πλατφόρμες μικροελεγκτών. Η φθινότερη έκδοση της μονάδας Arduino μπορεί να συναρμολογηθεί με το χέρι και ακόμη και οι προσυναρμολογημένες μονάδες Arduino κοστίζουν λιγότερο από 50€
- **Cross -platform :** Το λογισμικό Arduino (IDE) λειτουργεί σε λειτουργικά συστήματα Windows, Macintosh OSX και Linux
- **Απλό, σαφές περιβάλλον προγραμματισμού:** Το λογισμικό Arduino (IDE) είναι εύκολο στη χρήση για αρχάριους, αλλά αρκετά ευέλικτο για να το εκμεταλλευτούν επίσης οι προχωρημένοι χρήστες.
- **Λογισμικό ανοιχτού κώδικα και επεκτάσιμο:** Το λογισμικό Arduino δημοσιεύεται ως εργαλείο ανοιχτού κώδικα, διαθέσιμο για επέκταση από έμπειρους προγραμματιστές. Η γλώσσα μπορεί να επεκταθεί μέσω βιβλιοθηκών C ++ και οι άνθρωποι που θέλουν να κατανοήσουν τις τεχνικές λεπτομέρειες μπορούν να κάνουν το άλμα από το Arduino στη γλώσσα προγραμματισμού AVR C στην οποία βασίζεται.
- **Ανοικτού κώδικα και επεκτάσιμο υλικό:** Τα σχέδια των πλακετών Arduino δημοσιεύονται με άδεια Creative Commons, έτσι οι έμπειροι σχεδιαστές κυκλωμάτων μπορούν να δημιουργήσουν τη δική τους έκδοση της μονάδας, επεκτείνοντάς την και βελτιώνοντάς την. Ακόμη και σχετικά άπειροι χρήστες μπορούν να δημιουργήσουν την έκδοση breadboard της μονάδας για να καταλάβουν πώς λειτουργεί και να εξοικονομήσουν χρήματα.

Το Virtual Instrument Software Architecture (VISA) είναι ένα πρότυπο για τη διαμόρφωση, τον προγραμματισμό και την αντιμετώπιση προβλημάτων συστημάτων οργάνων που περιλαμβάνουν διεπαφές GPIB, VXI, PXI, Serial, Ethernet ή/και USB. Το VISA παρέχει τη διεπαφή προγραμματισμού μεταξύ υλικού και περιβάλλοντος ανάπτυξης, όπως το LabVIEW,

Ο διαχειριστής πακέτων Vi χρησιμοποιείται για την εγκατάσταση/αφαίρεση πρόσθετων στο NI LabVIEW

Ένα πακέτο VI είναι ένα μεμονωμένο αρχείο που χειρίζεται αυτόματα το VIPM. Αυτό καθιστά εύκολη την κοινή χρήση του κώδικα LabVIEW με τα ακόλουθα πρόσθετα πλεονεκτήματα:

Εγκαθιστά το πακέτο στο LabVIEW. Χειρίζεται απρόσκοπτα διαφορετικές εκδόσεις του LabVIEW με το ίδιο πακέτο (δεν χρειάζεται ανακατασκευή) Λειτουργεί με πολλά λειτουργικά συστήματα (Windows, Mac και Linux). Βοηθά να μειωθεί το κόστος έργου εφαρμόζοντας μια διαδικασία επαναχρησιμοποίησης κώδικα. Στην αυτόματη μαζική μεταγλώττιση το VI στην έκδοση του LabVIEW εγκαθιστά τα πακέτα σε notifies, πραγματοποιεί λήψη και επιλύει τις εξαρτήσεις. Μετά από την εγκατάσταση είναι εφικτό το ανέβασμα της βιβλιοθήκης του LIFA Base στο Arduino. Στη συνέχεια πρέπει να ανέβει το πρόγραμμα LIFA Base στο Arduino χρησιμοποιώντας arduino IDE. Σύνδεση του Arduino στον υπολογιστή σας. Επιλογή θύρας -com, επιλογή τύπου πλακέτας. Έπειτα, ανοίγει το βασικό πρόγραμμα LISA από τη μονάδα δίσκου που έχει αποθηκευτεί και το ανεβαίνει ο κώδικας στο Arduino [35].

### 4.3.3 Εξοπλισμός

Για τη σωστή τροφοδοσία του συστήματος και υλοποίηση των μετρήσεων θα χρησιμοποιηθούν τα KEYSIGHT E3632A και RIGOL DP832A.

- Το KEYSIGHT E3632A παρέχει αξιόπιστη δύναμη έως 200 W, τρεις μονές εξόδους με τροφοδοτικά διπλής εμβέλειας. Τα τροφοδοτικά διπλού εύρους παρέχουν εύρος υψηλής και χαμηλής τάσης, το χαμηλό εύρος έχει τη δυνατότητα να παράγει περισσότερο ρεύμα. Επίσης, η σειρά E3632A προσφέρει τηλεχειριστήριο 4 συρμάτων για να δίνει ακριβή τάση στο φορτίο. Οι δοκιμές αυτοματοποιούνται χρησιμοποιώντας τη διεπαφή RS232 ή GPIB. Όταν χρειάζεται αξιόπιστη ισχύ έως 200 W [36].



Εικόνα 50 Keysight E3632A Power Supply

- Το Rigol DP832A είναι ένα πολύ υψηλής ποιότητας προγραμματιζόμενο εργαστηριακό τροφοδοτικό με τρεις εναλλασσόμενες εξόδους (+30 V/3 A, +30 V/3 A και +5 V/3 A) και μέγιστη ισχύ εξόδου 195 W. Το τροφοδοτικό διαθέτει μια πολύ καλά κατασκευασμένη και εύχρηστη διεπαφή, η οποία προσφέρει επίσης ολοκληρωμένες λειτουργίες ευκολίας στη χρήση, όπως προγραμματιζόμενες καμπύλες τάσης. Εκτός από τις κανονικές ψηφιακές θόκες τάσης, ρεύματος και ισχύος, οι τιμές μπορούν επίσης να εμφανιστούν

ως καμπύλες σήματος. Τέλος είναι εξαιρετικό στη σύνδεσή του με το πρόγραμμα LabView το οποίο θα χρησιμοποιηθεί στην εφαρμογή [37].



Εικόνα 51 Rigol DP832A Power Supply

## 4.4 Συστήματα αισθητήρων

Οι αισθητήρες που θα χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό της απόστασης και του ηλιακού φάσματος είναι οι HC-SR04 Ultrasonic Distance Sensor και ISL29125 αντίστοιχα. Ενώ τα προγράμματα που θα ενταχθούν στους αισθητήρες θα γίνουν μέσω του Arduino IDE.

### 4.4.1 Επιλογή αισθητήρων

#### HC-SR04 Ultrasonic Distance Sensor

Ο αισθητήρας για τον υπολογισμό της απόστασης είναι ο HC-SR04 Ultrasonic Distance Sensor που χρησιμοποιείται για την ανίχνευση της απόστασης σε ένα αντικείμενο χρησιμοποιώντας σόναρ.

Το HC-SR04 χρησιμοποιεί σόναρ υπερήχων χωρίς επαφή για να μετρήσει την απόσταση από ένα αντικείμενο και αποτελείται από δύο πομπούς υπερήχων, έναν δέκτη και ένα κύκλωμα ελέγχου. Οι πομποί εκπέμπουν έναν υπερηχητικό ήχο υψηλής συχνότητας, ο οποίος αναπηδά από τυχόν κοντινά στερεά αντικείμενα και ο δέκτης ακούει κάθε ηχώ επιστροφής. Αυτή η ηχώ στη συνέχεια υποβάλλεται σε επεξεργασία από το κύκλωμα ελέγχου για τον υπολογισμό της χρονικής διαφοράς μεταξύ του σήματος που μεταδίδεται και λαμβάνεται [38].

Ο αισθητήρας HC -SR04 λειτουργεί καλύτερα μεταξύ 2cm - 400 cm σε κώνο 30 μοιρών και είναι ακριβής μέχρι τα 0,3cm.

