



10 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΕ



10.1 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας

Οι ΑΠΕ έχουν τη δυνατότητα να απαντήσουν στο περιβαλλοντικό πρόβλημα για τη σταθεροποίηση των εκπομπών CO₂ και των υπόλοιπων αερίων του θερμοκηπίου, που αυξάνονται συνεχώς με τον πληθυσμό του πλανήτη (Διαγράμματα 10.1α, 10.1β). Περαιτέρω, υποκαθιστώντας τους σταθμούς παραγωγής ενέργειας από συμβατικές πηγές, οδηγούν σε ελάττωση των εκπομπών από άλλους ρυπαντές, π.χ., SO_x και NO_x που συμμετέχουν στην όξινη βροχή (Τσούτσος κ.ά., 1997¹).

Γενικά οι ΑΠΕ έχουν συνδεθεί με την οικολογική –και συνήθως ήπια– διαχείριση των φυσικών συστημάτων και οι τεχνολογίες αξιοποίησής τους είναι καθαρές. Επιπλέον σε αρκετές περιπτώσεις έχει ληφθεί υπόψη τόσο η αισθητική ένταξή τους όσο και η τεχνικοοικονομική βιωσιμότητά τους. Τέλος, αντίθετα με τις συμβατικές τεχνολογίες, οι αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την αξιοποίησή τους είναι εύκολα αναστρέψιμες και ανταποκρίνονται στις σύγχρονες απαιτήσεις για αειφόρο ανάπτυξη. Μάλιστα, ισχύει η γενική αλήθεια ότι τα περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα από τις ΑΠΕ είναι περισσότερα από τα προβλήματα που ενδεχομένως δημιουργούν.

Μέχρι σήμερα ο συντριπτικός αριθμός των προβλημάτων αυτών έχει αντιμετωπιστεί επιτυχώς, ώστε να ελαφρύνει τις ενδεχόμενες αρνητικές επιπτώσεις (Πίνακας 10.1).

¹ Τσούτσος, Θ., Edge, M. και Παπαστεφανάκης, Δ., 1997, *Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Περιβάλλον*, ΚΑΠΕ, ALTENER.

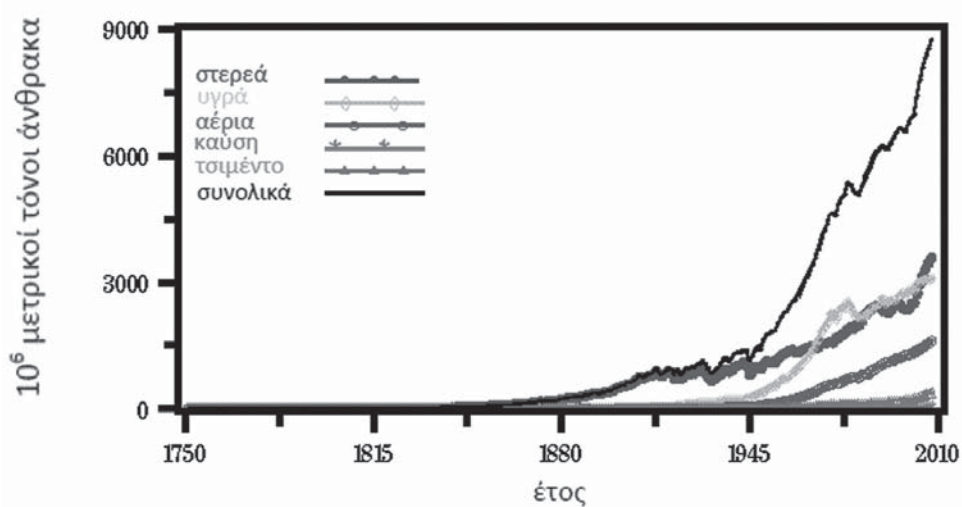
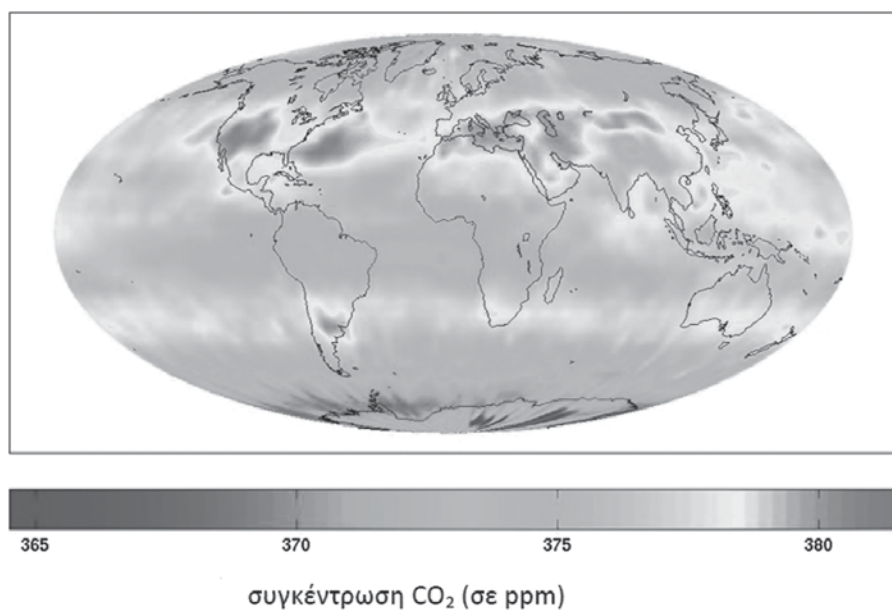


Πίνακας 10.1 Μέθοδοι επίλυσης ενδεχόμενων περιβαλλοντικών προβλημάτων από την αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (Τσούτσος, 2005²).

	ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΠΙΠΤΩΣΗ	ΕΠΙΛΥΣΗ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ		
Φωτοβολταϊκά συστήματα	κατάληψη μεγάλης έκτασης γης	• χωροθέτηση σε απομακρυσμένες περιοχές • συνδυασμένη αξιοποίηση
	αισθητική	• απόκρυψη με φυσικά μέσα • νέος σχεδιασμός συστημάτων
	υπολείμματα από την κατασκευή	υπάρχουσες πρακτικές ορθολογικής διαχείρισης
Ενεργητικά ηλιακά συστήματα	αισθητική	• σχεδιασμός συστήματος και χαρακτηριστικά κτιρίου • χρήση κεντρικών συστημάτων • «ολοκληρωμένα» ηλιακά συστήματα
	επιβαρύνσεις από την κατασκευή	συνήθη μέτρα που λαμβάνονται για επιβαρύνσεις από την κατασκευή και την επεξεργασία υλικών
Ηλιοθερμικοί σταθμοί παραγωγής ισχύος	κατάληψη μεγάλης έκτασης γης	αξιοποίηση απομακρυσμένων περιοχών
Παθητικά ηλιακά συστήματα	αισθητική	αρχιτεκτονικός σχεδιασμός
ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	αισθητική	προσεκτική επιλογή θέσεων εγκατάστασης
	θόρυβος	• προσεκτική επιλογή θέσεων εγκατάστασης • αλλαγές στο σχεδιασμό
	ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές	• προσεκτική επιλογή θέσεων εγκατάστασης • αλλαγές στο σχεδιασμό

² Τσούτσος, Θ., 2005, *Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, σημειώσεις μαθήματος*, Τμήμα Μηχανικών περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης.

	ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΠΙΠΤΩΣΗ	ΕΠΙΛΥΣΗ
ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΒΙΟΜΑΖΑ		
Φυτική και δασική βιομάζα	αέριες εκπομπές	• υπάρχουσα τεχνολογία • τροποποιημένα συστήματα καύσης και καταλυτών
	απαιτούμενες μεγάλες εισροές σε λιπάσματα	• αξιοποίηση προϊόντων μονάδων βιολογικής επεξεργασίας λυμάτων • επιλογή καλλιεργειών με μειωμένες ανάγκες λίπανσης
	κατάληψη μεγάλης έκτασης γης για ενεργειακές καλλιέργειες	• αξιοποίηση εδαφών για αγρανάπαυση • αντικατάσταση παραδοσιακών καλλιεργειών με αυξημένες ανάγκες σε εισροές (π.χ., νερό, λιπάσματα κ.λπ.)
	κατανάλωση νερού	επιλογή καλλιεργειών με μειωμένες απαιτήσεις σε αρδεύσεις ή μη αρδευόμενες
	επιβαρύνσεις από την αποθήκευση και τη μεταφορά	ορθολογική διαχείριση (χωροθέτηση μονάδας ενεργειακής αξιοποίησης, δρόμοι, αποθήκες κτλ.)
Στερεά απόβλητα	αέριες εκπομπές	υπάρχουσα τεχνολογία
ΜΙΚΡΑ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	αισθητική	ένταξη στον περιβάλλοντα χώρο αξιοποιώντας τοπικά υλικά με παραδοσιακό τρόπο
ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	καθιζήσεις	• επιστροφή των ρευστών μετά τη χρήση στον υδροφόρο με γεώτρηση επανεισαγωγής • βαθμός επικινδυνότητας ανάλογος με τις συνήθεις γεωτρήσεις



Διαγράμματα 10.1α (United Nations, 2012³) και **10.1β** (World Climate Report, 2012⁴): Χρονικές τάσεις στην αύξηση εκπομπών CO₂, κατανάλωσης συμβατικών καυσίμων και παγκόσμιας ζήτησης ενέργειας.

³ United Nations, Environmental Indicators, Greenhouse Gas Emissions, update 2010, unstats.un.org/unsd/environment/air_co2_emissions.htm (4/2012).

⁴ World Climate Report, www.worldclimaterreport.com/index.php/2008/01/30/what-the-future-holds-in-store/ (4/2012).



10.2 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τα ενεργειακά έργα

Τα ενεργειακά έργα –με συμβατικές ή ΑΠΕ– παρουσιάζουν ιδιαίτερα χαρακτηριστικά και ακόμη, συνήθως, απαιτούν προσεκτική μελέτη και μέτρα για την αντιμετώπιση των τυχόν περιβαλλοντικών προβλημάτων που δημιουργούν. Σε γενικές γραμμές μπορούν να ταξινομηθούν σε έργα που αφορούν (Αραβαντινός κ.ά., 1999⁵):

- την εξόρυξη και τη μεταφορά μη ανανεώσιμων πηγών (λιγνίτης, πετρέλαιο, φυσικό αέριο)
- την παραγωγή από θερμοηλεκτρικά συστήματα (καύση άνθρακα, πετρελαίου, φυσικού αερίου)
- τα ηλιακά συστήματα (ηλιοθερμικά ισχύος, φωτοβολταϊκά, ηλιακά θερμικά)
- λοιπά συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (υδροηλεκτρικά –μεγάλα ή μικρομεσαία–, αιολικά συστήματα, ενέργεια από βιομάζα, ενέργεια από σκουπίδια, γεωθερμία)
- διανομή-μεταφορά ενέργειας

Οι συμβατικές πηγές ενέργειας που αξιοποιούνται στη χώρα μας είναι ο λιγνίτης, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο. Τα κυριότερα στάδια της ενεργειακής εκμετάλλευσής τους είναι η ανίχνευση, η εξόρυξη, η μεταφορά, η κατασκευή, η λειτουργία, η αποικοδόμηση της μονάδας παραγωγής, η μεταφορά ηλεκτρισμού και η διάθεση αποβλήτων.

