

# 15. Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις των Φωτοβολταϊκών Συστημάτων

Εμμανουήλ Φυλλαδιτάκης Brunel University UK

## Μαθησιακά Αποτελέσματα

Μετά την ολοκλήρωση αυτού του κεφαλαίου, οι αναγνώστες θα πρέπει να είναι σε θέση να:

- Καταγράφουν τις σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις της ηλιακής ενέργειας.
- Κατανοούν την έκταση που απαιτείται από το σύστημα και να αξιολογούν την καταλληλότητα του χώρου εγκατάστασης.
- Συνειδητοποιούν τις επιπτώσεις στους υδρολογικούς πόρους.
- Αποκτήσουν γνώσεις σχετικά με τα πιο σημαντικά επικίνδυνα υλικά που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή των φωτοβολταϊκών και συναφούς εξοπλισμού.
- Κατανοούν το επίπεδο της ενέργειας που απαιτείται για την παραγωγή του εξοπλισμού φωτοβολταϊκών συστημάτων και τις επιπτώσεις τους στην υπερθέρμανση του πλανήτη.
- Συνειδητοποιούν τον οπτικό αντίκτυπο που τα φωτοβολταϊκά συστήματα μπορεί να έχουν και να σχολιάζουν την καταλληλότητα της κάθε εφαρμογής.
- Εμπειρικά να αξιολογούν όλες τις προαναφερθείσες επιπτώσεις.

## Εισαγωγή

Αναμφίβολα, ο ήλιος είναι μια απίστευτη πηγή ενέργειας, επιτρέποντας την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας φαινομενικά χωρίς τοξικές ουσίες ή επίδραση στην υπερθέρμανση του πλανήτη. Ορισμένοι υποστηρίζουν ότι τα φωτοβολταϊκά είναι η καθαρότερη μορφή της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και μερικοί φτάνουν στο σημείο να ισχυρίζονται ότι είναι η μόνη μορφή με καμία επίδραση στο περιβάλλον σε όλα. Αυτή η αντίληψη όμως είναι εσφαλμένη, καθώς η ηλιακή ενέργεια έχει σημαντικές και πολυδιάστατες περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά τη φάση κατασκευής, λειτουργίας και παροπλισμού.

Οι κύριες περιβαλλοντικές επιπτώσεις της ηλιακής ενέργειας σχετίζονται με:

1. Η χρήση της γης
2. Η χρήση του νερού
3. Η χρήση των φυσικών πόρων

4. Η χρήση επικίνδυνων υλικών
5. Οι εκπομπές κατά του φαινομένου του θερμοκηπίου
6. Η οπτική επίδραση

Η κλίμακα και η τεχνολογία του φωτοβολταϊκού συστήματος έχει άμεση επίδραση στο επίπεδο της κάθε προαναφερθείσες επιπτώσεις. Για παράδειγμα, τα κτιριακά φωτοβολταϊκά (BIPV) μπορεί να απαιτούν μηδενική ή σχεδόν μηδενική χρήσης γης, αλλά μπορεί να επηρεάσουν αρνητικά την αισθητική του χώρου.

### Χρήση Γης

Οι μεγαλύτερες μονάδες παραγωγής φωτοβολταϊκής ηλεκτρικής ενέργειας εγείρουν ανησυχίες σχετικά με την υποβάθμιση του εδάφους, απώλειας καλλιεργήσιμης γης, ακόμα και εκείνου της απώλειας οικότοπων. Ανάλογα με την τεχνολογία, την τοπογραφία και την τοποθεσία, οι εκτιμήσεις δείχνουν ότι η εγκατάσταση βιομηχανικής κλίμακας φωτοβολταϊκών συστημάτων απαιτεί 12.000 m<sup>2</sup> σε 40.000 m<sup>2</sup> ανά MW. Οι ανεμογεννήτριες απαιτούν εξίσου μεγάλες περιοχές, αλλά υπάρχει μεγαλύτερη ευκαιρία να μοιραστούν τη γη με άλλες εγκαταστάσεις, όπως για γεωργική χρήση.

