



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**Εφαρμογές κυκλικής οικονομίας για τη διαχείριση αποβλήτων
μονάδων ΑΠΕ στο τέλος του κύκλου ζωής τους.**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΖΑΦΕΙΡΟΠΟΥΛΟΥ ΠΑΝΑΓΙΩΤΑ

A.M. 47696

Επιβλέπων καθηγητής: Κονδύλη Αιμιλία

Αθήνα, Μάρτιος, 2023



UNIVERSITY OF WEST ATTICA
DEPARTMENT OF MECHANICAL
ENGINEERING

Circular economy applications in RES west.

ZAFEIROPOULOU PANAGIOTA
47696

Supervisor: KONDILI AIMILIA

Athens, March, 2023



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του Εισηγητή

Η πτυχιακή/διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

| ΟΝΟΜΑ ΕΠΩΝΥΜΟ | ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ |
|---------------------------------|-------------------------|
| ΚΟΝΔΥΛΗ ΑΙΜΙΛΙΑ | |
| ΖΑΦΕΙΡΑΚΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ | |
| ΚΑΛΔΕΛΛΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ | |

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ/ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

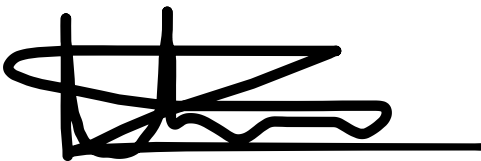
Η κάτωθι υπογεγραμμένη Ζαφειροπούλου Παναγιώτα του Γρηγορίου, με αριθμό μητρώου 47696 φοιτήτρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής/διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Η Δηλούσα

Ζαφειροπούλου Παναγιώτα

• 

Περιεχόμενα

| | |
|--|----|
| Περιεχόμενα..... | 5 |
| Περίληψη..... | 6 |
| Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή – Σκοπός και Αντικείμενο της Μελέτης..... | 7 |
| Κεφάλαιο 2. Κυκλική Οικονομία..... | 10 |
| 2.1 Γενικές πληροφορίες Κυκλικής Οικονομίας – Σκοπός της – Ορισμός Κυκλικής Οικονομίας..... | 10 |
| 2.2 Η Κατάσταση σε Ελλάδα και Ευρώπη..... | 14 |
| 2.3 Πλεονεκτήματα / Μειονεκτήματα..... | 17 |
| 2.4 Εφαρμογές Κυκλικής Οικονομίας..... | 20 |
| Κεφάλαιο 3. Λειτουργία Μονάδων ΑΠΕ..... | 21 |
| 3.1 Χρόνος ζωής βασικών έργων ΑΠΕ (με σχήματα, με νούμερα, με αναλυτικά στοιχεία κύκλος ζωής)..... | 21 |
| 3.2 Πρόβλεψη ποσοτήτων αποβλήτων μονάδων ΑΠΕ..... | 20 |
| 3.3 Νομοθεσία για Διαχείριση Αποβλήτων ΑΠΕ..... | 25 |
| Κεφάλαιο 4. Ευρωπαϊκή Εμπειρία Διαχείρισης Αποβλήτων ΑΠΕ..... | 27 |
| Κεφάλαιο 5. Εφαρμογές σε ομάδες έργων ΑΠΕ..... | 35 |
| 5.1 Φωτοβολταϊκά..... | 36 |
| 5.1.1 Διάκριση στην ανακύκλωση των φωτοβολταϊκών πάνελ..... | 37 |
| 5.2 Ανεμογεννήτριες..... | 40 |
| Κεφάλαιο 6. Απόβλητα..... | 44 |
| 6.1 Είδος Αποβλήτων..... | 44 |
| 6.2 Δυνατότητες Ανακύκλωσης / Επαναχρησιμοποίησης..... | 47 |
| 6.3 Σημαντικά σημεία για το μέλλον της Ανακύκλωσης..... | 49 |
| Κεφάλαιο 7. Παρούσα Κατάσταση και Προοπτικές στην Ελλάδα..... | 50 |
| 7.1 Υφιστάμενη κατάσταση ανακύκλωσης τους στην Ελλάδα..... | 50 |
| 7.2 Μελλοντικός Ρυθμός παραγωγής τους / Προτάσεις χρήσης αποβλήτων..... | 51 |
| Κεφάλαιο 8. Συμπεράσματα και Προτάσεις..... | 54 |
| ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ..... | 57 |

Περίληψη

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας βρίσκονται στο επίκεντρο της ενεργειακής μετάβασης ενώ η ανάπτυξή τους θεωρείται βασικό στοιχείο για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, ως εκ τούτου ηγούνται στον αγώνα κατά της κλιματικής αλλαγής. Ωστόσο, ενώ καθιστούν δυνατή τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων κατά το στάδιο της χρήσης τους, παράγοντας καθαρή ενέργεια, δημιουργούν επιπτώσεις στο περιβάλλον στο τέλος της ζωής τους.

Τα αποτελέσματα που παρατηρούνται κατά την παραγωγή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο χώρο λειτουργίας, πρέπει επομένως να τεθούν σε προοπτική και να εξεταστούν οι επιπτώσεις που δημιουργούνται κατά τα στάδια ανάντη (δραστηριότητες για την εγκατάσταση) και κατόντη (δραστηριότητες που σχετίζονται με τη διαχείριση της δομής παραγωγής ενέργειας στο τέλος της ζωής τους).

Τόσο η εγκατάσταση των ανεμογεννητριών όσο και η εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών συστημάτων, ευθύνονται, ανάλογα με τον τόπο στον οποίο πραγματοποιούνται, για βαθιές περιβαλλοντικές αναταραχές αν αυτές οι εγκαταστάσεις δεν τύχουν ορθής διαχείρισης. Οι παλιές εγκαταστάσεις θα πρέπει να αποκαθίστανται υπό προϋποθέσεις αποφεύγοντας έτσι την αποξήλωση τους και τη δημιουργία πηγών ρύπανσης. Έτσι η ανάλυση του κύκλου ζωής πραγματοποιώντας μια συνολική αξιολόγηση για το χρόνο ζωής των εν λόγω τεχνολογιών αλλά και τον μελλοντικό ρυθμό παραγωγής των αποβλήτων τους και η εφαρμογή της στρατηγικής της κυκλικής οικονομίας ή της επαναχρησιμοποίησης, καθιστά δυνατή την ορθολογική διαχείριση των αποβλήτων ΑΠΕ.

Στην παρούσα εργασία θα εξεταστούν οι κυκλικές λύσεις που είναι δυνατόν να εφαρμοστούν για να είναι με βιώσιμο τρόπο διαχειρίσιμα τα πράσινα απόβλητα από τις εγκαταστάσεις ΑΠΕ όταν λήγει η περίοδος λειτουργίας τους.

Keywords: Renewable energy sources waste, Circular economy applications in RES, RES equipment reuse.

ABSTRACT

Renewable energy sources are at the heart of the energy transition and their development is considered a key element in reducing greenhouse gas emissions, therefore leading the fight against climate change. However, while they make it possible to reduce the environmental impact during their use stage by producing clean energy, they create an impact on the environment at the end of their life.

The results observed during on-site renewable energy production must therefore be put into perspective and the impacts created during the upstream (installation activities) and downstream (activities related to the management of the generation structure) stages should be considered. energy at the end of their life).

Both the installation of wind turbines and the installation of photovoltaic systems are responsible, depending on the place in which they are carried out, for deep environmental disturbances if these installations are not properly managed. Old facilities should be restored under conditions, thus avoiding their removal and the creation of sources of pollution. Thus, the life cycle analysis by carrying out an overall assessment of the lifetime of the technologies in question but also the future rate of production of their waste and the application of the strategy of the circular economy or reuse, makes possible the rational management of RES waste.

This paper will examine the circular solutions that can be implemented to sustainably manage the green waste from RES facilities when their operating period ends.

Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή – Σκοπός και Αντικείμενο της Μελέτης

Η παραγωγή των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και η πράσινη οικονομία έχουν σταδιακά επικρατήσει μεταξύ των υπευθύνων χάραξης πολιτικής τα τελευταία χρόνια. Πλέον οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αντιπροσωπεύουν την τέταρτη πηγή πρωτογενούς ενέργειας πίσω από την πυρηνική ενέργεια, τα προϊόντα πετρελαίου και το φυσικό αέριο.

Σύμφωνα με τη UNEP, η μεγάλης κλίμακας ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι μια βασική προσέγγιση για την πράσινη οικονομία εξετάζοντας:

- τις δυνατότητές του για μετριασμό της κλιματικής αλλαγής

- τις δυνατότητες εξοικονόμησης ορυκτών καυσίμων
- την ικανότητά του να δημιουργεί «πράσινες θέσεις εργασίας»

Η πράσινη οικονομία ως θέμα της Διάσκεψης των Ηνωμένων Εθνών για τη Βιώσιμη Ανάπτυξη (UNCSD-2012) του 2012 στο Ρίο ντε Τζανέιρο απέβλεπε σε ένα ανοιχτό διάλογο για το περιβάλλον σχετικά με τον τρόπο διαμόρφωσης πράσινων οικονομικών πολιτικών, τη μέτρηση της προόδου τους και τη μοντελοποίηση των μελλοντικών επιπτώσεων μιας μετάβασης στην πράσινη ενέργεια (Uner, 2015).

Από τη μια πλευρά, η πράσινη οικονομία ορίζεται δηλαδή ως ένα οικονομικό σύστημα που οδηγεί σε «βελτιωμένη ανθρώπινη ευημερία και κοινωνική ισότητα, ενώ μειώνει σημαντικά τους περιβαλλοντικούς κινδύνους και τις οικολογικές ελλείψεις. Σε μια πράσινη οικονομία, η αύξηση του εισοδήματος και της απασχόλησης συνδέεται με δημόσιες και ιδιωτικές επενδύσεις που μειώνουν τις εκπομπές άνθρακα και τη ρύπανση, βελτιώνουν την ενεργειακή απόδοση και τη σωστή χρήση των πόρων.

Επιπλέον η πρόσφατη Πράσινη Συμφωνία ή «Πράσινο Σύμφωνο» με ορίζοντα το 2030, η οποία έχει ως στόχο τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά τουλάχιστον 55% σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990, αποτελεί μείζον ζήτημα για το πρόσωπο του ενεργειακού συστήματος το οποίο θα μεταμορφωθεί οριστικά. Το μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας θα αυξηθεί στο 40% έως το 2030 (EC, 2022).

Από την άλλη πλευρά η στρατηγική της κυκλικής οικονομίας υποστηρίζει ένα μοντέλο παραγωγής και κατανάλωσης, στο οποίο περιλαμβάνονται η επισκευή, η ανάκτηση, η επαναχρησιμοποίηση και η ανακύκλωση των υλικών σε τέτοιο βαθμό ώστε να μεγιστοποιείται ο κύκλος της ζωής τους. Η κυκλική οικονομία έχει ως απώτερο σκοπό τη μείωση των αποβλήτων στο ελάχιστο καθώς γίνεται προσπάθεια τα προϊόντα να μην ολοκληρώνουν τον κύκλο της ζωής τους, αλλά τα υλικά τους να επαναχρησιμοποιούνται. Το μοντέλο παραγωγής της κυκλικής οικονομίας δε μοιάζει καθόλου το συμβατικό μοντέλο γραμμικής οικονομίας, στο οποίο υπήρχε στο πρότυπο "παραγωγή-κατανάλωση-τελική διάθεση"(ΕΣΔΑ,2020).

Ωστόσο οι πράσινες τεχνολογίες όπως η αιολική ή η υδροηλεκτρική ενέργεια έχουν συγκεκριμένο χρόνο ζωής και παράγουν απόβλητα τα οποία σύμφωνα με τις αρχές της κυκλικής οικονομίας θα πρέπει να τύχουν κατάλληλης διαχείρισης. Η αιολική ενέργεια παράγεται από τουρμπίνες μεγάλων περιστρεφόμενων πτερυγίων ή για να παραχθεί η

ηλιακή ενέργεια, εγκαθίστανται φωτοβολταϊκά πάνελ τα οποία όταν ολοκληρώσουν το χρόνο ζωής τους, αποτελούν σημαντική ρύπανση για το περιβάλλον αν δεν απομακρυνθούν με κατάλληλο τρόπο από το σημείο που βρίσκονταν τοποθετημένα (Chowdhury et. al., 2020 ; Liu et al., 2022).

Οι επιπτώσεις των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στα εδάφη και τα τοπία διαφέρουν ανάλογα με τον τύπο της τεχνολογίας, τον τόπο εμφύτευσης, τη φάση του έργου αλλά και τον τρόπο με τον οποίο αναπτύσσονται οι τεχνολογίες. Για παράδειγμα, η εκχύλιση και ο καθαρισμός των σπάνιων γαιών ή ο χαλκός, που χρησιμοποιούνται αντίστοιχα στους μαγνήτες ορισμένων υπεράκτιων ανεμογεννητριών ή υδροηλεκτρικών ανεμογεννητριών, καθώς και σε ηλεκτρικές συνδέσεις, αποτελούν πηγή ρύπανσης στα περιβάλλοντα εδάφη και επηρεάζουν την τοπική βιοποικιλότητα της περιοχής εξόρυξης (Beauson, 2021).

Στο πλαίσιο της εργασίας θα καταγραφεί η χρήση των εν λόγω τεχνολογιών και η διαχείριση των υπολειμμάτων τους όταν επέλθει το τέλος της ζωής και της χρήσης τους.

Η δομή της εργασίας έχει ως ακολούθως:

Στο πρώτο κεφάλαιο δίνονται ο σκοπός και το αντικείμενο αυτής της εργασίας σχετικά με τις διαφορετικές τεχνολογίες των ΑΠΕ και αναπτύσσεται η προβληματική του θέματος.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζεται ο ορισμός της κυκλικής οικονομίας και αποτυπώνεται η εφαρμογή της, σε Ελλάδα και Ευρώπη, ενώ αναπτύσσονται τα πλεονεκτήματα ή μειονεκτήματα από την εν λόγω διαδικασία, χρησιμοποιώντας κάποια παραδείγματα και εφαρμογές της στρατηγικής της κυκλικής οικονομίας.

Ακολούθως το τρίτο κεφάλαιο εστιάζει στη λειτουργία των μονάδων ΑΠΕ και ποια είναι η πρόβλεψη του χρόνου ζωής των συγκεκριμένων τεχνολογιών. Επιπλέον εξετάζεται το θεσμικό πλαίσιο της διαχείρισης των αποβλήτων ΑΠΕ.

Στο τέταρτο κεφάλαιο εξετάζεται η Ευρωπαϊκή εμπειρία σε σχέση με τις μεθόδους που ακολουθούνται για την ανάπτυξη κυκλικών λύσεων διαχείρισης αυτών των αποβλήτων.

Στο πέμπτο κεφάλαιο εξετάζεται παρουσιάζονται οι τεχνολογίες ΑΠΕ στις οποίες εστιάζει η παρούσα εργασία οι οποίες είναι οι Φωτοβολταϊκοί συλλέκτες και οι

ανεμογεννήτριες ενώ στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα είδη αποβλήτων που παράγονται από τις εξεταζόμενες τεχνολογίες καθώς και οι δυνατότητες ανακύκλωσης ή επαναχρησιμοποίησης αυτών.

Στο έβδομο κεφάλαιο αποτυπώνεται η παρούσα κατάσταση της διαχείρισης και οι προοπτικές της, αλλά και η υφιστάμενη κατάσταση διαχείρισης τους ενώ σαφώς προσδιορίζεται ο μελλοντικός ρυθμός παραγωγής των αποβλήτων ΑΠΕ διατυπώνοντας και προτάσεις χρήσης τους.

Η εργασία ολοκληρώνεται με το όγδοο κεφάλαιο στο οποίο πραγματοποιείται η συλλογή των συμπερασμάτων ενώ διατυπώνονται κάποιες προτάσεις για τη διαχείριση των αποβλήτων ΑΠΕ.

Κεφάλαιο 2. Κυκλική Οικονομία

2.1 Γενικές πληροφορίες Κυκλικής Οικονομίας – Σκοπός της – Ορισμός

Κυκλικής Οικονομίας

Η κυκλική οικονομία ορίζει ένα πιο υπεύθυνο οικονομικό μοντέλο, στόχος του οποίου είναι η παραγωγή αγαθών και υπηρεσιών με βιώσιμο τρόπο, περιορίζοντας την κατανάλωση και τη σπατάλη πόρων (πρώτες ύλες, νερό, ενέργεια) καθώς και την παραγωγή αποβλήτων. Είναι ζήτημα ρήξης με το μοντέλο της γραμμικής οικονομίας (εξαγωγή, κατανάλωση, πέταμα) για ένα «κυκλικό» οικονομικό μοντέλο.

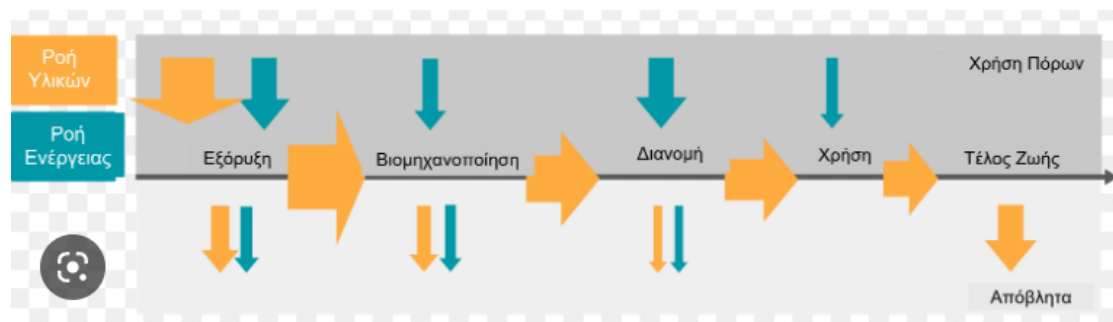
Βασικές επιδιώξεις για το μοντέλο της κυκλικής οικονομίας αποτελούν η διατήρηση των προϊόντων μέσω της επαναχρησιμοποίησης και η μείωση της σπατάλης των πόρων, η μείωση της παραγωγής των απορριμμάτων και η αναγέννηση των φυσικών συστημάτων. Ταυτόχρονα επιδιώκει την παράταση της αξίας των πόρων και των παραγόμενων προϊόντων με την αξιοποίηση των ανανεώσιμων πόρων, των φυτικών και ζωικών υποπροϊόντων και βιοαποικοδομήσιμων υλικών, την παραγωγή ενέργειας από απόβλητα παραγωγικών διαδικασιών και τη χρήση προϊόντων που παρέχουν υπηρεσίες σε πολλαπλούς χρήστες (sharing economy) (Kirchherr et al., 2017).



Εικόνα 1 Σχηματική αναπαράσταση μοντέλου κυκλικής οικονομίας (clev.org)

Ένα σύστημα που βασίζεται στην κυκλική οικονομία έρχεται σε αντίθεση με το σύστημα γραμμικής οικονομίας που έχει ορίσει τα συστήματα παραγωγής και κατανάλωσης από το τέλος του Β' Παγκοσμίου Πολέμου. Η γραμμική οικονομία σχηματίζεται από μια γραμμή με τα ακόλουθα στάδια και παρουσιάζεται σχηματικά στην Εικόνα 2:

εξαγωγή → παραγωγή → κατανάλωση → απόρριψη



Εικόνα 2 Σχηματοποίηση μοντέλου γραμμικής οικονομίας (circulartourism.eu)

Αντίθετα, η κυκλική οικονομία σχηματοποιείται με τη μορφή ενός βρόχου, ή ακόμα και ενός κύκλου στον οποίο κάθε στάδιο οδηγεί στο επόμενο. Η κυκλική οικονομία είναι ένα συστημικό όραμα της οικονομίας, δηλαδή εξετάζει την οικονομία με ένα

παγκόσμιο όραμα του συστήματός της από την πρώτη εξόρυξη πρώτης ύλης μέχρι το τέλος της τελευταίας σπατάλης, σε όλα τα στάδια της ζωής ενός προϊόντος.

Τα πλαστικά υλικά, μέσω των μοναδικών χαρακτηριστικών και της αντοχής τους, συμβάλλουν στην ανάπτυξη μιας κυκλικής οικονομίας, συμφιλώνοντας τις ανάγκες και τις περιβαλλοντικές ανησυχίες του σήμερα.

Η κυκλική οικονομία επιτυγχάνεται με τον οικολογικό σχεδιασμό. Ο οικολογικός σχεδιασμός είναι μια προληπτική και καινοτόμος προσέγγιση που στοχεύει στη μείωση των αρνητικών επιπτώσεων του προϊόντος στο περιβάλλον καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής του: εξόρυξη πρώτων υλών, κατασκευή, μεταφορά, χρήση και τέλος ζωής. Αυτή η προσέγγιση από την αρχή της διαδικασίας σχεδιασμού και ανάπτυξης στοχεύει στον περιορισμό της χρήσης μη ανανεώσιμων πόρων, στην ενθάρρυνση της χρήσης ανανεώσιμων πόρων, της επαναχρησιμοποίησης, της επισκευής, της ανάκτησης απορριμμάτων και της ανακύκλωσης για να προχωρήσουμε σε μια εγκύκλιο οικονομίας (Geissdoerfer et al., 2017).