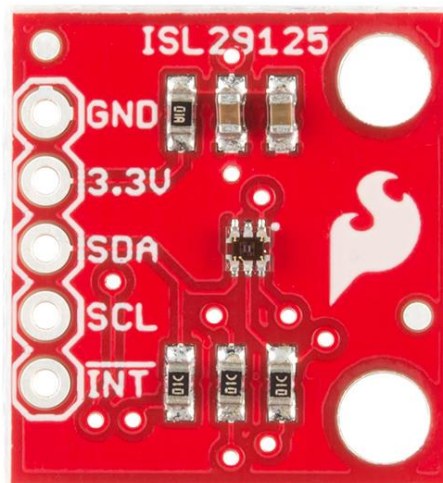


Εικόνα 52 Ultrasonic Sensor HC-SR04

Ο κώδικας που χρησιμοποιήθηκε για την μέτρηση της απόστασης υπάρχει στο Appendix A.

### Αισθητήρας ISL29125

Ο ISL29125 είναι χαμηλής ισχύος, υψηλής ευαισθησίας, κόκκινου, πράσινου και μπλε αισθητήρας φωτός χρώματος με I2C διεπαφή. Ο Υπερσύγχρονος πίνακας φωτοдиодων παρέχει ένα ακριβές φασματικής απόκρισης RGB και εξαιρετική πηγή φωτός σε παραλλαγή πηγής φωτός. Το ISL29125 έχει σχεδιαστεί για να απορρίπτει το IR σε πηγές φωτός που επιτρέπουν τη λειτουργία της συσκευής σε περιβάλλοντα όπως το φως του ήλιου έως τα σκοτεινά δωμάτια. Η ενσωμάτωση ADC απορρίπτει το τρεμόπαιγμα των 50Hz και 60Hz που προκαλείται από τεχνητές πηγές φωτός. Ένα επιλέξιμο εύρος επιτρέπει στον χρήστη να βελτιστοποιήσει ευαισθησία κατάλληλη για τη συγκεκριμένη εφαρμογή. Στην κανονική λειτουργία η συσκευή καταναλώνει 56μΑ, το οποίο μειώνεται σε 0,5 μΑ σε κατάσταση απενεργοποίησης. Το ISL29125 υποστηρίζει υλικό και προγραμματιζόμενα κατώτατα όρια διακοπής από το λογισμικό χρήστη. Η συσκευή λειτουργεί με αναλώσιμα (VDD) από 2.25V έως 3.63V, I2C τροφοδοσία από 1,7V έως 3,63V, και θερμοκρασία λειτουργίας σε όλο το εύρος από -40 ° C έως +85 ° C [39].



Εικόνα 53 ISL29125 RGB Light Sensor

Ο κώδικας που χρησιμοποιήθηκε για την μέτρηση και τον υπολογισμό του φάσματος του φωτός υπάρχει στο Appendix B.

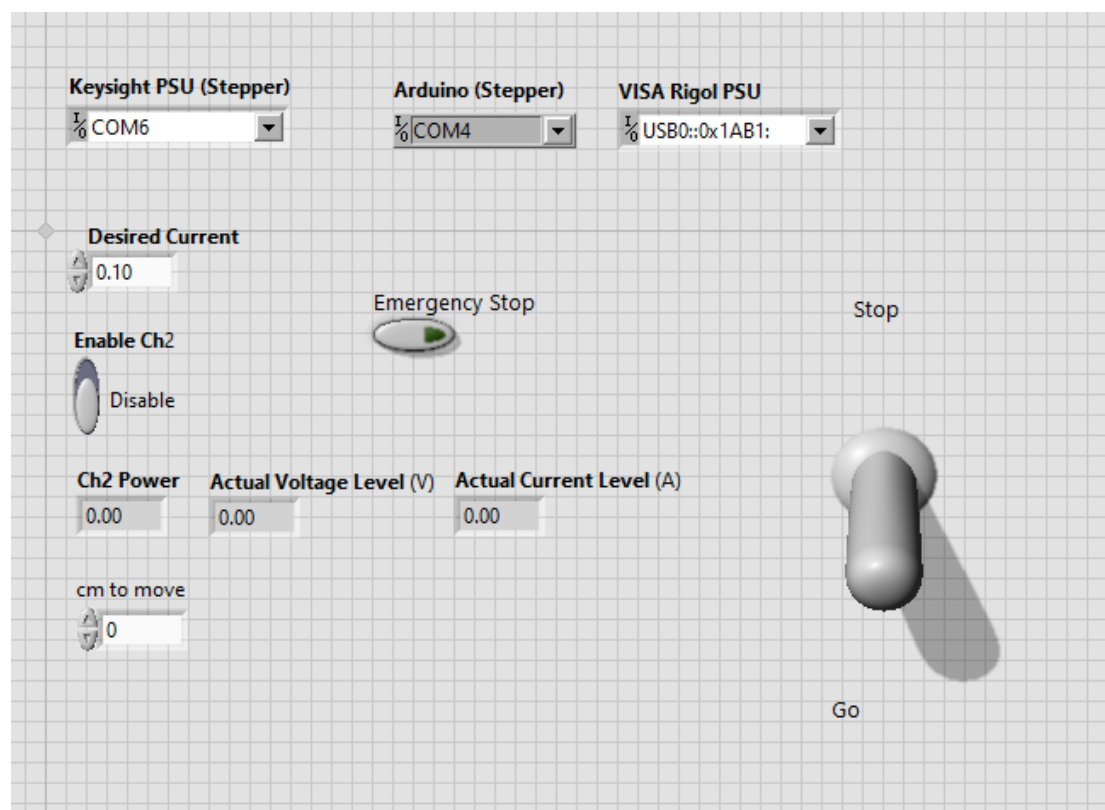


## Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup>

### Ανάλυση LabView VI και συνολικής διαδικασίας

Το πρόγραμμα που θεωρήθηκε κατάλληλο για τον έλεγχο της κατασκευής είναι το LabView. Χάρεις τις χιλιάδες λειτουργίες τις οποίες προσφέρει, επέτρεψε την εύκολη σύνδεση ολόκληρου του κλωβού με τον εξοπλισμό του εργαστηρίου ASL. Με αυτό το τρόπο ο χρήστης θα μπορεί να χειριστεί τη κατασκευή ανάλογα με τις απαιτήσεις του. Το πρόγραμμα που δημιουργήθηκε πάνω στην εφαρμογή LabView είναι το εξής.