Μελέτες δείχνουν ότι ο αντίκτυπος που έχουν τα μεγάλης έκτασης φωτοβολταϊκά συστήματα στη χρήση της γης μπορεί να ελαχιστοποιηθεί με την τοποθέτησή τους σε θέση όπου η ποιότητα της γης είναι πολύ χαμηλή [1]. Αυτές οι περιοχές μπορεί να είναι βιομηχανικές εκτάσεις, εγκαταλελειμμένα ορυχεία ή υπάρχοντες διάδρομοι μεταφοράς / μετάδοσης [2]. Μεγάλης κλίμακας φωτοβολταϊκά συστήματα είναι γενικά κατάλληλα για χρήση σε απομονωμένες, ερημικές ή άλλες περιοχές με χαμηλή ποιότητα εδάφους (Εικ. 1).



**Σχήμα 1** - Μεγάλης κλίμακας εγκατάσταση φωτοβολταϊκών εγκατεστημένη σε άγονη γη πολύ χαμηλής αξίας.

Εγκαταστάσεις μεσαίας κλίμακας μπορούν επίσης να ενσωματωθούν σε μεγάλα εμπορικά κτίρια ή ως ηχομονωτικά φράγματα κοντά περιοχές ενδιαφέροντος, όπως είναι τα νοσοκομεία, ή μεταξύ αυτοκινητοδρόμων και κατοικημένων / εμπορικών περιοχών (Εικ. 2).



**Εικόνα 2** - Μεσαίας κλίμακας εγκατάσταση φωτοβολταϊκών πάνελ που ενεργεί ως φράγμα ήχου αυτοκινητόδρομου. Αυτοκινητόδρομος Brenner, έξω από την πόλη της Marano, Ιταλία.

Μικρής κλίμακας και ενσωματωμένες σε κτίρια φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις συνήθως τοποθετούνται σε υφιστάμενες τεχνητές δομές και ως εκ τούτου έχουν ελάχιστη επίπτωση στη χρήση της γης. Είναι ενδιαφέρον να σημειωθεί ότι η καθαρή επιφάνεια της γης που δεν είναι διαθέσιμη για άλλες χρήσεις από τους σταθμούς παραγωγής ηλιακής ενέργειας μπορεί να είναι σημαντικά μικρότερη απ' ό,τι για τον άνθρακα ή την πυρηνική ενέργεια, όταν λαμβάνονται υπόψη όλες οι σχετικές χρήσεις γης, συμπεριλαμβανομένης της εξόρυξης, επεξεργασίας, κ.λπ. [16].

### Χρήση νερού

Η χρήση του νερού γίνεται ένα προβληματικό ζήτημα στις συγκεντρωτικές θερμικές εγκαταστάσεις που, όπως κάθε εργοστάσιο παραγωγής θερμικής ενέργειας, απαιτούν νερό για την ψύξη. Καθώς οι περιοχές που παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες δυνατότητες για τέτοιου είδους εγκαταστάσεις είναι συνήθως εκείνες με ξηρά κλίματα, προσεκτική αξιολόγηση των μειονεκτημάτων είναι απαραίτητη [1, 3, 4].

Ωστόσο, τα φωτοβολταϊκά πάνελ φαινομενικά δεν χρησιμοποιούν νερό για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Παρά ταύτα, απαιτείται νερό για τη συντήρησή τους, προκειμένου για τα συστήματα να διατηρήσουν τη μέγιστη απόδοσή τους. Συγκεκριμένα, το νερό είναι απαραίτητο για τον καθαρισμό των πλακών, το ποσό του οποίου ποικίλλει σημαντικά ανάλογα με τη θέση του

συστήματος [5]. Επιπλέον, όπως με τις περισσότερες κατασκευαστικές διεργασίες, το νερό απαιτείται επίσης κατά την κατασκευή των φωτοβολταϊκών πάνελ και άλλων εξαρτημάτων που απαιτεί ένα φωτοβολταϊκό σύστημα [6].