Οι 6 βασικές αρχές που εμπλέκονται στην κυκλική οικονομία είναι :

1. Οικολογικός σχεδιασμός

Ο οικολογικός σχεδιασμός συνίσταται στο σχεδιασμό αντικειμένων περιορίζοντας ταυτόχρονα τις περιβαλλοντικές τους επιπτώσεις: εξάλειψη περιττών συσκευασιών, μείωση των χρησιμοποιούμενων υλικών, ενσωμάτωση ανακυκλωμένων υλικών ή βιώσιμων διαχειριζόμενων πόρων, ενσωμάτωση ιδεών ανακύκλωσης από το στάδιο του σχεδιασμού.

2. Εξορύξεις Πόρων – Πρώτες ύλες

Η προέλευση των πλαστικών:

- ανανεώσιμες πηγές βιολογικών πηγών, όπως φύκια, καλαμπόκι, άμυλο, ζαχαροκάλαμο, βαμβάκι, παντζάρια.
- μη ανανεώσιμοι πόροι από υδρογονάνθρακες. Περίπου το 5% της παραγωγής υδρογονανθράκων χρησιμοποιείται για την κατασκευή πλαστικών.

3. Παραγωγή – Μεταποίηση

Οι κατασκευαστές πλαστικών και σύνθετων υλικών βελτιστοποιούν τα προϊόντα τους για να κατασκευάζουν καλύτερα με όλο και λιγότερο υλικό και επομένως λιγότερους

πόρους. Χρησιμοποιούν επίσης ανακυκλωμένα πλαστικά υλικά και ανακτούν τα απόβλητα για να τα μετατρέψουν σε πόρους. Η ανακύκλωση του σκραπ παραγωγής είναι επομένως ευρέως διαδεδομένη: επανεισάγεται στην παραγωγική διαδικασία για να περιοριστεί η σπατάλη πρώτων υλών.

Ο εξοπλισμός είναι επίσης όλο και λιγότερο ενεργοβόρος, είναι καλύτερα μονωμένος και η κατανάλωση νερού στις παραγωγικές διαδικασίες έχει μειωθεί σημαντικά. Με την εφαρμογή συστημάτων περιβαλλοντικής διαχείρισης (ISO 14001), οι κατασκευαστές δεσμεύονται καθημερινά σε υπεύθυνες μεθόδους παραγωγής που σέβονται το περιβάλλον.

4. Διανομή - Logistics - Μεταφορές

Χάρη στα πλαστικά υλικά, τα προϊόντα που καταναλώνουμε έχουν γίνει πολύ ελαφρύτερα σε σύγκριση με την κατασκευή με χρήση παραδοσιακών υλικών (γυαλί, χάλυβας κ.λπ.). Οι καινοτόμες προσεγγίσεις που εφαρμόζουν οι επεξεργαστές πλαστικών συμβάλλουν επίσης στο να γίνουν τα προϊόντα όλο και πιο ελαφριά.

Τα κέρδη σε βάρος και όγκο αντιπροσωπεύουν πραγματικό μοχλό όσον αφορά την εξοικονόμηση ενέργειας για τη μεταφορά προϊόντων, καθώς επιτρέπουν σημαντική μείωση της κατανάλωσης καυσίμου που απαιτείται για τη μεταφορά τους.

Ελαφρύτερα προϊόντα που καταλαμβάνουν λιγότερο χώρο και μπορούν να μεταφερθούν με λιγότερη ενέργεια!

5. Χρήση - Υπεύθυνη κατανάλωση

Η ανάπτυξη μιας κυκλικής οικονομίας βασίζεται επίσης στους τρόπους κατανάλωσης και χρήσης μας. Οι κατασκευαστές πλαστικών και σύνθετων υλικών προωθούν έτσι το σχεδιασμό και την κατασκευή αντικειμένων που μπορούν να επισκευαστούν, να επαναχρησιμοποιηθούν και που γενικότερα ανταποκρίνονται στην υπεύθυνη χρήση των προϊόντων και των πρώτων υλών που είναι απαραίτητες για την κατασκευή τους.

Ο προβληματισμός ως καταναλωτές για τις ατομικές και συλλογικές μας πρακτικές, η δράση σε καθημερινή βάση στις αγοραστικές και καταναλωτικές μας επιλογές είναι ουσιαστικοί μοχλοί για ένα σύστημα που σέβεται περισσότερο το περιβάλλον μας, στο οποίο όλοι αναλαμβάνουν το μερίδιο ευθύνης τους.

6. Τέλος ζωής: ανάκτηση ή ανακύκλωση απορριμμάτων

Όταν δεν χρησιμοποιούνται πλέον, τα πλαστικά προϊόντα αποτελούν νέους πόρους για έναν νέο κύκλο παραγωγής. Σε αυτήν την ενάρετη αλυσίδα, οι καταναλωτές, οι ανακυκλωτές, οι κατασκευαστές και οι δημόσιες αρχές αποτελούν βασικούς κρίκους στην ανάπτυξη μιας κυκλικής οικονομίας.

Τα χρησιμοποιημένα πλαστικά υλικά συλλέγονται και ταξινομούνται έτσι ώστε να ανακυκλωθούν, να ανακτηθούν ή να κομποστοποιηθούν. Στόχος είναι να μειωθούν όσο το δυνατόν περισσότερο οι χωματερές και να αποτραπεί η απόρριψή τους στο περιβάλλον. Το μεταχειρισμένο πλαστικό μπορεί να αναγεννηθεί, έχει αξία (Kirchherr et al., 2017).

Κατά συνέπεια, σύμφωνα με τις αρχές της κυκλικής οικονομίας εξάγονται τα παρακάτω συμπεράσματα:

- 1: τα απόβλητα είναι πολύτιμη πρώτη ύλη και μπορούν να αποτελέσουν συστατικό για την παραγωγή νέων προϊόντων.
- 2: τα βιολογικά υλικά αποτελούν πολύτιμη πρώτη ύλη από τα οποία μπορεί να παραχθεί υψηλής ποιότητας κομπόστ, γι' αυτό θα πρέπει να γίνεται διαχωρισμός των βιοαποβλήτων από τα υπόλοιπα απόβλητα.
- 3 : Η επαναχρησιμοποίηση των προϊόντων και αποβλήτων καθώς και η ανακύκλωση θεωρείται προτεραιότητα.
- 4: Η μείωση, η επιδιόρθωση, η επαναχρησιμοποίηση, η ανακατασκευή και τέλος η ανακύκλωση αποτελούν στρατηγική της κυκλικής οικονομίας για τη μείωση της παραγωγής αποβλήτων.
- 5: Στην κυκλική οικονομία, θεωρείται επιβεβλημένη η ανανεώσιμη ενέργεια με τη χρήση των Ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

2.2 Η Κατάσταση σε Ελλάδα και Ευρώπη

Το 2018, το Κυβερνητικό Συμβούλιο Οικονομικής Πολιτικής (ΚΥ.Σ.ΟΙ.Π.) ενέκρινε το πλαίσιο της δημόσιας πολιτικής για την Κυκλική Οικονομία ως κομβικό στοιχείο της Αναπτυξιακής Στρατηγικής της χώρας. Με το «Εθνικό Επιχειρησιακό Σχέδιο 2018-2019» τέθηκαν οι κύριοι μακροπρόθεσμοι στόχοι της στρατηγικής της κυκλικής οικονομίας για τη χώρα (2030) ενώ στο επιχειρησιακό σκέλος του σχεδίου, για τη διετία 2018-2019, καθορίστηκε μια σειρά δράσεων για την επιτάχυνση της μετάβασης

της χώρας προς μια κυκλική οικονομία (ΥΠΙΕΝ, 2018). Τον Μάρτιο του 2020 η Ευρωπαϊκή Επιτροπή ενέκρινε το «Νέο Σχέδιο Δράσης για την Κυκλική Οικονομία». Το νέο σχέδιο παρέχει ένα θεματολόγιο προσανατολισμένο στο μέλλον για την επίτευξη πιο καθαρής και πιο ανταγωνιστικής Ευρώπης, σε συνεργασία με τους οικονομικούς παράγοντες, τους καταναλωτές, τους πολίτες και τις οργανώσεις της κοινωνίας των πολιτών. Στόχος του σχεδίου είναι η επίσπευση της μετασχηματιστικής αλλαγής που απαιτείται με βάση την Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία. Το σχέδιο θα διασφαλίσει αφενός τη βελτιστοποίηση του κανονιστικού πλαισίου ώστε να καταστεί κατάλληλο για ένα βιώσιμο μέλλον, και αφετέρου τη μεγιστοποίηση των νέων ευκαιριών που θα προκύψουν από τη μετάβαση, ελαχιστοποιώντας παράλληλα τις επιβαρύνσεις για τους πολίτες και τις επιχειρήσεις. Στο σχέδιο παρουσιάζεται ένα σύνολο αλληλένδετων πρωτοβουλιών για τη θέσπιση ισχυρού και συνεκτικού πλαισίου πολιτικής το οποίο θα καταστήσει συνήθη πρακτική τα βιώσιμα προϊόντα, τις βιώσιμες υπηρεσίες και τα βιώσιμα επιχειρηματικά μοντέλα και θα μετασχηματίσει τα καταναλωτικά πρότυπα ώστε εξ αρχής να μην παράγονται απόβλητα. Βάσει των παραπάνω προέκυψε η ανάγκη επικαιροποίησης του Επιχειρησιακού Σχεδίου Δράσης της χώρας μας για την Κυκλική Οικονομία καθώς και η επανεξέταση της πολιτικής και των προτεραιοτήτων του προκειμένου αυτό να εναρμονίζεται με τους στόχους του «Νέου Σχεδίου Δράσης για την Κυκλική Οικονομία» της ΕΕ (ΥΠΙΕΝ, 2021).

Το νέο Εθνικό Σχέδιο Δράσης της Ελλάδας (το οποίο τέθηκε σε δημόσια διαβούλευση) αποτελεί έναν οδικό χάρτη για να καταστεί η οικονομία της χώρας βιώσιμη και ανταγωνιστική ταυτόχρονα, με συγκεκριμένες εθνικές δράσεις:

- που καλύπτουν όλη την αλυσίδα αξίας της κυκλικής οικονομίας,
- με χρονική ανάπτυξη σε συμβατότητα με τις αντίστοιχες πρωτοβουλίες της ΕΕ για την περίοδο 2021- 2025,
- με καθορισμό των επισπευδόντων φορέων υλοποίησης και των διυπουργικών συνεργασιών.

Συγκεκριμένα περιλαμβάνει 66 δράσεις για την περίοδο 2021-2025 εκ των οποίων :

α) οι 45 αφορούν τις βασικές πτυχές της κυκλικής οικονομίας: παραγωγή, κατανάλωση, απόβλητα και οριζόντια θέματα διακυβέρνησης.

β) οι 21 αφορούν βασικά προϊόντα που πρέπει να αντιμετωπιστούν κατά προτεραιότητα:

- Ηλεκτρονικά και ΤΠΕ,
- Μπαταρίες και οχήματα,
- Συσκευασία,
- Πλαστικά,
- Υφάσματα,
- Κατασκευές και κτήρια,
- Τρόφιμα, νερό και θρεπτικές ουσίες.

Οι εν λόγω δράσεις διαρθρώνονται σε πέντε βασικούς άξονες όπως παρουσιάζεται στο σχήμα της Εικόνας 2.



Εικόνα 3 Βασικοί άξονες δράσεων κυκλικής οικονομίας (Νέο Σχέδιο Δράσης για την Κυκλική οικονομία, ΥΠΕΝ 2021)

Για παράδειγμα, σε μια κυκλική οικονομία, τα βιολογικά απόβλητα δεν απορρίπτονται και ούτε αποτεφρώνονται. Αντί αυτού, τα βιολογικά απόβλητα αποτελούν πόρο για οργανικά βελτιωτικά εδάφους, λιπάσματα, μέσα ανάπτυξης και βιολογικά προϊόντα. Ο άνθρακας και τα θρεπτικά συστατικά των βιοαποβλήτων συγκεντρώνονται κυρίως σε οργανικά λιπάσματα, βελτιωτικά εδάφους και καλλιεργητικά μέσα ή μπορούν να εξαχθούν, τροποποιηθούν ή μετατραπούν σε μια σειρά διαφορετικών βιολογικών προϊόντων. Όλα αυτά τα δευτερογενή προϊόντα μπορούν να αντικαταστήσουν προϊόντα με βάση τα ορυκτά, όπως ορυκτά λιπάσματα, τύρφη και ορυκτά καύσιμα. Μετά τη χρήση, τα υπολείμματα αυτών των προϊόντων μπορούν να επιστρέφουν πίσω με ασφάλεια στη βιόσφαιρα, κλείνοντας έτσι κύκλους άνθρακα και θρεπτικών

συστατικών. Στο πλαίσιο αυτό το νέο Εθνικό Σχέδιο Κυκλικής Οικονομίας έχει υιοθετήσει μια σειρά δράσεων που σχετίζονται άμεσα ή έμμεσα με την προώθηση της χρήσης των βιολογικών αποβλήτων ως πόρο (ΕΣΔΑ, 2020).

Σε επίπεδο Ευρώπης, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή τον Μάρτιο 2020 παρουσίασε το Σχέδιο Δράσης για την Κυκλική Οικονομία, το οποίο στοχεύει στο σχεδιασμό πιο βιώσιμων προϊόντων, τη μείωση των απορριμμάτων και την ενδυνάμωση των καταναλωτών (όπως το δικαίωμα στην επισκευή). Ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε σε τομείς έντασης πόρων, όπως τα ηλεκτρονικά και τις ΤΠΕ (τεχνολογία πληροφοριών και επικοινωνιών), τα πλαστικά, τα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα και τις κατασκευές.

Τον Φεβρουάριο του 2021, το Κοινοβούλιο ενέκρινε ψήφισμα σχετικά με το νέο Σχέδιο Δράσης για την Κυκλική Οικονομία που ζητά περαιτέρω δράση για την επίτευξη μιας ουδέτερης από άνθρακα, περιβαλλοντικά βιώσιμης, απαλλαγμένης από τοξικά και πλήρως κυκλικής οικονομίας στην Ευρώπη έως το 2050. Αυτό το ψήφισμα περιλαμβάνει αυστηρότερους κανόνες ανακύκλωσης και δεσμευτικούς στόχους για τη χρήση και κατανάλωση υλικών έως το 2030.

Τον Μάρτιο του 2022, η Επιτροπή δημοσίευσε την πρώτη δέσμη μέτρων για την επιτάχυνση της μετάβασης σε μια κυκλική οικονομία, ως μέρος του σχεδίου δράσης για την κυκλική οικονομία. Οι προτάσεις περιλαμβάνουν την ενίσχυση βιώσιμων προϊόντων, την ενδυνάμωση των καταναλωτών για την πράσινη μετάβαση, την αναθεώρηση του κανονισμού για τα προϊόντα δομικών κατασκευών και μια στρατηγική βιώσιμης κλωστοϋφαντουργίας.

Τον Νοέμβριο του 2022, η Επιτροπή πρότεινε νέους ευρωπαϊκούς κανόνες για τις συσκευασίες. Υπάρχουν προτάσεις για τη βελτίωση του σχεδιασμού της συσκευασίας, όπως η σαφής επισήμανση, για την προώθηση της επαναχρησιμοποίησης και της ανακύκλωσης. Η Επιτροπή ζητά επίσης τη μετάβαση σε βιοαποδομήσιμα και κομποστοποιήσιμα πλαστικά.

2.3 Πλεονεκτήματα / Μειονεκτήματα

Τα πλεονεκτήματα υιοθέτησης της κυκλικής οικονομίας είναι πολλαπλά. Μέτρα όπως η πρόληψη των αποβλήτων, ο οικολογικός σχεδιασμός και η επαναχρησιμοποίηση θα μπορούσαν να εξοικονομήσουν χρήματα από τις επιχειρήσεις, ενώ μειώνουν τις

συνολικές ετήσιες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Επί του παρόντος, η παραγωγή των υλικών που χρησιμοποιείται καθημερινά αντιπροσωπεύει το 45% των εκπομπών CO₂.

Η στροφή σε μια πιο κυκλική οικονομία θα μπορούσε να αποφέρει οφέλη όπως η μείωση της πίεσης στο περιβάλλον, η βελτίωση της ασφάλειας του εφοδιασμού πρώτων υλών, η αύξηση της ανταγωνιστικότητας, η τόνωση της καινοτομίας, η τόνωση της οικονομικής ανάπτυξης (επιπλέον 0,5% του ακαθάριστου εγχώριου προϊόντος) και η δημιουργία θέσεων εργασίας (700.000 θέσεις εργασίας μόνο στην ΕΕ έως το 2030).

Προσφέρονται στους καταναλωτές πιο βιώσιμα και καινοτόμα προϊόντα που θα βελτιώσουν την ποιότητα ζωής τους και θα εξοικονομήσουν χρήματα μακροπρόθεσμα.

Κατηγοριοποιώντας τα πλεονεκτήματα της κυκλικής οικονομίας συνοψίζονται στα παρακάτω:

Το κύριο πλεονέκτημα της κυκλικής οικονομίας είναι αυτό που σχετίζεται με το Περιβάλλον. Η διαδικασία καθιστά δυνατή τη σημαντική μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που συνδέονται με την αλόγιστη κατανάλωση και τη χρήση μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και την παραγωγή τους (Walker et al., 2020). Άρα τα πλεονεκτήματα είναι:

- Περιβαλλοντικά

Η σωστή διαχείριση των πράσινων αποβλήτων με την επαναχρησιμοποίηση υλικών όπως το πυρίτιο ο μόλυβδος ή το κάδμιο και η αποτροπή της έκπλυσής τους στο χώμα έχει σημαντικά περιβαλλοντικά οφέλη. Επιπρόσθετα αποφεύγεται η έκθεση των εν λόγω στοιχείων στην όξινη βροχή και η διαρροή, συσσώρευση τους στα εδάφη.

- Οικονομικά

Τα υλικά που μπορούν να αξιοποιηθούν με τη στρατηγική της κυκλικής οικονομίας αποτελούν πρώτες ύλες στις οποίες αν δεν εφαρμοστεί κατάλληλη διαχείριση θα απωλέσουν την αξία τους. Άρα τα πλεονεκτήματα είναι οικονομικά, αν αναλογιστεί κανείς ότι με την ανακύκλωση των αποβλήτων ΑΠΕ μπορούν να εξοικονομηθούν φυσικά αποθέματα όπως μέταλλα αλουμίνιο, γυαλί, πυρίτιο, χαλκός. Από την άλλη η κομποστοποίηση των βιοαποβλήτων μπορεί να παράξει υψηλής ποιότητα κομπόστ από το οποίο αν χρησιμοποιηθεί για τη φυσική λίπανση καλλιεργειών είναι δυνατό να εξοικονομηθούν οικονομικοί πόροι.

- Κοινωνικά

Με την ανακύκλωση των εν λόγω υλικών μπορούν να δημιουργηθούν επενδύσεις σε εταιρείες ασχολούμενες με τη διαχείριση των πράσινων αποβλήτων. Αυτό σημαίνει ότι θα δημιουργηθούν νέες θέσεις εργασίας σε όλη την επικράτεια.

Από την άλλη πλευρά η υιοθέτηση της ανακύκλωσης, στα πλαίσια της κυκλικής οικονομίας έχει και αρνητικό αντίκτυπο. Ενώ η ανακύκλωση έχει γίνει πλέον ο πυλώνας επικοινωνίας για εταιρείες που πωλούν αγαθά που παράγουν πολλά απόβλητα, όπως οι διάσημες εταιρείες που παράγουν τις κάψουλες καφέ, έχουν δημιουργήσει διαφημίσεις στις τελευταίες καμπάνιες τους για αυτό το θέμα εκπέμποντας μηνύματα που επικροτούν την αγορά και την υπερκατανάλωση διότι τα προϊόντα είναι πλήρως ανακυκλώσιμα. Θα πρέπει επομένως να διασφαλιστεί ότι η ανακύκλωση δεν θα μετατραπεί σε άλλοθι από ορισμένες εταιρείες για να σταματήσουν οι όποιες προσπάθειες καινοτομίας για τη μείωση των απορριμμάτων στην πηγή. Για παράδειγμα, οι πλαστικές σακούλες, αντικαθίστανται σταδιακά από τις λεγόμενες «βιοδιασπώμενες» αγροπλαστικές σακούλες. Ωστόσο, δεν υπάρχει πανευρωπαϊκός τομέας για την κομποστοποίησή τους. Παρόμοιο παράδειγμα αποτελεί η ανακύκλωση της πλαστικής σακούλας στην πόλη του Παρισιού η οποία ως ιδέα είναι αξιόπαινη. Ωστόσο, το κόστος του κλάδου αποδείχθηκε πολύ υψηλό και ως εκ τούτου η ανακύκλωση σταμάτησε. Η ανακύκλωση απαιτεί ποσότητες αρκετά μεγάλες για να είναι κερδοφόρες. Έτσι θα χρειαστούν τόνοι και τόνοι πλαστικών σακουλών για να είναι οικονομικά βιώσιμη η ανακύκλωσή τους. Σε αυτήν την περίπτωση, η προτιμώμενη επιλογή είναι η μείωση στην πηγή, εξαλείφοντας τις πλαστικές σακούλες και ευνοώντας μια βιώσιμη εναλλακτική, επαναχρησιμοποιήσιμη σακούλα.