#### Front Panel



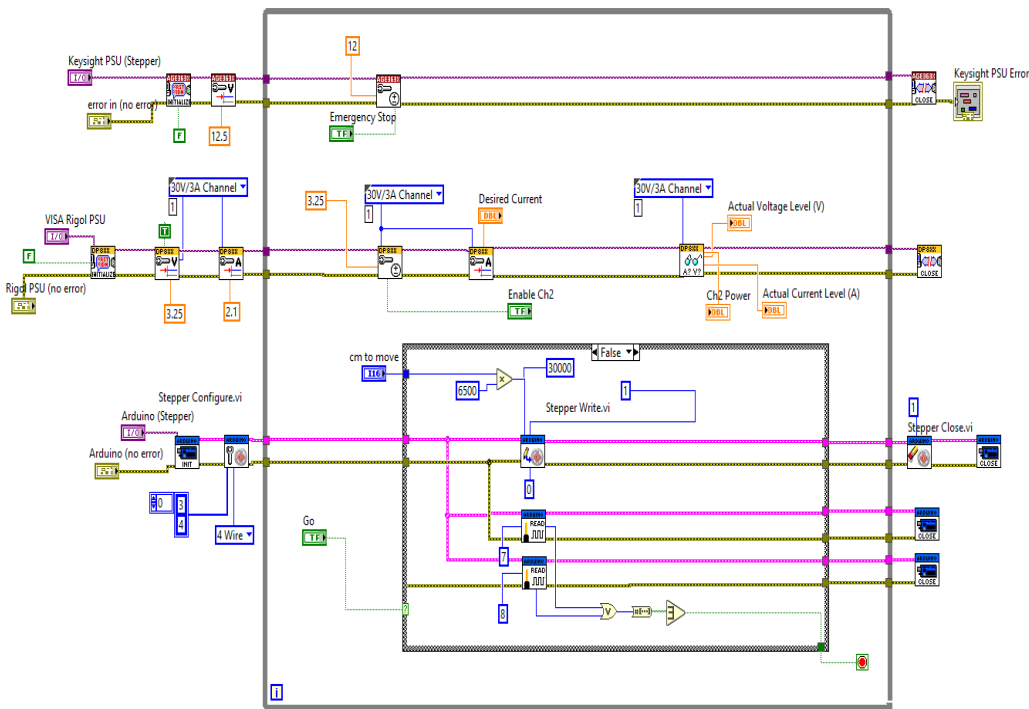
Εικόνα 54 Front Panel

Η πρώτη επαφή του χρήστη με το πρόγραμμα που δημιουργήθηκε στο LabView είναι το front panel της εφαρμογής. Στο επάνω μέρος υπάρχουν τα Keysight PSU (Stepper), Arduino (Stepper), VISA Rigol PSU που είναι υπεύθυνα για τις επιλογές των οργάνων από τη σειριακή. Στη συνέχεια βρίσκεται το Desired Current το οποίο είναι το ρεύμα τροφοδοσίας των led. Επίσης υπάρχει το Emergency Stop που είναι button ελέγχου εξόδου του Keysight για την άμεση διακοπή του εάν προκύψει κάποιο σφάλμα. Δίπλα είναι το Enable Ch2 που είναι διακόπτης του LED και το ενεργοποιεί ή το απενεργοποιεί. Έπειτα έχουμε τα Ch2 Power, Actual Voltage Level (V), Actual Current Level (A) που είναι οι έξοδοι του τροφοδοτικού. Ακριβώς από κάτω βρίσκεται το cm to move στο οποίο ο χρήστης λέει στο πρόγραμμα πόσα εκατοστά θέλει να κουνηθεί το bed της κατασκευής πάνω ή κάτω. Τέλος, δεξιά βρίσκεται ένα switch το οποίο όταν είναι στη Go λειτουργία ξεκινάει ολόκληρη την κατασκευή και της επιτρέπει να κάνει όλες τις λειτουργίες, ενώ στο Stop τη σταματάει.



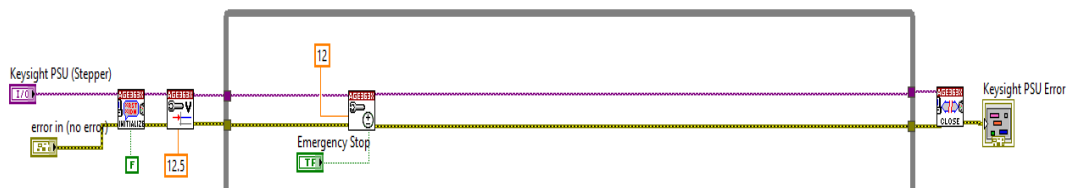
## Back Panel

Μετά το front panel θα αναλυθεί το back panel. Το back panel χωρίζεται σε 4 υποσυστήματα, το Keysight stepper PSU, το led PSU, το stepper control moving και το stepper control stopped. Αυτά θα αναλυθούν περισσότερο στη συνέχεια.



Εικόνα 55 Back Panel LabView

## Keysight stepper PSU



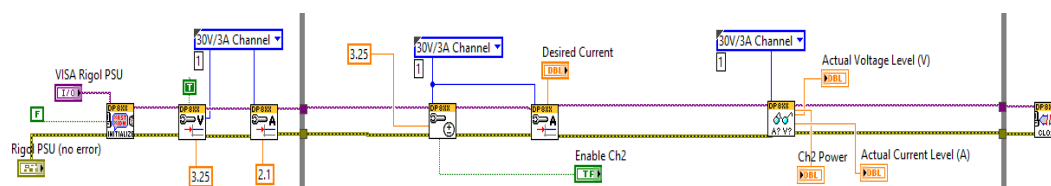
Εικόνα 56 Keysight stepper PSU

Στα αριστερά του stepper PSU είναι το initialize block. Αυτό κάνει εκκίνηση της σειριακής επικοινωνίας του μηχανήματος με το LabView. Είναι συνδεδεμένο με το Keysight PSU (Stepper) I/O που είναι η επιλογή του μηχανήματος μέσω του σειριακού πρωτοκόλλου VISA. Επίσης είναι συνδεδεμένο με το error in που είναι υπό block indicator για error και το False που είναι υπεύθυνο για τη σωστή λειτουργία του τροφοδοτικού, εμείς απενεργοποιούμε το reset mode. Δεξιά του βρίσκεται το OVP, είναι ένα block που ρυθμίζει τη προστασία από υπέρταση. Αυτό είναι συνδεδεμένο με ένα πορτοκαλί block που είναι μια σταθερά η οποία έχει οριστεί στα 12.5V. Το γκρι block που περικλείει ένα μεγάλο μέρος της προγράμματος είναι ή loop. Μέσα στη loop είναι το Configure Output. Η ρύθμιση εξόδου ρυθμίζει τάση εξόδου στο



τροφοδοτικό. Έχει δύο παραμέτρους που έχουμε ορίσει. Το πορτοκαλί block είναι 12 Volt τροφοδοσία του stepper motor, ενώ το Emergency stop είναι ο διακόπτης που βρίσκεται στο front panel. Όταν βγαίνουμε από το loop το πρώτο που αντικρίζουμε είναι το Close το οποίο είναι block τερματισμού σειριακής επικοινωνίας οργάνων υπολογιστή. Ακριβώς δίπλα του είναι το Keysight PSU Error Indicator που ελέγχει για πιθανά Error. Σημαντικό είναι να αναφερθεί πως κάθε block που χρησιμοποιείται στο LabView πρέπει οπωσδήποτε να έχει το VISA και το Indicator για Error. Τα υπόλοιπα μπορούν να παραλειφθούν υπό συνθήκες.

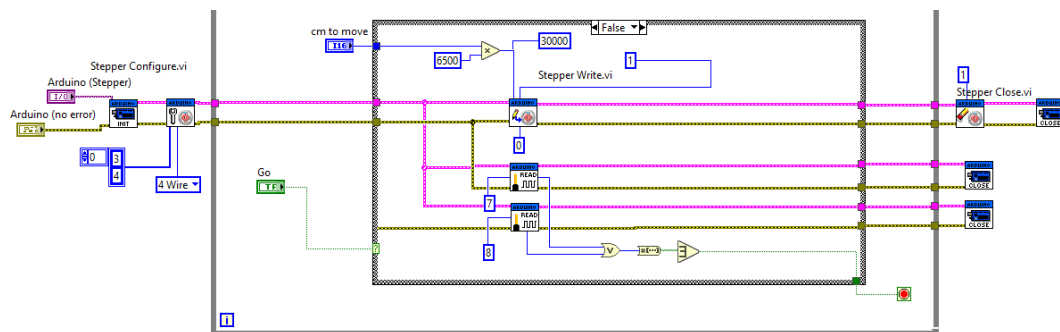
## Led PSU



Εικόνα 57 Led PSU

Στα αριστερά βρίσκεται το Initializer. Το οποίο είναι συνδεδεμένο με το OCV που είναι υπεύθυνο για να σταματάει τη παροχή τροφοδοσίας, όταν η τάση υπερβεί ένα προκαθορισμένο επίπεδο και το OCP που είναι υπεύθυνο για το περιορισμό ρεύματος. Μέσα στη loop βρίσκουμε το Configure output. Επειδή το τροφοδοτικό δε μπορεί να λειτουργήσει σε Constant current mode μέσω του LabView έπρεπε να βρεθεί ένας διαφορετικός τρόπος να ορίζουμε το ρεύμα εξόδου επάνω στο LED. Για το λόγο αυτό ορίζουμε σταθερά την τάση εξόδου του καναλιού του τροφοδοτικού στα 3.25V. Η οποία είναι και η τάση που έχουμε μετρήσει χειροκίνητα ότι το Led φτάνει, ρεύμα εξόδου τα 2 Ampere. Το Enable είναι αυτό που φαίνεται στο front panel. Στη συνέχεια το βρίσκεται το Configure OCP. Θεωρώντας σταθερή τάση εξόδου τα 3.25V μεταβάλλουμε το όριο της προστασίας ρεύματος εξόδου κατά το δοκούν, για να κάνουμε τις μετρήσεις με τις επιθυμητές τιμές, Με το τρόπο αυτό πετυχαίνουμε μια ψευδό constant current λειτουργία. Η Desired current είναι επιλογέας εξόδου. Χρειάζεται μια προσοχή γιατί το ρεύμα δε πρέπει να ξεπερνάει τα 2 Ampere. Για στιγμιαίους παλμούς χρόνου μικρότερου από μισό second. Έπειτα η Read διαβάζει ισχύ, τάση, ρεύμα του τροφοδοτικού. Τα πορτοκαλί block είναι οι ενδείκτες στους οποίους εμφανίζεται η εκάστοτε τιμή. Τέλος μετά τη loop είναι το Close το οποίο τερματίζει τη σειριακή επικοινωνία οργάνων υπολογιστή.