**Εικόνα 3** - Καθαρισμός μιας μικρής κλίμακας εγκατάστασης φωτοβολταϊκών με υδροβολή.

Αν και δεν είναι άμεσος η χρήση του νερού, μεγάλες μονάδες φωτοβολταϊκών μπορεί να έχουν σοβαρές επιπτώσεις επί των υδρολογικών πόρων στο χώρο της εγκατάστασης. Μπορούν να μειώσουν το ρυθμό εμπλουτισμού των υπόγειων υδάτων, το φιλτράρισμα του αέρα και βρόχινου νερού από τους ρύπους, ακόμη και να αυξήσουν την πιθανότητα των πλημμυρών [7]. Αυτό είναι ιδιαίτερα πιθανό αν η εγκατάσταση επέβαλε την απομάκρυνση δέντρων σε ένα κεκλιμένο λόφο. Ωστόσο, εάν πρόκειται να συγκριθεί με οποιαδήποτε συμβατική μορφή ενέργειας, η επίδραση των φωτοβολταϊκών συστημάτων σε αυτές τις επιπτώσεις είναι ιδιαίτερα επωφελής [7].

### Χρήση των φυσικών πόρων

Εκτός από την παραγωγή των σημερινών φωτοβολταϊκών πάνελ που είναι μια ενεργοβόρα διαδικασία, απαιτούνται επίσης πολύ μεγάλες ποσότητες χύδην υλικών. Πολύ μεγάλες ποσότητες ορυκτών μετάλλων απαιτούνται για την παραγωγή των φωτοβολταϊκών πάνελ, όπως ο σίδηρος, ο χαλκός και το αλουμίνιο. Αλουμίνιο και χαλκός δεν χρησιμοποιούνται σε σταθμούς που χρησιμοποιούν άνθρακα, πετρέλαιο ή φυσικό αέριο, ή χρησιμοποιούνται σε ασήμαντες ποσότητες. Ο σίδηρος χρησιμοποιείται σε σχετικά μεγάλες ποσότητες από όλους τους συμβατικούς σταθμούς παραγωγής ενέργειας αλλά τα φωτοβολταϊκά συστήματα εκτιμάται ότι απαιτούν πολύ μεγαλύτερες ποσότητες ανά παραγόμενη kWh σε

σύγκριση με όλες τις συμβατικές μορφές ενέργειας, συμπεριλαμβανομένης ακόμη και εγκαταστάσεων καύσης άνθρακα [8].

Ακόμα κι αν αυτά τα υλικά είναι ανακυκλώσιμα, η τεράστια μείωση ορυκτών δεν πρέπει να αγνοηθεί. Μελέτες αναφέρουν ότι 3.3 γρ και 1.2 γρ σιδήρου και αλουμινίου (βωξίτης) μεταλλεύματος αντίστοιχα είναι απαραίτητα ανά παραγόμενη kWh [9]. Τα στοιχεία αυτά ζητούν τη δημιουργία αποτελεσματικών προγραμμάτων ανακύκλωσης εφόσον τα φωτοβολταϊκά συστήματα πρόκειται να συμβάλλουν σημαντικά στην ενεργειακή παραγωγή.

Επίσης, παρόλο που οι απαιτούμενες ποσότητες είναι μικρές, χρησιμοποιούνται σπάνια υλικά όπως τελλουριούχο, ίνδιο, γάλλιο και το κάδμιο. Μερικά, όπως το κάδμιο, είναι επίσης τοξικά. Η απόκτηση αυτών των υλικών μπορεί να είναι μια δαπανηρή και δύσκολη διαδικασία, ειδικά όταν αυτά είναι τοξικά.