Μερικές φορές είναι επίσης δύσκολο να «κλείσει ο βρόχος της κυκλικής οικονομίας» διατηρώντας τα περιβαλλοντικά οφέλη της ανακύκλωσης. Για παράδειγμα, ορισμένα από τα υλικά αγαθά που χρησιμοποιούνται στην Ευρώπη παράγονται στην Κίνα. Στη συνέχεια, όταν είναι δυνατόν, ταξινομούνται στην Ευρώπη. Ορισμένα από τα διαλεγμένα υλικά επιστρέφουν στην Κίνα, όπου ανακυκλώνονται με χαμηλότερο κόστος και στη συνέχεια χρησιμοποιούνται ξανά για την παραγωγή αγαθών που θα εισαχθούν πίσω στην Ευρώπη. Εάν η κυκλική οικονομία βασίζεται σε έναν «κύκλο» του οποίου η διάμετρος είναι μεγαλύτερη από 10.000 km, πρέπει να σκεφτούμε τρόπους να τον βελτιώσουμε μειώνοντας τις αποστάσεις ανταλλαγής και επομένως

μεταφέροντας ορισμένες βιομηχανίες και παραγωγές σε κοντινούς τόπους κατανάλωσης.

Τέλος, η ανακύκλωση δεν είναι απαραίτητα μια στεγανή θηλιά. Πράγματι, τα περισσότερα υλικά, όταν είναι ανακυκλώσιμα, δεν είναι άπειρα. Έτσι, το χαρτί μπορεί να ανακυκλωθεί μόνο 3 έως 6 φορές πριν υποβαθμιστεί υπερβολικά. Οι φυσικές ιδιότητες των υλικών αλλάζουν καθώς προχωρούν οι κύκλοι ανακύκλωσης. Επιπλέον, το 100% του υλικού που εισέρχεται σε μια διαδικασία ανακύκλωσης δεν ανακυκλώνεται γιατί υπάρχει αυτό που θα μπορούσε να ονομαστεί «απώλεια γραμμής». Το υλικό που φθάνει σε μια μονάδα ανακύκλωσης υφίσταται γενικά «υπερ-διαλογή» με στόχο την απομάκρυνση ακαθαρσιών ή εισβολέων. Αυτή η υπερβολική διαλογή στέλνει μέρος του υλικού στα απόβλητα, αυτό συμβαίνει ιδιαίτερα στις μονάδες ανακύκλωσης γυαλιού. Επομένως, η ανακύκλωση δεν είναι συνώνυμη με το μηδενικό απόβλητο.

Η ανακύκλωση δεν πρέπει να χρησιμοποιείται ως πρόσχημα για να επαναλαμβάνεται η οικονομία της υπερκατανάλωσης και να παρακάμπτεται η προτεραιότητα της διαλογής στην πηγή.

2.4 Εφαρμογές Κυκλικής Οικονομίας

Η κυκλική οικονομία συνίσταται στη διαχείριση όλων των ροών, συμπεριλαμβανομένης της ροής υλικών και ενέργειας. Η κυκλική οικονομία μπορεί, για παράδειγμα, να εφαρμοστεί σε μια τοποθεσία όπου πολλές βιομηχανίες λειτουργούν σε συνέργεια και τα απόβλητα ορισμένων δραστηριοτήτων γίνονται πόροι άλλων ενώ η ενέργεια που παράγεται από ορισμένες μονάδες χρησιμοποιείται από γειτονικές. Μέσω αυτής της προσέγγισης, οι άνθρωποι προσπαθούν να εφαρμόσουν στις δραστηριότητές τους ό,τι συμβαίνει σε ένα φυσικό οικοσύστημα.

Από την άλλη πλευρά, μία εφαρμογή της κυκλικής οικονομίας είναι η ανακύκλωση. Από την ανακύκλωση, εξοικονομούνται πόροι χρησιμοποιώντας αυτούς που έχουν ήδη κινητοποιηθεί στο κύκλωμα παραγωγής για την παραγωγή νέων αγαθών. Αυτή η εξοικονόμηση «παρθένων» πόρων αποφεύγει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και την κατανάλωση ενέργειας που σχετίζεται με την εξόρυξη, την επεξεργασία και τη μεταφορά τους. Αντίθετα, η αποτέφρωση και η ταφή, ακόμη κι αν καθιστούν δυνατή την ανάκτηση ενέργειας, ακολουθούν ένα γραμμικό μοτίβο στο οποίο οι πόροι που εξορύσσονται και στη συνέχεια μετατρέπονται σε καταναλωτικά αγαθά τελικά

πετιούνται και καίγονται ή θάβονται χωρίς πιθανή επαναχρησιμοποίηση. Το γραμμικό μοντέλο που κυριαρχεί σήμερα δεν είναι βιώσιμο, ούτε από περιβαλλοντική ούτε από οικονομική άποψη μακροπρόθεσμα. Επιπλέον, η ανακύκλωση, ειδικά των οργανικών υλικών, παρέχει περισσότερες θέσεις εργασίας από την αποτέφρωση ή την υγειονομική ταφή. Η κυκλική οικονομία λοιπόν αποφέρει πολλαπλά οφέλη που ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις της βιώσιμης ανάπτυξης (EOAN, 2022).

Κεφάλαιο 3. Λειτουργία Μονάδων ΑΠΕ

3.1 Χρόνος ζωής βασικών έργων ΑΠΕ (με σχήματα, με νούμερα, με αναλυτικά στοιχεία κύκλος ζωής)

Μέχρι πρότινος δεν υπήρχε σημαντικός αριθμός ανεμογεννητριών ή φωτοβολταϊκών πάνελ σε απόσυρση στην Ευρώπη και τούτο γιατί οι εγκαταστάσεις των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι σχετικά νέες. Ωστόσο προβλέπεται ότι από το 2025, εκατοντάδες ανεμογεννήτριες θα αποσυρμολογούνται κάθε χρόνο και εκατομμύρια τόνοι υλικών θα πρέπει να υποστούν επεξεργασία (EEA EU, 2021) .

Ο τομέας των αεροπαραγωγών έχει τετραπλασιάσει τη δυναμικότητά του από το 2010. Για παράδειγμα στη Γαλλία αντιπροσωπεύει το 8,4% της συνολικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας το 2021, ενώ υπάρχουν 8.000 έως 8.500 στην ξηρά ανεμογεννήτριες εγκατεστημένες σε τοπία. Κατά συνέπεια εφόσον επέρχεται σιγά σιγά ο χρόνος λήξης του κύκλου της ζωής τους, δημιουργείται μια νέα πρόκληση την οποία οι δημόσιοι φορείς θα πρέπει να διαχειριστούν (ADEME, 2020).

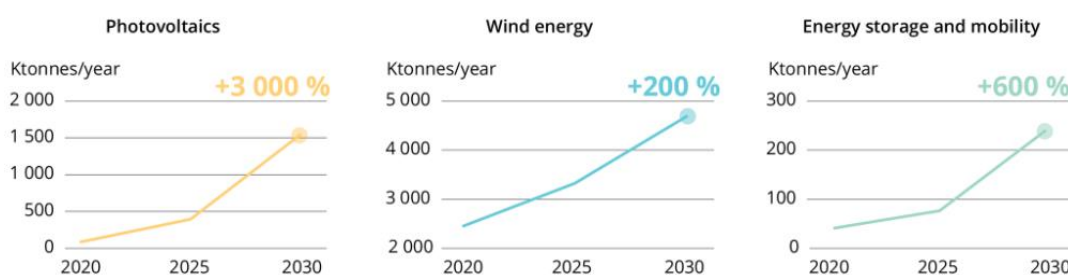
Ο κύκλος ζωής των συστημάτων των ΑΠΕ ολοκληρώνεται μεταξύ 25-30 ετών λειτουργίας. Άρα η παραγωγή των πράσινων αποβλήτων θα αυξηθεί σημαντικά στο άμεσο μέλλον, ενώ απαιτείται άμεση προσοχή από τους υπευθύνους χάραξης πολιτικής. Με βάση την έκθεση που έχει πραγματοποιήσει ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος, τα απόβλητα από τις ΑΠΕ αναμένεται να αυξηθούν έως και 30 φορές τα επόμενα δέκα χρόνια στις χώρες-μέλη του.

Συγκεκριμένα, ο Οργανισμός υπολογίζει πως τα απόβλητα φωτοβολταϊκών μεταξύ 2020-2030 θα αυξηθούν 3.000%, δηλαδή από πολύ λίγους τόνους το 2020 σε περίπου 1,5 εκατομμύριο τόνους τον χρόνο το 2030, των ανεμογεννητριών κατά 200% (από σχεδόν 2,500 σε 4,750 εκατομμύρια τόνους/έτος) και των μπαταριών κατά 600% (από 40 σε περίπου 240.000 τόνους/έτος) (EEA EU, 2021).

3.2 Πρόβλεψη ποσοτήτων αποβλήτων μονάδων ΑΠΕ

Μια νέα περιβαλλοντική πρόκληση, και μάλιστα από τον «πράσινο» τομέα ενέργειας, θα παρουσιαστεί τα επόμενα χρόνια και απαιτεί εγκαίρως συντονισμένες ενέργειες. Συγκεκριμένα, τα απόβλητα από τις εγκαταστάσεις των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, παλιές ανεμογεννήτριες, ηλιακά πάνελ και μπαταρίες υπολογίζεται πως μπορεί να αυξηθούν από 200%-3.000% μέσα στην επόμενη δεκαετία όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.

Ασφαλώς η φύση και η κλίμακα των πτυχών της κυκλικής οικονομίας, μπορεί να δημιουργήσει ευκαιρίες αλλά και προκλήσεις για τη διαχείριση των αποβλήτων των τεχνολογιών ΑΠΕ. Όμως η σωστή πολιτική μπορεί να συμβάλει στην προώθηση αλλαγών για την επίτευξη του καλύτερου περιβαλλοντικού αποτελέσματος.



Εικόνα 4 Αναμενόμενη αύξηση των απορριμμάτων που παράγονται από υποδομές ΑΠΕ (Carrara et al. 2020 ; Stahl et al. 2021)

Η αύξηση τα εγκατεστημένης ισχύος σε όλο τον κόσμο τα τελευταία χρόνια είναι εντυπωσιακή, με την Ευρώπη να οδηγεί την παγκόσμια αγορά. Μέχρι το τέλος του 2003 περίπου 40.000 MW ισχύος ανεμογεννητριών λειτουργούσε σε 50 χώρες σε όλο τον κόσμο. Από αυτά, περισσότερα από 28.000 MW (70%) εγκαταστάθηκε στη ΕΕ.

Πρόκειται για μια τρομερή αύξηση, που απειλεί –ειδικά εάν δεν αντιμετωπιστεί σωστά– να δημιουργήσει χωματερές από τις ΑΠΕ. Κανείς δεν θα ήθελε να δει βεβαίως εκτάσεις με διαλυμένες πτερωτές από τεράστιες ανεμογεννήτριες ή με φωτοβολταϊκά και μπαταρίες σε αποσύνθεση, πολύ περισσότερο όταν οι συσκευές αυτές φέρουν και ορισμένες επικίνδυνες ουσίες, οι οποίες δεν πρέπει να διαφύγουν στο περιβάλλον.

Δυστυχώς στην Ελλάδα οι εταιρείες που ασχολούνται με την εγκατάσταση ΑΠΕ δεν υποχρεούνται να καταβάλλουν τέλος ανακύκλωσης, όπως οι εταιρείες στους

περισσότερους κλάδους, με αποτέλεσμα να μην υπάρχει αποθεματικό, ενώ τώρα αρχίζει η δημιουργία των ρευμάτων για την ανακύκλωση συσκευών «πράσινης ενέργειας».

Πέρα από το πρόβλημα της διαχείρισης των μεγάλων αυτών ποσοτήτων αποβλήτων υπάρχει και το θέμα της εξοικονόμησης σπάνιων ή κρίσιμων πρώτων υλών και άλλων πολύτιμων μετάλλων, που χρησιμοποιούνται στα συστήματα αιολικής και ηλιακής ενέργειας, καθώς και στις μπαταρίες. Γι' αυτό, όπως σημειώνει ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος, είναι απαραίτητη η «κυκλική οικονομική προσέγγιση, όπως η επισκευή και η αναβάθμιση του εξοπλισμού και η ανακύκλωση της υποδομής στο τέλος του κύκλου ζωής τους», παρά το γεγονός ότι είναι μια διαδικασία που έχει δυσκολίες.

Η ανάκτηση των σημαντικών υλικών από τις «πράσινες συσκευές» και η επανεισαγωγή τους σε κύκλους παραγωγής παρουσιάζει όμως μια σειρά από δυσκολίες επεξεργασίας λόγω της χρήσης σύνθετων υλικών, της παρουσίας επικίνδυνων ουσιών και της χαμηλής συγκέντρωσης πολύτιμων στοιχείων. Ο ΕΟΠ σημειώνει πως υπάρχει εξοπλισμός που δεν έχει σχεδιαστεί για να διευκολύνει την ανακύκλωση στο τέλος του κύκλου ζωής (θέτοντας την ανάγκη οικολογικού σχεδιασμού των συστημάτων), ενώ ως επιπλέον δυσχέρειες σημειώνονται οι απομακρυσμένες τοποθεσίες, το μεγάλο μέγεθος των συστημάτων και οι απαιτήσεις ασφαλείας. Επίσης σημειώνεται πως τα ανακυκλωμένα υλικά είναι συχνά ακριβότερα από τα πρωτογενή, με αποτέλεσμα να μην μπορούν να αξιοποιηθούν στην παραγωγή.

Αλλά ας δούμε συγκεκριμένα για κάθε μία από τις τρεις κατηγορίες της μελέτης:

Στα φωτοβολταϊκά, το 95% των υλικών μπορεί να ανακυκλωθεί (π.χ. γυαλί, χαλκός, αλουμίνιο κ.λπ.). Πρόκληση αποτελεί, τόσο από οικονομική όσο και από τεχνολογική άποψη, η αποκόλληση, ο διαχωρισμός και ο καθαρισμός του πυριτίου από το γυαλί και τη λεπτή μεμβράνη ημιαγωγών.

Περιλαμβάνονται κρίσιμες πρώτες ύλες, όπως ίνδιο και γερμάνιο. Ιδιαίτερη προσοχή στην ανακύκλωση των φωτοβολταϊκών χρειάζεται λόγω της παρουσίας επικίνδυνων ουσιών, όπως κάδμιο, αρσενικό, μόλυβδος, αντιμόνιο, φθορίδιο πολυβινυλίου και φθορίδιο πολυβινυλιδενίου.

Συνοψίζοντας τις προκλήσεις για κάθε τεχνολογία ΑΠΕ χωριστά, προκύπτει:

| Φωτοβολταϊκά Πάνελ | |
|--------------------|--|
| Ευκαιρίες | Το 95% των υλικών τους (γυαλί, χαλκός, αλουμίνιο) μπορούν να ανακυκλωθούν |
| Προκλήσεις | Η βασική πρόκληση στην ανακύκλωση των φωτοβολταϊκών, τόσο από οικονομική όσο και από τεχνολογική άποψη, είναι η αποκόλληση, ο διαχωρισμός και ο καθαρισμός του πυριτίου από το γυαλί και το λεπτό φιλμ ημιαγωγών |
| | Άλλη πρόκληση για την ανακύκλωση των φωτοβολταϊκών μονάδων προέρχεται από την παρουσία επικίνδυνων ουσιών όπως το κάδμιο, το αρσενικό, ο μόλυβδος, το αντιμόνιο, το φθοριούχο πολυβινύλιο και το φθοριούχο πολυβινυλιδένιο |
| | Προκύπτουν επίσης δυσκολίες λόγω των προβλημάτων πρόσβασης για την αποξήλωση των πάνελ που είναι εγκατεστημένα σε ύψος, γεγονός που συχνά δεν λαμβάνεται υπόψη στο στάδιο του σχεδιασμού των φωτοβολταϊκών συστημάτων |

| Ανεμογεννήτριες | |
|-------------------|---|
| Ευκαιρίες | Το 90% της μάζας των πρώτων υλών (χάλυβας, αλουμίνιο, χαλκός, χυτοσίδηρος και σκυρόδεμα) μπορεί να ανακυκλωθεί |
| | Οι κρίσιμες πρώτες ύλες (νεοδύμιο, πρρασεοδύμιο, βόριο, δυσπρόσιο και νιόβιο) θα μπορούσαν να καταστήσουν επικερδή την ανακύκλωση των γεννητριών μόνιμου μαγνήτη ανεμογεννητριών, ανάλογα με το μέλλον και τη συγκέντρωση |
| Προκλήσεις | Η υποδομή ανακύκλωσης για τα πτερύγια των στροβίλων τα οποία είναι κατασκευασμένα από ελαφριά υλικά όπως ανθρακονήματα, ίνες γυαλιού και σύνθετα υλικά βρίσκεται ακόμη υπό ανάπτυξη ενώ εκπονείται έρευνα και εφαρμογή |
| | Γίνεται υποκύκλωση ανθρακονημάτων, όπως χυτευμένες πλαστικές ευρωπαϊέτες και πολυμερές σκυρόδεμα, ενώ δοκιμάζονται άλλες κατασκευαστικές εφαρμογές όπως τα ηχομονωτικά φράγματα ή θερμομονωτικά υλικά |
| | Το τεράστιο μέγεθος των πτερυγίων μπορεί να κάνει το κόστος μεταφοράς απαγορευτικό για μεγάλες αποστάσεις σε εγκαταστάσεις ανακύκλωσης που βρίσκονται μακριά |

| Αποθήκευση ενέργειας | |
|-----------------------------|---|
| Ευκαιρίες | Όλα τα μέταλλα που χρησιμοποιούνται στις μπαταρίες μπορούν να ανακυκλωθούν. Το κοβάλτιο και το νικέλιο είναι αρκετά πολύτιμα και κάνουν την ανακύκλωση κερδοφόρα, ανάλογα με τα επίπεδα τιμών και τα ποσά που μπορούν να ανακτηθούν από τις μπαταρίες |
| | Η αυξημένη κυκλικότητα μπορεί να υποστηριχθεί μέσω αρθρωτού/τυποποιημένου σχεδιασμού για την προώθηση της ανακατασκευής ενώ βελτιώνει την πληροφορία σχετικά με τα υλικά υψηλού αντίκτυπου |
| Προκλήσεις | Υπάρχει μια ποικιλία διαφορετικών σχεδίων μπαταριών που απαιτούν συγκεκριμένες και διαφορετικές προσεγγίσεις logistics |
| | Η υποδομή για τη μεταφορά και την αποθήκευση του αυξανόμενου αριθμού απορριμμάτων μπαταριών είναι ανεπαρκής και πρέπει να δημιουργηθεί η αναγκαία υποδομή για να αντιμετωπιστεί η προβλεπόμενη μελλοντική υψηλή ποσότητα μπαταριών EoL |
| | Στην παρούσα φάση υπάρχει επίσης έλλειψη τεχνολογιών ανακύκλωσης μπαταριών καθώς επίσης και έλλειψη ικανότητας ανακύκλωσης μεγάλης κλίμακας στην Ευρώπη |
| | Η οικονομική απόδοση της ανακύκλωσης μπαταριών μπορεί να είναι δύσκολο να επιτευχθεί, λόγω των κυμαινόμενων τιμών των υλικών |
| | Τα μέτρα για τη μείωση των κινδύνων και η προϋπόθεση της ασφάλειας από κάποια «θερμική διαφυγή» κατά τη διάρκεια της εφοδιαστικής διαδικασίας ή της επανεπεξεργασίας είναι ακριβά |

3.3 Νομοθεσία για Διαχείριση Αποβλήτων ΑΠΕ

Σύμφωνα με την ΟΔΗΓΙΑ 2012/19/ΕΕ οι παραγωγοί των φωτοβολταϊκών, υποχρεούνται να συλλέγουν και να ανακυκλώνουν τα παλιά ή σπασμένα φωτοβολταϊκά. Μάλιστα η συγκεκριμένη οδηγία (η οποία θα έπρεπε να έχει ενσωματωθεί στα εθνικά δίκαια των κρατών – μελών μέχρι το 2014) αποσαφηνίζει τον όρο «παραγωγός» ώστε να μην υπάρχουν διαφωνίες για το ποιος έφερε την υποχρέωση να συλλέγει και να ανακυκλώνει.