Ο **λιγνίτης** συνιστά για την Ελλάδα το μεγαλύτερο συμβατικό ενεργειακό πόρο και εντοπίζεται σε δύο κυρίως γεωγραφικές περιοχές: την Πτολεμαΐδα – Αμύνταιο και τη Μεγαλόπολη. Οι κυριότερες διαταραχές που αναμένεται να προκληθούν αποδίδονται στην έκλυση αερίων ρυπαντών κυρίως κατά το στάδιο της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά και στη συνολική διαχείριση των λιγνιτικών πεδίων.

Το **πετρέλαιο** στη χώρα μας είναι κυρίως εισαγόμενο. Οι συχνότερες διαταραχές για το περιβάλλον οφείλονται στα ατυχήματα κατά τη μεταφορά του και στις εκπομπές που σχετίζονται με τα αέρια του θερμοκηπίου κατά την αξιοποίησή του.

Το **φυσικό αέριο** είναι σχετικά καινούργια πηγή ενέργειας για το ελληνικό ενεργειακό σύστημα, με σημαντικές δυνατότητες αξιοποίησής του και εκτός ηπειρωτικής Ελλάδας. Παρ' όλα αυτά είναι εισαγόμενος φυσικός πόρος και απαιτεί έργα υποδομής μεγάλης κλίμακας.

⁵ Αραβαντινός, Α., Βλαστός, Θ., Εμμανουήλ, Δ., Μαρίνος-Κουρής, Δ., Μέμος, Κ., Σκίκος, Γ., Σμπόνιας, Κ., Τσούτσος, Θ., 1999, *Εισαγωγή στο Φυσικό και Ανθρωπογενές Περιβάλλον, κεφάλαιο: Ανανεώσιμες/εναλλακτικές και ήπιες πηγές ενέργειας*, τόμος Β1, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, Πάτρα.



10.3 Επιπτώσεις από τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα

Σε γενικές γραμμές οι τεχνολογίες που αξιοποιούν την ηλιακή ενέργεια προσφέρουν σημαντικά περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με των συμβατικών πηγών ενέργειας. Μια γενική εικόνα μπορεί να πάρει ο αναγνώστης από τον Πίνακα 10.2.

Πίνακας 10.2 Περιβαλλοντικοί και κοινωνικοί δείκτες από τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα (EC, 2002⁶ και Tsoutsos et al, 2005⁷).

Δείκτης	Κεντρικά ηλιοθερμικά συστήματα για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης	Αποκεντρωμένα ηλιοθερμικά συστήματα για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης	Κεντρικά φωτοβολταϊκά συστήματα	Αποκεντρωμένα φωτοβολταϊκά συστήματα	Ηλιοθερμικά συστήματα ισχύος
Εξοικονόμηση εκπομπών CO ₂	1,4 kg /kWh ή 840 kg/m ² έτος	1,4 kg /kWh ή 840 kg/m ² έτος	0,6-1,0 kg/kWh	0,6-1,0 kg/kWh	Ετήσια 688 t/MW σε σύγκριση με συμβατικό συνδυασμένου κύκλου 1.360 t/MW όταν συγκρίνεται με μονάδα άνθρακα
Απασχόληση (το 2002 σε όλη την Ευρώπη)	4.000 θέσεις εργασίας/έτος	4.000 θέσεις εργασίας/έτος	2-3.000 θέσεις εργασίας/έτος	2-3.000 θέσεις εργασίας/έτος	1 μόνιμη θέση εργασίας / MW για τη λειτουργία + 10-15 θέσεις εργασίας / MW για 12-18 μήνες της κατασκευής
Συνολική απασχόληση	12.000 θέσεις εργασίας/έτος	12.000 θέσεις εργασίας/έτος	4-5.000 θέσεις εργασίας/έτος	4-5.000 θέσεις εργασίας/έτος	1.000 μόνιμες θέσεις για 1.000 MW

⁶ EC, Scientific and technological references. Energy technology indicators, DG RTD, www.cordis.lu/eesd/src/indicators.htm, 2002.

⁷ Tsoutsos, T., Frantzeskaki, N., Gekas, V., 2005, *Environmental Impact Assessment of Solar Energy Systems*, Energy Policy, Vol. 33/3, σελ. 289-296.

10.3.1 Επιπτώσεις από τα ηλιοθερμικά συστήματα ισχύος

Μολονότι μέχρι σήμερα δεν έχουν μελετηθεί πλήρως όλα τα στάδια, οι περισσότερες μελέτες συγκλίνουν στο ότι οι ενδεχόμενες αρνητικές επιπτώσεις μπορούν να συνδεθούν όχι μόνο με τα στάδια της επεξεργασίας των υλικών και της κατασκευής των εξαρτημάτων, αλλά και με άλλες δραστηριότητες.

Σημαντικές επιπτώσεις εμφανίζονται στην άνεση και σχετίζονται με τη μεγάλη επιφάνεια που απαιτείται για την αξιοποίηση της τεχνολογίας. Άλλες επιπτώσεις, όπως επιβάρυνση στις υδατικές πηγές, συνδέονται με τις συμβατικές εγκαταστάσεις παραγωγής ατμού και μεταφοράς ρευστών σε κάποια από τα συστήματα αυτά. Τέτοια προβλήματα είναι:

- επιπτώσεις από τις κατασκευαστικές δραστηριότητες (εκπομπές, θόρυβος, επαγγελματικά ατυχήματα, επιδράσεις στα τοπικά οικοσυστήματα και τους κατοίκους κ.λπ.)
- οπτική όχληση
- θόρυβος
- χρήση γης και επακόλουθες οικολογικές επιπτώσεις
- υδατικές πηγές
- επαγγελματικοί κίνδυνοι

Πολλές από τις επιπτώσεις αυτές έχουν τοπικό χαρακτήρα και επηρεάζονται σε σημαντικό βαθμό από τη χωροθέτηση των εγκαταστάσεων. Οι απαιτήσεις της τεχνολογίας (υψηλή ηλιοφάνεια, χαμηλά επίπεδα ατμοσφαιρικής υγρασίας και μεγάλες επιφάνειες γης) σημαίνουν ότι τυπικά τα συστήματα αυτά χωροθετούνται μακριά από ανθρώπινους πληθυσμούς ελαχιστοποιώντας την αρνητική επίπτωση σε άνεση. Συνολικά οι ενδεχόμενες επιπτώσεις παρουσιάζονται στον Πίνακα 10.3.

α) Εκπομπές κατά την επεξεργασία και την κατασκευή των υλικών

Μία εκτίμηση σε σχέση με τις εκπομπές από τα στάδια αυτά γίνεται στον Πίνακα 10.3. Τα αποτελέσματα αυτά μεταβάλλονται σε σχέση με τη θέση (επίπεδα ηλιοφάνειας), αλλά είναι φανερό ότι οι εκπομπές από τα ηλιακά συστήματα ισχύος είναι τουλάχιστον μία τάξη μεγέθους μικρότερες από των συμβατικών.

Πίνακας 10.3 Εκπομπές από την επεξεργασία των υλικών και την κατασκευή (International Energy Agency, 1999⁸).

Εκπομπές (g/kWh)			
	Παραβολικού κατόπτρου	Παραβολικού «πίπτου» εστιακού σημείου (Stirling)	Ηλιακού πύργου
CO ₂	38	27	26
SO ₂	0,27	0,13	0,21
NO _x	0,13	0,06	0,08

β) Επιπτώσεις κατά την κατασκευή

Οι κυριότερες επιπτώσεις είναι:

- εκπομπές στην ατμόσφαιρα από τις εγκαταστάσεις και τον εξοπλισμό που χρησιμοποιείται, τις μεταφορές εργατών στον τόπο κατασκευής, τις μεταφορές υλικών. Οι εκπομπές αυτές είναι σχετικά μικρές σε σχέση με τα άλλα στάδια
- θόρυβος, αυξημένες πιθανότητες ατυχημάτων από τη μεταφορά εργατών και υλικών
- αυξημένη οπτική όχληση κατά την προσωρινή περίοδο κατασκευής
- εργατικά ατυχήματα

Στις περισσότερες περιπτώσεις αυτή η περίοδος δεν είναι πολύ μακρά σε διάρκεια και η απαιτούμενη προσοχή ελαχιστοποιεί τις αρνητικές επιπτώσεις.

γ) Οπτική όχληση από την εγκατάσταση

Η οπτική όχληση από τα συστήματα παραβολικών κατόπτρων και τύπου πύργου μπορεί να είναι σημαντική, γιατί μία σημαντική επιφάνεια καταλαμβάνεται από συστήματα καθρέπτη. Επιπλέον υπάρχουν κτίρια που σχετίζονται με την εγκατάσταση, ψυκτικοί πύργοι και ο ίδιος ο πύργος (στην περίπτωση του συστήματος ηλιακού πύργου). Στην τελευταία περίπτωση μια εγκατάσταση 200 MWe απαιτεί πύργο ύψους 239 m και συλλεκτική επιφάνεια 180 ha καλύπτοντας συνολική επιφάνεια γης 1.000 ha. Συγκριτικά μία μεγάλη εγκατάσταση άνθρακα 1.800 MW κα-

⁸ International Energy Agency, Priddle R. (ed), 1999, *Benign Energy? The Environmental Implications of renewables*, www.iea.org.

ταλαμβάνει 67 ha και η καμινάδα έχει ύψος 230 m, με ψυκτικούς πύργους 170 m. Επιπλέον υπάρχει η οπτική όχληση από την εξόρυξη, τη μεταφορά άνθρακα και την αποθήκευση στάχτης.

Η χωροθέτηση μακριά από κατοικίες ελαχιστοποιεί τις επιπτώσεις αυτές. Επιπλέον αποφεύγεται η χωροθέτηση σε περιοχές ιδιαίτερου φυσικού κάλους.