### Επικίνδυνα υλικά

Η διαδικασία κατασκευής φωτοβολταϊκών πάνελ και των συναφών στοιχείων (π.χ. αντιστροφείς) περιέχουν μια σειρά από επικίνδυνα υλικά. Η απελευθέρωση αυτών των επικίνδυνων υλικών στο περιβάλλον συχνά θεωρείται ότι είναι η πιο κρίσιμη από τις αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις των μεγάλων και μικρών φωτοβολταϊκών συστημάτων [10]. Τα περισσότερα χρησιμοποιούνται για τον καθαρισμό της επιφάνειας ημιαγωγού των φωτοβολταϊκών κυττάρων. Αυτές οι χημικές ουσίες είναι παρόμοιες με εκείνες που χρησιμοποιούνται στη γενική βιομηχανία ημιαγωγών και συνήθως περιλαμβάνουν:

- Υδροχλωρικό οξύ
- Θειικό οξύ
- Νιτρικό οξύ
- Υδροφθόριον
- 1,1,1-τριχλωροαιθάνιο
- Ακετόνη

Η ποσότητα και το είδος των χημικών που χρησιμοποιούνται εξαρτάται από τον τύπο της κυψέλης, η ποσότητα του καθαρισμού που απαιτείται, και το μέγεθος του πλακιδίου πυριτίου [1]. Πιο προηγμένες τεχνολογίες τείνουν επίσης να διευρύνουν τον κατάλογο των επικίνδυνων υλικών που υπάρχουν κατά την παραγωγή αυτών. Για παράδειγμα, thin-film φωτοβολταϊκών περιέχουν περισσότερες τοξικές ουσίες από τις παραδοσιακές κυψέλες που βασίζονται στο πυρίτιο, συμπεριλαμβανομένων αρσενίδιο του γαλλίου [11, 12], χαλκού ινδίου γάλλιο δισεληνίδιο (CIGS) [13, 14], και τελλουριούχο κάδμιο [15, 16].

Σε κανονική λειτουργία, οι κυψέλες τελλουριούχου κάδμίου δεν ενέχουν κανένα κίνδυνο για το περιβάλλον. Παρ'όλα αυτά, σε μια πυρκαγιά, και μόνο σε μια πυρκαγιά, δηλητηριώδη αέρια μπορούν να παραχθούν [17]. Οι κυψέλες χαλκού ινδίου δισεληνιδίου θεωρούνται λιγότερο ενδεχομένως επικίνδυνες σε σχέση με

κυψέλες από τελλουριούχο κάδμιο [17]. Εάν δεν χρησιμοποιηθούν και διατεθούν σωστά, αυτά τα υλικά θα μπορούσαν να αποτελέσουν σοβαρές απειλές για το περιβάλλον ή τη δημόσια υγεία. Ωστόσο, οι κατασκευαστές έχουν ένα ισχυρό οικονομικό κίνητρο για να διασφαλίσουν ότι αυτά τα εξαιρετικά πολύτιμα και συχνά σπάνια υλικά ανακυκλώνονται αντί να πετιούνται.

Ακόμη, σε σύγκριση με τις συμβατικές μορφές ενέργειας, ο κύκλος ζωής των φωτοβολταϊκών συστημάτων συνεπάγεται πολύ λιγότερα επικίνδυνα υλικά. Για παράδειγμα, οι εκπομπές καδμίου είναι περίπου 300 φορές μεγαλύτερες στην περίπτωση των σταθμών ενέργειας με καύση άνθρακα [18, 19]. Οι εκπομπές κοινών ρύπων που είναι επικίνδυνοι για την ευημερία των ανθρώπων, όπως τα NOx και SO<sub>2</sub>, είναι τάξεις μεγέθους χαμηλότερες από οποιαδήποτε συμβατική μορφή ενέργειας, με την εξαίρεση της πυρηνικής ενέργειας [19]. Οι εκπομπές καύσης των συμβατικών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με καύση καυσίμων περιλαμβάνουν επίσης ρύπους που σχετίζονται με τον καρκίνο, την αναπαραγωγική και καρδιαγγειακές επιπτώσεις [20]. Στο πλαίσιο αυτό, τα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι κατά πολύ ανώτερη από οποιοδήποτε σταθμό ηλεκτροπαραγωγής εσωτερικής καύσης.