Η συγκεκριμένη οδηγία αναφέρεται γενικά στα απόβλητα ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού (ΑΗΗΕ) κάνοντας ειδική μνεία στα φωτοβολταϊκά πάνελ στο επίπεδο 4 του Παραρτήματος Ι με τίτλο, ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΙΚΑ ΕΙΔΗ ΚΑΙ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΠΛΑΙΣΙΑ (Οδηγία 2012/19/ΕΕ).

Τα κράτη μέλη υποχρεώνονται από την εν λόγω οδηγία να θεσπίσουν τα αναγκαία μέτρα για να ελαχιστοποιείται η διάθεση των ΑΗΗΕ, δηλαδή των ποσοτήτων που δεν διαχωρίζονται από τα αστικά απόβλητα. Για τα απόβλητα ΑΗΗΕ επιδιώκεται να επιτευχθεί υψηλός βαθμός χωριστής συλλογής με προτεραιότητα στα απόβλητα εξοπλισμού ανταλλαγής θερμότητας τα οποία περιέχουν ουσίες επιβλαβείς για το όζον και τα φθοριούχα αέρια του θερμοκηπίου, στους λαμπτήρες φθορισμού που περιέχουν υδράργυρο και στα φωτοβολταϊκά πλαίσια.

Η Ε.Ε. δεν είχε δώσει στα κράτη μέλη σαφείς κατευθύνσεις για το σημαντικό ζήτημα της ανακύκλωσης αυτών των συσκευών. Παρόλα αυτά καταγράφεται ότι στην Ευρώπη το 2012, ο φορέας PV Cycle περισυνέλεξε και ανακύκλωσε 2.250 τόνους φωτοβολταϊκών (PVCycle, 2012).

Επιπρόσθετα η ΕΚΤΕΛΕΣΤΙΚΗ ΑΠΟΦΑΣΗ της Επιτροπής (ΕΕ) 2019/2193, θεσπίζει κανόνες για τον υπολογισμό και την επαλήθευση υποβολής στοιχείων ώστε να καθιερωθούν μορφότυπα για τα απόβλητα ΑΗΗΕ, συμπληρώνοντας την προηγούμενη οδηγία.

Η κάθε εθνική νομοθεσία μπορεί να ενσωματώσει και άλλες οδηγίες για να ρυθμιστεί η ορθή διαχείριση των εν λόγω αποβλήτων. Σύμφωνα με τους γαλλικούς κανονισμούς, απαιτείται από τους φορείς εκμετάλλευσης των αιολικών πάρκων –τόσο θαλάσσιων όσο και χερσαίων– να τα διαλύσουν μόλις σταματήσουν να λειτουργούν. Επίσης προβλέπονται 50.000 ευρώ για τη διαχείριση τουρμπίνας 2 MW ή κάτω από το συγκεκριμένο όριο και 10.000 ευρώ ανά επιπλέον MW.

Κεφάλαιο 4. Ευρωπαϊκή Εμπειρία Διαχείρισης Αποβλήτων ΑΠΕ

Η γερμανική αγορά αποτελεί μια ώριμη αγορά στον τομέα των φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων. Στο γερμανικό κράτος εισήχθησαν σχετικά νωρίς και τα προγράμματα υποστήριξης οικιακής χρήσης (δεκαετία του 1990), ενώ υπήρχε επιστημονική τεκμηρίωση της σκοπιμότητας των συνδεδεμένων συστημάτων στέγης με αποτέλεσμα να αναπτυχθεί το πρόγραμμα στήριξης 1000 Rooftop (Hoffmann, 2008). Το πρόγραμμα αυτό, στις αρχές της δεκαετίας 2000 κάλυψε 100000 στέγες, οδηγώντας στην ανανεώσιμη ενέργεια.

Η αποξήλωση πάνελ από τον παλιότερο σταθμό της Γερμανίας (εγκατάσταση το 1983 στο Pellworm με ισχύ 300 kWp) και η επαναξιοποίηση των υλικών - η οποία αναπτύχθηκε πιλοτικά - απέδειξε στην πράξη ότι είναι δυνατή η χρήση των δευτερογενών υλικών για την κατασκευή νέων φωτοβολταϊκών πλαισίων.

Η κατασκευή φωτοβολταϊκών από τέτοια υλικά είναι εξαιρετικής ποιότητας και μπορεί να ανακτηθεί, το 94 % της αρχικής ισχύος εξόδου του σταθμού κατά τους Bombach et al. και Schlenker et al. Στο ίδιο συμπέρασμα καταλήγουν και οι Ashfaq et al. από το υπολογιστικό μοντέλο που αξιολογεί την επίδοση του φωτοβολταϊκού το οποίο παράχθηκε από εναλλακτική διαχείριση σε σύγκριση με το πάνελ που κατασκευάζεται από τη γραμμή παραγωγής. Ωστόσο από τη μελέτη των Frisson et al. αποδεικνύεται ότι ο δείκτης της ενεργειακής αποπληρωμής του φωτοβολταϊκού πάνελ που είναι κατασκευασμένο από τη διαδικασία της ανακύκλωσης είναι 4 φορές μικρότερος από τον δείκτη ενεργειακής αποπληρωμής που παρουσιάζει το παραγόμενο από μη χρησιμοποιημένα υλικά, φωτοβολταϊκό.

Από την άλλη πλευρά η ανακύκλωση τέτοιων υλικών δεν αποτελεί μια βιώσιμη επιχειρηματικά πρακτική διότι ο όγκος των αποβλήτων ΑΠΕ που χρήζουν ορθής διαχείρισης είναι ακόμα μικρός. Σε αυτό το συμπέρασμα κατέληξε η ανάλυση κόστους οφέλους μιας τέτοιας επιχειρηματικής δραστηριότητας γι' αυτό και μέχρι τώρα η βιομηχανία οδηγούνταν σε προσωρινές λύσεις, για παράδειγμα στη συλλογή των πράσινων αποβλήτων με διακρατικές συμφωνίες και την συνδυαστική επεξεργασία τους σε μονάδες μεικτές με άλλων κατηγοριών απορρίμματα (Cucchiella et al.).

Επιπρόσθετα και η μελέτη των McDonald και Pearce υποστηρίζει ότι τα επενδυτικά πλάνα για ανακύκλωση αποβλήτων φωτοβολταϊκών πάρκων δεν είναι βιώσιμα, ωστόσο με τα κατάλληλα οικονομικά κίνητρα που θα δοθούν από τις αρχές ή με το

σχέδιο της διευρυμένης ευθύνης του παραγωγού μπορούν να καταστήσουν ένα ευνοϊκό πλαίσιο για την ανακύκλωση των εν λόγω υλικών στο μέλλον.

Η ορθή διαχείριση αλλά και η συλλογή και μεταφορά των υλικών ΑΠΕ που προορίζονται για ανακύκλωση ή η ανάπτυξη αυτοματοποιημένων τεχνικών για βέλτιστη κατεργασία αποτελούν μεγάλη πρόκληση η οποία πρέπει να αντιμετωπιστεί ορθολογικά στην εκπόνηση του επιχειρηματικού σχεδίου που θα διασφαλίσει την οικονομική βιωσιμότητα ενός τέτοιου εγχειρήματος στο μέλλον (Choi και Fthenakis).

Από την υφιστάμενη διαχείριση των αποβλήτων του ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού στην Ελλάδα επίσης προκύπτει η βαρύτητα και σημαντικότητα του κόστους του δικτύου αντίστροφης εφοδιαστικής ή του κόστους της μεταφοράς τους, παίζοντας καθοριστικό ρόλο στην επιτυχία της επιχειρησιακής διαδικασίας και ταυτόχρονα ρυθμιστικό ρόλο στο να διαμορφωθεί το τελικό κόστος της ανακύκλωσης του προϊόντος που αποσύρεται (Achillas et al.)

Η πιο διαδεδομένη διαδικασία ανακύκλωσης αποβλήτων φωτοβολταϊκών συστημάτων στην Ευρώπη συμβαίνει στον οργανισμό PVCYCLE. Ο συγκεκριμένος οργανισμός χρηματοδοτήθηκε και ιδρύθηκε με την πρωτοβουλία της φωτοβολταϊκής βιομηχανίας για να εφαρμοστεί μία ορθολογική διαχείριση και να αξιοποιηθούν τα προϊόντα που έχουν ολοκληρώσει τον κύκλο της ζωής τους. Η PVCYCLE διαθέτει σε όλα τα κράτη της Ευρώπης και στην Ελλάδα σημεία συλλογής των συγκεκριμένων αποβλήτων και για τις διαφορετικές τεχνολογίες αυτών, (με εξαίρεση αυτά της εταιρείας First Solar) για τα οποία ο οργανισμός φροντίζει να μεταφερθούν για κατεργασία στα συνεργαζόμενα κέντρα. Σε όλη αυτή την αλυσίδα ροής προϊόντων που δημιουργείται, οδηγό αποτελεί η βέλτιστη τεχνική και διαχείριση με τη βοήθεια της οποίας υποβιβάζεται το κόστος (pvcycle.org).

Η διαδικασία που ακολουθείται είναι εναρμονισμένη με τις ευρωπαϊκές οδηγίες που διέπουν τη διαχείριση των εν λόγω υλικών. Από τα στοιχεία που συνέλεξε η PVCYCLE η ποσότητα των φωτοβολταϊκών πάνελ που υπέστησαν κατεργασία κατά τα έτη 2010-2015 για ανάκτηση δευτερογενών υλικών εκτιμήθηκε σε 12.449 tn με 159 tn αποβλήτων και των δύο τεχνολογιών ήτοι πυριτίου και λεπτού υμενίου να προέρχονται από την Ελλάδα δηλαδή ποσοστό 1,3%. Οι χώρες που παράγουν μεγάλη ποσότητα ανακυκλώσιμων υλικών και συνεργάζονται με την PVCYCLE είναι η Γερμανία (7.241 tn), ακολουθούμενη από την Ιταλία και την Ισπανία με 1799 tn και 949 tn αντίστοιχα.

Τα πάνελ πυριτίου υπερέχουν σε ποσότητα (81,5%) στο σύνολο αυτών που έχουν κατεργαστεί σε σύγκριση με την ποσότητα των πάνελ χαλκού-ινδίου-σεληνίου (15,5%) με το υπόλοιπο ποσοστό να καλύπτεται από άλλες τεχνολογίες. Από τις μεθόδους επεξεργασίας που εφαρμόζονται στο οργανισμό, επιτυγχάνεται ανάκτηση 85% για τα πάνελ πυριτίου και 95% για τις υπόλοιπες τεχνολογίες πάνελ. Ενώ όλες οι βιομηχανίες των φωτοβολταϊκών προϊόντων δεσμεύονται για την ορθολογική βιώσιμη διαχείρισή τους, η PVCYCLE εκτιμά ότι μόνο το 60% στην ευρωπαϊκή αγορά έχει συμμορφωθεί με τις απαιτήσεις των οδηγιών. Κατά συνέπεια προκύπτει ότι υπάρχει και ένα 40% με παράδοση και αριστεία σε θέματα περιβάλλοντος και αποβλήτων που δεν έχουν ακόμα συμμορφωθεί.

Η εταιρεία ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΣΥΣΚΕΥΩΝ ΑΕ, η οποία αποτελεί εταιρεία εναλλακτικής διαχείρισης για απόβλητα ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού έχει εκπονήσει πλάνο ορθολογικής διαχείρισης φωτοβολταϊκών πάνελ το οποίο είναι σε άμεση συμφωνία με την ελληνική και την ευρωπαϊκή νομοθεσία και έχει εγκριθεί από τον ΕΟΑΝ. Το συγκεκριμένο πλάνο στοχεύει να δημιουργηθεί ένας μηχανισμός που θα υποστηρίξει την ορθολογική βιώσιμη διαχείριση των φωτοβολταϊκών αποβλήτων που θα παραχθούν στα προσεχή έτη από την αποσυναρμολόγηση πάνελ που θα έχουν ολοκληρώσει τον τριανταετή κύκλο ζωής τους. Στο εν λόγω επιχειρησιακό πλάνο για να επιτευχθούν οι στόχοι θα πρέπει να αξιοποιηθούν οι υφιστάμενες υποδομές, ωστόσο προβλέπεται να δημιουργηθούν νέες υποδομές αν χρειαστεί για να καλυφθούν οι ανάγκες ανακύκλωσης όλων των παραγόμενων φωτοβολταϊκών αποβλήτων από οικιακές και εμπορικές εγκαταστάσεις.

Στο πλαίσιο του προγράμματος «Επανασχεδιασμός και Ανακύκλωση Φ/Β Πινάκων, RE-PV» έχει δημιουργηθεί μια πρωτοπόρος για την ελληνική αγορά, σύμπραξη ιδιωτικών εταιρειών και ακαδημαϊκών τμημάτων η οποία επιδιώκει να δημιουργήσει εναλλακτικές επιχειρηματικές ευκαιρίες για τη βέλτιστη διαχείριση των φωτοβολταϊκών αποβλήτων. Μάλιστα η εκτίμηση των ποσοτήτων οι οποίες θα παραχθούν στο μέλλον ανά νομό είναι πολύ σημαντική γιατί έτσι μπορεί να γίνει μια ολιστική προσέγγιση για το αν επαρκούν οι μονάδες ανακύκλωσης της ελληνικής επικράτειας, να γίνει η αξιολόγηση των υπαρχουσών μονάδων ανακύκλωσης και αν πρέπει να αναζητηθούν νέα σημεία χωροθέτησης μονάδων.

Άλλη ελληνική εταιρεία ανακύκλωσης φωτοβολταϊκών συστημάτων ολοκλήρωσε ανακύκλωση για ελληνική εταιρεία ΑΠΕ, για πρώτη φορά στην ελληνική αγορά και η

ποσότητα που ανακυκλώθηκε ήταν ίση με 85 tn πάνελ λεπτού υμενίου που ολοκλήρωσαν τον κύκλο ζωής τους. Η συγκεκριμένη εταιρεία προκειμένου να προσδώσει ολιστικό χαρακτήρα στις υπηρεσίες της, επένδυσε και στην ανακύκλωση των πάνελ εκτός από την αδειοδότηση, μελέτη, προμήθεια και συντήρηση εξοπλισμού.

Η εναλλακτική διαχείριση φωτοβολταϊκών αποβλήτων είναι βαρύνουσα σημασίας διότι μόνο μετά την επίτευξη της ανακύκλωσης των αποβλήτων της συγκεκριμένης τεχνολογίας θα συνεχίσει να αποτελεί η ίδια μια πράσινη και βιώσιμη τεχνολογία.

Υπάρχουν δείγματα ευαισθητοποίησης της κοινωνίας ως προς το θέμα και όλο και περισσότεροι φορείς είτε πανεπιστημιακά ιδρύματα είτε εμπορικοί όμιλοι και επιχειρήσεις στρέφονται προς την κατεύθυνση της ανακύκλωσης, ωστόσο τα δείγματα αυτά θα πρέπει να πολλαπλασιαστούν ώστε να μην παραμένει κάποιος απλός καταναλωτής τέτοιων συστημάτων αλλά να επενδύει και να νοιάζεται για όλα τα στάδια που μεσολαβούν στον κύκλο της ζωής τους από την παραγωγή μέχρι την αποσυρμολόγηση και απόσυρση τους.

Όσον αφορά στις ανεμογεννήτριες, η αποξήλωση περιλαμβάνει τις ίδιες τις ανεμογεννήτριες, τους υποσταθμούς και τα ηλεκτρικά καλώδια, καθώς και την εκσκαφή των θεμελίων. Για αυτό το τελευταίο βήμα, ωστόσο, παραμένει μια εξαίρεση: ο νομοθέτης προβλέπει ότι εάν μια περιβαλλοντική μελέτη καταδείξει τον αρνητικό αντίκτυπο της λειτουργίας αποξήλωσης, ο χειριστής μπορεί να αφήσει μέρος του θεμελίου υπόγειο. Ωστόσο πρέπει να ανασκάψει ένα μέτρο κάτω από την επιφάνεια του εδάφους, ένα βάθος αυξημένο στα δύο μέτρα όταν πρόκειται για δασικές επιφάνειες.

Οι εξαιρέσεις αυτές, ουσιαστικά αφήνουν μια σημαντική ποσότητα σκυροδέματος στο υπόγειο, εμποδίζοντας έτσι την ανακύκλωση του μεγαλύτερου μέρους του πιο ρυπογόνου υλικού και πιθανόν να ενθαρρύνει κακόπιστες εταιρείες να παρακάμψουν αυτό το βήμα. Σύμφωνα με τον Fabien Bouglé,(2019) η μάζα του σκυροδέματος που απαιτείται για την κατασκευή μιας ανεμογεννήτριας κυμαίνεται μεταξύ των 157 τόνων εάν χρησιμοποιείται ελαφρύ σκυρόδεμα και 1.125 τόνων αν χρησιμοποιηθεί βαρύ σκυρόδεμα, στο οποίο προστίθεται η μάζα του σκραπ μεταλλικού σκελετού, που υπολογίζεται σε 50 τόνους. Εάν δεν καταστραφούν, αυτές οι ποσότητες θα αποτελέσουν μια μαζική και αμετάβλητη επίθεση στο περιβάλλον.

Ο κανονισμός του 2020 που ψηφίστηκε στη Γαλλία, θέτει επίσης στόχους προοδευτικής ανακύκλωσης μετά την αποσυναρμολόγηση. Έτσι, την 1η Ιανουαρίου 2022, το 90% της συνολικής μάζας των ανεμογεννητριών πρέπει να επαναχρησιμοποιηθεί ή να ανακυκλωθεί, ποσοστό που πέφτει στο 85% εάν η εκσκαφή των θεμελίων έχει υπαχθεί σε εξαίρεση. Το 2023 και το 2025, αντίστοιχα, το 45% και το 55% της συνολικής μάζας του ρότορα θα πρέπει να ανακυκλωθεί – κάτι που συνεπάγεται καλύτερη ανακυκλωσιμότητα των πτερυγίων. Ενώ το 2024 θα επηρεαστεί το 95% του συνολικού βάρους της ανεμογεννήτριας.

Οι φιλόδοξοι στόχοι της Γαλλίας φαντάζουν ήδη επιτεύξιμοι. Κατά την πρώτη αποσυναρμολόγηση ενός γαλλικού αιολικού πάρκου, στην Οντ το 2019, ανακοινώθηκε ότι εστάλη περισσότερο από το 96% των εξαρτημάτων σε σύστημα ανακύκλωσης. Η επανεπεξεργασία αυτών των υλικών είναι επίσης ενδιαφέρουσα για τους χειριστές των πάρκων γιατί τους επιτρέπει να καλύπτουν εν μέρει το κόστος αποσυναρμολόγησης.

Τα στοιχεία αυτά επιβεβαιώθηκαν από την εταιρεία Innovent, που λειτουργεί πολλά αιολικά πάρκα στη Γαλλία, τη Σουηδία, το Μαρόκο και τη Ναμίμπια. Η εν λόγω εταιρεία υπολόγισε ότι μόνο από το χάλυβα, είναι δυνατόν να ανακτηθούν περίπου 70.000 ευρώ κατά την αποσυναρμολόγηση μιας ανεμογεννήτριας. Σε αυτό μπορεί να προστεθεί ο χαλκός και το σκυρόδεμα με τα οποία υπερκαλύπτεται το κόστος. Παρόλα αυτά οι 1.000 τόνοι σκυροδέματος στο έδαφος παραμένουν πρόβλημα. Το τσιμέντο είναι μια οικολογική καταστροφή και η αφαίρεση της πλάκας μπορεί να είναι δύσκολη. Ενώ έχει αναπτυχθεί μια λύση για την κατασκευή τριποδικών ιστών που κατανέμουν πολύ καλύτερα τη μάζα της ανεμογεννήτριας στο έδαφος μειώνοντας το μέγεθος των θεμελίων από σκυρόδεμα κατά δέκα ενώ επιπλέον εξοικονομείται χάλυβας, οι ανεμογεννήτριες αυτού του τύπου αποτελούν τη μειονότητα των εγκαταστάσεων.

Από την άλλη πλευρά, κανένα υπεράκτιο αιολικό πάρκο δεν έχει αποσυναρμολογηθεί στη Γαλλία και μόνο τρία, μέτριου μεγέθους, αποτέλεσαν αντικείμενο μιας τέτοιας επιχείρησης στην Ευρώπη. Ένα στη Σουηδία, με πέντε ανεμογεννήτριες ισχύος 2 MW, αποσυναρμολογήθηκε επιτυχώς το 2016, ενώ άφησε μέρος των θεμελίων του στον βυθό της θάλασσας. Παρά το γεγονός ότι στη Γαλλία, έχουν θεσπιστεί ήδη προδιαγραφές αποξήλωσης τέτοιων πάρκων υπάρχουν μικρές διαφορές στην πράξη, με κάποιο από τα πάρκα (Fécamp) να αφαιρεί εντελώς τα θεμέλια, ενώ άλλο πάρκο (Courseulles-sur-Mer) να αφήνει εν μέρει τα θεμέλια του στον πυθμένα της θάλασσας. Ωστόσο το πεδίο παραμένει άγνωστο και υπάρχουν πολλές δυσκολίες

αποσυναρμολόγησης και ανακύκλωσης των ανεμογεννητριών στη θάλασσα, οι οποίες είναι πολύ μεγαλύτερες από τις επίγειες εγκαταστάσεις πέρα από το γεγονός ότι έχουν εγκατασταθεί σε δυσπρόσιτο περιβάλλον.