Η οπτική όχληση από τα συστήματα παραβολικού «πιάτου» είναι μικρότερη. Λαμβάνεται πρόβλεψη ώστε να μην είναι πολύ κοντά σε κατοικίες.

δ) Θόρυβος

Η χρήση εγκαταστάσεων παραγωγής ατμού (εδικά στην περίπτωση των ηλιακών πύργων και των παραβολικών κατόπτρων) δημιουργεί θόρυβο από ανεμιστήρες, αντλίες και γεννήτριες. Ο θόρυβος αυτός όμως προκαλείται κατά τη διάρκεια της ημέρας, γιατί τη νύχτα (όπου υπάρχει μεγαλύτερη ευαισθησία) η εγκατάσταση δε λειτουργεί. Επιπλέον η χωροθέτησή τους μακριά από κατοικίες δε δημιουργεί πρόβλημα.

Οι μηχανές Stirling παραβολικού πιάτου είναι επίσης πηγή θορύβου όταν δουλεύουν. Είναι όμως πολύ λιγότερο θορυβώδεις σε σχέση με γεννήτριες ντίζελ που αντικαθιστούν και οι οποίες λειτουργούν, συχνά, και τη νύχτα.

ε) Χρήση γης και επίπτωση στα οικοσυστήματα

Τα συστήματα παραβολικών κατόπτρων και ηλιακού πύργου έχουν μεγάλες απαιτήσεις σε γη (περίπου 4 ha/MWe) για τους συλλέκτες και τον ηλιοστάτη. Απαιτείται λοιπόν προσοχή κατά το σχεδιασμό, την κατασκευή και τη λειτουργία, ώστε να ελαχιστοποιηθούν τυχόν προβλήματα στη βλάστηση και το έδαφος και όχλησης των κατοίκων. Γι' αυτό σήμερα οι περισσότερες θέσεις επιλέγονται ή μελετώνται να επιλεγούν σε ξηρές ερημικές περιοχές. Η σκίαση από τους ανακλαστήρες και ως προς τον ήλιο, αλλά και τον αέρα θα αλλάξει το μικροκλίμα με πιθανά ευεργετικά αποτελέσματα στη βλάστηση. Έτσι, προωθώντας την αξιοποίηση περιοχών με μικρό οικολογικό ενδιαφέρον οι αλλαγές αυτές δεν είναι σημαντικές.

Η συγκέντρωση φωτός και θερμικής ενέργειας μπορεί να θέσει σε κίνδυνο την πανίδα (παραδείγματος χάριν, τα ιπτάμενα έντομα συχνά αποτεφρώνονται, ενώ τα πτηνά απομακρύνονται από τις επικίνδυνες περιοχές).

Τα συστήματα παραβολικού πιάτου έχουν μικρότερες απαιτήσεις σε γη. Επιπλέον χρησιμοποιούνται σε μικρό αριθμό και συνεπώς έχουν αμελητέα επίπτωση στα οικοσυστήματα.

στ) Υδάτινοι πόροι

Τα συστήματα παραβολικών κατόπτρων και ηλιακού πύργου που χρησιμοποιούν εγκατάσταση συμβατικής παραγωγής ατμού για την παραγωγή ηλεκτρισμού απαιτούν νερό ψύξης. Αυτό δημιουργεί σημαντικό πρόβλημα σε περιοχές που αρδεύονται. Μία λύση στο πρόβλημα αυτό είναι η αξιοποίηση του ψυχρού αέρα της νύχτας για ψύξη του θερμού νερού της ημέρας.

Επιπλέον συγκεντρώσεις κάποιων συστατικών θα αυξηθούν στο νερό, ως αποτέλεσμα της εξάτμισης του νερού. Επίσης το νερό που εκβάλλεται μπορεί να περιέχει επικίνδυνες χημικές ουσίες (βιοκτόνα [biocides]). Μία θερμική ρύπανση είναι επιπλέον πιθανή, αν και εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του νερού που χρησιμοποιείται.

Η ρύπανση στο νερό μπορεί να οφείλεται σε ατυχήματα ή ακατάλληλες πρακτικές κατά τη λειτουργία, οδηγώντας σε απελευθέρωση ρυπαντών, π.χ., υδρογονανθράκων, παρεμποδιστών της διάβρωσης, βακτηριδίων και γλυκολών. Τα προβλήματα αυτά ελαχιστοποιούνται με ορθές πρακτικές κατά τη λειτουργία.

Τα συστήματα παραβολικού «πιάτου» δεν απαιτούν νερό, παρά μόνο για τον καθαρισμό κατά περιόδους των επιφανειών ανάκλασης.

Συνοπτικά όλες οι ενδεχόμενες οχλήσεις παρουσιάζονται στον Πίνακα 10.4 που ακολουθεί.

Πίνακας 10.4 Συνοπτική παρουσίαση των ενδεχόμενων περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τα ηλιοθερμικά συστήματα ισχύος (International Energy Agency, 1999⁹).

Επιβάρυνση	Αποδέκτης	Επίπτωση
Εξαγωγή, μεταφορά και διαχείριση υλικών Κατασκευή και μεταφορά εξαρτημάτων	Διάφοροι	Εκπομπές θόρυβος κ.λπ.
Κατασκευή		
Διαδικασία κατασκευής	Διάφοροι	Εκπομπές
Κατασκευή δρόμου		Αυξημένη πρόσβαση
Εκπομπές	Διάφοροι	Εκπομπές
Άνεση		
Θόρυβος	Ευρύ κοινό	Όχληση από θόρυβο
Οπτική όχληση	Ευρύ κοινό	Επιπτώσεις στην αισθητική

⁹ International Energy Agency, Priddle R. (ed), 1999, *Benign Energy? The Environmental Implications of renewables*, www.iea.org.

Επιβάρυνση	Αποδέκτης	Επίπτωση
Οικολογία		
Θόρυβος/δραστηριότητα κατασκευής	Οικοσυστήματα	Διαταραχή λειτουργίας
Χρήση γης/ανασκαφή	Οικοσυστήματα	Απώλεια κατοικιών
Επαγγελματική υγιεινή και ασφάλεια	Εργαζόμενοι	Ατυχήματα
	Απασχόληση	Αύξηση απασχόλησης
Παραγωγή		
Εκπομπές		
Λειτουργία	Νερό	Θερμική ρύπανση και συγκέντρωση ουσιών
Ατυχήματα	Νερό/έδαφος	Απελευθέρωση ρυπαντών
Άνεση και ηρεμία		
Θόρυβος	Κάτοικοι	
Οπτική επίπτωση	Κάτοικοι, ταξιδιώτες, άλλοι	Οπτική διατάραξη
Επαγγελματική υγεία		
Ανακλώμενο φως	Εργαζόμενοι	Βλάβη της όρασης
Απελευθέρωση μέσου μεταφοράς θερμότητας	Εργαζόμενοι	Διάφορες επιπτώσεις στην υγεία
Απασχόληση	Εργαζόμενοι	Αυξημένη απασχόληση
Οικοσυστήματα		
Χρήση γης	Οικοσυστήματα	Απώλεια φυσικού περιβάλλοντος, διαταραχή
Αποικοδόμηση	Διάφοροι	Εκπομπές, θόρυβος κ.λπ.

Τα κυριότερα μέτρα για τον περιορισμό των προβλημάτων αυτών συνοψίζονται ως εξής:

- υιοθέτηση των κανονισμών ασφάλειας και καλής πρακτικής κατά τη λειτουργία, όπως τα προβλεπόμενα μέτρα για πτώση ή ηλεκτροπληξία
- αποφυγή περιοχών ευαίσθητων οικολογικά και επανεγκατάσταση της τοπικής χλωρίδας και πανίδας.

10.3.2 Επιπτώσεις από τα φωτοβολταϊκά συστήματα

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα δημιουργούν λίγα περιβαλλοντικά προβλήματα. Αντίθετα είναι καθαρή πηγή ενέργειας που δεν προκαλεί εκπομπές στην ατμόσφαιρα από την παραγωγή ηλεκτρισμού, γιατί αξιοποιείται μία φυσική πηγή ανανεώσιμης ενέργειας, ο Ήλιος, και μετατρέπεται σε ηλεκτρική ισχύ. Εντούτοις, ενδεχομένως, μπορούν να προκληθούν κάποια περιβαλλοντικά προβλήματα. Τα προβλήματα αυτά σχετίζονται με μεγάλα συστήματα μεγαλύτερα του MW και οφείλονται στη χρήση μεγάλης επιφάνειας γης που απαιτεί η λειτουργία των συστημάτων αυτών, με άμεσο αντίκτυπο στην οπτική διαταραχή και ενδεχόμενες επιπτώσεις στα οικοσυστήματα. Επιπλέον υπάρχει δυνητικός αριθμός από επιπτώσεις κατά την κατασκευή των φωτοβολταϊκών στοιχείων, που είναι μια διεργασία έντασης ενέργειας και χρησιμοποιεί κάποια πιθανά τοξικά και επικίνδυνα υλικά.

α) Εκπομπές από την εξόρυξη της πρώτης ύλης, τη διαχείριση υλικών και την παραγωγή στοιχείων

Χρησιμοποιείται μεγάλος αριθμός υλικών που ενδεχόμενα είναι τοξικά και επικίνδυνα αν ληφθούν από το στόμα, διαλύτες και μέσα μεταφοράς στη βιομηχανία φωτοβολταϊκών κ.ά. (Πίνακας 10.5).

Πίνακας 10.5 Τοξικά και επικίνδυνα υλικά που χρησιμοποιούνται στη Βιομηχανία φωτοβολταϊκών (International Energy Agency, 1999¹⁰).