## Stepper control moving

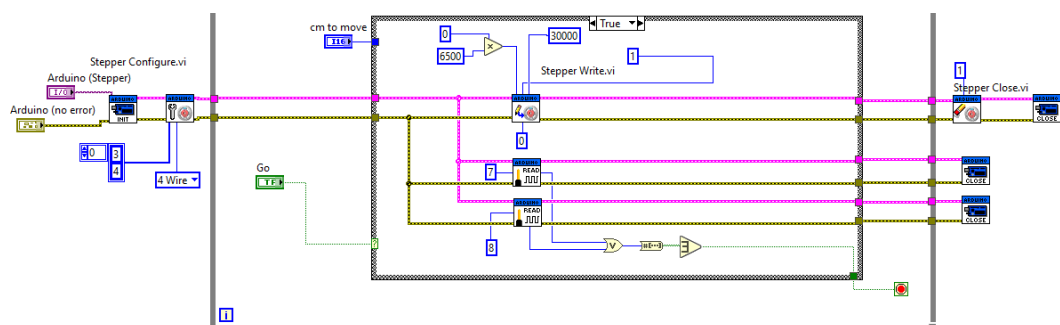


Εικόνα 58 Stepper control moving

### False λειτουργία

Στο stepper control moving το πρώτο block το οποίο φαίνεται στα αριστερά είναι το Stepper Configure. Αυτό είναι υπεύθυνο για τη ρύθμιση του stepper motor. Τα νούμερα 3 και 4 είναι οι ψηφιακές πόρτες εξόδου στις οποίες είναι συνδεδεμένο το stepper driver. Το 4 Wire είναι τύπος του stepper driver. Μέσα στη loop αρχικά φαίνεται το cm to move το οποίο είναι υπεύθυνο για την επιλογή επιθυμητής απόστασης μετακίνησης της βάσης. Επίσης υπάρχει το Go που είναι το button επιλογής start-stop στο front panel. Στα δεξιά 30000 είναι η ταχύτητα stepper. Είναι η βέλτιστη ταχύτητα για να λειτουργεί αθόρυβα, χωρίς να χτυπάνε τα γρανάζια του βηματικού κινητήρα. Στα αριστερά 6500 είναι ο πολλαπλασιαστής επί τα επιθυμητά cm. Είναι ένα, διότι έχουμε υπολογίσει πως 1cm είναι 6500 βήματα του κινητήρα. Το 0 είναι set default accelerator. Το 1 είναι η διεύθυνση του stepper. Όλα αυτά συνδέονται στο Stepper write block, το οποίο είναι υπεύθυνο να μετακινεί το κινητήρα. Από κάτω βρίσκονται δύο block διακόπτες. Σε αυτούς είναι συνδεδεμένα τα 7 και 8 που είναι διακόπτες τερματισμού στα πάνω και κάτω άκρα της διάταξης. Όταν κάποιος από τους δύο διακόπτες ενεργοποιηθεί τερματίζεται το πρόγραμμα. Έξω από τη loop βρίσκεται το Stepper close που τερματίζει τη λειτουργία του stepper και το Close που τερματίζει τη λειτουργία του Arduino.

## Stepper control Stopped



Εικόνα 59 Stepper control Stopped

## **True λειτουργία**

Τα blocks του stepper control stopped είναι τα ίδια με του stepper control moving. Η μόνη λειτουργία η οποία αλλάζει είναι το 6500 το οποίο πολλαπλασιάζεται με το 0 για να μη μετακινείται το bed. Οι True και False λειτουργίες μπορούν να εναλλάσσονται χάρεις μια επιπλέον loop που προστέθηκε και μας δίνει αυτή τη δυνατότητα το LabView.

**\*Λόγω αδυναμίας ανάγνωσης των αισθητήρων απόστασης και φάσματος μέσω του λογισμικού LabView, αποφασίστηκε η standalone ανάγνωση τους με τη χρήση ξεχωριστού μικροελεγκτή και η εμφάνιση των αποτελεσμάτων μέσω σειριακής κονσόλας.**

## Κεφάλαιο 6°

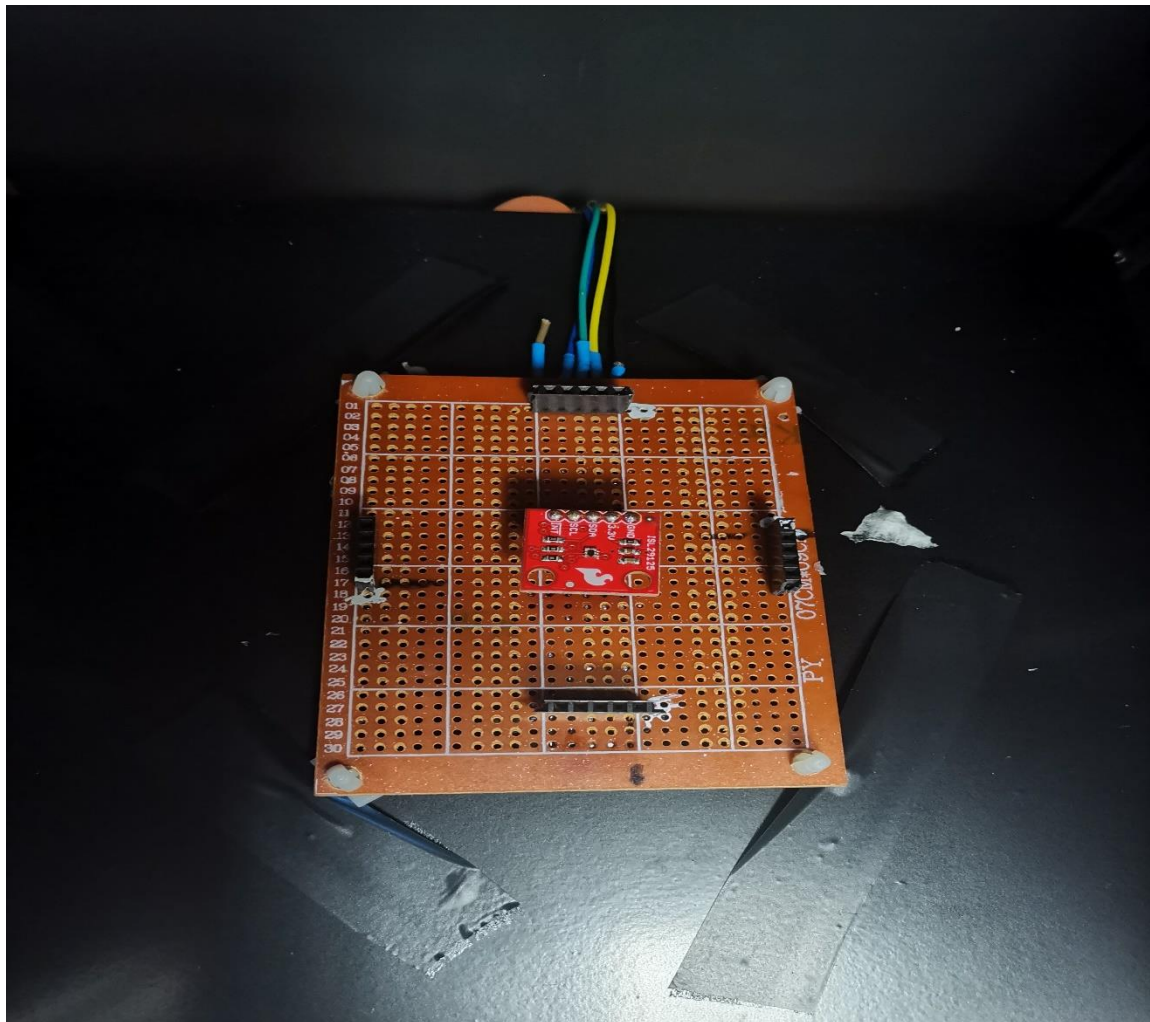
### Αποτελέσματα μετρήσεων

---

Για την αξιολόγηση της πειραματικής διάταξης αποφασίστηκε η εκτέλεση δύο σετ μετρήσεων.