Από την άλλη πλευρά, τα πτερύγια παραμένουν η κύρια πρόκληση για την ανθεκτικότητα των ανεμογεννητριών. Αν και το μερίδιό τους στο συνολικό βάρος είναι σχετικά χαμηλό, θα μπορούσαν να αντιπροσωπεύουν 3.000 έως 15.000 τόνους ετήσιων απορριμμάτων επισημαίνει η Ademe της Γαλλίας από το έτος 2025. Αν και ο άνθρακας και το fiberglass είναι ανακυκλώσιμα χωριστά, στην περίπτωση των λεπίδων είναι ενσωματωμένα σε εποξειδική ή πολυεστερική ρητίνη. Η δυσκολία λοιπόν έγκειται στο να αφαιρεθεί αυτή τη ρητίνη, η οποία μετά από τη θερμοσκληρυνόμενη διαδικασία που έχει υποστεί είναι δύσκολο να αφαιρεθεί. Μέχρι τώρα, η λύση ήταν να ταφούν όλα αυτά τα υλικά. Γνωρίζοντας όμως ότι δεκάδες χιλιάδες λεπίδες πρώτης γενιάς θα πρέπει να ανακυκλωθούν τα επόμενα χρόνια, αναδεικνύεται ένας αναστρέψιμος τρόπος ρύπανσης του εδάφους. Προς το παρόν, υπάρχουν ορισμένες μη ικανοποιητικές λύσεις ανάκτησης όπως η επαναχρησιμοποίηση πτερυγίων ανεμογεννητριών σε έπιπλα ή η καύση τους σε τσιμεντοβιομηχανίες για παραγωγή ενέργειας. Η τελευταία διαδικασία, ωστόσο, εκπέμπει CO₂ κατά συνέπεια δημιουργεί καρκινογόνους καπνούς αερίων.

Στην παρούσα φάση, όλοι οι κατασκευαστές του κλάδου εργάζονται για την ανακυκλωσιμότητα των λεπίδων. Ένας από τους παγκόσμιους ηγέτες, η Siemens πιστεύει ότι έχει βρει τη λύση, μετά από τρία χρόνια έρευνας. Η συγκεκριμένη εταιρεία ανέπτυξε μια νέα ρητίνη που έχει την ιδιότητα να είναι αναστρέψιμη χωρίς να αλλοιώνει τα φυσικά χαρακτηριστικά της λεπίδας. Απλώς η ρητίνη βυθίζεται σε ένα ελαφρώς θερμαινόμενο διάλυμα οξέος για να διαχωριστεί από τον άνθρακα και το fiberglass. Η εταιρεία ανακοίνωσε ότι παρήγαγε τις πρώτες έξι λεπίδες τεχνολογίας Recyclable Blade στο εργοστάσιό της στη Δανία, που προορίζονται για το γερμανικό υπεράκτιο αιολικό πάρκο Kaskasi, το οποίο θα τεθεί σε λειτουργία το 2022. Αρκετές ευρωπαϊκές χώρες έχουν εκφράσει το ενδιαφέρον τους για την εν λόγω τεχνολογία.

Η φιλοδοξία της εταιρείας Siemens Gamesa είναι να κάνει όλες τις λεπίδες της πλήρως ανακυκλώσιμες το 2030 και μετά ολόκληρη την ανεμογεννήτρια το 2040. Ορισμένα στοιχεία που αντιπροσωπεύουν ένα μικρό ποσοστό του βάρους της ανεμογεννήτριας, εξακολουθούν να είναι δύσκολο να επεξεργαστούν, όπως η βαφή, το σύστημα προστασίας για τα πρόσθια άκρα των πτερυγίων των ανεμογεννητριών, τα οποία είναι κατασκευασμένα από πολυουρεθάνη, σύνθετες ενισχύσεις ή πλαστικά. Εκτός από τις

λεπίδες, η κύρια πρόκληση που απομένει είναι τόσο οικολογική όσο και πολιτική: η αντιμετώπιση των σπάνιων γαιών.

Οι σπάνιες γαίες υπάρχουν σε ανεμογεννήτριες άμεσης κίνησης με μόνιμους μαγνήτες. Το πλεονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι ότι μειώνει σημαντικά το βάρος της πλατφόρμας και το κόστος συντήρησης. Σύμφωνα με μια τεχνική γνωμάτευση της Ademe (2020), το 6,2% των γαλλικών χερσαίων ανεμογεννητριών χρησιμοποιούσε αυτή την τεχνολογία, δηλαδή 372 τόνοι μόνιμων μαγνητών που περιέχουν 122 τόνους νεοδύμιο και 17 τόνους δυσπρόσιο. Κατά μέσο όρο, χρειάζονται 638 κιλά μόνιμων μαγνητών ανά MW αιολικής ενέργειας, ή σχεδόν 2 τόνοι για μια ανεμογεννήτρια 3,6 MW.

Ωστόσο, η χρήση σπάνιων γαιών στις ανεμογεννήτριες ξηράς έχει σταματήσει. Παρά τα πλεονεκτήματα του μόνιμου μαγνήτη, το αυξανόμενο κόστος αυτών των υλικών το 2021, η παραγωγή των οποίων εξαρτάται κατά 87% από την Κίνα, έχουν αμβλύνει τη θλίψη των κατασκευαστών που πλέον προτιμούν εναλλακτικές ύλες. Μόνο η υπεράκτια αιολική ενέργεια εξακολουθεί να χρησιμοποιεί μαζικά αυτήν την τεχνολογία. Η έκθεση προβλέπει την ανάγκη 463 τόνων ετησίως στη Γαλλία σε περίπτωση που αναπτυχθούν 5,7 GW υπεράκτιων ανεμογεννητριών, αριθμός που θα μπορούσε να αναθεωρηθεί προς τα πάνω αν εγκατασταθούν τα περίπου πενήντα υπεράκτια αιολικά πάρκα που πρόκειται να εγκατασταθούν το 2050.

Η ανάπτυξη ενός τομέα ανακύκλωσης για σπάνιες γαίες γίνεται επομένως μια σημαντική πρόκληση, ειδικά καθώς η ανάγκη τους αυξάνεται καθώς η υπεράκτια αιολική ενέργεια επεκτείνεται. Επιπρόσθετα, σωστά επισημαίνεται η στρατηγική παράμετρος, το ανθρώπινο και περιβαλλοντικό κόστος της εξόρυξης αυτών των υλικών, η ατμοσφαιρική ρύπανση, η χρήση πολλών χημικών και η εξαιρετικά υψηλή κατανάλωση νερού.

Η ανακύκλωση των μόνιμων μαγνητών φαίνεται ότι είναι τεχνικά δυνατή και έχει συμβεί σε κάποιες πρωτότυπες εφαρμογές. Όμως, η αποσυναρμολόγηση των πρώτων υπεράκτιων ανεμογεννητριών θα πραγματοποιηθεί στην Ευρώπη σε λίγα χρόνια γύρω στο 2030, μια διαπίστωση που συμμερίζεται και η Ademe, η οποία επισημαίνει στην τεχνική έκθεσή της την έλλειψη συγκεντρωμένων κοιτασμάτων βιομηχανικού μεγέθους διαθέσιμων επί του παρόντος και τουλάχιστον τις επόμενες δύο δεκαετίες,

γεγονός που θα επέτρεπε να προβλεφθεί μια οικονομική ανάπτυξη υποδομών ανακύκλωσης.

Η Γαλλία στηρίζει την πρωτοβουλία 3R, Reduce Reuse Recycle με την οποία καθίσταται δυνατός ο εντοπισμός των προβλημάτων που συνδέονται με την επαναχρησιμοποίηση σπάνιων γαιών. Οι τεχνολογίες για την ανακύκλωση υπάρχουν, αλλά τώρα πρέπει να προχωρήσει και να γενικευτεί η συλλογή ενώ παράλληλα θα πρέπει να οργανωθούν σε ευρωπαϊκό επίπεδο τα μέσα για τον περιορισμό των εξαγωγών αυτού του τύπου των απορριμμάτων.

Στόχος της εν λόγω πρωτοβουλίας είναι να δομηθεί αυτός ο τομέας που βρίσκεται ακόμη σε αρχικό στάδιο, για να προετοιμαστεί η υλοποίηση της συστηματικής ανακύκλωσης μόνιμων μαγνητών.

Εάν η ανακύκλωση των ανεμογεννητριών στη Γαλλία είναι ξεκάθαρη στην ατζέντα των βιομηχάνων και των πολιτικών, θα εξαλειφθούν ορισμένα εμπόδια για να διασφαλιστεί η περιβαλλοντική ασφάλεια της εγκατάστασής τους. Όσον αφορά τον χάλυβα και το σκυρόδεμα, η πλέον υποχρεωτική ανάκτησή τους έχει οικονομικό ενδιαφέρον για τους φορείς εκμετάλλευσης και επωφελείται από σταθερά καθιερωμένα κανάλια ανακύκλωσης. Αυτή είναι μια παρήγορη προοπτική υπό την προϋπόθεση ότι η διαχείριση εξαιρέσεων δεν θα γίνει πηγή κακής χρήσης και διάφορων καταστρατηγήσεων. Ωστόσο παραμένουν τα προβλήματα των λεπίδων και των σπάνιων γαιών για τα οποία θα πρέπει να βρεθεί η λύση. Το πρώτο φαντάζει να έχει αίσιο τέλος μέχρι το τέλος της δεκαετίας, ενώ το δεύτερο έχει ακόμα δουλειά αλλά η συνειδητοποίηση υπάρχει.

Τώρα όσον αφορά στην Ελλάδα, οι φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις άρχισαν να εγκαθίστανται μαζικά από το 2007, κατά συνέπεια ένας σημαντικός όγκος τέτοιων συστημάτων που θα πρέπει να τύχουν κατάλληλης διαχείρισης και ανακύκλωσης θα δημιουργηθεί γύρω στο 2030 (ΟΕΑ, 2020). Γι' αυτό και θα ήταν χρήσιμο να δημιουργηθεί ένα σύστημα ανακύκλωσης για τα φωτοβολταϊκά πάνελ.

Παρότι οι αιολικές εγκαταστάσεις εγκαταστάθηκαν νωρίτερα στο πεδίο, ούτε για αυτές έχει δημιουργηθεί κάποιο σύστημα ανακύκλωσης. Οι εν λόγω εγκαταστάσεις πιθανότατα θα πρέπει να αντιμετωπιστούν ως ηλεκτρικές μηχανές άρα θα πάνε μαζί με τα ηλεκτρικά απόβλητα. (ΟΕΑ, 2020).

Αυτή τη στιγμή στην Ελλάδα γίνονται κάποια βήματα για την αντιμετώπιση της πρόκλησης της διαχείρισης και ανακύκλωσης των αποβλήτων ΑΠΕ, ωστόσο εντοπίζονται σημαντικές καθυστερήσεις. Από την ευρωπαϊκή οδηγία αλλά και με πρωτοβουλία της Οικολογικής εταιρείας Ανακύκλωσης διαμορφώθηκε το πλαίσιο για την ανακύκλωση των φωτοβολταϊκών με σύστημα εναλλακτικής διαχείρισης. Συγκεκριμένα έχουν δημιουργηθεί δύο συστήματα ανακύκλωσης ηλεκτρικών συσκευών, από τα οποία το ένα αναλαμβάνει την ανακύκλωση των φωτοβολταϊκών πάνελ. Μάλιστα το κόστος ανέρχεται σε 300 ευρώ ανά τόνο και βαρύνει τις εταιρείες που εισάγουν στην αγορά τα φωτοβολταϊκά πάνελ (ΕΟΑν). Το δεύτερο σύστημα ανακύκλωσης ΑΗΗΕ είναι μεγαλύτερο και θα αρχίσει κι αυτό να υποδέχεται εταιρείες φωτοβολταϊκών συσκευών.

Το σημαντικό ζήτημα που ανακύπτει σχετικά με την ανακύκλωση είναι ποιος θα πρέπει να επιβαρυνθεί το κόστος της ανακύκλωσης εφόσον δεν υπήρχε μέχρι πρότινος τέλος.

Αν για παράδειγμα αποφασιστεί να πληρώσουν το κόστος οι εταιρείες που τα εισήγαγαν, κάποιες από αυτές δεν υπάρχουν πια. Αν αποφασιστεί να επωμιστεί το κόστος ο τελικός χρήστης ο οποίος έχει και το κέρδος, έρχεται σε αντίθεση με την οδηγία της ΕΕ η οποία λέει ότι δεν πρέπει να επιβαρυνθεί ο οικιακός χρήστης.

Στο σημείο αυτό γίνεται κατανοητό ότι θα πρέπει να δημιουργηθεί ένα αποθεματικό το οποίο θα περιέχει τα κονδύλια που θα χρησιμοποιηθούν στην οργάνωση της ανακύκλωσης των συγκεκριμένων ΑΗΗΕ. Στον κανονισμό του ΕΟΑΝ αναφέρεται ότι το αποθεματικό δεν πρέπει να ξεπεράσει το 30% του ετήσιου κόστους. Όμως, σχετικά με τις συσκευές ΑΠΕ η ιδιομορφία είναι ότι ενώ στην παρούσα δεν υπάρχει καθόλου ανακυκλώσιμο υλικό, στο άμεσο και κοντινό μέλλον θα υπάρξει μεγάλη ανάγκη διαχείρισης και ανακύκλωσης τέτοιων συσκευών ΑΠΕ.

Μάλιστα σε ορισμένες πρώιμες εγκαταστάσεις ανεμογεννητριών έχουν εγκαταλειφθεί τα κουφάρια των συσκευών είτε στον αέρα είτε βρίσκονται παρατημένα στη γη. Το στοιχείο της σωστής διαχείρισης και της ανακύκλωσης των συσσωρευμένων συστημάτων ΑΠΕ θα πρέπει να οργανωθεί σωστά για να κερδηθεί.

Κεφάλαιο 5. Εφαρμογές σε ομάδες έργων ΑΠΕ

5.1 Φωτοβολταϊκά

Σχεδόν όλη η βιβλιογραφία σχετικά με τις επιπτώσεις των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας περιορίζεται σε δραστηριότητες εγκατάστασης και λειτουργίας, ή ακόμα και στη διάλυση και δεν αντιμετωπίζει τις επιπτώσεις που δημιουργούνται κατά την εξόρυξη και την επεξεργασία των υλικών που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή αυτών των κατασκευών, καθώς και τη διαχείρισή τους στο τέλος του κύκλου ζωής τους (Εικόνα 5). Οι κατασκευαστές γενικά εγγυώνται τη λειτουργία των ηλιακών πλαισίων ή πάνελ για 25 έως 30 χρόνια, με απώλεια παραγωγής περίπου 0,5% ετησίως.



Εικόνα 5 Φωτοβολταϊκά πάνελ στο τέλος της ζωής τους (IPENA, 2016)

Η ηλιακή βιομηχανία, ενθαρρυνόμενη από τους στόχους που ορίζονται στις ευρωπαϊκές οδηγίες για τον πολυετή προγραμματισμό ενέργειας, γνώρισε και γνωρίζει σημαντική ανάπτυξη στην Ευρώπη εν γένει. Οι χιλιάδες τόνοι φωτοβολταϊκών πλαισίων που λειτουργούσαν στην επικράτεια στο τέλος του 2017 αναμένεται να τριπλασιαστούν το 2023.

Προς το παρόν, τα φωτοβολταϊκά απόβλητα προέρχονται κυρίως από κατασκευαστικά ελαττώματα και θραύση που προκαλούνται κατά τη μεταφορά και εγκατάσταση των

πάνελ τα οποία αποστέλλονται στον τομέα επεξεργασίας απορριμμάτων ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού. Όμως παρότι η ποσότητα των απορριμμάτων παραμένει μέτρια, θα αυξηθεί ραγδαία λόγω της επιτάχυνσης της ανάπτυξης των φωτοβολταϊκών πάνελ από το 2005. Πράγματι, η ποσότητα των ηλιακών συλλεκτών που φτάνουν στο τέλος της ζωής τους διπλασιάζεται κάθε χρόνο στην Ευρώπη ενώ η πρόβλεψη για το 2020 ήταν 35.000 τόνοι φωτοβολταϊκών απορριμμάτων (PvCycle). Σε παγκόσμιο επίπεδο, τουλάχιστον 60 εκατομμύρια τόνοι χρησιμοποιημένων φωτοβολταϊκών πλαισίων αναμένονται σωρευτικά μέχρι το 2050, σύμφωνα με τον Διεθνή Οργανισμό Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Irena, 2016).

Το μοντέλο της κυκλικής οικονομίας δίνει ευκαιρίες για δημιουργία αξίας σε κάθε τμήμα της αλυσίδας των φωτοβολταϊκών συν του σταδίου του τέλους της ζωής του. Οι ευκαιρίες σχετίζονται με μειώσεις στη χρήση υλικών, επιλογές για επισκευή, επαναχρησιμοποίηση και ανακύκλωση με ζητήματα επεξεργασίας απορριμμάτων Φ/Β πάνελ.

Στο πλαίσιο της κυκλικής οικονομίας, και στα φωτοβολταϊκά πάνελ εφαρμόζονται οι κλασικές αρχές μείωση, επαναχρησιμοποίηση, ανακύκλωση των απορριμμάτων. Η προτιμώμενη επιλογή μεταξύ αυτών είναι η μείωση του υλικού στα Φ/Β πάνελ και συνεπώς η αύξηση της απόδοσης. Η ισχυρή ανάπτυξη της αγοράς, η σπανιότητα πρώτων υλών και η καθοδική πίεση στις τιμές των φωτοβολταϊκών πάνελ οδηγούν σε πιο αποτελεσματική μαζική παραγωγή, μειωμένη χρήση υλικών, αντικαταστάσεις υλικών και νέες, υψηλότερης απόδοσης τεχνολογίες. Αυτό λειτουργεί για τη μείωση της χρήσης υλικών ανά μονάδα παραγωγής. Ακολουθεί η επιλογή επαναχρησιμοποίησης η οποία περιλαμβάνει διαφορετικούς τρόπους επισκευής και επαναχρησιμοποίησης. Η ανακύκλωση είναι η λιγότερο προτιμώμενη επιλογή (εκτός από την απόρριψη) και πραγματοποιείται μόνο αφού εξαντληθούν οι δύο πρώτες επιλογές. Προβλέπει την επεξεργασία των φωτοβολταϊκών πάνελ και μπορεί να εξοικονομήσει πρώτες ύλες για την κατασκευή νέων φωτοβολταϊκών πάνελ ή άλλων προϊόντων.

5.1.1 Διάκριση στην ανακύκλωση των φωτοβολταϊκών πάνελ

Οι τύποι και τα μεγέθη των εγκατεστημένων φωτοβολταϊκών συστημάτων έχουν σημαντικές επιπτώσεις στη μελλοντική διαχείριση των απορριμμάτων. Για παράδειγμα, ο πολλαπλασιασμός των μικρών φωτοβολταϊκών συστημάτων που

βρίσκονται εγκατεστημένα σε ταράτσες και παρουσιάζουν μεγάλη διασπορά μπορεί να προσθέσει σημαντικό κόστος στην αποσυναρμολόγηση, τη συλλογή και τη μεταφορά αποβλήτων των εγκαταστάσεων φωτοβολταϊκών πάνελ, μικρής κλίμακας. Αντίθετα, η διαχείριση απορριμμάτων για εφαρμογές φωτοβολταϊκών μεγάλης κλίμακας είναι ευκολότερη από υλικοτεχνική άποψη, όπως έχουν αναδείξει οι επιχειρησιακές εφαρμογές χωρών της Ευρώπης (ADEME, 2016).

Για αυτό, συνήθως διακρίνονται δύο διαφορετικά σενάρια για τη συλλογή Φ/Β πάνελ ανάλογα με το μέγεθος και τη γεωγραφική θέση:

- Μεγάλης κλίμακας (> 100 κιλοβάτ – kW): είναι συνήθως τοποθετημένα στο έδαφος, συντηρούνται τακτικά και παρακολουθούνται. Τα πάνελ τοποθετούνται σε ράφια από αλουμίνιο ή χάλυβα με βάσεις από σκυρόδεμα. Το ηλεκτρικό σύστημα βασίζεται σε στοιχειοσειρά ή κεντρικούς μετατροπείς με σύνδεση στο δίκτυο. Σε ορισμένες περιπτώσεις, αποτελούν ακόμη και ένα σύστημα αποθήκευσης ενέργειας, το οποίο μπορεί να βασίζεται σε μπαταρίες ιόντων λιθίου, μπαταρίες μολύβδου-οξέος ή άλλες τεχνολογίες.