Υλικό	Ευφλεκτότητα	Τοξικότητα
1. ΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΟ ΠΥΡΙΤΙΟ		
SiHCl ₃	Αρκετά εύφλεκτο όταν εκτεθεί σε θερμότητα, φωτιά ή αέρα	Μέτρια τοξικό μετά από εισπνοή
POCl ₃	Ενδεχόμενη εκρηκτική αντίδραση με νερό	Τοξικό μετά από εισπνοή
2. ΑΜΟΡΦΟ ΠΥΡΙΤΙΟ		
SiH ₄		Ήπια τοξικό μετά από εισπνοή
PH ₃	Αυθόρμητη ανάφλεξη στον αέρα, σφόδρα επικίνδυνη για φωτιά από αυθόρμητη χημική αντίδραση	Πολύ τοξικό
B ₂ H ₆	Αντιδρά βίαια με τον αέρα. Αντιδρά με το νερό προς υδρογόνο που είναι ενδεχόμενα εκρηκτικό	Υψηλά τοξικό
Cd		Βαρύ μέταλλο, τοξικό, ύποπτο καρκινογένεσης
CIS (SeH ₂)	Επικίνδυνο για φωτιά όταν εκτεθεί σε θερμότητα ή φλόγα. Σχηματίζει εκρηκτικό μείγμα με τον αέρα	Εξαιρετικά τοξικό

Τα στοιχεία πυριτίου είναι φτιαγμένα από πρώτες ύλες που είναι ευρέως διαθέσιμες (χαλαζία και άμμο χαλαζία), αλλά τα στοιχεία CIS χρησιμοποιούν ίνδιο και τα στοιχεία CdTe τελλούριο. Συνεπώς, η παραγωγή σε μεγάλη κλίμακα τέτοιων στοιχείων θα μπορούσε να προκαλέσει εξάντληση των αποθεμάτων.

Η παραγωγή των φωτοβολταϊκών στοιχείων είναι γενικά μια διεργασία με υψηλή ενεργειακή ένταση. Ο Πίνακας 10.6 δίνει αρκετές πληροφορίες.

¹⁰ International Energy Agency, Priddle R. (ed), 1999, *Benign Energy? The Environmental Implications of renewables*, www.iea.org.

Πίνακας 10.6 Εκτίμηση των εισροών ενέργειας και των υλικών για την παραγωγή 1 m² φωτοβολταϊκού πλαισίου (Fthenakis και Kim, 2011¹¹).

Κατηγορία	Εισροές	Ταινία पुरित्तु (Ribbon-Si)	Πολυκρυσταλλικού पुरित्तु	Μονοκρυσταλλικού पुरित्तु	CdTe
Συστατικά (kg)	Συστατικά υλικά Φ/Β στοιχείου	0,9	1,6	1,5	0,065
	Γυαλί	9,1	9,1	9,1	19,2
	Οξικό άλας αιθυλενίου βινυλίου (EVA)	1,0	1,0	1,0	0,6
	Λοιπά	1,8	1,8	1,8	2,0
Αναλώσιμα (kg)	Αέρια	6,1	2,2	7,8	0,001
	Υγρά	2,2	6,8	6,6	0,67
	Λοιπά	0,01	4,3	4,3	0,4
Ενέργεια	Ηλεκτρισμός (kWh)	182	248	282	59
	Πετρέλαιο (L)	0,05	0,05	0,05	0,05
	Φυσικό αέριο (MJ)	166	308	361	-

Ο παραπάνω πίνακας περιλαμβάνει τις εισροές που λαμβάνονται υπόψη σε ανάλυση κύκλου ζωής (AKZ [LCA]) για την παραγωγή 1 m² φωτοβολταϊκού πλαισίου (για τέσσερα διαφορετικά είδη Φ/Β πλαισίων). Οι εισροές διαχωρίζονται σε τρεις κατηγορίες: τα συστατικά κατασκευής των Φ/Β πλαισίων, τα αναλώσιμα υλικά και η ενέργεια που καταναλώνεται.

Όπως προκύπτει από τον Πίνακα 10.6, για τα φωτοβολταϊκά στοιχεία κρυσταλλικού πुरित्तु, η παραγωγή μονοκρυσταλλικών στοιχείων έχει τη μεγαλύτερη ενεργειακή ένταση (282 kWh ηλεκτρισμός + 0,05 L πετρέλαιο + 361 MJ φυσικό αέριο). Η παραγωγή στοιχείων κρυσταλλικού πुरित्तु έχει σημαντικά μεγαλύτερη ενεργειακή ένταση από των στοιχείων CdTe. Συνεπώς, τα στοιχεία κρυσταλλικού πुरित्तु συνδέονται με περισσότερες εκπομπές.

¹¹ Fthenakis, V.M., Kim H.C., 2011, *Photovoltaics: Life-cycle analyses*, Solar Energy 85 1609-1628.

Β) Εκπομπές από άλλα συστατικά του συστήματος

Οι εκπομπές που προκαλούνται από την παραγωγή των συστημάτων εξισορρόπησης¹² για δύο τυπικά συστήματα (ένα σύστημα οροφής και ένα ενσωματωμένο στο κέλυφος του κτιρίου) συνοψίζονται στους Πίνακες 10.7α και 10.7β που ακολουθούν.

Πίνακας 10.7α Εκτίμηση εισροών από ανάλυση κύκλου ζωής σε Φ/Β σύστημα οροφής [On-roof] (Fthenakis and Kim, 2011¹³).

	<i>Phonix, Tectosun</i>	<i>Schletter, Eco5+ EcoG</i>
<i>(α) Σύστημα στερέωσης (kg/m²)</i>		
Χάλυβας χαμηλού κράματος	0	0
Ανοξείδωτος χάλυβας	0,49	0,72
Αλουμίνιο (Al)	0,54	0,97
Σκυρόδεμα	0	0
Πλαίσια	3,04	0
		<i>Heukable, Solaflex101,4 mm², DC</i>
<i>(β) Καλωδίωση (g/m²)</i>		
Χαλκός		83,0
Θερμοπλαστικό ελαστομερές (TPE)		64,0
PVC		0,0
		<i>Philips PSI 500 (500 W)</i>
<i>(γ) Αντιστροφέας (inverter)(g)</i>		
Χάλυβας		78
Αλουμίνιο (Al)		682
Χαλκός		2
Πολυανθρακικά		68
Θερμοπλαστικά ABS		148

¹² Ο όρος «σύστημα εξισορρόπησης» αποτελεί μετάφραση του αγγλόφωνου όρου (Balance Of System-BOS), που αναφέρεται στο σύνολο του βοηθητικού εξοπλισμού που χρησιμοποιείται για τη λειτουργία ενός Φ/Β συστήματος, εξαιρουμένου του ίδιου του Φ/Β πλαισίου (π.χ., σύστημα στερέωσης Φ/Β, καλωδιώσεις, αντιστροφέας κ.λπ.).

¹³ Fthenakis, V.M., Kim H.C., 2011, *Photovoltaics: Life-cycle analyses*, Solar Energy 85 1609-1628.

Λοιπά πλαστικά		5,4
Πλακέτες τυπωμένου κυκλώματος		100
Συνδετήρας (connector)		50
Μετασχηματιστές (wire-wound)		310
Πηνία		74
Δίοδοι τρανζίστορ		10
Πυκνωτές (φιλμ)		72
Πυκνωτές (ηλεκτρολυτικοί)		54
Λοιπά ηλεκτρικά εξαρτήματα		20

Πίνακας 10.78 Απαιτούμενες εισροές από σύστημα ενσωματωμένο στην οροφή [In-roof] (Fthenakis and Kim, 2011¹⁴)

	<i>Schletter, Plandach 5</i>	<i>Schweizer, Solrif</i>
(α) Σύστημα στερέωσης (kg/m^2)		
Χάλυβας χαμηλού κράματος	0	0
Ανοξείδωτος χάλυβας	0,28	0,08
Αλουμίνιο (Al)	1,21	1,71
Σκυρόδεμα	0	0
Πλαίσια	3,04	0
		<i>Heukable, NYM-J, 6 mm², AC</i>
(β) Καλωδίωση (g/m^2)		
Χαλκός		19,9
Θερμοπλαστικό ελαστομερές (TPE)		0,0
PVC		16,9
		<i>Mastervolt SunMaster 2500 (2.500 W)</i>
(γ) Αναστροφέας (inverter) (g)		
Χάλυβας		9.800

¹⁴ Fthenakis, V.M., Kim H.C., 2011, *Photovoltaics: Life-cycle analyses*, Solar Energy 85 1609-1628.

Αλουμίνιο (Al)		1.400
Χαλκός		
Πολυανθρακικά		
Θερμοπλαστικά ABS		
Λοιπά πλαστικά		
Πλακέτες τυπωμένου κυκλώματος		1.800*
Συνδετήρας (connector)		
Μετασχηματιστές (wire-wound)		5.500
Πηνία		
Δίοδοι τρανζίστορ		
Πυκνωτές (φιλμ)		
Πυκνωτές (ηλεκτρολυτικοί)		
Λοιπά ηλεκτρικά εξαρτήματα		

*Μαζί με τα ηλεκτρικά εξαρτήματα.

γ) Επιπτώσεις κατά την εγκατάσταση και τη λειτουργία

Οι κυριότερες επιπτώσεις στα οικοσυστήματα δημιουργούνται κατά τη διάρκεια της εγκατάστασης (προέρχονται από τα υλικά που χρησιμοποιούνται, Πίνακας 10.5), από κατασκευαστικές δραστηριότητες και μεταφορικές κινήσεις. Οι επιπτώσεις αυτές μπορούν να περιοριστούν με προσεκτικό προγραμματισμό ώστε να μειωθούν οι μετακινήσεις όπου αυτό είναι δυνατό. Παράλληλα με την υποστήριξη και την επαναδημιουργία της βιοποικιλότητας στην τοποθεσία υποστηρίζοντας τη χλωρίδα και την πανίδα μπορούν να ανακτήσουν μεγάλο μέρος των αρχικών τους χαρακτηριστικών.

Με την ολοκλήρωση της κατασκευής η γη δεν αποσπάται από άλλες χρήσεις. Σε θερμές και ξηρές περιοχές η σκίαση από τις διατάξεις μπορεί να συμβάλει στη διατήρηση της υγρασίας με ευεργετικά αποτελέσματα στην παραγωγικότητα της γης.

Μεγάλα συστήματα συνδεδεμένα θα μπορούσαν να είχαν σημαντικές επιπτώσεις ιδιαίτερα σε οικολογικά ευαίσθητες περιοχές.

Επιπλέον η έκθεση στα φωτοβολταϊκά υλικά θα μπορούσε να ήταν επικίνδυνη για τη δημόσια και επαγγελματική υγεία και συνεπώς γίνεται επεξεργασία στην πλειοψηφία των υπολειμμάτων πριν παραδοθούν τα συστήματα. Επιπλέον ρύ-

πανση στο έδαφος και τα υπόγεια νερά μπορεί να δημιουργηθεί από ανεπαρκή αποθήκευση των υλικών.

Οπτική όχληση

Εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό από τον τύπο του σχήματος. Σε μεγάλες επιφάνειες που απαιτούνται για εγκαταστάσεις MW θα μπορούσε να δημιουργηθεί σημαντική οπτική επίπτωση. Για μικρά απομονωμένα συστήματα η επίπτωση αυτή γίνεται πολύ μικρότερη, ιδιαίτερα για συστήματα οροφής. Στην περίπτωση όπου δεν υπάρχει δίκτυο η επιβάρυνση που δημιουργείται είναι σημαντικά μικρότερη από την υποδομή (πυλώνες, καλώδια, μετασχηματιστές κ.λπ.) που απαιτείται για τη σύνδεση των περιοχών αυτών με το δίκτυο.