Η διαδικασία κατασκευής των φωτοβολταϊκών κυψελών είναι επίσης ένας γνωστός κίνδυνος για την υγεία των εργαζομένων, οι οποίοι αντιμετωπίζουν τον κίνδυνο εισπνοής σκόνης πυριτίου [21-23].

## Εκπομπές κατά του φαινομένου του θερμοκηπίου

Αναμφίβολα, υπάρχουν σχεδόν μηδενικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά τη διάρκεια της λειτουργίας των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Ωστόσο, εκπομπές παράγονται μέσα από σχεδόν κάθε άλλο στάδιο του κύκλου ζωής των φωτοβολταϊκών. Μερικά από αυτά τα στάδια περιλαμβάνουν την κατασκευή των φωτοβολταϊκών πάνελ και άλλα μέρη αυτών, τη μεταφορά τους, τις διαδικασίες εγκατάστασης και μορφολογίας χώρου, διαδικασίες συντήρησης, ακόμη και κατά την ανακύκλωση και παροπλισμό εγκαταστάσεων.

Η κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας για την κατασκευή φωτοβολταϊκών πάνελ ήταν μία από τις πιο σοβαρές ανησυχίες των ερευνητών για δεκαετίες. Ένα προηγούμενο άρθρο ανασκόπησης συνοψίζει πολλές από αυτές τις μελέτες και ο συντάκτης επισήμανε ειδικά την σημαντική διαφωνία μεταξύ των ερευνητών [24]. Καθώς αναφέρει ο συγγραφέας, υπήρχαν μελέτες που δείχνουν ότι η κατανάλωση ενέργειας που απαιτείται για την παραγωγή ενός m<sup>2</sup> μονάδας πολυκρυσταλλικού πυριτίου (mc-Si) μπορεί να είναι τόσο χαμηλή όσο 667 kWh ή τόσο υψηλή όσο 2.115 kWh. Ομοίως, η αναφερόμενη κατανάλωση ενέργειας για μονοκρυσταλλικού πυριτίου (Si-εκ) πάνελ ήταν μεταξύ 1470 και 4580 kWh kWh ανά m<sup>2</sup>. Οι τεχνολογίες λεπτής μεμβράνης είναι πολύ λιγότερο ενεργοβόρες, γενικώς απαιτούν περίπου το ένα τέταρτο της ενέργειας που χρειάζεται για να κατασκευαστεί ένα ισοδύναμο

πάνελ mc-Si. Η αναθεώρηση κάλυψε ωστόσο παλαιότερες μελέτες, πριν από το 2000. Ως εκ τούτου, βασίζονταν σε υποθέσεις που αφορούν παλαιότερες μεθόδους παραγωγής και επεξεργασίας πυριτίου. Επιπλέον, θα πρέπει να σημειωθεί ότι όλες οι παρόμοιες μελέτες πρέπει να λάβουν υπόψη την εκτιμώμενη παραγωγή του φωτοβολταϊκού συστήματος, η οποία προφανώς διαφέρει από τόπο σε τόπο. Ως εκ τούτου, οι μελέτες που διεξήχθησαν για εκτάσεις με χαμηλή ηλιακή ακτινοβολία αναφέρουν προφανώς λιγότερο αισιόδοξα αποτελέσματα [8].