Για αυτές τις μεγάλες εγκαταστάσεις, ο ανταγωνισμός μεταξύ των φορέων παροπλισμού οδηγεί σε υψηλή απόδοση κόστους.

- Οικιακό σύστημα (< 500 W), μικρή στέγη (< 5 kW) και σύστημα μεγάλης οροφής (> 5 kW).

Η αποσυναρμολόγηση, η συσκευασία, η μεταφορά και η ανακύκλωση μπορούν εύκολα να πραγματοποιηθούν για μέρη ή για ολόκληρο το σύστημα της εγκατάστασης. Οι υπηρεσίες αποσυναρμολόγησης και παραλαβής για μεταφορά στις εγκαταστάσεις ανακύκλωσης ορίζονται συνήθως κατά τη διάρκεια της διαδικασίας υποβολής προσφορών από τους εργολάβους, ενώ επιβλέπονται και εκτελούνται από ειδικευμένους εργαζόμενους. Οι διαγωνιστικές διαδικασίες μπορεί να περιλαμβάνουν ολόκληρη την αποξήλωση της εγκατάστασης ή τμημάτων της ανάλογα με την προβλεπόμενη χρήση της περιοχής στη συνέχεια.

Επιπλέον, λόγω του ότι σε τέτοιες περιπτώσεις εφαρμόζονται σχετικά υψηλά πρότυπα ποιότητας, τα εξαρτήματα της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης αποθηκεύονται χωριστά: πίνακες, καλώδια, ηλεκτρονικά (inverters, ελεγκτές φόρτισης, μετασχηματιστές, ηλεκτρονικά συστήματα παρακολούθησης), μέταλλα (αλουμίνιο, χάλυβας), τυπικά κτίρια και απόβλητα κατεδάφισης κατασκευών. Οι ποσότητες των διαφόρων

αποβλήτων είναι σχετικά υψηλή και μπορούν εύκολα να συλλεχθούν χωριστά με λογικό κόστος για μεταφορά σε εξειδικευμένους χώρους ανακύκλωσης ή χώρους υγειονομικής ταφής (Brellinger, 2014 ; Fthenakis, 2000). Ανάλογα με τους τοπικούς κανονισμούς, ορισμένα εξαρτήματα — συνήθως ορισμένες μπαταρίες ή μετασχηματιστές ισχύος — μπορεί να θεωρηθούν επικίνδυνα ή τοξικά απόβλητα.

Το κόστος αποσυναρμολόγησης των μικρότερων εγκαταστάσεων (5-100 kW) εξαρτάται από τον τύπο του φωτοβολταϊκού συστήματος (εδάφους, στέγης) και την τοποθεσία. Η αποσυναρμολόγηση μικρών φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων μπορεί να απαιτεί ειδικευμένους εργάτες όπως μηχανικούς και ηλεκτρολόγους. Στα μεμονωμένα πάνελ, ή στα μικρά οικιακά συστήματα με ένα πάνελ (< 500 W) ή σε άλλα μικρά συστήματα (< 5 kW) ενδέχεται να επιστραφούν με τις συμβατικές τοπικές υπηρεσίες μεταφοράς ή παραλαβής. Σε αυτές τις περιπτώσεις, το κόστος logistics μπορεί να κυριαρχήσει στο συνολικό κόστος των συστημάτων ανάκτησης και ανακύκλωσης. Τα διάφορα απόβλητα συνήθως αποστέλλονται σε χώρους ανακύκλωσης ή χώρους υγειονομικής ταφής ανάλογα με τους τοπικούς κανονισμούς και την παρουσία εξειδικευμένων εταιρειών επεξεργασίας απορριμμάτων.

Η μελέτη REmap της IRENA (IRENA, 2016a) προβλέπει ότι η εγκατάσταση σε στέγες με μεγέθη συστήματος λίγων κιλοβάτ μέχρι την περιοχή των μεγαβάτ θα είναι σημαντική έως το 2030 με εγκατεστημένα 580 GW. Ωστόσο, εφαρμογές μεγαλύτερης κλίμακας χρησιμότητας (κυρίως επίγειες) θα αποτελέσουν μεγαλύτερο μερίδιο της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος στα 1.180 GW.

Κατά συνέπεια, το κόστος της εφοδιαστικής αλυσίδας μπορεί να γίνει καθοριστικό σε συστήματα ανάκτησης φωτοβολταϊκών πάνελ σε απομακρυσμένες περιοχές όπως στα νησιά ή στις αγροτικές περιοχές. Με βάση το κόστος της αποσυναρμολογημένης φωτοβολταϊκής γεννήτριας στο νησί Pellworm στη θάλασσα της Βόρειας Γερμανίας, το κόστος για τη μεταφορά πλοίων και φορτηγών μπορεί να είναι τουλάχιστον τρεις έως πέντε φορές υψηλότερο από ό,τι στις εγκαταστάσεις της ηπειρωτικής χώρας (UN, Διάσκεψη των Ηνωμένων Εθνών για το Εμπόριο και την Ανάπτυξη, 2014). Η παρουσία μονοπωλιακών δομών (στο σύστημα logistics) μπορεί να είναι ένας πρόσθετος παράγοντας κόστους δεδομένης της γενικής παρατήρησης ότι ο ανταγωνισμός μπορεί να μειώσει τις τιμές.

Η ζημιά σε φωτοβολταϊκά πάνελ θα πρέπει να αποφεύγεται κατά την αποσυναρμολόγηση, τη μεταφορά και την αποθήκευση για να υποστηρίζεται η επεξεργασία των απορριμμάτων με τις καλύτερες διαθέσιμες τεχνολογίες και τα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα. Επίσης τα καλώδια, τα κουτιά κυκλώματος και τα πλαίσια δεν πρέπει να αφαιρούνται κατά την αποσυναρμολόγηση. Αυτά μπορεί να απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή για τη δευτερεύουσα υλική τους αξία και για να είναι σύμφωνα με τις τοπικές νομικές απαιτήσεις (Wambach et al., 2009).

5.2 Ανεμογεννήτριες

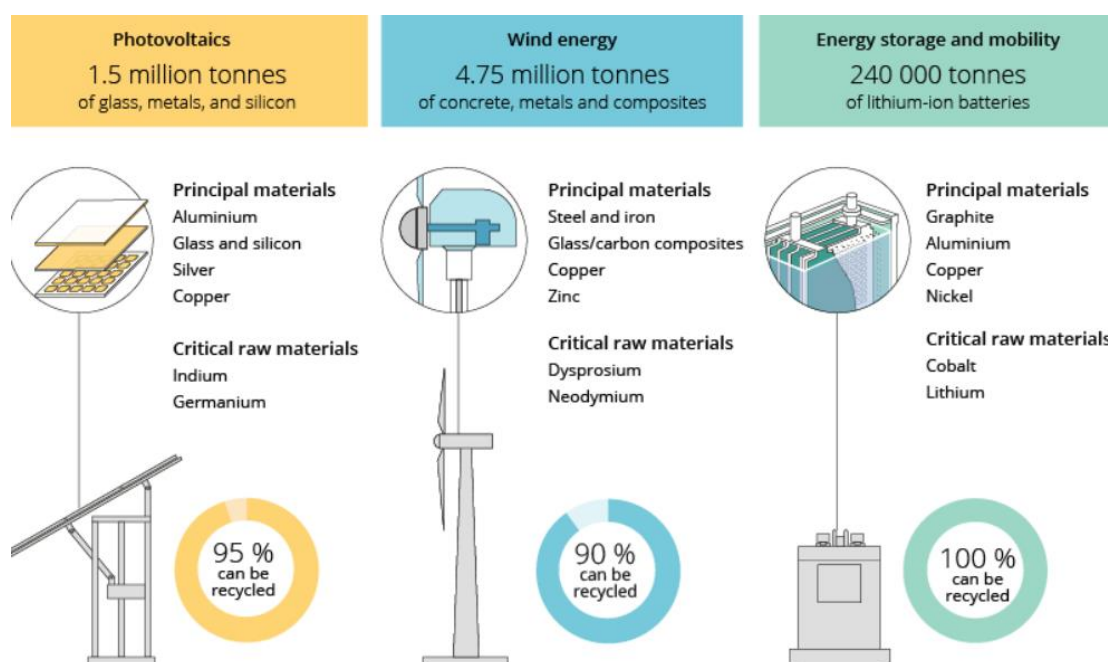
Όσον αφορά τις ανεμογεννήτριες και τη διαχείριση τους στο τέλος της ζωής τους (Εικόνα 6), για να γίνει κατανοητό τι διακυβεύεται, πρέπει πρώτα να εξεταστεί από τι αποτελείται μια ανεμογεννήτρια. Μια ανεμογεννήτρια με μέση ισχύ 3,6 MW ζυγίζει περίπου 1.500 τόνους. Η μάζα του μηχανήματος κατανέμεται ουσιαστικά μεταξύ των θεμελίων από σκυρόδεμα (περίπου 1.000 τόνοι) και του ιστού από χάλυβα ή/και σκυρόδεμα (450 τόνοι). Τα δύο υλικά αποτελούν τη σάρκα και τα οστά της ανεμογεννήτριας είναι από τα πιο ρυπογόνα στον κόσμο. Το καθένα αντιπροσωπεύει περίπου το 7% των παγκόσμιων εκπομπών CO₂ (υπολογίζοντας την παραγωγή τσιμέντου σε σκυρόδεμα). Το θετικό ωστόσο είναι πως αυτά τα υλικά είναι πολύ εύκολο να ανακυκλωθούν. Έτσι, ο χάλυβας είναι πλήρως και άπειρα ανακυκλώσιμος, ενώ το σκυρόδεμα μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί με τη μορφή αδρανών ή στην παραγωγή νέου σκυροδέματος.



Εικόνα 6 Ανεμογεννήτριες στο τέλος της ζωής τους (windeurope.org)

Συγκεκριμένα στις ανεμογεννήτριες μπορεί να ανακυκλωθεί το 90% των πρώτων υλών όπως ο σίδηρος, ο χάλυβας, ο χαλκός, το αλουμίνιο και το σκυρόδεμα. Για να γίνει η διαδικασία αποτελεσματική περιβαλλοντικά, οι πρώτες ύλες που πρέπει να ανακτηθούν, είναι το νεοδύμιο, το πρασεοδύμιο, το βόριο, το δυσπρόσιο και το νιόβιο. Σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Περιβάλλοντος, το αρνητικό σημείο της διαδικασίας είναι ότι η υποδομή ανακύκλωσης για τις λεπίδες των στροβίλων οι οποίες είναι κατασκευασμένες από ίνες άνθρακα, γυαλιού ή σύνθετα υλικά, βρίσκεται ακόμη υπό ανάπτυξη. Επιπλέον, το τεράστιο μέγεθος των πτερυγίων μπορεί να κάνει το κόστος μεταφοράς απαγορευτικό για ανακύκλωση σε εγκαταστάσεις που βρίσκονται πολύ μακριά (EEA, 2021).

Στην Εικόνα 7 απεικονίζονται ορισμένες από τις βασικές ευκαιρίες της κυκλικής οικονομίας για τις πρώτες ύλες των ΑΠΕ.

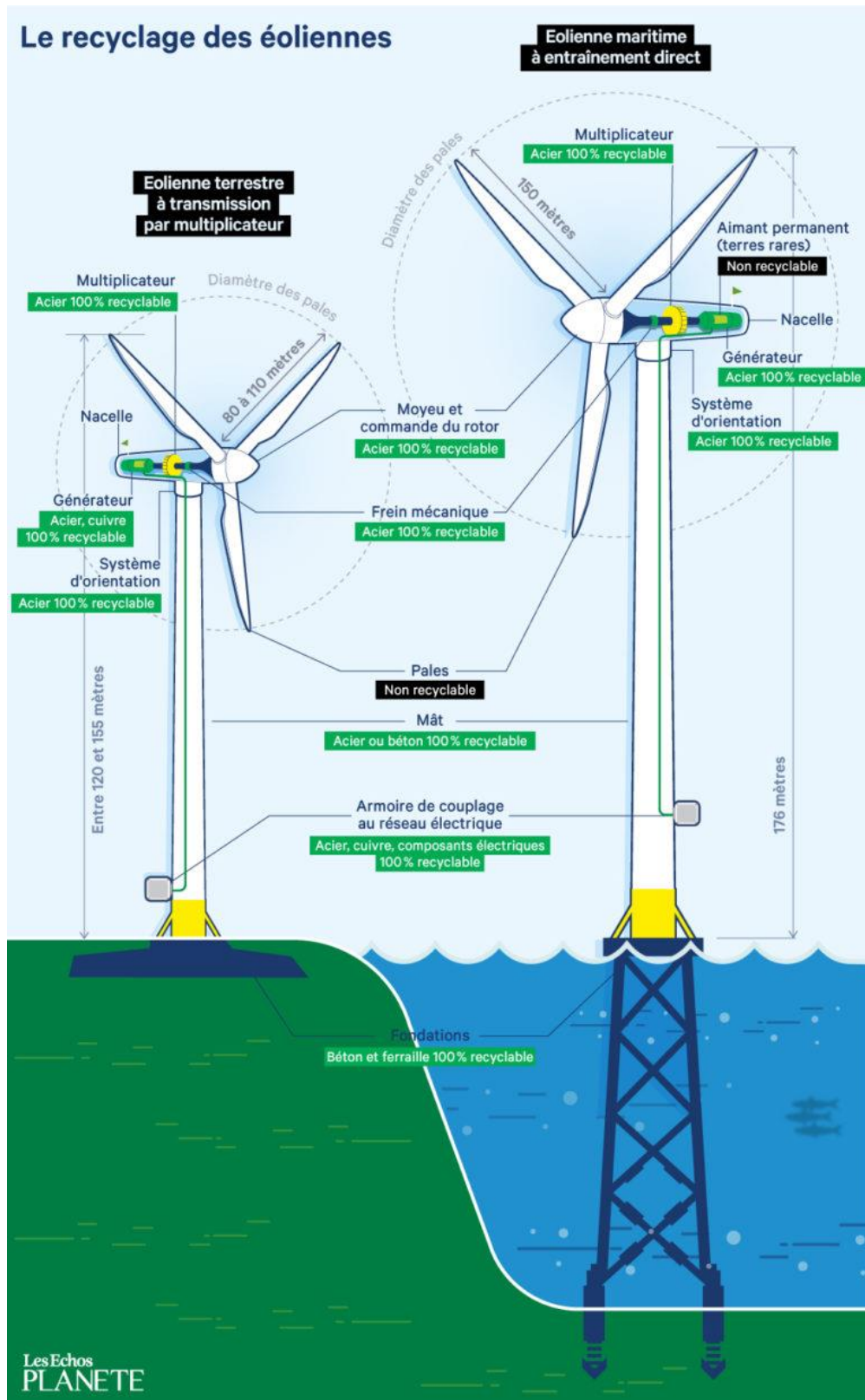


Εικόνα 7 Ανάκτηση υλικών που προκύπτουν ετησίως από τον τομέα ΑΠΕ ως το 2030 (EEA, 2021)

Στα συστήματα που αποθηκεύουν ενέργεια, όπως οι μπαταρίες, όλα τα μέταλλα που χρησιμοποιούνται δηλαδή το κοβάλτιο ή το νικέλιο μπορούν να ανακυκλωθούν. Το κοβάλτιο και το νικέλιο αποτελούν πολύτιμες πρώτες ύλες και υπάρχει μεγάλη δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης.

Όπως εκτιμά ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος, σε ευρωπαϊκό επίπεδο, οι υποδομές για τη διαχείριση του αυξανόμενου αριθμού απορριμμάτων μπαταριών είναι

ελλιπής. Γι' αυτό είναι σημαντικό να ενισχυθεί το δίκτυο ανακύκλωσης για τις εν λόγω προβλεπόμενες μελλοντικές ποσότητες. Στην Εικόνα 8 παρουσιάζονται τα επιμέρους υλικά μιας ανεμογεννήτριας και σημειώνεται το ποσοστό ανακύκλωσης τους.



Εικόνα 8 Ανακύκλωση των αιολικών συστημάτων (Echos Planete, 2021)

Σύμφωνα με την Ademe, μια ανεμογεννήτρια –τόσο θαλάσσια όσο και χερσαία– είναι περισσότερο από 90% ανακυκλώσιμη, αφού τα κύρια υλικά από τα οποία κατασκευάζεται ήδη επεξεργάζονται σε σταθερά εδραιωμένους τομείς. Υπολογίστηκε το 2019 ότι το 40% του χάλυβα που παράγεται στη Γαλλία προέρχεται από την ανακύκλωση ανακτημένου σκραπ. Όσον αφορά το σκυρόδεμα, ανακυκλώνεται και επαναχρησιμοποιείται σε ποσοστό 78% στην ίδια χώρα.

Τα άλλα υλικά που υπάρχουν στην ανεμογεννήτρια συγκεντρώνονται στα δύο τελευταία μέρη της μηχανής: τον ρότορα που αποτελείται από τον κυκλικό δίσκο και τα πτερύγια, καθώς και τον αυλό όπου λαμβάνει χώρα η ηλεκτρομηχανική μετατροπή του ανέμου σε ηλεκτρική ενέργεια. Εάν ο κυκλικός δίσκος είναι κατασκευασμένος από ανακυκλώσιμο χυτοσίδηρο, τα πτερύγια της ανεμογεννήτριας είναι κατασκευασμένα από σύνθετα υλικά (υαλοβάμβακα, άνθρακα, ρητίνη) και ζυγίζουν από 6 έως 8% του συνολικού βάρους της. Τέλος, το κάλυμμα είναι κατασκευασμένο από ορισμένα βασικά και ανακυκλώσιμα υλικά, όπως χάλυβα, χαλκό, ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά υλικά.

Ωστόσο δεν χρησιμοποιούν όλες οι ανεμογεννήτριες την ίδια τεχνολογία. Οι περισσότερες εργάζονται με εναλλάκτες πολλαπλασιαστή, οι οποίοι δεν περιέχουν ιδιαίτερα δύσκολα υλικά για επεξεργασία, αλλά άλλοι χρησιμοποιούν τεχνική άμεσης μετάδοσης κίνησης με μόνιμους μαγνήτες, οι οποίοι περιέχουν σπάνιες γαίες, νεοδύμιο και δυσπρόσιο, τα οποία μπορούν πιθανότατα να χρησιμοποιηθούν σε μελλοντικές υπεράκτιες ανεμογεννήτριες. Αυτοί οι μόνιμοι μαγνήτες και οι λεπίδες είναι τα δύο πιο δύσκολα ανακυκλώσιμα στοιχεία σήμερα, ενώ αυστηροποιείται η υποχρέωση αποσυναρμολόγησης και επαναχρησιμοποίησης των υλικών.

Κεφάλαιο 6. Απόβλητα

6.1 Είδος Αποβλήτων

Τα υλικά απόβλητα που προκύπτουν από την ανακύκλωση των φωτοβολταϊκών πάνελ εξαρτώνται κάθε φορά από την τεχνολογία του φωτοβολταϊκού η οποία καθορίζει και τη διαδικασία της ανακύκλωσης. Για τούτο παρακάτω θα εξεταστούν οι τεχνικές που ακολουθούνται για την ανακύκλωση των εν λόγω τεχνολογιών.

Η ανακύκλωση των φωτοβολταϊκών πλαισίων τα οποία έχουν ολοκληρώσει τον κύκλο της ζωής τους διακρίνεται στα τρία παρακάτω επιμέρους στάδια:

- Στάδιο της αποκόλλησης,
- Στάδιο του διαχωρισμού
- Στάδιο της εξαγωγής / διύλισης

Αυτά είναι τα στάδια που έχουν προταθεί από τους ερευνητικούς φορείς τα οποία μάλιστα εφαρμόζονται στην πράξη από τη φωτοβολταϊκή βιομηχανία (Tao & Yu, 2015). Ακόμη όμως και αυτή η εφαρμογή συναντά διαρκώς προκλήσεις που πρέπει να ξεπεραστούν και έχουν να κάνουν με την αποτελεσματικότητα ή την απλοποίηση της πολυπλοκότητας των διαδικασιών, την ενεργειακή απαίτηση ή το οικονομικό κόστος κάθε διαδικασίας, την επιλογή των χημικών ουσιών που θα χρησιμοποιηθούν και την περιβαλλοντική επιβάρυνση που αυτές θα δημιουργήσουν.

Μία ακόμα σημαντική υπέρβαση που πρέπει να επιτευχθεί είναι η κατασκευαστική σχεδίαση και δομή των φωτοβολταϊκών πάνελ η οποία θα πρέπει να εκτελείται με οδηγό την ταχεία αποσυναρμολόγηση έτσι ώστε να απλοποιηθεί η διαδικασία της ανακύκλωσης και της επαναχρησιμοποίησης των συστατικών στοιχείων.