-Στο 1° σετ μετρήσεων, μετρήθηκε η φωτεινή ένταση όπως αυτή μετρήθηκε από το Luxmeter της Extech. Το probe του οργάνου ήταν τοποθετημένο ακριβώς κάτω από τη φωτεινή πηγή. Με τον τρόπο αυτό μετρήθηκε η μέγιστη δυνατή φωτεινή ένταση.

-Στο 2° σετ μετρήσεων, μετρήθηκε η φωτεινή ένταση με τη χρήση του αισθητήρα ISL29125. Για να μετρηθεί η ομοιομορφία της φωτεινής δέσμης, μετρήθηκε η ένταση αυτής σε 5 σημεία των αξόνων (x,y). Κατασκευάστηκε ειδική πλακέτα με τη χρήση διάτρητης κάρτας για την τοποθέτηση του αισθητήρα. Η πλακέτα φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 60 Πειραματική πλακέτα

Αρχικά μετρήθηκε η απόδοση του Led ώστε να επιβεβαιωθούν τα χαρακτηριστικά κατανάλωση όπως αυτά ορίζονται από την εταιρία. Στον παρακάτω πίνακα εμφανίζονται τα χαρακτηριστικά του led.

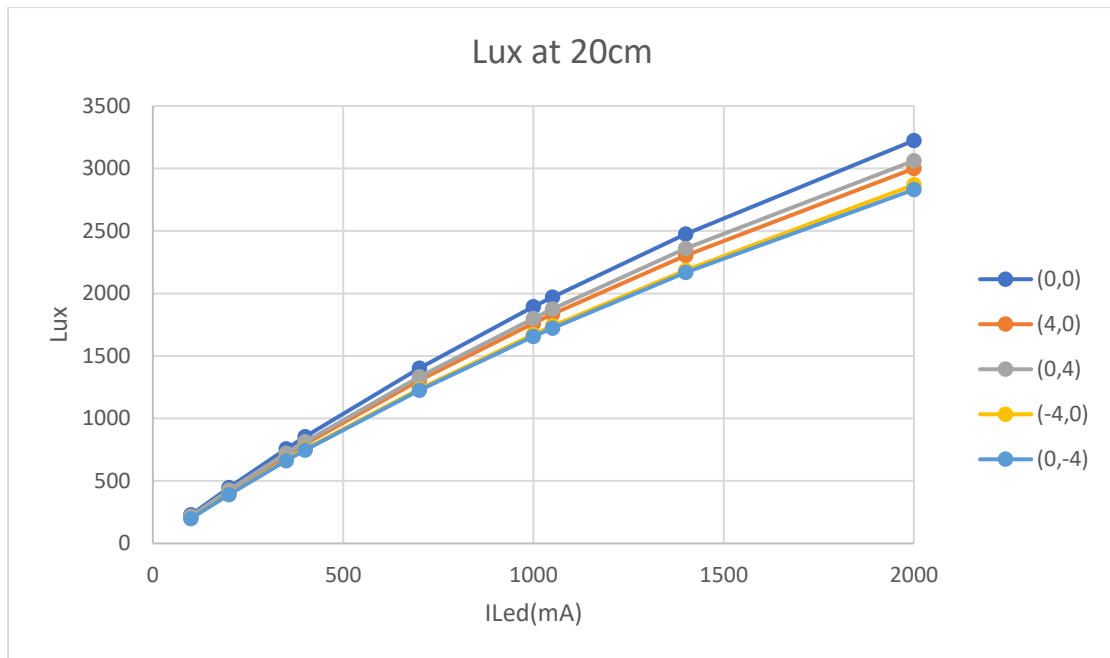
- Χαρακτηριστικά led

Lm (nom)	Vin	Pin	Vin nom	Pnom	K (Lm/W)	
34.2	2.64	0.264	2.63	0.263	130	100%
74.1	2.69	0.538	2.68	0.536	138	106%
114.0	2.75	0.963	2.73	0.956	119	92%
116.3	2.77	1.108	2.75	1.100	106	81%
205.2	2.87	2.009	2.83	1.981	104	80%
273.6	2.96	2.960	2.92	2.920	94	72%
274.7	2.97	3.119	2.93	3.077	89	69%
353.4	3.06	4.284	3.02	4.228	84	64%
461.7	3.2	6.400	3.13	6.260	74	57%

Έπειτα πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις όπως αναφέρονται παραπάνω.

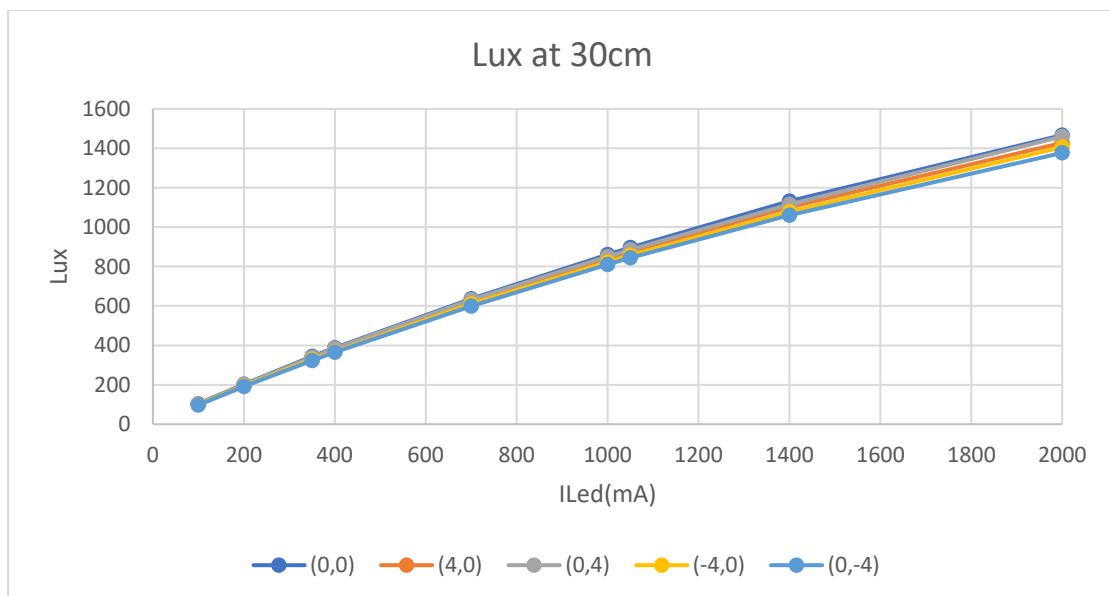
- Μετρήσεις με χρήση ISL29125 at D=20cm

Iin (mA)	(0,0)	(4,0)	(0,4)	(-4,0)	(0,-4)
100	228	212	217	201	199
200	447	416	425	394	391
350	756	703	720	667	661
400	855	796	813	753	747
700	1403	1304	1333	1236	1225
1000	1894	1761	1800	1670	1656
1050	1971	1835	1875	1740	1723
1400	2476	2304	2359	2186	2168
2000	3224	3000	3062	2869	2831