Κίνδυνοι για τη δημόσια υγεία

Για στοιχεία οροφής ή ενσωματωμένα στο κέλυφος των κτιρίων, τυχόν φωτιά στο κτίριο οδηγεί σε απελευθέρωση στην ατμόσφαιρα των ρυπαντών από τα στοιχεία (Cd, Te, Se, As), προκαλώντας κίνδυνο για τη δημόσια υγεία. Ο κίνδυνος αυτός είναι πολύ μικρός από τη διασπορά των στοιχείων αυτών για εγκαταστάσεις σε μικρές κατοικίες (<5 kWp). Για μεγαλύτερες εγκαταστάσεις (> 100 kWp) απαιτούνται συνήθη μέτρα (π.χ., όλοι οι κάτοικοι σε απόσταση από την εγκατάσταση 1-2 km να παραμείνουν στις οικίες με κλειστές πόρτες και παράθυρα).

Κίνδυνοι για την επαγγελματική υγεία

Κατά τη διάρκεια της κατασκευής και της εγκατάστασης οι κίνδυνοι είναι τυπικοί όπως για κάθε εγκατάσταση παραγωγής ενέργειας. Πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι, όπως σε κάθε ηλεκτρολογική εγκατάσταση, απαιτείται μέριμνα για προστασία από ηλεκτροπληξία (η IEC – International Electrotechnical Committee συμβουλεύει ότι τάσεις μεγαλύτερες από 50 V για εναλλασσόμενο και 100 V για συνεχές ρεύμα μπορεί να αυξήσουν τις επικίνδυνες ηλεκτροπληξίες).

Άλλες επιπτώσεις από τη φάση της κατασκευής

Κατά τη φάση της κατασκευής θα υπάρξουν επιπτώσεις στην ηρεμία και την άνεση των κατοίκων από θόρυβο στους δρόμους από τη μεταφορά κ.λπ.

δ) Επιπτώσεις από την αποικοδόμηση της εγκατάστασης

Εκτός από τα συστήματα πυριτίου, η τοξικότητα του Cd αφορά τη διάθεση των συστημάτων CdTe. Στην περίπτωση αυτή απαιτείται ανακύκλωση ή διάθεση σύμφωνα με τους κανονισμούς διάθεσης απορριμμάτων. Η καύση οδηγεί σε ανεξέλεγκτες

αέριες εκπομπές Cd. Αντίστοιχα η ανεξέλεγκτη διάθεση σε χωματερές οδηγεί σε ρύπανση των υπόγειων υδάτων.

ε) Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τα φωτοβολταϊκά συστήματα (συνολική παρουσίαση)

Οι ακριβείς επιπτώσεις των φωτοβολταϊκών συστημάτων εξαρτώνται τόσο από τον τύπο του στοιχείου όσο και από το μέγεθος. Γενικά κατά τη φάση της λειτουργίας εμφανίζονται μικρές επιπτώσεις, αλλά αυτές είναι σημαντικές στην παραγωγή, την κατασκευή και τη φάση αποικοδόμησης της εγκατάστασης, όπως:

- Επιπτώσεις από τις δραστηριότητες κατασκευής (στα τοπικά οικοσυστήματα και τους κατοίκους κ.λπ.)
- Οπτική όχληση
- Περιβαλλοντικές επιπτώσεις, δημόσιες και επαγγελματικές
- Αποικοδόμηση του συστήματος

Οι εκπομπές που συνδέονται με την παραγωγή παραμένουν η κύρια πηγή των εκπομπών στον κύκλο ζωής. Εντούτοις κάποιες εκπομπές που συνδέονται με τα πλαίσια και τις δομές στήριξης στην ανύψωση μπορεί να είναι σημαντικές, ιδιαίτερα στα στοιχεία CdTe. Η εισαγωγή Φ/Β στοιχείων χωρίς πλαίσια για την ενσωμάτωση στο κτίριο βοηθά στην αποφυγή της κατανάλωσης σημαντικής ποσότητας ενέργειας για τα πλαίσια αλουμινίου και συνεπώς ελαττώνει τις συνολικές εκπομπές του συστήματος.

Σε γενικές γραμμές ισχύει ο κανόνας ότι αποφεύγεται η εκπομπή CO₂ από 0,4-0,9 kg/kWh σε σχέση με το ντίζελ.

10.3.3 Επιπτώσεις από τα ενεργητικά ηλιακά θερμικά συστήματα

Τα συνήθη ενεργητικά ηλιακά θερμικά συστήματα είναι τα ευρέως διαδεδομένα οικιακά θερμοσιφωνικά συστήματα, γνωστά ως ηλιακοί θερμοσίφωνες που εγκαθίστανται στην οροφή των κτιρίων. Τα προβλήματα που αφορούν αυτά τα συστήματα είναι περιορισμένα και αναφέρονται κυρίως στην κατασκευή και την λειτουργία.

Η τεχνολογία γενικά δε δημιουργεί προβλήματα εκπομπών, απορριμμάτων, θορύβου και ιονισμού. Με τη χρήση των ηλιακών θερμικών συστημάτων που είχαν εγκατασταθεί μέχρι το 2008 αποφεύγεται η εκπομπή 1,6 Mt CO₂ ανά έτος¹⁵. Επίσης

¹⁵ www.ebhe.gr (10/11/2012).

αξιόλογη είναι η εξοικονόμηση ενέργειας που προκύπτει από τη χρήση τους με προφανές όφελος για την εθνική οικονομία.

Τα συστήματα αυτά δε χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ενέργειας, αλλά για την υποκατάσταση άλλων μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ηλεκτρισμός, ντίζελ κ.λπ.). Έτσι, ο ρόλος τους κρίνεται ευεργετικός για το περιβάλλον.

α) Επιπτώσεις κατά τη διαδικασία κατασκευής και εγκατάστασης

Η συλλεκτική επιφάνεια των ενεργητικών ηλιακών θερμικών συστημάτων κατασκευάζεται συνήθως από αλουμίνιο, σίδηρο ή χαλκό. Το διαφανές τοίχωμα στο μπροστινό μέρος του συλλέκτη κατασκευάζεται από γυαλί ή από plexiglass. Το πλαίσιο κατασκευάζεται από αλουμίνιο ή σίδηρο και η βάση στήριξης συνήθως από σίδηρο. Τέλος το μέσο απαγωγής και μεταφοράς της θερμότητας είναι το νερό, ο αέρας ή κάποιο άλλο ρευστό. Στον Πίνακα 10.8 βλέπουμε τα υλικά από τα οποία κατασκευάζονται τα βασικά μέρη ενός τέτοιου ενεργητικού συστήματος.

Πίνακας 10.8 Ποσότητες υλικών ανά μονάδα επιφάνειας συλλέκτη (International Energy Agency, 1999¹⁶).

ΤΜΗΜΑΤΑ & ΥΛΙΚΑ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ (kg/m ²)
ΣΥΛΛΕΚΤΗΣ	
• χάλυβας	5-20
• χαλκός	2.5
• αλουμίνιο	3
ΔΙΑΦΑΝΕΣ ΤΟΙΧΩΜΑ	
• plexiglass	5,5-10,0
ΠΛΑΙΣΙΟ ΣΥΛΛΕΚΤΗ	
• αλουμίνιο	2-3
• χάλυβας	4-5
ΜΟΝΩΣΗ	
• Υαλοβάμβακας	2,5
ΑΔΙΑΒΡΟΧΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ	
• πυρίτιο	0,5
• πολυαιθυλένιο	0,5
• EPDM	0,5
• EVOPRENE	0,5

¹⁶ International Energy Agency, Priddle R. (ed), 1999, *Benign Energy? The Environmental Implications of renewables*, www.iea.org.

Επιπλέον οι διεργασίες που αφορούν την αντιδιαβρωτική προστασία, την ανοδική επεξεργασία, καθώς και τις πολυεστερικές θερμικές βαφές του αλουμινίου, παράγουν κάποιες ποσότητες αποβλήτων πλήρως αναστρέψιμης τοξικότητας. Παρεμφερείς είναι και οι επιπτώσεις κατά την κατασκευή συλλεκτών με σωλήνες κενού, και μπορούν να αναχθούν στις αντίστοιχες ισομεγεθών μηχανολογικών κατασκευών κάθε είδους.

β) Επιπτώσεις κατά τη λειτουργία των ηλιακών συστημάτων

Επιπτώσεις στα οικοσυστήματα και τους υδάτινους πόρους

Αν και δεν έχουμε εκπομπές ρύπων κατά την κανονική λειτουργία, σημασία δίνεται στη διαχείριση των ψυκτικών μέσων που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά θερμότητας. Πιο συγκεκριμένα, υπάρχουν οι διαρροές ρουτίνας (υπερχειλίσσεις κ.λπ.) σε καθημερινή βάση και οι διαρροές που οφείλονται σε ατυχήματα. Στις περισσότερες περιπτώσεις ο φορέας είναι νερό εμπλουτισμένο με αντιπηκτικά και αντιδιαβρωτικά πρόσθετα, τα οποία δεν είναι τοξικά και με οξύτητα pH της τάξης του 8.

Επιπτώσεις στην αισθητική

Τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα αντιμετωπίζουν κριτική κάποιες φορές σε σχέση με τη δυνατότητά τους να ενταχθούν στο κέλυφος των κτιρίων όπου εγκαθίστανται. Ο προσεκτικός σχεδιασμός των κτιρίων, ιδιαίτερα σε ό,τι αφορά τη στέγη, αλλά και τα νέα συστήματα που έχουν ήδη εμφανιστεί στην αγορά ελαχιστοποιούν το πρόβλημα αυτό.

Η χρήση κεντρικών ηλιακών συστημάτων για παραγωγή ζεστού νερού στα κτίρια μειώνει στο ελάχιστο τα προβλήματα αισθητικής. Τα συστήματα αυτά αποτελούνται από το πεδίο των συλλεκτών που τοποθετούνται στην οροφή ή το έδαφος και τη δεξαμενή αποθήκευσης στο υπόγειο (λεβητοστάσιο). Επίσης στην περίπτωση κεκλιμένης στέγης ο συλλέκτης μπορεί να ενσωματωθεί σ' αυτήν. Οι παρατηρήσεις αυτές ισχύουν τόσο για θέρμανση όσο και για ψύξη χώρων (κλιματισμός).