Για παράδειγμα η ανακύκλωση των φωτοβολταϊκών λεπτού υμενίου είναι ιδιαίτερος ενδιαφέρουσα διότι επιφέρει υψηλή κερδοφορία από την εκμετάλλευση των συστατικών – κυρίως γάλλιο, τελλούριο και ίνδιο – που ανακτώνται μιας και τα μέταλλα αυτά έχουν μεγαλύτερη αξία σε σύγκριση με το αλουμίνιο το οποίο εξάγεται σε αφθονία από τα συμβατικής τεχνολογίας φωτοβολταϊκά πάνελ πυριτίου.

Ωστόσο θα πρέπει να αναφερθεί ότι οι συχνότερα χρησιμοποιούμενες τεχνικές που ακολουθούνται, για τις δύο κύριες τεχνολογίες φωτοβολταϊκών, ήτοι τα πάνελ κρυσταλλικού πυριτίου και πάνελ λεπτής μεμβράνης είναι οι ακόλουθες:

Ανακύκλωση φωτοβολταϊκών πάνελ κρυσταλλικού πυριτίου Τα κύρια συστατικά των πάνελ κρυσταλλικού πυριτίου, δηλαδή το γυαλί, το αλουμίνιο και ο χαλκός, μπορούν να ανακτηθούν με απόδοση μεγαλύτερη του 85% κατά μάζα πάνελ μέσω μηχανικού διαχωρισμού. Ωστόσο, χωρίς το συνδυασμό θερμικής, χημικής ή μεταλλουργικής επεξεργασίας τα επίπεδα ακαθαρσίας των ανακτημένων υλικών μπορεί να είναι αρκετά υψηλά και έτσι μειώνονται οι τιμές μεταπώλησης (Pennington et al., 2016 και Sander et al., 2007).

Ο διαχωρισμός των κύριων εξαρτημάτων όπως το πολυστρωματικό γυαλί, τα μεταλλικά πλαίσια, οι καλωδιώσεις και τα πολυμερή είναι το πρώτο στάδιο στις τρέχουσες και πρώτης γενιάς διαδικασίες ανακύκλωσης. Οι στρατηγικές ανακύκλωσης που έχουν αναπτυχθεί για καθένα από τα προαναφερθέντα κύρια συστατικά είναι:

- Η ανακύκλωση του συστατικού από πλαστικοποιημένο γυαλί των πάνελ c-Si είναι μια σχετικά χαμηλού κόστους διαδικασία την οποία οι εταιρείες ανακύκλωσης flatglass μπορούν να εφαρμόσουν με μικρή πρόσθετη επένδυση. Η διαδικασία εκτελείται συχνά σε παρτίδες για να είναι δυνατή η προσαρμογή των παραμέτρων και να ληφθούν υπόψη οι μέτριες ποσότητες που είναι διαθέσιμες για επεξεργασία σήμερα. Ο τυπικός εξοπλισμός για την αφαίρεση ακαθαρσιών όπως υπολειμμάτων πολυμερούς (κόλλας) ή βίδες από τον υαλοπίνακα περιλαμβάνει μαγνήτες, θραυστήρες, κόσκινα, συσκευές δινορρευμάτων, οπτικούς διαλογείς, επαγωγικούς διαλογείς και συστήματα εξάτμισης. Το προκύπτον κλάσμα θρυμματισμένου γυαλιού, το οποίο μπορεί να περιέχει αρκετό πυρίτιο, πολυμερή και μέταλλα, μπορεί να αναμιχθεί με άλλο ανακυκλωμένο γυαλί ως θερμομονωτικό υλικό στις βιομηχανίες αφρού υάλου ή ινών γυαλιού. Η έρευνα που διεξήχθη για αυτήν την έκθεση δείχνει ότι μια σύνθεση μείγματος που περιλαμβάνει 15%-20% γυαλί φωτοβολταϊκών πάνελ είναι έτσι εφικτή. Ωστόσο, με την αύξηση των ροών φωτοβολταϊκών αποβλήτων, αυτή η αγορά θα μπορούσε να κορεστεί και θα απαιτηθούν επενδύσεις σε νέες τεχνολογίες ανακύκλωσης.
- Το αλουμίνιο ή ο χάλυβας των κουφωμάτων και ο χαλκός των καλωδίων μπορούν να γίνουν μέρος των ήδη καθιερωμένων ροών ανακύκλωσης μετάλλων και επομένως έχουν εύκολη δυνατότητα ανακύκλωσης. Τα πολυμερή κλάσματα μπορούν εν μέρει να υποβληθούν σε επεξεργασία σε μονάδες

παραγωγής ενέργειας από απόβλητα, υπό την προϋπόθεση ότι πληρούν τις προδιαγραφές εισροών των εγκαταστάσεων.

- Η ανάκτηση μικρών ποσοτήτων πολύτιμων (ασήμι, χαλκού), σπάνιων (ίνδιο, τελλούριο) ή πιο επικίνδυνων υλικών (κάδμιο, μόλυβδος, σελήνιο) ως συστατικά μπορεί να απαιτήσει πρόσθετες και περισσότερο προηγμένες διαδικασίες. Αυτά βρίσκονται κυρίως στα κλάσματα του γυαλιού και του ενθυλακωτικού (πολυμερούς).

Για παράδειγμα, η τεχνική σκοπιμότητα ανάκτησης και καθαρισμού πυριτίου από φ/β πάνελ c-Si στο τέλος του κύκλου ζωής τους έχει αποδειχθεί από τους Wambach et al., (2009) οι οποίοι διαχώρισαν τα πάνελ σε ένα βήμα πυρόλυσης. Αφαιρέθηκε η επιμετάλλωση των ηλιακών πάνελ και τα στρώματα πρόσμιξης σε διάφορα επιλεκτικά στάδια χάραξης ενώ χυτεύτηκε μία νέα ράβδος πυριτίου από το πυρίτιο που ελήφθη. Μια πολύ παρόμοια διαδικασία αναπτύχθηκε από το ιαπωνικό πρόγραμμα NEDO από το FAIS – (Komoto, 2014). Η πιλοτική μονάδα βασίστηκε επίσης στην πυρόλυση των πολυμερών σε έναν κλίβανο μεταφοράς. Μια βασική διαφορά είναι η αφαίρεση των πλαισίων και του οπίσθιου φύλλου πριν από το θερμικό βήμα που προηγείται της ανάκτησης υλικού ημιαγωγού (Si ή CIS) και του υαλοπίνακα.

Ανακύκλωση φωτοβολταϊκών πάνελ λεπτής μεμβράνης (CIGS και CdTe) Η μεγάλης κλίμακας ανακύκλωση φωτοβολταϊκών πλαισίων λεπτής μεμβράνης βρίσκεται ακόμα στα αρχικά της στάδια και θα βελτιωθεί καθώς αυξάνονται οι όγκοι των απορριμμάτων και οι αντίστοιχες γνώσεις σχετικά με την επεξεργασία των συγκεκριμένων απορριμμάτων. Επί του παρόντος, τα πάνελ λεπτής μεμβράνης επεξεργάζονται και ανακυκλώνονται χρησιμοποιώντας έναν συνδυασμό μηχανικών και χημικών τεχνικών.

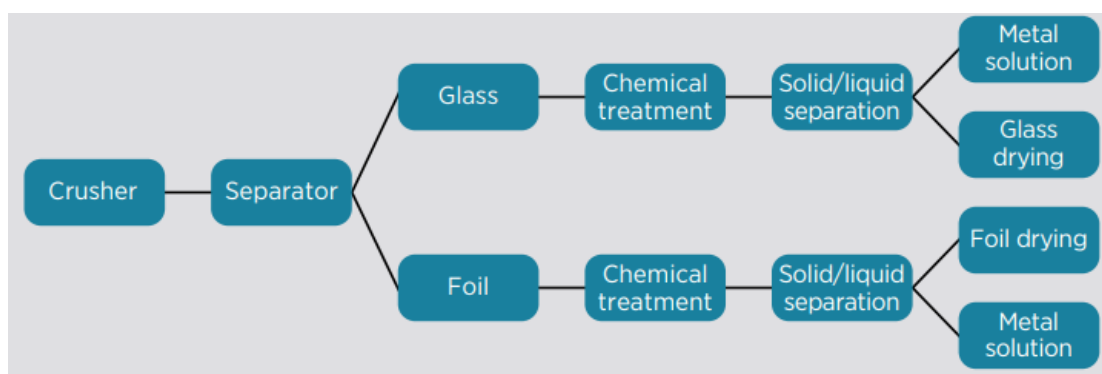
Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτής της διαδικασίας περιλαμβάνει τα ακόλουθα βήματα (Sinha & Cossette, 2012) τα οποία μπορούν να επιτύχουν περίπου 90% ανάκτηση του γυαλιού και περίπου 95% του υλικού ημιαγωγού κατά μάζα:

1. Τα πάνελ τεμαχίζονται και συνθλίβονται από σφυρόμυλο σε σωματίδια περίπου 5 χιλιοστών για να σπάσει ο δεσμός ελασματοποίησης. Στη συνέχεια, η σκόνη συλλέγεται σε ένα σύστημα αναρρόφησης εξοπλισμένο με σύστημα υψηλής απόδοσης με φίλτρο αέρα σωματιδίων.

2. Η χάραξη του στρώματος ημιαγωγών πραγματοποιείται με μείγμα θειικού οξέος και υπεροξειδίου του υδρογόνου. Το γυαλί και τα μεγαλύτερα κομμάτια αιθυλενίου-οξικού βινυλίου διαχωρίζονται σε έναν ταξινομητή και σε μια δονούμενη οθόνη. Τέλος, το ποτήρι ξεπλένεται με νερό και στεγνώνει σε μονάδα φίλτρου ιμάντα.

3. Τα υγρά διήθησης με τα μέταλλα μπορούν να εξαχθούν μέσω εναλλάκτη ιόντων ή να καταβυθιστούν. Το κάδμιο και το τελλούριο μπορούν να καθαριστούν περαιτέρω από τρίτους για επαναχρησιμοποίηση στην ηλιακή βιομηχανία.

Αρκετές νέες διαδικασίες επεξεργασίας για φωτοβολταϊκά πάνελ λεπτής μεμβράνης βρίσκονται υπό έρευνα. Μία από αυτές είναι η καινοτόμος διαδικασία Loser Chemie η οποία απεικονίζεται στην Εικόνα 9.



Εικόνα 9 Η καινοτόμος διαδικασία Loser Chemie επεξεργασίας φωτοβολταϊκών πάνελ λεπτής μεμβράνης (Irena, 2016)

Η Loser Chemie (Palitzsch and Loser, 2014) έχει αναπτύξει και κατοχυρώσει με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας νέες διαδικασίες για να εμπλουτίσει τα σύνθετα μέταλλα ημιαγωγών ή το ασήμι των ηλιακών κυψελών μέσω χημικής επεξεργασίας αφού τα πάνελ έχουν προθρυμματιστεί. Η επιμετάλλωση αλουμινίου μπορεί στη συνέχεια να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή χημικών ουσιών επεξεργασίας λυμάτων (οξείδια αλουμινίου).

6.2 Δυνατότητες Ανακύκλωσης / Επαναχρησιμοποίησης

Δεδομένου ότι επί του παρόντος υπάρχουν μόνο μέτριες ποσότητες αποβλήτων φωτοβολταϊκών στην παγκόσμια αγορά απορριμμάτων, δεν υπάρχουν επαρκείς ποσότητες ή οικονομικά κίνητρα για τη δημιουργία αποκλειστικών μονάδων ανακύκλωσης φωτοβολταϊκών πάνελ. Έτσι, τα φωτοβολταϊκά πάνελ στο τέλος του κύκλου ζωής τους υποβάλλονται σε τυπική επεξεργασία σε υπάρχουσες γενικές εγκαταστάσεις ανακύκλωσης. Εδώ, ο μηχανικός διαχωρισμός των κύριων

εξαρτημάτων και υλικών των φωτοβολταϊκών πάνελ είναι το επίκεντρο. Αυτό εξακολουθεί να επιτυγχάνεται υψηλή ανάκτηση υλικού από τη μάζα του πάνελ, παρόλο που ορισμένα υλικά υψηλότερης αξίας (που έχουν μικρή μάζα) ενδέχεται να μην ανακτηθούν πλήρως.

Αυτή η τρέχουσα στρατηγική προσφέρει νομική συμμόρφωση χωρίς την ανάγκη νέων επενδύσεων ανακύκλωσης ειδικά για τα φωτοβολταϊκά.

Μακροπρόθεσμα, ωστόσο, η κατασκευή αποκλειστικών μονάδων ανακύκλωσης φωτοβολταϊκών πάνελ θα μπορούσε να αυξήσει τις ικανότητες επεξεργασίας και να μεγιστοποιήσει τα έσοδα λόγω της καλύτερης ποιότητας παραγωγής. Επιπλέον, θα μπορούσε να αυξήσει την ανάκτηση πολύτιμων συστατικών.

Οι τεχνολογίες ανακύκλωσης για φωτοβολταϊκά πάνελ έχουν ήδη ερευνηθεί τα τελευταία 15 χρόνια. Αυτή η γνώση έχει προσφέρει τα θεμέλια για την ανάπτυξη εξειδικευμένων μονάδων ανακύκλωσης όταν τα ρεύματα αποβλήτων είναι αρκετά μεγάλα για κερδοφόρα λειτουργία. Για παράδειγμα, εκτενής έρευνα διεξήχθη από εταιρείες ηλιακών φωτοβολταϊκών συμπεριλαμβανομένων των AEG, BP Solar, First Solar, Pilkington, Sharp Solar, Siemens Solar, Solar International και πολλών άλλων (Sander et al., 2007). Ερευνητικά ινστιτούτα έχουν επίσης εξετάσει διαφορετικές επιλογές ανακύκλωσης για φωτοβολταϊκά. Παραδείγματα περιλαμβάνουν τα Εθνικά Εργαστήρια Brookhaven στις ΗΠΑ, το Εθνικό Ινστιτούτο Προηγμένης Βιομηχανικής Επιστήμης και Τεχνολογίας στην Ιαπωνία, το Διαπανεπιστημιακό Κέντρο Μικροηλεκτρονικής στο Βέλγιο και το Ενεργειακό Ερευνητικό Κέντρο στην Ολλανδία (CU PV, 2016). Όλες οι μελλοντικές διαδικασίες ανακύκλωσης θα πρέπει να είναι ενήμερες για τις συνεχείς καινοτομίες κυψελών και πάνελ για να επιτευχθούν τα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα με αποδεκτό κόστος.

Τέτοιες διεργασίες θα πρέπει να ανακτήσουν σημαντικά συστατικά όπως γυαλί, αλουμίνιο, χαλκό και άλλα δυνητικά σπάνια ή πολύτιμα υλικά (ασήμι, ίνδιο) σε επαρκή ποιότητα για πώληση στην παγκόσμια αγορά. Μπορεί εξίσου να χρειαστεί να χειριστούν μέτριες ποσότητες επικίνδυνων και τοξικών υλικών (κάδμιο).

Μία από τις κύριες τεχνικές προκλήσεις στην ανακύκλωση των φωτοβολταϊκών είναι η αποκόλληση ή η αφαίρεση του ενθυλακωτικού υλικού (αιθυλένιο-οξικό βινύλιο). Έχουν διερευνηθεί διάφορες μέθοδοι για αποτελεσματική αποκόλληση, συμπεριλαμβανομένης της μηχανικής σύνθλιψης (Giachetta et al., 2013 & Berger et

al., 2010), της θερμικής επεξεργασίας (Wang et al., 2012), των οργανικών διαλυτών (Kang et al., 2012 & Doi, 2001), πυρόλυση και ανατίναξη κενού (Berger et al., 2010 & Kushiya, 2003), μικρογαλακτώματα (Marwede & Reller, 2012) και ακτινοβολία υπερήχων (Kim & Lee, 2012).

6.3 Σημαντικά σημεία για το μέλλον της Ανακύκλωσης

Τα ακόλουθα σημεία είναι σημαντικά για το σχεδιασμό οποιωνδήποτε μελλοντικών συστημάτων ανακύκλωσης απορριμμάτων φωτοβολταϊκών πάνελ ανεξάρτητα από τη χρησιμοποιούμενη τεχνολογία φωτοβολταϊκών: Αυτές οι εκτιμήσεις θα παράγουν τα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα, συμπεριλαμβανομένων υψηλών ποσοστών ανάκτησης και υψηλής ποιότητας ακόμη και για υλικά που υπάρχουν σε χαμηλές ποσότητες (Sander et al., 2007).

- Αποφυγή ζημιάς στον φωτοβολταϊκό πίνακα κατά τις φάσεις αποσυναρμολόγησης, συλλογής και μεταφοράς.
- Ανάλογα με την οικονομική σκοπιμότητα, θα πρέπει να διεκδικηθούν εκ νέου όσα πολύτιμα (ασήμι, χαλκός, πυρίτιο, γυαλί, αλουμίνιο), σπάνια (ίνδιο, τελλούριο) και επικίνδυνα υλικά (κάδμιο, μόλυβδος, σελήνιο) κατά το δυνατό.
- Θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί ανθεκτική σήμανση για την αναγνώριση των υλικών.
- Να υπάρχει σύνδεση μεταξύ των διαφορετικών υλικών με ετικέτες η οποία θα τα συσχετίζει με τις διαδικασίες ανακύκλωσης και ανάκτησης.
- Δημιουργία νέων μοντέλων πάνελ φιλικών προς την ανακύκλωση.

Κεφάλαιο 7. Παρούσα Κατάσταση και Προοπτικές στην Ελλάδα

7.1 Υφιστάμενη κατάσταση ανακύκλωσης τους στην Ελλάδα

Ο τύπος φωτοβολταϊκών πάνελ που έχει εγκατασταθεί σε πλειονότητα στην Ελλάδα είναι τα πάνελ κρυσταλλικού πυριτίου (c-Si) με ονομαστική ισχύ 215Wr και βάρος 22kg. Από τα στοιχεία της αγοράς προκύπτει ότι οι εγκαταστάσεις κατανέμονται ως εξής: το 87% των εγκαταστάσεων αποτελείται από πάνελ πολυκρυσταλλικού πυριτίου, το 10% αφορά σε πάνελ μονοκρυσταλλικού πυριτίου, ενώ το υπόλοιπο 3% αφορά σε λοιπές τεχνολογίες.

Σύμφωνα με υπολογισμούς ιδιωτικής εταιρείας ανακύκλωσης φωτοβολταϊκών πάνελ προβλέπεται ότι θα παραχθούν κατά τα έτη 2034-2041 από όλη την Ελλάδα σχεδόν περίπου 235.000 τόνοι φωτοβολταϊκών πλαισίων για ανακύκλωση. Αυτή η ποσότητα είναι ίση με το βάρος 168.000 αυτοκινήτων και μάλιστα σημειώνεται ότι αποτελεί συντηρητική εκτίμηση.

Υπολογίζεται ότι ένα τυπικό φωτοβολταϊκό πάνελ με ισχύ 215 Wr και βάρος 22 kgf θα παράξει 16,6 kgf γυαλί, 2,3 kgf αλουμίνιο και 3,1 kgf κιλά από τα υπόλοιπα συστατικά. Επίσης υποθέτοντας ότι το 95% είναι το τυπικό ποσοστό ανάκτησης γυαλιού και αλουμινίου, μετά το πέρας της διαδικασίας της κατεργασίας των φωτοβολταϊκών πάνελ, θα έχουν επαναξιοποιηθεί ως δευτερογενή υλικά για την παραγωγή άλλων προϊόντων, 15,8 kgf γυαλιού και 2,2 kgf αλουμινίου για κάθε πάνελ που αποσύρεται. Από περιβαλλοντική άποψη, με την ανακύκλωση 1 τόνου φωτοβολταϊκών πάνελ, αποφεύγεται η έκλυση 800-1200 kgf εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα.

Ωστόσο μέχρι πριν λίγο καιρό, δεν προβλεπόταν από τη νομοθεσία της Ελλάδας η υποχρεωτική συλλογή και ανακύκλωση των πάνελ που είχαν φθαρεί σε οποιαδήποτε φάση της λειτουργίας τους (κατά τη μεταφορά, την εγκατάσταση ή την λειτουργία).

Από το 2014 με την ΥΑ 23615/651/Ε.103 (ΦΕΚ Β' 1184/9-5-2014) θεσπίστηκαν κανόνες και διαδικασίες για την εναλλακτική διαχείριση του ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού, στην οποία τα φωτοβολταϊκά εντάσσονται στην 4^η κατηγορία του 1^{ου} Παραρτήματος με στόχο τη χρήση τους ως δευτερογενή υλικά και τη μείωση της ποσότητας των υλικών προς τελική διάθεση. Επιπρόσθετα, με την

εφαρμογή της αρχής της διευρυμένης ευθύνης του παραγωγού, όλοι οι φορείς που εμπλέκονται στον κύκλο ζωής του ΗΗΕ επιδιώκουν να βελτιώσουν τις περιβαλλοντικές επιδόσεις τους, ενώ αρμόδιος φορέας για την εφαρμογή της ΥΑ και για τη λειτουργία των συστημάτων εναλλακτικής διαχείρισης σε όλη την επικράτεια είναι ο Εθνικός Οργανισμός Ανακύκλωσης.