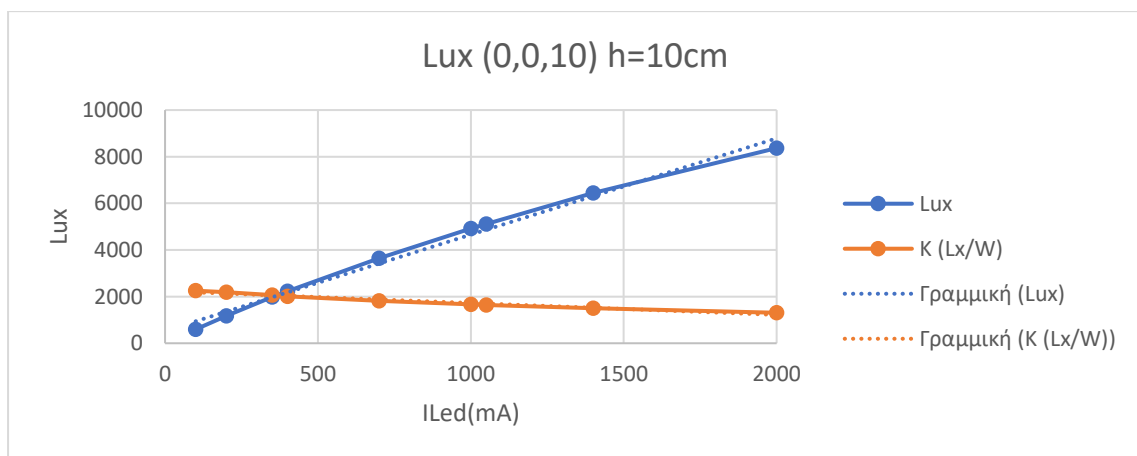
• Μετρήσεις με χρήση ISL29125 at D=30cm

I <sub>in</sub> (mA)	(0,0)	(4,0)	(0,4)	(-4,0)	(0,-4)
100	104	101	102	99	97
200	203	198	201	195	191
350	344	335	340	329	323
400	388	379	384	369	365
700	637	621	631	610	599
1000	860	839	851	823	810
1050	897	875	885	858	844
1400	1132	1101	1115	1079	1061
2000	1467	1428	1460	1406	1377



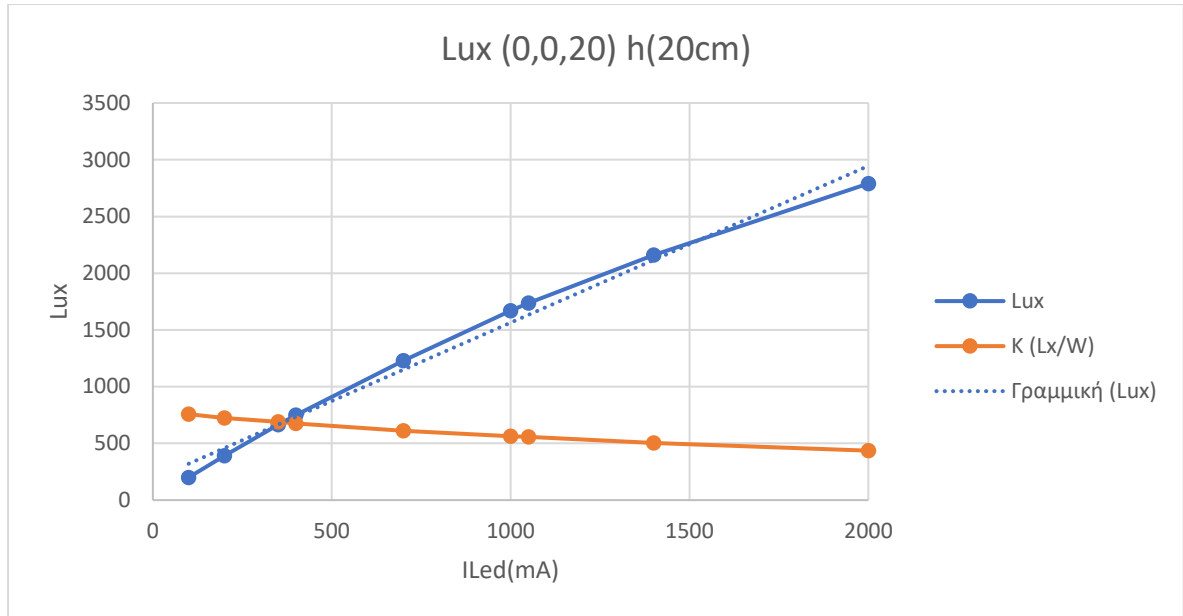
- Μετρήσεις με τη χρήση του Luxmeter Extech at  $(x,y,z)=(0,0,10)$

Lux	K (Lx/W)
595	2254
1176	2186
1985	2062
2230	2013
3650	1817
4920	1662
5120	1642
6450	1506
8370	1308



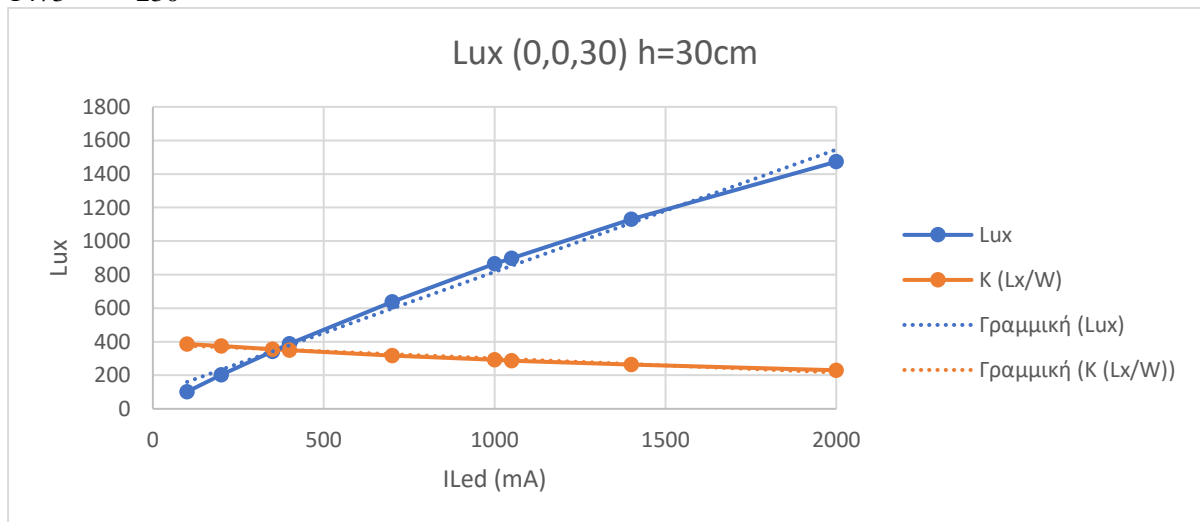
- Μετρήσεις με τη χρήση του Luxmeter Extech at  $(x,y,z)=(0,0,20)$

Lux	K (Lx/W)
200	758
390	725
664	690
749	676
1230	612
1670	564
1736	557
2160	504
2790	436



- Μετρήσεις με τη χρήση του Luxmeter Extech at (x,y,z)=(0,0,30)

Lux	K (Lx/W)
102	386
202	375
342	355
388	350
637	317
865	292
897	288
1130	264
1473	230





## Κεφάλαιο 7<sup>ο</sup>

### Συμπεράσματα

---

#### Προβλήματα

Όπως σε όλα τα πειράματα έτσι και στο δικό μας αντιμετωπίσαμε κάποια προβλήματα κατά τη διάρκεια του. Τα προβλήματα αυτά θα τα διαχωρίσουμε ανάλογα με το στάδιο του πειράματος.