10.4 Υδροηλεκτρικά έργα

10.4.1 Υδροηλεκτρικά συστήματα – μεγάλα έργα

Η ανάπτυξη και λειτουργία των υδροηλεκτρικών έργων, αν και από πρώτη άποψη απαλλάσσεται από την εκπομπή συμβατικών ρυπαντικών φορτίων, όπως οι αέριες εκπομπές, τα στερεά και υγρά απόβλητα κ.λπ., προκαλεί προς το φυσικό και κοινωνικό περιβάλλον ορισμένες διαταραχές. Αυτές μπορεί να είναι ανάλογα με τον αποδέκτη και το είδος της διαταραχής:

α) Έδαφος

Όταν η κατασκευή συνδυάζεται και με την κατασκευή υδροταμιευτήρα:

- Με τη δημιουργία του φράγματος και των λοιπών συνοδευτικών έργων κατακλύζονται εκτάσεις γης (συνήθως γεωργικές) και έτσι μεταβάλλονται οι χρήσεις γης της περιοχής.
- Παρατηρείται σημαντική ποιοτική μεταβολή, όπου μια χερσαία έκταση και ένας ποτάμιος υγρότοπος μετατρέπονται σε λιμναίο βιότοπο, ενώ το προηγούμενο φυσικό περιβάλλον μετατρέπεται σε μεγάλο ποσοστό σε ανθρωπογενές.
- Αναμένεται πιθανή αλλοίωση του εδάφους από τη διάνοιξη δανειοθάλαμου για την απόληψη υλικών.
- Μεταβολή στην εδαφική μορφολογία από την κατασκευή τόσο του ορύγματος του ταμιευτήρα όσο και του ίδιου του φράγματος, καθώς και αλλοίωση του ανάγλυφου από την κατασκευή της λίμνης και των υπόλοιπων οικοδομικών έργων.
- Κατά την πλήρωση του ταμιευτήρα μπορεί να προκληθούν κάποιες σεισμικές δραστηριότητες ή κατολισθήσεις, ενώ από την άνοδο του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα στην περιοχή του ταμιευτήρα μπορούν να προκληθούν στατικά προβλήματα.

β) Νερό

Όταν η κατασκευή συνδυάζεται και με την κατασκευή υδροταμιευτήρα παρατηρούνται:

- Μεταβολή της ποσότητας του νερού στα κατάντη του φράγματος με εναλλαγές περιόδων ξηρασίας και πλημμυρών.

- Επιβράδυνση της ροής του ποταμού στο φράγμα και επιτάχυνση της ροής του κατάντη του φράγματος.
- Έντονες αυξομειώσεις της στάθμης του ταμιευτήρα, διαφορετικές από αυτές που σημειώνονται σε μια φυσική λίμνη.
- Μεταβολές στον υδροφόρο ορίζοντα της περιοχής (Παπαντώνης, 2001¹⁷).

Επιπλέον:

- Το νερό που υπερχειλίζει από το φράγμα είναι φτωχό σε φερτές ύλες λόγω της κατακράτησης των υλών αυτών στο φράγμα, με αποτέλεσμα τη διάβρωση της παλιάς κοίτης του ποταμού.
- Στην περίπτωση μη αποψίλωσης της βλάστησης μέσα από το χώρο που κατακλύζεται, εμφανίζεται μείωση του οξυγόνου στο νερό και έκλυση CH₄ λόγω βιοαποδόμησης των οργανικών και δημιουργίας αναερόβιων συνθηκών στον πυθμένα.
- Μπορεί να παρατηρηθεί μείωση του διαλυμένου οξυγόνου και αλλαγές στις θερμοκρασίες του νερού, όπου το πάνω νερό της λίμνης λόγω της στασιμότητας είναι πιο ζεστό, ενώ το πιο κρύο νερό βυθίζεται και είναι φτωχότερο σε οξυγόνο. Συνεπώς, το νερό που θα χυθεί στην κοίτη του ποταμού ή άμεσα ή μετά το σταθμό παραγωγής, αν χυθεί από το κάτω στόμιο του φράγματος θα είναι πιο κρύο από το φυσικό και πιο ανοξικό και θα προκαλέσει προβλήματα διαβίωσης ή και θανάτωσης στην ιχθυοπανίδα, που είναι εξοικειωμένη να ζει σε θερμότερο και πιο οξυγονωμένο νερό. Το πρόβλημα είναι σαφώς τοπικό και επικεντρώνεται στην περιοχή αμέσως κατάντη του φράγματος ή του σταθμού παραγωγής. Αν πάλι το νερό που θα χυθεί από το πάνω στόμιο είναι πιο ζεστό από το κανονικό και πάλι θα δημιουργηθεί τοπικό πρόβλημα.
- Τέλος μπορεί να υπάρξει μείωση του pH από την αποσύνθεση της βιομάζας του ταμιευτήρα, θολότητα και αιωρούμενα στερεά από την διάβρωση του πυθμένα, καθώς και πιθανή αλάτωση του νερού.

γ) Πανίδα

- Ευνοούνται νέα είδη ιχθυοπανίδας κυρίως λιμναίας και δημιουργείται αναταραχή με μείωση έως και εξαφάνιση της πρότερης ποτάμιας ιχθυοπανίδας. Οι λόγοι αφορούν τις αλλαγές της θερμοκρασίας του νερού κατάντη και της συγκέντρωσης των διαλυμένων αερίων, τη μεταβολή της ποσότητας και της

¹⁷ Παπαντώνης, Δ., 2001, *Μικροί Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί*, εκδόσεις Συμμένων.

ποιότητας του νερού, καθώς και τις έντονες διακυμάνσεις της στάθμης του νερού.

- Εξαφανίζονται ή μειώνονται αισθητά τα ψάρια κατάντη του φράγματος εξαιτίας της εκεί μικρής παροχής του νερού.
- Μεγάλο πρόβλημα δημιουργείται στα μεταναστευτικά ψάρια, που είναι τα ανάδρομα (π.χ., σολομός), τα κατάδρομα (π.χ., χέλι), τα αμφίδρομα (π.χ., κάποια είδη κεφάλων) και τα ποταμοδρομικά. Τα μεταναστευτικά ψάρια απαιτούν διαφορετικά περιβάλλοντα στις βασικές φάσεις της ζωής. Ο κύκλος ζωής τους πραγματοποιείται εν μέρει στο γλυκό νερό και εν μέρει στο αλμυρό νερό της θάλασσας. Το φράγμα και η δεξαμενή αποτελεί εμπόδιο για τη μετανάστευση των ψαριών είτε στα ανάντη είτε στα κατάντη. Το εμπόδιο που συναντούν τα ψάρια είναι πιθανό να τα οδηγήσει κατά το ταξίδι της μετανάστευσής τους στους στροβίλους του σταθμού παραγωγής, με αποτέλεσμα τη διαταραχή τους, τον τραυματισμό τους (ή και την θανάτωσή τους), λόγω αλλαγών πιέσεων, στροβιλισμού, χτυπήματός τους στα μηχανικά μέρη της τουρμπίνας, κομματιάσμά τους ανάμεσα στα κενά και τα κινητά μέρη της τουρμπίνας. Επιπλέον μπορεί να καθυστερήσει το ταξίδι της μετανάστευσής τους, οπότε τα ψάρια να συσσωρευτούν πίσω από το φράγμα, να παραμείνουν σε ακατάλληλες θερμικές ζώνες στο βαθύτερο στρώμα του νερού και να πέσουν εύκολο θύμα παράνομης αλιείας ή θύματα άλλων ειδών ιχθυοπανίδας ή αρπακτικών ζώων.
- Ευνοούνται από την ύπαρξη του ταμιευτήρα κάποια είδη ορνιθοπανίδας, ερπετών και θηλαστικών, κυρίως αρπακτικών.
- Από το ίδιο το φράγμα ή και τον ταμιευτήρα αποκόπτονται κάποια είδη ζώων κυρίως θηλαστικών και δυσκολεύουν οι μετακινήσεις και οι μεταναστεύσεις τους.
- Λόγω της αύξησης της υγρασίας και του ηπιότερου περιβάλλοντος ευνοούνται κάποια είδη εντόμων (π.χ., κουνούπια).

δ) Οικοσυστήματα – Χλωρίδα – Βλάστηση

- Από την κατάκλυση του ταμιευτήρα και με την κατασκευή του φράγματος εξαφανίζεται το χερσαίο οικοσύστημα. Επίσης αλλοιώνεται το ποτάμιο και παραποτάμιο οικοσύστημα ανάντη και κατάντη του φράγματος και αντικαθίσταται με μια ομοιόμορφη δεξαμενή, με έντονες και αφύσικες διακυμάνσεις της στάθμης, οπότε ένα είδος φυσικής παρόχθιας βλάστησης και πανίδας εί-

ναι πιθανό να χαθεί. Επίσης είναι δυνατόν να επέλθουν ολέθριες υποβιβάσεις ακτών, με προβλήματα τόσο στην αλιεία όσο και στα υδρόβια πουλιά.

- Με την κατασκευή του φράγματος κρατιέται πίσω του το φορτίο των φερτών ιζημάτων από το νερό του ποταμού, με αποτέλεσμα αυτό να μη μεταφέρεται στα κατάντη και να αλλοιώνεται το κατάντη περιβάλλον κυρίως στο στόμιο της εκβολής του ποταμού –δηλαδή στο δέλτα ποταμού– ή και αρκετά μέτρα πιο μακριά στις γειτονικές ακτές.
- Η εναλλαγή περιόδων ξηρασίας ή πλημμυρών μπορεί να επιφέρει τη διάβρωση του εδάφους και την εξαφάνιση της βλάστησης, παρόχθιας ή μη.

ε) Τοπίο

- Παρατηρείται σημαντική σημειακή αλλαγή και τομή του τοπίου, όπου από φυσικό μετατρέπεται σε κάποια σημεία του σε ανθρωπογενές. Το διαμήκες, δαιδαλώδες και άγριο ποτάμιο τοπίο μετατρέπεται σε λιμναίο, συνήθως ήπιο και ομαλό. Τα δάση, αλλά και η βλάστηση που προϋπήρχαν έδωσαν τη θέση τους στη λίμνη, σε διώρυγες, κανάλια και στο σταθμό παραγωγής, σε νέους δρόμους πρόσβασης, καθώς και σε νέα δίκτυα κοινής ωφέλειας.
- Με τη μειωμένη ροή του νερού στα κατάντη του φράγματος και με την πολλές φορές διαβρωμένη κοίτη του ποταμού αλλοιώνεται σημαντικά το τοπίο μέχρι και το σημείο της εκβολής του.