Οι περισσότερες εκτιμήσεις των εκπομπών κύκλου ζωής για τα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι μεταξύ 30 και 80 γραμμάρια ισοδυνάμου διοξειδίου του άνθρακα ανά παραγόμενη κιλοβατώρα, ανάλογα με το μείγμα παραγωγής ενέργειας της χώρας / περιοχής [25]. Υπάρχουν μελέτες που δείχνουν ότι πιο καινούριες φωτοβολταϊκές τεχνολογίες, όπως τα πάνελ κάδμιου-τελλουρίδιου (Cd-Te), μπορούν να φτάσουν τόσο χαμηλά όσο 24 γραμμάρια / kWh, ανταγωνίζοντας τη γραμμή βάσης πυρηνική ενέργειας [26-28]. Οι εκπομπές αυτές σχεδόν εξ ολοκλήρου συνδέονται με την παραγωγή και τη μεταφορά των απαιτούμενων για μια φωτοβολταϊκή εγκατάσταση υλικών, δηλαδή των πινάκων και των ηλεκτρονικών ισχύος. Οι εκπομπές που συνδέονται με τα υλικά των συμβατικών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι ένα πολύ μικρό ποσοστό των συνολικών εκπομπών τους ανά παραγόμενη kWh, καθώς ο κύριος όγκος των αερίων του θερμοκηπίου (GHG) προέρχονται από τη λειτουργία τους [28]. Παρόλα αυτά, ακόμη και αν οι εκπομπές λειτουργίας τους δεν λαμβάνονται υπόψη καθόλου, μόνο η παραγωγή και η μεταφορά των καυσίμων τους ξεπερνά κατά πολύ τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου των φωτοβολταϊκών πάνελ ανά kWh [29].

## Οπτική Επίδραση

Μια άλλη σημαντική επίπτωση στο περιβάλλον είναι η οπτική επίδραση που τα φωτοβολταϊκά συστήματα μπορούν να έχουν σχετικά με τα κτίρια και χώρους. Η οπτική παρεμβολή ενός κτιριακού φωτοβολταϊκού συστήματος μπορεί να είναι πολύ υψηλή, αλλά μπορεί επίσης να αντιμετωπιστεί με σχετική ευκολία. Ο προσεκτικός αρχιτεκτονικός σχεδιασμός και υλικά μπορούν να εισαγάγουν τα φωτοβολταϊκά πάνελ ως αρχιτεκτονικά στοιχεία, συμπληρώνοντας την εμφάνιση του κτιρίου αντί την φθείρουν. Δεν είναι απαραίτητο για τους αρχιτέκτονες να κρύψουν τα πάνελ και εξαρτήματα εξ ολοκλήρου, μόνο να τα εισάγουν ως μέρος του συνολικού σχεδιασμού των κτιρίων. Από την πλευρά των κατασκευαστών φωτοβολταϊκών, μοντέρνα σχέδια μπορούν εύκολα να αναπτυχθούν ειδικά για την εγκατάστασή τους σε κατοικημένες περιοχές και σε κτίρια, με έγχρωμες εκδόσεις ήδη στην αγορά εδώ και λίγα χρόνια. Χρωματιστά φωτοβολταϊκά πάνελ χρησιμοποιούνται συχνά για να προσομοιώσουν την εμφάνιση των κεραμικών πλακιδίων οροφής ή τυπικού γυαλιού. Εκ των υστέρων τοποθέτηση φωτοβολταϊκών συστημάτων σε στέγες και μεγάλες επιφάνειες των παλαιότερων κτιρίων συνήθως



είναι μια βιώσιμη λύση, καθώς, με την εξαίρεση των κτιρίων που δεν μπορούν να τροποποιηθούν οπτικά, δηλαδή εκείνων που έχουν ιστορική ή πολιτιστική σημασία. Επιπλέον, πάνελ λεπτού φιλμ θα μπορούσαν να αντικαταστήσουν εύκολα τους καθρέφτες και γυάλινες επιφάνειες των μεγάλων κτιρίων. Καθώς τα πάνελ λεπτού φιλμ έχουν χαμηλότερη ηλιακή διαπερατότητα από το γυαλί, θα μπορούσαν επίσης να χρησιμοποιηθούν ως μέσο για τη μείωση του φορτίου ψύξης των κτιρίων, προσφέροντας σκίαση ή ακόμη και εξαγωγή θερμότητας [30]. Ωστόσο, ο αρχιτέκτονας πρέπει πάντα να εξετάσει την περίπτωση αντανάκλασεων. Η αντικατάσταση των γυάλινων επιφανειών μπορεί κάλλιστα να είναι η μόνη μέθοδος με εφαρμογή σε ιστορικά κτίρια και κτίρια μεγάλης πολιτιστικής αξίας, όπου οπτική τροποποίηση της ίδιας της κατασκευής είναι αδύνατη.