7.2 Μελλοντικός Ρυθμός παραγωγής τους / Προτάσεις χρήσης αποβλήτων

Με βάση τον υπολογισμό Bio Intelligence Service S.A.S Final Report (2011), εκτιμάται ότι η αναλογία βάρους ανά μονάδα ισχύος έχει ως εξής για τις τεχνολογίες φωτοβολταϊκών:

φ/β κρυσταλλικού πυριτίου = 0,102 kgr/Wp,

φ/β άμορφου πυριτίου = 0,29 kgr/Wp,

φ/β τελλουριούχου καδμίου = 0,20 kgr/Wp,

φ/β χαλκού-ινδίου-σεληνίου = 0,20 kgr/Wp.

Επιπλέον η ομάδα των ερευνητών και εμπειρογνομόνων στον χώρο των φωτοβολταϊκών, κατόπιν συμφωνίας έχουν εισάγει τον συντελεστή Στον συγκεκριμένο συντελεστή δεν χρησιμοποιείται η αναλογία μονάδας βάρους του συστατικού προς τη μονάδα της ισχύος αλλά λαμβάνεται υπόψιν για όλες τις τεχνολογίες φωτοβολταϊκών η σχέση:

1MWp φωτοβολταϊκού υλικού είναι ίσο με 75 τόνους ανακυκλώσιμου υλικού

Από την παραπάνω σχέση μπορεί να γίνει η εκτίμηση της ποσότητας ανακυκλώσιμου υλικού που θα παραχθεί σε σχέση με τα δεδομένα της εγκατεστημένης ισχύος για κάθε τεχνολογία που υπάρχει στο ελληνικό κράτος.

Στον παρακάτω πίνακα γίνεται μια προσέγγιση εκτίμησης της μάζας αποβλήτων φωτοβολταϊκών που θα δημιουργηθούν κατά την περίοδο 2030-2041 λαμβάνοντας υπόψιν την αναλογία βάρους ανά μονάδα ισχύος και τον συντελεστή Ökopol.

Πίνακας εκτίμησης μάζας φωτοβολταϊκών αποβλήτων προς ανακύκλωση

| ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΜΑΖΑΣ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ Φ/Β ΠΡΟΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 2030-2041 | | | |
|--|------------------------|--------------------|-------------------|
| ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ Φ/Β | ΑΝΑΛΟΓΙΑ ΒΑΡΟΥΣ/ΙΣΧΥΟΣ | ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΟΚΟΡΟΛ | ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ |
| ΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΟ ΠΥΡΙΤΙΟ | 258.468,00 | 190.050,00 | 224.259,00 |
| ΑΜΟΡΦΟ ΠΥΡΙΤΙΟ | 15.332,00 | 3.965,00 | 9.648,50 |
| ΤΕΛΛΟΥΡΙΟΥΧΟ ΚΑΔΜΙΟ | 1.720,00 | 645 | 1.182,50 |
| ΧΑΛΚΟΣ, ΙΝΔΙΟ, ΣΕΛΗΝΙΟ | 44 | 17 | 30,50 |
| ΣΥΝΟΛΟ | 275.564,00 | 194.677,00 | 235.120,50 |
| ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ | | | 235.120,5 |

Ομοίως για τις ανεμογεννήτριες αν θέλουμε να υπολογίσουμε τα απόβλητα που θα παραχθούν κατά την περίοδο 2030-2041 θα αναζητήσουμε το δυναμικό που εγκαταστάθηκε κατά την περίοδο 2000-2011 και θα έχουμε:

Θα πρέπει να ληφθεί υπόψιν ότι μια ανεμογεννήτρια με μέση ισχύ 3,6 MW ζυγίζει περίπου 1.500 τόνους.

Σύμφωνα με τα στοιχεία της ΕΛΕΤΑΕΝ η ισχύς που εγκαταστάθηκε κατά την παραπάνω περίοδο συνοψίζεται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας εκτίμησης μάζας ανεμογεννητριών αποβλήτων προς ανακύκλωση

| ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΜΑΖΑΣ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ ΠΡΟΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 2030-2041 | | | |
|--|-----------|-------------------|-------------------|
| ΕΤΟΣ | ΙΣΧΥΣ(MW) | ΒΑΡΟΣ (t) | ΣΥΝΟΛΟ (t) |
| 2000 | 116,48 | 48.533,33 | 48.533,33 |
| 2001 | 40,78 | 16.991,67 | 16.991,67 |
| 2002 | 14,79 | 6.162,50 | 6.162,50 |
| 2003 | 21,15 | 8.812,50 | 8.812,50 |
| 2004 | 9,6 | 4.000,00 | 4.000,00 |
| 2005 | 62,61 | 26.087,50 | 26.087,50 |
| 2006 | 88,45 | 36.854,17 | 36.854,17 |
| 2007 | 96,2 | 40.083,33 | 40.083,33 |
| 2008 | 117,1 | 48.791,67 | 48.791,67 |
| 2009 | 149,5 | 62.291,67 | 62.291,67 |
| 2010 | 180,55 | 75.229,17 | 75.229,17 |
| 2011 | 272,2 | 113.416,67 | 113.416,67 |
| ΣΥΝΟΛΟ | | 487.254,17 | 487.254,17 |

Από τους παραπάνω υπολογισμούς προκύπτει ότι κατά την περίοδο 2030 – 2041 θα παραχθούν **235.121** τόνοι αποβλήτων από εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών και **487.254** τόνοι αποβλήτων από εγκαταστάσεις ανεμογεννητριών.

Κεφάλαιο 8. Συμπεράσματα και Προτάσεις

Πέρασαν αρκετά χρόνια για να κατανοήσουν οι άνθρωποι ότι ο γραμμικός τρόπος παραγωγής και χρήσης των προϊόντων, δημιουργούσε σοβαρή περιβαλλοντική επιβάρυνση ενώ ταυτόχρονα εξαντλούσε τους πολύτιμους φυσικούς πόρους του πλανήτη. Το εφαρμοζόμενο μέχρι πρότινος γραμμικό οικονομικό σύστημα και η νοοτροπία «προμήθεια, παραγωγή, κατανάλωση και απόρριψη», παρουσιάζονται ξεπερασμένες, δεδομένου ότι οι πόροι του πλανήτη έχουν αγγίξει εξευτελιστικά όρια. Κατά συνέπεια η μετατροπή του γραμμικού μοντέλου σε ένα κυκλικό μοντέλο, στο οποίο η αξία των προϊόντων, των υλικών και των πόρων θα διατηρείται όσο το δυνατόν περισσότερο, ενώ η παραγωγή των αποβλήτων θα περιοριστεί στο ελάχιστο, φαντάζει ως πρώτη προτεραιότητα.

Η υποβάθμιση του περιβάλλοντος και η κλιματική αλλαγή έχουν κινητοποιήσει την Ευρώπη και τον κόσμο. Η Ευρώπη για να ξεπεράσει αυτές τις προκλήσεις, έχει αναπτύξει μια νέα στρατηγική, την Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία, η οποία μεταβάλλει την οικονομία, σε σύγχρονη, αποδοτική και κυκλική προς τις πρώτες ύλες, κλιματικά ουδέτερη και ανταγωνιστική.

Για να καταστεί βιώσιμη και κλιματικά ουδέτερη η ΕΕ το 2050, θα πρέπει να κάνει στροφή από τα ορυκτά καύσιμα προς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να συμβούν αλλαγές με τρομερή ταχύτητα στο ισοζύγιο παραγωγής της ενέργειας το οποίο θα περιλαμβάνει μεγαλύτερο ποσοστό ΑΠΕ.

Οι τεχνολογίες των ΑΠΕ αποτελούν απαραίτητο κομμάτι για τη μετάβαση στην κλιματική ουδετερότητα. Ωστόσο η αντικατάσταση αυτής της υποδομής στο τέλος του κύκλου ζωής της, δημιουργεί σημαντικούς πόρους από τους οποίους αρκετοί περιλαμβάνονται στον κατάλογο της ΕΕ με τις κρίσιμες πρώτες ύλες. Τα απόβλητα των υποδομών ΑΠΕ αναμένεται να αυξηθούν έως και 30 φορές τα επόμενα 10 χρόνια, παρουσιάζοντας σημαντικές ευκαιρίες για μείωση της κατανάλωσης σπάνιων πρώτων υλών με την ανακύκλωση των μετάλλων και άλλων πολύτιμων πόρων πίσω στα συστήματα παραγωγής.

Οι τεχνολογίες ΑΠΕ καθώς και οι τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας ωστόσο θα πρέπει κατά τη διάρκεια ζωής τους, να συντηρηθούν, να αντικατασταθούν ή στο τέλος της ζωής τους να αποσυναρμολογηθούν.

Στην παρούσα εξετάστηκαν οι κυκλικές λύσεις που μπορούν να εφαρμοστούν για τη διαχείριση των πράσινων αποβλήτων στο τέλος της ζωής τους. Δεδομένου ότι τα φωτοβολταϊκά (PV) πάνελ και οι ανεμογεννήτριες έχουν περιορισμένη διάρκεια ζωής, συνήθως μεταξύ 20-25 ετών, στο τέλος της ζωής τους, είναι σημαντικό να μπορούν να ανακυκλωθούν ή να απορριφθούν σωστά. Τα φωτοβολταϊκά πάνελ είναι κατασκευασμένα από πυρίτιο και άλλα υλικά που μπορούν να ανακυκλωθούν για την κατασκευή νέων πάνελ ή άλλων προϊόντων. Οι ανεμογεννήτριες είναι κατασκευασμένες από χάλυβα και άλλα μέταλλα που μπορούν επίσης να ανακυκλωθούν. Επιπλέον, τα πτερύγια των ανεμογεννητριών μπορούν να επανατοποθετηθούν σε άλλα προϊόντα και μέχρι στιγμής έχουν χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή πάγκων ή για εξοπλισμό παιδικής χαράς.

Συγκεκριμένα μελετήθηκε η παραγωγή αποβλήτων δύο κύριων τύπων τεχνολογιών ΑΠΕ, οι φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις, και οι ανεμογεννήτριες. Η διαχείριση των εν λόγω αποβλήτων σύμφωνα με τις αρχές της κυκλικής οικονομίας, θα συμβάλει στην προώθηση των αλλαγών για την επίτευξη του καλύτερου περιβαλλοντικού αποτελέσματος.

Η προσέγγιση των αναδυόμενων ροών αποβλήτων με τις αρχές της κυκλικής οικονομίας, μπορεί να δημιουργήσει πολλές ευκαιρίες, στηρίζοντας τη βιωσιμότητα της Ευρώπης. Τα απόβλητα που προκύπτουν από τέτοιες υποδομές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι πλούσια σε πόρους και περιλαμβάνουν στοιχεία σπάνιων γαιών καθώς και άλλα πολύτιμα υλικά όπως χάλυβας, χαλκός και γυαλί με αποτέλεσμα να την ύπαρξη σύνθετων ροών αποβλήτων τα οποία πρέπει να τύχουν χωριστής συλλογής.

Μάλιστα, λόγω του γρήγορου ρυθμού της τεχνολογικής ανάπτυξης ο εξοπλισμός ΑΠΕ μπορεί να υποστεί σχετικά γρήγορη αντικατάσταση παρουσιάζοντας τεχνικές και υλικοτεχνικές προκλήσεις για τη διαχείριση αυτής της υποδομής στο τέλος του κύκλου ζωής τους.

Άρα θα πρέπει να έχουν σωστή διαχείριση οι αναδυόμενες ροές των αποβλήτων ΑΠΕ για την επίτευξη της κυκλικότητας της οικονομίας και για την αξιοποίηση των σημαντικών πόρων που θα δημιουργηθούν. Μια ακόμα μεγαλύτερη πρόκληση και ευκαιρία για την ΕΕ αποτελεί η πρόβλεψη και η προετοιμασία του πλαισίου πολιτικής για την εφαρμογή των αρχών της κυκλικής οικονομίας και την ανακύκλωση αυτών των πολύτιμων πόρων.

Η ανάκτηση των εν λόγω υλικών και η επανεισαγωγή τους στον κύκλο παραγωγής απαιτεί πολύ καλή οργάνωση διότι δημιουργούνται μεγάλοι όγκοι και υλικό που θα χρειαστεί να ανακτηθεί από απομακρυσμένες τοποθεσίες και ως τώρα δεν υπάρχει σχέδιο που λαμβάνει υπόψη το τέλος της ζωής ή την ανακυκλωσιμότητα και την παρουσία πολλών διαφορετικών αλλά και επικίνδυνων ουσιών.

Οι υπεύθυνοι χάραξης πολιτικής και η βιομηχανία μπορούν να αντιμετωπίσουν τις προκλήσεις των αποβλήτων των τεχνολογιών ΑΠΕ μέσω των προσεγγίσεων της κυκλικής οικονομίας, όπως τον οικολογικό σχεδιασμό, τους στόχους ανακύκλωσης ειδικά για τα υλικά και τα προγράμματα εκτεταμένης ευθύνης του παραγωγού.

Έχει υπολογιστεί ότι η ανάκτηση των υλικών που θα προκύψουν ετησίως από τις ΑΠΕ ως το 2030 ανέρχονται σε 1,5 εκ. τόνοι υλικά φωτοβολταϊκών, ήτοι γυαλί, μέταλλο και σιλικόνη, 4,75 εκ. τόνοι από τα υλικά των αιολικών, ήτοι μέταλλο, σκυρόδεμα και σύνθετα στοιχεία ενώ επίσης θα προκύψουν 240.000 χιλ. τόνοι μπαταρίες λιθίου.

Ωστόσο είναι σημαντικό να τονιστεί ότι η εναλλακτική διαχείριση των αποβλήτων, τόσο των φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων όσο και των αιολικών αποτελεί τον ακρογωνιαίο λίθο, για να εξακολουθήσει η συγκεκριμένη τεχνολογία να θεωρείται πράσινη, βιώσιμη και φιλική προς το περιβάλλον. Η ευαισθητοποίηση των φορέων ανακύκλωσης, των ακαδημαϊκών οργανισμών, των επενδυτικών ομίλων, των μεμονωμένων επενδυτών, της πολιτείας έχει ενεργοποιηθεί αλλά χρειάζεται ολοκληρωμένος σχεδιασμός που θα λαμβάνει υπόψιν όλα τα στάδια του κύκλου ζωής των εν λόγω τεχνολογιών προσεγγίζοντας από τη σχεδίαση μέχρι την ανακύκλωση τους, τις εισροές και εκροές που δημιουργούνται.

Τέλος, να σημειωθεί ότι είναι πολύ σημαντικό να σχεδιαστεί στρατηγικά η απόρριψη και η ανακύκλωση των φωτοβολταϊκών πλαισίων και των ανεμογεννητριών στο τέλος της ζωής τους διότι έτσι ελαχιστοποιούνται οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις αλλά ταυτόχρονα αποκτά αξία ένας πολύ σημαντικός πόρος.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΥΠΕΝ, 2021, https://ypen.gov.gr/wp-content/uploads/2021/03/NEO_SXEDIO_DRASIS_KUKLIKH_OIKONOMIA.pdf

Beauson, J., Laurent, A., Rudolph, D. P., & Jensen, J. P. (2021). The complex end-of-life of wind turbine blades: A review of the European context. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 111847.

Berger, W., et al. (2010), "A Novel Approach for the Recycling of Thin Film Photovoltaic Modules," *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 54, Nr. 10, pp. 711–18, doi:10.1016/j.resconrec.2009.12.001.

Bio Intelligence Service S.A.S Final Report (2011): "Study on photovoltaic panels supplementing the impact assessment for a recast of the WEEE directive"

Brellinger, C. 2014), "Costs for the Recycling and Registration of Solar Modules," *Proceedings of Intersolar Munich, Germany*

Carrara, S et al. (2020) Raw materials demand for wind and solar PV technologies in the transition towards a decarbonised energy system, JRC Technical Report No 119941, Joint Research Centre.

Chowdhury, M. S., Rahman, K. S., Chowdhury, T., Nuthammachot, N., Techato, K., Akhtaruzzaman, M., ... & Amin, N. (2020). An overview of solar photovoltaic panels' end-of-life material recycling. *Energy Strategy Reviews*, 27, 100431.

Cucchiella, F., & Rosa, P. (2015). End-of-Life of used photovoltaic modules: A financial analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 47, 552-561.

Doi, T. (2001), "Experimental Study on PV Module Recycling with Organic Solvent Method," *Solar Energy Materials and Solar Cells*, Vol. 67, No. 1–4, pp. 397–403, doi:10.1016/S0927-0248(00)00308-1.

EC, 2022, <https://www.consilium.europa.eu/el/policies/green-deal/>

Fthenakis, V. (2000), "End-of-Life Management and Recycling of PV Modules," *Energy Policy*, Vol. 28, pp. 1051-1058, Elsevier.

Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M., & Hultink, E. J. (2017). The Circular Economy—A new sustainability paradigm?. *Journal of cleaner production*, 143, 757-768.

Giacchetta, G., M. Leporini and B. Marchetti (2013), "Evaluation of the Environmental Benefits of New High Value Process for the Management of the End of Life of Thin-film Photovoltaic Modules," *Journal of Cleaner Production* Vol. 51, pp. 214–24, doi:10.1016/j.jclepro.2013.01.022.

IRENA (2020) 'Trends in Renewable Energy', International Renewable Energy Agency.

Kang, S., et al. (2012), "Experimental Investigations for Recycling of Silicon and Glass from Waste Photovoltaic Modules," *Renewable Energy*, Vol. 47, pp. 152–159, doi:10.1016/j.renene.2012.04.030.

Kim, Y. and J. Lee (2012), "Dissolution of Ethylene Vinyl Acetate in Crystalline Silicon PV Modules Using Ultrasonic Irradiation and Organic Solvent," *Solar Energy Materials and Solar Cells*, Vol. 98, pp. 317–322, doi:10.1016/j.solmat.2011.11.022.

Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, conservation and recycling*, 127, 221-232.

Kushiya, K. (2003), "Progress in Large-Area Cu (In,Ga) Se₂- Based Thin-Film Modules with the Efficiency of over 13%," *Proceedings of the 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion*, Osaka.

Larsen, K. (2009). End-of-life PV: then what?. *Renewable energy focus*, 10(4), 48-53.

Marwede, M. and A. Reller (2012), "Future Recycling Flows of Tellurium from Cadmium Telluride Photovoltaic Waste," *Journal Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 69, pp. 35-49.

Ortegon, K., Nies, L. F., & Sutherland, J. W. (2013). Preparing for end of service life of wind turbines. *Journal of Cleaner Production*, 39, 191-199.

Palitzsch, W. and U. Loser (2014), *Integrierte Wiederverwendung von Hightech- und Greentech-Abfällen (Integrated reuse of high-tech and green-tech waste)*, *Strategische Rohstoffe - Risikovorsorge*, pp.173–81, Springer: Berlin, Heidelberg. http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-39704-2_12.

Pennington, D., et al. (2016), *Analysis of Material Recovery from Silicon Photovoltaic Panels*, Publications Office of the European Union, Luxembourg.

Sander, K., et al. (2007), *Study on the Development of a Takeback and Recovery System for Photovoltaic Modules*, European Photovoltaic Industry Association, German Solar Industries Association, Berlin.

Stahl, H et al. (2021) *Assessment of options to improve particular aspects of the EU Regulatory Framework on Batteries*.

Tao and Yu, (2015) “Review on feasible recycling pathways and technologies of solar photovoltaic modules”, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 108-124.

Unep (2015) Unep Report <https://www.bbhub.io/bnef/sites/4/2015/03/UNEP-Frankfurt-School-BNEF-report-20151.pdf>

Walker, T., Gramlich, D., & Dumont-Bergeron, A. (2020). The case for a plastic tax: a review of its benefits and disadvantages within a circular economy. *Sustainability*.

Wambach, K. et al. (2009), “Photovoltaics Recycling Scoping Workshop,” 34th PV Specialists Conference, Philadelphia, www.bnl.gov/pv/files/PRS_Agenda/3_4_PV-ModuleRecyclingWambach.pdf

Wang, et al. (2012), “Recycling of Materials from Silicon Base Solar Cell Module,” Photovoltaic Specialists Conference, 2012 38th Institute of Electrical and Electronics Engineers, Austin, Texas, pp. 002355-002358, doi: 10.1109/ PVSC.2012.6318071.

Eletaen, Maps, (2022) <https://eletaen.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=875b7ea838cf4fe6a937c4be90fa8edd&extent=2070592.4486%2C4027438.181%2C3489263.6936%2C5196618.9657%2C102100>