στ) Μικροκλίμα

- Από την κατασκευή ταμιευτήρα αλλάζει ο τοπικός υδρολογικός κύκλος, με συνέπεια την αύξηση της υγρασίας. Είναι δε σύνηθες το φαινόμενο της πρωινής ομίχλης στη λίμνη.
- Το κλίμα γίνεται ηπιότερο, έχουμε σχετική άνοδο της θερμοκρασίας και αλλαγές στους τοπικούς ανέμους, αφού πλέον δε συναντούν στο πέρασμά τους έδαφος, βλάστηση ή δέντρα, αλλά μια επίπεδη υγρή επιφάνεια.

ζ) Θόρυβος

Οι παρακάτω επιπτώσεις ισχύουν και στις δύο περιπτώσεις υδροηλεκτρικών με ή χωρίς υδροταμιευτήρα.

- Σύμφωνα με τους περισσότερους κατασκευαστές οι μόνιμοι θόρυβοι των στροβίλων μέσα στο εργοστάσιο είναι κάτω από τα επιτρεπόμενα όρια,

οπότε δεν αναμένεται κάποια όχληση στον περιβάλλοντα χώρο εξωτερικά του εργοστασίου.

- Απεναντίας, αναμένεται αύξηση των επιπέδων θορύβου κατά την κατασκευή του υδροηλεκτρικού έργου από την κίνηση των μηχανημάτων και των οχημάτων του εργοταξίου.

η) Αέριες εκπομπές

- Έχει παρατηρηθεί ότι στα υδροηλεκτρικά όπου δεν έχει απομακρυνθεί η βλάστηση στη λεκάνη του ταμιευτήρα, αυτή αποσυντίθεται προκαλώντας τη συσσώρευση και την απελευθέρωση CH_4 , λόγω δημιουργίας αναερόβιων συνθηκών, που είναι ανεπιθύμητο αέριο του θερμοκηπίου.
- Κατά την κατασκευή του έργου αναμένονται επίσης κάποιες μικρές εκλύσεις αέριων ρύπων και σκόνης από τα μηχανήματα και τα οχήματα του εργοταξίου.

θ) Απόβλητα

- Στη φάση της κατασκευής δημιουργούνται απόβλητα, κυρίως από εξαρτήματα, λάδια ή και από τους εργαζόμενους, τα οποία είναι μικρής κλίμακας όγκου.
- Από τη λειτουργία ενός ΥΗΣ δε δημιουργούνται μεγάλες ή ιδιαίτερης επικινδυνότητας απόβλητα. Συνήθως είναι οικιακής μορφής, τα οποία και διατίθενται εύκολα.
- Στην περιοχή του ταμιευτήρα, κατά τον τακτικό καθαρισμό του πυθμένα του, προκειμένου να μη μειωθεί το δυναμικό αποθήκευσής του σε νερό, ίσως να δημιουργηθούν κάποια απόβλητα από τις πιο πάνω συσσωρεύσεις φερτών υλικών και βούρκου.
- Για τη λειτουργία του στροβίλου και της γεννήτριας απαιτούνται κάποια λιπαντικά, όπως υδραυλικό έλαιο λειτουργίας, ή λιπαντικό αξονικού τριβέα ηλεκτρογεννήτριας κ.ά., για τα οποία χρειάζεται ιδιαίτερη μέριμνα για τη συλλογή και τη διαχείρισή τους σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία.

Πίνακας 10.9 Συγκεντρωτικός πίνακας αξιολόγησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από υδροηλεκτρικά έργα στη χώρα μας (Λαμπροπούλου κ.ά., 2004¹⁸).

Παράμετρος περιβάλλοντος	Φάση κατασκευής	Φάση λειτουργίας
Έδαφος	Αρνητική, μεσαία και αντιστρεπτή	Αρνητική, μεσαία
Νερά	Αρνητική, μικρή και αντιστρεπτή	Αρνητική, μεσαία
Ατμόσφαιρα	Αρνητική, μικρή και αντιστρεπτή	Μικρή
Χλωρίδα – Βλάστηση	Αρνητική, μεσαία και αντιστρεπτή	Αρνητική, μεσαία
Πανίδα	Αρνητική, μεσαία και αντιστρεπτή	Αρνητική, μεσαία
Τοπίο	Αρνητική, μεσαία και αντιστρεπτή	Μικρή
Κοινωνικοοικονομικό περιβάλλον	Αρνητική, μικρή και αντιστρεπτή	Μικρή
Προστατευόμενες περιοχές	Αρνητική, μικρή και αντιστρεπτή	Μικρή

ι) Σύνοψη

Οι μεταβολές στην ταχύτητα ροής του νερού στην κοίτη του ποταμού και η μεταβολή των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών του αναμένεται να προκαλέσουν σημαντικές επιπτώσεις στο φυσικό περιβάλλον. Επιπτώσεις στη γεωμορφολογία, στις αγροτικές καλλιέργειες, στην ποιότητα των φυσικών οικοσυστημάτων και στην ποιότητα και ποσότητα των υπόγειων και επιφανειακών υδάτων είναι ορισμένες μόνο από τις αναμενόμενες διαταραχές που θα προκληθούν.

Επιπλέον η πλήρωση των ταμιευτήρων και η πλημμύριση εκτεταμένων περιοχών αναμένεται να προκαλέσουν σημαντικές μεταβολές στην υφιστάμενη κατάσταση στην περιοχή. Οι σημαντικότερες αφορούν την απώλεια αγροτικής και δασικής γης, όπως και μεταβολές στη σύνθεση της χλωρίδας ή γενικά της βιοποικιλότητας.

¹⁸ Λαμπροπούλου, Β., Καραγεωργόπουλος, Α., Κορνάρος, Μ., Τσούτσος, Θ., 2004, *Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις από Μικρούς Υδροηλεκτρικούς Σταθμούς – Η ελληνική εμπειρία*, Τεχνικά Χρονικά, Επιστημονική Έκδοση Ηλεκτρολόγων Μηχανικών ΤΕΕ, ΙΙΙ, τεύχ. 1-2, σελ. 9-24.

Η δημιουργία των ταμιευτήρων και η αξιοποίηση του λιμναίου περιβάλλοντος πιθανά να δημιουργήσει προοπτικές ανάπτυξης δραστηριοτήτων αναψυχής με σημαντικά οφέλη για την τοπική κοινωνία. Λόγω όμως του σημαντικού αριθμού των εργαζομένων (ιδιαίτερα για τα μεγάλα έργα) αυξάνονται οι πιθανότητες για εργατικά ατυχήματα, που αποτελούν τη σημαντικότερη αρνητική επίπτωση κατά το στάδιο της κατασκευής.

Επιπλέον υπάρχει το ενδεχόμενο αστοχίας και πρόκλησης εκτεταμένων καταστροφών.

Στον Πίνακα 10.10 παρουσιάζονται οι κυριότερες επιπτώσεις από τα μεγάλα υδροηλεκτρικά έργα.

Πίνακας 10.10 Κυριότερες επιπτώσεις από τα υδροηλεκτρικά έργα (International Energy Agency, 1999¹⁹).

Επιπτώσεις	Παραγωγή	Κατασκευή
Εργατικά ατυχήματα	+	+
Καλλιέργειες	+	
Δάση	+	
Οικοσυστήματα-βιοποικιλότητα	+	
Υδάτινοι πόροι	+	+
Θόρυβος	+	+
Οπτική όχληση		+
Απασχόληση	+	+

10.4.2 Υδροηλεκτρικά συστήματα – μεσαία και μικρά έργα

Η χρήση μικρών (ιδιαίτερα) αλλά και μεσαίων υδροηλεκτρικών έργων προσφέρει περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα (Πίνακας 10.11). Μάλιστα, με προσεκτικές παρεμβάσεις των κατασκευαστών μπορούν να δημιουργηθούν νέοι τεχνητοί υδροβιότοποι, ιδίως στους μεγάλους ΥΗΣ (Λαμπροπούλου κ.ά., 2004).

¹⁹ International Energy Agency, Priddle R. (ed), 1999, *Benign Energy? The Environmental Implications of renewables*, www.iea.org.

Πίνακας 10.11 Περιβαλλοντικοί, τεχνικοί, οικονομικοί και κοινωνικοί δείκτες των ΜΥΗΣ²⁰ (ΕC, 2002²¹).

Δείκτης	ΜΥΗΣ
CO ₂ μείωση εκπομπών (t/έτος/MW)	3.200
SO ₂ μείωση εκπομπών (t/έτος/MW)	20
Υποκατάσταση συμβατικών καυσίμων (t/έτος/MW)	280
Βαθμοί απόδοσης (%)	75-80
Οικονομικός χρόνος ζωής (έτη)	15-20
Χρόνος ζωής σχεδιασμού (έτη)	10-50
Παραγωγή ηλ. ενέργειας (€/kWh)	0,05-0,15
Κόστος επένδυσης (€/kW)	600-2.000
Εξωτερικό κόστος (c€/kWh)	0,03-1,0

Σε γενικές γραμμές στις μικρές και μεσαίες υδροηλεκτρικές μονάδες οι διαταραχές που προκαλούνται είναι σημαντικά μικρότερες από εκείνες των μεγάλων συστημάτων. Η έκταση των έργων και των παρεμβάσεων στο φυσικό περιβάλλον είναι σχετικά περιορισμένης κλίμακας και δεν προκαλούνται σημαντικές αλλοιώσεις στα φυσικά οικοσυστήματα που συνιστούν τις κύριες διαταραχές των μεγάλων έργων.

²⁰ ΜΥΗΣ (Μικρά Υδροηλεκτρικά Συστήματα).

²¹ EC, Scientific and technological references. Energy technology indicators, DG RTD, www.cordis.lu/eesd/src/indicators.htm, 2002.

10.5 Αιολικά συστήματα

Αν και, σε γενικές γραμμές, η τεχνολογία της αιολικής ενέργειας είναι φιλική προς το περιβάλλον, εντούτοις επιφέρει κάποιες περιβαλλοντικές οχλήσεις. Ως σημαντικότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας αναφέρονται: α) ο θόρυβος, β) η οπτική ρύπανση, γ) η αλλοίωση των οικοσυστημάτων κυρίως από αλλαγές στις χρήσεις γης, δ) η πρόκληση θανατηφόρων ατυχημάτων σε πουλιά, ε) η παρενόχληση της διάδοσης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας με ό,τι αυτό συνεπάγεται για τις τηλεπικοινωνίες, τα ραδιοφωνικά και τα τηλεοπτικά σήματα (Μαρίνος-Κουρής κ.ά., 2001²²).