- Κατασκευαστικά (Μηχανολογικά):

Ένα τα βασικά προβλήματα που αντιμετωπίστηκε ήταν η προμήθεια των υλικών. Εξαιτίας της μη ύπαρξης κάποιων εξαρτημάτων σε κοντινές επιχειρήσεις και με τη μακροχρόνια παράδοση υλικών από το εξωτερικό κατασκευάστηκαν πολλά κομμάτια στον 3D εκτυπωτή του εργαστηρίου ASL. Το γεγονός πως κάποια υλικά είναι κατασκευασμένα σε 3D εκτυπωτή τα κάνει να χρειάζονται συχνή συντήρηση για να μη δημιουργηθεί πρόβλημα στη κατασκευή. Επιπλέον κατασκευαστικό πρόβλημα ελέγχου στο LabView VI ήταν η μη εφικτή μετακίνηση του άξονα κατά 1cm εξαιτίας ενός εσωτερικού bug του προγράμματος. Επίσης η χρήση της πλακέτας με προκαθορισμένες θέσεις τοποθέτησης του αισθητήρα ήταν απαραίτητη, διότι με τη χρήση του Extech light Meter SDL400 ήταν δύσκολο να επιτευχθεί επαναληψιμότητα των μετρήσεων στις ίδιες τοπολογίες.

- Αυτοματοποίησης (LabView)

Όπως αναφέρθηκε, υπήρχε πρόβλημα με την ανάγνωση των αισθητήρων υπερήχων και φάσματος μέσω του LabView, λόγω της ανάγνωσης αυτών μέσω I<sup>2</sup>C.

Επίσης σημαντικό πρόβλημα, ήταν η εκτέλεση του βρόγχου για την αύξηση ή μείωση του ύψους της βάσης. Παρότι το συγκεκριμένο πρόβλημα, προγραμματιστικά μπορεί να επιλυθεί με απλό τρόπο, στο LabView δεν δίνεται η δυνατότητα εκτέλεση κώδικα.

#### Μελλοντικές επεκτάσεις

Πλήρης καινούργιος σχεδιασμός του bed και αντικατάσταση κοχλιών με τραπεζοειδή κοχλία για μεγαλύτερη σταθεροποίηση κατά τη διάρκεια κίνησης, χαρτογράφηση Z άξονα με τη χρήση των limit switches, τοποθέτηση περισσότερων led, προσθήκη του αισθητήρα στο VI και παραγωγή τοπολογίας τοποθέτησης του αισθητήρα.

## Βιβλιογραφία

---

- [1] Szabo, Lorand. “The History of Using Solar Energy.” 2017 International Conference on Modern Power Systems (MPS), 2017, doi:10.1109/mps.2017.7974451.
- [2] “Photovoltaic Effect.” Photovoltaic Effect - Energy Education, energyeducation.ca/encyclopedia/Photovoltaic\_effect.
- [3] “Photovoltaic Effect.” Encyclopædia Britannica, Encyclopædia Britannica, Inc., [www.britannica.com/science/photovoltaic-effect](http://www.britannica.com/science/photovoltaic-effect).
- [4] “Insolation.” Insolation - Energy Education, energyeducation.ca/encyclopedia/Insolation.
- [5] Baes, Fred. “Hps.org.” Health Physics Society, hps.org/publicinformation/ate/faqs/whatisradiation.html.
- [6] “How Does a Photovoltaic Cell Work?” Planète Énergies, [www.planete-energies.com/en/medias/close/how-does-photovoltaic-cell-work](http://www.planete-energies.com/en/medias/close/how-does-photovoltaic-cell-work).
- [7] “Types of Solar Panels (2021).” GreenMatch, [www.greenmatch.co.uk/blog/2015/09/types-of-solar-panels](http://www.greenmatch.co.uk/blog/2015/09/types-of-solar-panels).
- [8] Li, Benxuan, et al. “Indoor Photovoltaics, The Next Big Trend in Solution-Processed Solar Cells.” Wiley Online Library, John Wiley & Sons, Ltd, 16 Mar. 2021, [onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/inf2.12180](http://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/inf2.12180).
- [9] “Luminous Flux.” Luminous Flux - an Overview | ScienceDirect Topics, [www.sciencedirect.com/topics/engineering/luminous-flux](http://www.sciencedirect.com/topics/engineering/luminous-flux).
- [10] “What Is the Difference between Lux, Lumen and Candela?” Imbema, 28 Dec. 2020, [www.imbema.com/en/transport-and-logistics/what-is-the-difference-between-lux-lumen-and-candela/](http://www.imbema.com/en/transport-and-logistics/what-is-the-difference-between-lux-lumen-and-candela/).
- [11] The Zen Cart® Team and others. “Saving Light Bulbs.” Powered by Zen Cart :: The Art of E-Commerce, 25 Apr. 2014, [www.saving-light-bulbs.co.uk/blog/how-to-calculate-the-lux-level-in-a-room/](http://www.saving-light-bulbs.co.uk/blog/how-to-calculate-the-lux-level-in-a-room/).
- [12] Ather, S. Hussain. “How to Calculate Lux Levels.” Sciencing, 28 Dec. 2020, [sciencing.com/calculate-lux-levels-6953934.html](http://sciencing.com/calculate-lux-levels-6953934.html).
- [13] Choudhury, Asim Kumar Roy. “Object Appearance and Colour.” Principles of Colour and Appearance Measurement, 2014, pp. 53–102., doi:10.1533/9780857099242.53.
- [14] Photometric Quantities, [www.auersignal.com/en/technical-information/visual-signalling-equipment/luminous-intensity/](http://www.auersignal.com/en/technical-information/visual-signalling-equipment/luminous-intensity/).
- [15] Ryer, Alex. “Measurement Geometries.” Light Measurement Handbook: Measurement Geometries, [homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/CVonline/LOCAL\\_COPIES/RYER/ch07.html](http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/CVonline/LOCAL_COPIES/RYER/ch07.html).
- [16] VeraSol-2 LED Class AAA Solar Simulator, [www.newport.com/f/class-aaa-led-solar-simulators](http://www.newport.com/f/class-aaa-led-solar-simulators).
- [17] Class ABA LED Solar Simulator, [www.newport.com/f/class-aba-led-solar-simulators](http://www.newport.com/f/class-aba-led-solar-simulators).
- [18] Calibrated Reference Solar Cell and Meter, [www.newport.com/f/calibrated-reference-cell](http://www.newport.com/f/calibrated-reference-cell).