**Εικόνα 4** - Pfizer-University of Granada-Junta de Andalucía Center for Genomic and Oncologic Research (GENyO) αεριζόμενη φωτοβολταϊκή πρόσοψη που σχεδιάστηκε από Onyx Solar. Παράγει περίπου 32 MWh / έτος.

Μεγάλης κλίμακας εγκαταστάσεις είναι πιο περίπλοκο ζήτημα. Η τοποθέτηση μιας τέτοιας εγκατάστασης σε ή κοντά σε περιοχές φυσικού κάλλους, τουριστικά αξιοθέατα, αρχαιολογικούς χώρους, περιοχές οικολογικής και άλλες παρόμοιες τοποθεσίες είναι προβληματική και θα πρέπει να αποφεύγεται. Μεγάλες εγκαταστάσεις πρέπει να είναι σωστά τοποθετημένες, συνήθως έξω από κατοικημένες και εμπορικές περιοχές. Εγκαταλελειμμένες περιοχές και περιοχές χαμηλής ποιότητας της γης συνήθως είναι οι πιο κατάλληλες τοποθεσίες για τέτοιες εγκαταστάσεις.



**Figure 1** - Πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά πάνελ τοποθετούνται εκ των υστέρων να καλύψουν την πρόσοψη ενός εμπορικού κτιρίου. Έχουν χρησιμοποιηθεί για να αντικαταστήσουν καθρέφτες.

## Αναφορές

- [1] M. M. Hand, S. Baldwin, E. DeMeo, J. M. Reilly, T. Mai, D. Arent, *et al.* (2012, April, 18th). *Renewable electricity futures study*. Available: [http://www.nrel.gov/analysis/re\\_futures/](http://www.nrel.gov/analysis/re_futures/)
- [2] United States Environmental Protection Agency. (2015, April, 18th). *Renewable Energy at Mining Sites*. Available: <http://www.epa.gov/aml/revital/renewable.htm>
- [3] D. Mills, "Advances in solar thermal electricity technology," *Solar energy*, vol. 76, pp. 19-31, 2004.
- [4] K. Ummel and D. Wheeler, "Desert power: the economics of solar thermal electricity for Europe, North Africa, and the Middle East," *Center for Global Development Working Paper*, 2008.
- [5] V. Fthenakis and H. C. Kim, "Life-cycle uses of water in U.S. electricity generation," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 14, pp. 2039-2048, September 2010.
- [6] V. M. Fthenakis and H. C. Kim, "Photovoltaics: Life-cycle analyses," *Solar Energy*, vol. 85, pp. 1609-1628, August 2011.
- [7] D. Turney and V. Fthenakis, "Environmental impacts from the installation and operation of large-scale solar power plants," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 15, pp. 3261-3270, 2011.
- [8] R. Laleman, J. Albrecht, and J. Dewulf, "Life Cycle Analysis to estimate the environmental impact of residential photovoltaic systems in regions with a low solar irradiation," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 15, pp. 267-281, 2011.
- [9] M. Pehnt, "Dynamic life cycle assessment (LCA) of renewable energy technologies," *Renewable energy*, vol. 31, pp. 55-71, 2006.