- [19] “Solar Simulation and PV Testing Equipment.” Sciencetech Inc, [www.sciencetech-inc.com/all-products/solarsimulators.html?limit=90](http://www.sciencetech-inc.com/all-products/solarsimulators.html?limit=90).
- [20] Instruments, PCE Instruments UK: Test. “Lux Meter.” Lux Meter | PCE Instruments, 30 Aug. 2021, [www.pce-instruments.com/english/measuring-instruments/test-meters/lux-meter-kat\\_40074.htm](http://www.pce-instruments.com/english/measuring-instruments/test-meters/lux-meter-kat_40074.htm).
- [21] Extech, A FLIR Company. “SDL400: Light Meter/Datalogger.” Extech, [www.extech.com/products/SDL400](http://www.extech.com/products/SDL400).
- [22] “MW700 PRO.” PRO Portable Meters, [web.milwaukeeinst.com/products/our-products/portable/mw700-detail](http://web.milwaukeeinst.com/products/our-products/portable/mw700-detail).
- [23] “ISL29125.” Renesas, [www.renesas.com/us/en/products/sensor-products/light-proximity-sensors/ambient-light-sensors/ambient-light-digital-sensors/isl29125-digital-red-green-and-blue-color-light-sensor-ir-blocking-filter](http://www.renesas.com/us/en/products/sensor-products/light-proximity-sensors/ambient-light-sensors/ambient-light-digital-sensors/isl29125-digital-red-green-and-blue-color-light-sensor-ir-blocking-filter).
- [24] “Incandescent Light Bulb.” Mepits, [www.mepits.com/tutorial/221/electrical/incandescent-light-bulb](http://www.mepits.com/tutorial/221/electrical/incandescent-light-bulb).
- [25] “Compact Fluorescent: Light Bulb Types.” Bulbs.com, [www.bulbs.com/learning/cfl.aspx](http://www.bulbs.com/learning/cfl.aspx).
- [26] Electrical4U. “Construction of Fluorescent Lamp.” Electrical4U, 25 Oct. 2020, [www.electrical4u.com/construction-of-fluorescent-lamp/](http://www.electrical4u.com/construction-of-fluorescent-lamp/).
- [27] “Artificial Lighting Types and Design.” Electrical Knowhow, [www.electrical-knowhow.com/2012/03/artificial-lighting-types-and-design.html](http://www.electrical-knowhow.com/2012/03/artificial-lighting-types-and-design.html).
- [28] “Learn About LED Lighting.” Learn About LED Lights | ENERGY STAR, [www.energystar.gov/products/lighting\\_fans/light\\_bulbs/learn\\_about\\_led\\_bulbs](http://www.energystar.gov/products/lighting_fans/light_bulbs/learn_about_led_bulbs).
- [29] Agrawal, Jaya H., and Mohan V. Aware. “Photovoltaic Simulator Developed in LabVIEW for Evaluation of MPPT Techniques.” 2016 International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques (ICEEOT), 2016, doi:10.1109/iceeot.2016.7754863.
- [30] Lopez-Fraguas, Eduardo, et al. “A Low-Cost LED-Based Solar Simulator.” IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol. 68, no. 12, 2019, pp. 4913–4923., doi:10.1109/tim.2019.2899513.
- [31] Scheiman, David, et al. “Spectrally Tunable Collimated Pulsed Solar Simulator.” 2020 47th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), 2020, doi:10.1109/pvsc45281.2020.9300873.
- [32] Salam, Rahmat Awaludin, et al. “Development of a Simple Low-Scale Solar Simulator and Its Light Distribution.” 2016 International Conference on Instrumentation, Control and Automation (ICA), 2016, doi:10.1109/ica.2016.7811470.
- [33] “LST1-01G03-4095-01 New Energy: Mouser.” Mouser Electronics, [gr.mouser.com/ProductDetail/New-Energy/LST1-01G03-4095-01?qs=gZXFycFWdANd74ZH/OhpZQ==](http://gr.mouser.com/ProductDetail/New-Energy/LST1-01G03-4095-01?qs=gZXFycFWdANd74ZH/OhpZQ==).
- [34] Amar, Axr, and Instructables. “How to Interface Arduino to LabVIEW ? #Simple Steps#.” Instructables, Instructables, 27 Sept. 2017, [www.instructables.com/How-to-Interface-Arduino-to-LabVIEW-Simple-Steps/](http://www.instructables.com/How-to-Interface-Arduino-to-LabVIEW-Simple-Steps/).
- [35] “Introduction.” Arduino, [www.arduino.cc/en/guide/introduction](http://www.arduino.cc/en/guide/introduction).

- [36] Keysight. “E3630 Series Bench Power Supply.” Keysight, 2 Jan. 2018, [www.keysight.com/zz/en/product/E3632A/120w-power-supply-15v-7a-30v-4a.html](http://www.keysight.com/zz/en/product/E3632A/120w-power-supply-15v-7a-30v-4a.html).
- [37] KG, Batronix GmbH & Co. “Rigol DP832A.” Batronix, [www.batronix.com/shop/power-supplies/DP832A.html](http://www.batronix.com/shop/power-supplies/DP832A.html).
- [38] “Ultrasonic Distance Sensor (HC-SR04).” PiBorg, [www.piborg.org/sensors-1136/hc-sr04](http://www.piborg.org/sensors-1136/hc-sr04).
- [39] <https://www.renesas.com/eu/en/document/dst/isl29125-datasheet>

## Appendix

---

### -Appendix A

Supersonic Sensor code

```
#define trigPin 8
#define echoPin 7

void setup()
{
  Serial.begin (9600);
  pinMode(trigPin, OUTPUT);
  pinMode(echoPin, INPUT);
}

void loop()
{
  long duration;
  float distance;
  digitalWrite(trigPin, LOW);
  delayMicroseconds(2);
  digitalWrite(trigPin, HIGH);
  delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(trigPin, LOW);
  duration = pulseIn(echoPin, HIGH);
  distance = (duration/2) / 29.1;
  if(distance > 255)
  distance = 255;
  Serial.println(distance);
  delay(1000);
}
```

### Appendix B

-ISL29125 Light Sensor

```
/******
```

```
*****
```

ISL29125\_basics.ino

Simple example for using the ISL29125 RGB sensor library.

Jordan McConnell @ SparkFun Electronics

11 Apr 2014

[https://github.com/sparkfun/SparkFun\\_ISL29125\\_Breakout\\_Arduino\\_Library](https://github.com/sparkfun/SparkFun_ISL29125_Breakout_Arduino_Library)

This example declares an SFE\_ISL29125 object called RGB\_sensor. The object/sensor is initialized with a basic configuration so that it continuously samples the light intensity of red, green and blue spectrums. These values are read from the sensor every 2 seconds and printed to the Serial monitor.

Developed/Tested with:

Arduino Uno

Arduino IDE 1.0.5

Requires:

SparkFun\_ISL29125\_Arduino\_Library

This code is beerware.

Distributed as-is; no warranty is given.

```
*****  
*****/  
  
#include <Wire.h>  
#include "SparkFunISL29125.h"  
#include <Adafruit_LiquidCrystal.h>  
  
Adafruit_LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 3, 2);  
// Declare sensor object  
SFE_ISL29125 RGB_sensor;  
  
unsigned int redlow = 0;  
unsigned int redhigh = 0;  
unsigned int greenlow = 0;  
unsigned int greenhigh = 0;  
unsigned int bluelow = 0;  
unsigned int bluehigh = 0;  
  
// Declare RGB Values  
int redVal = 0;  
int greenVal = 0;  
int blueVal = 0;  
  
void setup()
```

```

{
  // Initialize serial communication
  Serial.begin(115200);
  lcd.begin(16, 2);

  // Initialize the ISL29125 with simple configuration so it starts sampling
  if (RGB_sensor.init())
  {
    Serial.println("Sensor Initialization Successful\n\r");
  }
}

// Read sensor values for each color and print them to serial monitor
void loop()
{
  // Read sensor values (16 bit integers)
  unsigned int red = RGB_sensor.readRed();
  unsigned int green = RGB_sensor.readGreen();
  unsigned int blue = RGB_sensor.readBlue();
  // Convert to RGB values
  int redV= map(red, redlow, redhigh, 0, 255);
  int greenV = map(green, greenlow, greenhigh, 0, 255);
  int blueV = map(blue, bluelow, bluehigh, 0, 255);
  // Constrain to values of 0-255
  redVal = constrain(redV, 0, 255);
  greenVal = constrain(greenV, 0, 255);
  blueVal = constrain(blueV, 0, 255);
  unsigned int luxM1 = (0.2126 * red + 0.7152 * green + 0.0722 * blue)
*0.152590219 ;
  unsigned int luxM2 = (0.299 * red + 0.587 * green + 0.114 * blue) *0.09; //modified
formula at final multiply by 0.09 original is 0.152590219
  unsigned int luxM3 = ((0.3*red)+(0.9*green)+(0.06*blue))*0.375;
  unsigned int luxM4 = sqrt( 0.299*sq(red) + 0.587*sq(green) + 0.114*sq(blue) );

  // Print out readings, change HEX to DEC if you prefer decimal output
  Serial.print("Red: "); Serial.println(red,DEC);
  Serial.print("Green: "); Serial.println(green,DEC);
  Serial.print("Blue: "); Serial.println(blue,DEC);
  //Serial.print("luxM1: ");Serial.println(luxM1);
  Serial.print("luxM2: ");Serial.println(luxM2);
  //Serial.print("luxM3: ");Serial.println(luxM3);
  // Serial.print("luxM4: ");Serial.println(luxM4);
  Serial.println();
  //lcd.setCursor(0, 0);
  // lcd.print("LuxM1: ");

```

```
//lcd.print(luxM1);  
lcd.setCursor(0, 1);  
lcd.print("LuxM2: ");  
lcd.print(luxM2);  
delay(2000);  
}
```