- [10] T. Tsoutsos, N. Frantzeskaki, and V. Gekas, "Environmental impacts from the solar energy technologies," *Energy Policy*, vol. 33, pp. 289-296, 2005.
- [11] C. Jagadish and S. J. Pearton, *Zinc oxide bulk, thin films and nanostructures: processing, properties, and applications*: Elsevier, 2011.
- [12] V. Fthenakis, P. Moskowitz, and J. Lee, "Manufacture of amorphous silicon and GaAs thin film solar cells: an identification of potential health and safety hazards," *Solar cells*, vol. 13, pp. 43-58, 1984.
- [13] D. L. Morgan, C. J. Shines, S. P. Jeter, R. E. Wilson, M. P. Elwell, H. C. Price, *et al.*, "Acute pulmonary toxicity of copper gallium diselenide, copper indium diselenide, and cadmium telluride intratracheally instilled into rats," *Environmental research*, vol. 71, pp. 16-24, 1995.
- [14] N. Naghavi, S. Spiering, M. Powalla, B. Cavana, and D. Lincot, "High-efficiency copper indium gallium diselenide (CIGS) solar cells with indium sulfide buffer layers deposited by atomic layer chemical vapor deposition (ALCVD)," *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, vol. 11, pp. 437-443, 2003.
- [15] V. Fthenakis and P. Moskowitz, "Thin-film Photovoltaic Cells: Health and Environmental Issues in their Manufacture Use and Disposal," *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, vol. 3, pp. 295-306, 1995.
- [16] K. Hynes, A. Baumann, and R. Hill, "An assessment of the environmental impacts on thin film cadmium telluride modules based on life cycle analysis," in *1994 IEEE first world conference on photovoltaic energy conversion: Conference record of the twenty fourth IEEE photovoltaic specialists conference--1994. Volume 1*, 1994.
- [17] V. Fthenakis, M. Fuhrmann, J. Heiser, A. Lanzirotti, J. Fitts, and W. Wang, "Emissions and encapsulation of cadmium in CdTe PV modules during fires," *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, vol. 13, pp. 713-723, 2005.
- [18] R. Meij and H. te Winkel, "The emissions of heavy metals and persistent organic pollutants from modern coal-fired power stations," *Atmospheric Environment*, vol. 41, pp. 9262-9272, 2007.
- [19] V. M. Fthenakis, H. C. Kim, and E. Alsema, "Emissions from photovoltaic life cycles," *Environmental science & technology*, vol. 42, pp. 2168-2174, 2008.
- [20] J. Lewtas, "Air pollution combustion emissions: characterization of causative agents and mechanisms associated with cancer, reproductive, and cardiovascular effects," *Mutation Research/Reviews in Mutation Research*, vol. 636, pp. 95-133, 2007.
- [21] R. Merget, T. Bauer, H. Küpper, S. Philippou, H. Bauer, R. Breitstadt, *et al.*, "Health hazards due to the inhalation of amorphous silica," *Archives of Toxicology*, vol. 75, pp. 625-634, 2002/01/01 2002.
- [22] E. C. Rose, "Environmental, health and safety assessment of photovoltaics," NASA, United States, 1983.
- [23] T. L. Neff, *The social costs of solar energy: A study of photovoltaic energy systems*: Elsevier, 2013.
- [24] E. Alsema, "Energy pay-back time and CO2 emissions of PV systems," *Progress in photovoltaics: research and applications*, vol. 8, pp. 17-25, 2000.
- [25] V. Fthenakis and E. Alsema, "Photovoltaics energy payback times, greenhouse gas emissions and external costs: 2004-early 2005 status," *Progress in Photovoltaics: research and applications*, vol. 14, pp. 275-280, 2006.
- [26] V. Fthenakis and H. C. Kim, "Energy use and greenhouse gas emissions in the life cycle of CdTe photovoltaics," in *MRS Proceedings*, 2005, pp. 0895-G03-06.
- [27] V. M. Fthenakis and H. C. Kim, "Greenhouse-gas emissions from solar electric-and nuclear power: A life-cycle study," *Energy Policy*, vol. 35, pp. 2549-2557, 2007.
- [28] H. Hondo, "Life cycle GHG emission analysis of power generation systems: Japanese case," *Energy*, vol. 30, pp. 2042-2056, 2005.
- [29] V. Fthenakis and H. C. Kim, "Photovoltaics: Life-cycle analyses," *Solar Energy*, vol. 85, pp. 1609-1628, 2011.
- [30] A. G. Hestnes, "Building integration of solar energy systems," *Solar Energy*, vol. 67, pp. 181-187, 1999.