α) Θόρυβος

Ο θόρυβος θεωρείται ένας από τους δύο ισχυρότερους παράγοντες που επηρεάζουν ανασταλτικά την εξάπλωση της αξιοποίησης της αιολικής ενέργειας, δεδομένου ότι αναφέρονται περιπτώσεις ηχητικής όχλησης από περιοίκους αιολικών πάρκων. Ωστόσο η όχληση αυτή συνήθως οφείλεται σε προβλήματα κακής ρύθμισης κατά την εγκατάσταση των ανεμογεννητριών, προβλήματα που αργότερα ξεπερνιούνται. Σε κάθε περίπτωση πάντως γίνεται προσπάθεια βελτίωσης της τεχνολογίας όσον αφορά τη μείωση του θορύβου, αν και αναμένεται ότι η κοινή γνώμη θα παραμείνει διστακτική έναντι του προβλήματος αυτού.

Το επίπεδο του θορύβου μετράται σε ντεσιμπέλ (dB) και ορίζεται μέσω της εξίσωσης:

$$L_p = 20 \log_{10} \left[\frac{P}{P_0} \right]$$

όπου

L_p : το επίπεδο του θορύβου (dB)

P : η πίεση του ήχου σε Pascals (Pa)

P_0 : ο θόρυβος αναφοράς (συνήθως 2×10^{-5} Pa).

Οι σύγχρονες ανεμογεννήτριες ισχύος παράγουν συνολικό (αεροδυναμικό και μηχανικό) θόρυβο περίπου 80 έως 100 dB.

²² Μαρίνος-Κουρής, Δ., Βλαστός, Θ., Μπιρμπίλη, Τ., Χριστοδούλου, Γ., Χριστούλας, Δ., Κόρας, Α., Τσούτσος, Θ., 2001, *Περιβαλλοντικός σχεδιασμός ενεργειακών έργων, Συγκοινωνιακά, Υδραυλικά, Ενεργειακά Έργα*. τόμος Α, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, Πάτρα.

Υπάρχουν δύο κατηγορίες θορύβου που εκπέμπονται από μια ανεμογεννήτρια:

- α) ο *αεροδυναμικός θόρυβος*, που σχετίζεται με την κίνηση των πτερύγων στον αέρα και
- β) ο *μηχανικός θόρυβος*, που σχετίζεται με την κίνηση διαφόρων μηχανολογικών μερών (π.χ., άξονες μετάδοσης, κιβώτιο ταχυτήτων, γεννήτρια).

Όσον αφορά τον αεροδυναμικό θόρυβο, ο μηχανισμός γένεσής του δεν είναι απόλυτα γνωστός, δεδομένου ότι η σύγχρονη σχετική τεχνογνωσία είναι ιδιαίτερα ανεπτυγμένη για αεροδυναμικά φαινόμενα υψηλών (διηχητικών και υπερηχητικών) ταχυτήτων. Ωστόσο καταβάλλονται προσπάθειες από τους σχεδιαστές ανεμογεννητριών για την κατανόηση αυτού του μηχανισμού και κατ' επέκταση για τη βελτίωση της σχεδίασης των πτερύγων, τα αποτελέσματα των οποίων μέχρι σήμερα έχουν ήδη οδηγήσει σε έστω και μικρή (περίπου 7 dB) μείωση του αεροδυναμικού θορύβου. Αξιοσημείωτη παρατήρηση αποτελεί επίσης το γεγονός ότι ο αεροδυναμικός θόρυβος που παράγεται από μία ανεμογεννήτρια σχεδόν «καλύπτεται» από τον αναπόφευκτο αεροδυναμικό θόρυβο του ανέμου όταν η ένταση του τελευταίου ξεπερνά τα 8,5 m/s περίπου.

Παράγοντες που επηρεάζουν δραστικά τη γένεση μηχανικού θορύβου είναι η ποιότητα των υλικών των κινούμενων μεταλλικών μερών, η μη επιτυχημένη συναρμολόγηση των μερών αυτών αλλά και η κακή συντήρησή τους. Ο μηχανικός θόρυβος διαδίδεται μέσω του αέρα αλλά και μέσω της υπόλοιπης κατασκευής (π.χ., του μεταλλικού πύργου). Έτσι, η ηχητική μόνωση των κινούμενων μερών από την υπόλοιπη κατασκευή μαζί με τον έλεγχο των άλλων προαναφερθέντων παραγόντων γένεσης μηχανικού θορύβου μπορεί να οδηγήσει σε «πιο αθόρυβες» ανεμογεννήτριες. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι περισσότερες αναφορές σε ηχητική ρύπανση σχετίζονται με μηχανικό θόρυβο, όχληση η οποία μειώθηκε αποτελεσματικά μετά από αντικατάσταση ελαττωματικών κινούμενων μερών και βελτίωση της συναρμολόγησης.

Πέραν των προσπαθειών που καταβάλλονται από τους σχεδιαστές ανεμογεννητριών για τη μείωση του παραγόμενου θορύβου, ένα σοβαρό νομοθετικό-κανονιστικό μέτρο που λαμβάνεται για την προστασία του ανθρώπου από αυτόν το θόρυβο είναι η εξασφάλιση μιας διαχωριστικής ζώνης, ακτίνας το πολύ 500 m περί την ανεμογεννήτρια, εντός της οποίας δεν πρέπει να βρίσκεται κάποια κατοικία.

Β) Οπτική όχληση

Η εγκατάσταση και κυρίως η περιστροφική κίνηση μεγάλων κατασκευών σε μία περιοχή προκαλούν οπτική όχληση. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι μία μικρού μεγέθους –σήμερα– ανεμογεννήτρια (~250 kW) έχει συνολικό ύψος (από το έδαφος έως το ανώτερο σημείο του ρότορα) περί τα 50 m, ενώ αντίστοιχα μία τυπικού μεγέθους (~2 MW) περί τα 100 m, γεγονός που τις κάνει ορατές από αποστάσεις 30 και 40 km υπό συνθήκες υψηλής ατμοσφαιρικής ορατότητας.

Εξάλλου για την ομαλή λειτουργία των ανεμογεννητριών, είναι απαραίτητη η τοποθέτησή τους σε αποστάσεις μεταξύ τους που κυμαίνονται από 5 έως και 10 διαμέτρους του ρότορα, γεγονός που οδηγεί σε χρήση μεγάλων εκτάσεων και άρα κάλυψη μεγάλου μέρους του οπτικού πεδίου, γεγονός που επιφέρει πρόσθετη οπτική όχληση.

Επιπλέον έχει παρατηρηθεί ότι όσο μεγαλύτερη αξία αλλά και όσο μικρότερη έκταση έχει μια περιοχή τόσο περισσότερο αντιδρούν οι κάτοικοι στην οπτική και αισθητική όχληση που προκαλούν οι ανεμογεννήτριες.

Για την άμβλυνση των εντυπώσεων από την οπτική και αισθητική όχληση θα πρέπει οι σχεδιαστές ανεμογεννητριών και αιολικών πάρκων να λαμβάνουν υπόψη τους μία σειρά παραγόντων.

Έτσι, λοιπόν, όσον αφορά τη σχεδίαση των ανεμογεννητριών κυλινδρικοί ατσάλινοι πύργοι κατάλληλα βαμμένοι είναι προτιμότεροι από πύργους-δικτυώματα. Επίσης στην επιλογή ανεμογεννητριών θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και η αισθητική τους, πράγμα εύκολο, αφού σε πολλούς τύπους ανεμογεννητριών έχει δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στον τομέα αυτό.

Άλλοι παράγοντες που φαίνεται ότι επηρεάζουν θετικά την κοινή γνώμη είναι η οπτική ομοιομορφία και η διάταξη των ανεμογεννητριών σε, ει δυνατόν, μια σειρά. Καλό είναι επίσης οι ανεμογεννήτριες να μένουν σε λειτουργία ακόμη και σε χαμηλές και μη αξιοποιήσιμες ταχύτητες του ανέμου, προκειμένου να πείθουν την κοινή γνώμη για την κατά το δυνατόν αδιάλειπτη αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας. Κατ' επέκταση, η ταχεία επίλυση τεχνικών προβλημάτων ώστε να αποφεύγονται μεγάλα διαστήματα ακινησίας των ανεμογεννητριών, συντελεί περισσότερο στη βελτίωση της εικόνας που έχει ο μέσος άνθρωπος για τη χρήση αιολικής ενέργειας.

Η εκτίμηση της οπτικής όχλησης θεωρείται συχνά μια υποκειμενική διαδικασία. Ωστόσο, έχουν αναπτυχθεί συμπληρωματικές μεθοδολογίες και τεχνικές που εξασφαλίζουν ότι η εκτίμηση της οπτικής όχλησης μπορεί να πραγματοποιηθεί με συστηματικό και συνεπή τρόπο, καθιστώντας τη διαδικασία περισσότερο αντικει-

μενική, με δυνατότητες εφαρμογής σε πρακτικές περιβαλλοντικής διαχείρισης. Σήμερα υπάρχουν εργαλεία που επιτρέπουν την ανάγλυφη και πιστή απεικόνιση των περιοχών πριν και μετά την εγκατάσταση των αιολικών πάρκων, ώστε να μελετηθεί με λεπτομέρεια ο βαθμός όχλησής του και να προταθούν μέτρα βελτίωσης (Tsoutsos et al, 2009²³).

γ) Χρήση γης

Οι απαιτήσεις σε γη για την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας είναι πραγματικά ελάχιστες. Έχει υπολογιστεί ότι για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ισοδύναμης με ένα πυρηνικό εργοστάσιο ισχύος περίπου 1.000 MW, απαιτούνται περίπου 730 km² αγροτικής έκτασης. Ωστόσο από αυτή την έκταση, μόλις το 1% καταλαμβάνεται από τις ανεμογεννήτριες και το απαιτούμενο οδικό δίκτυο, ενώ η υπόλοιπη έκταση συνεχίζει να είναι αξιοποιήσιμη για αγροτικές δραστηριότητες.

δ) Πρόκληση ατυχημάτων σε πουλιά

Οι τρόποι με τους οποίους η λειτουργία των ανεμογεννητριών επηρεάζει τη ζωή και την ασφάλεια των πουλιών είναι δύο: α) η σύγκρουση των πουλιών με τις ανεμογεννήτριες και β) η παρενόχληση της διαβίωσής τους, με αποτέλεσμα τη μείωση του αριθμού τους στην περιοχή όπου γίνεται αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας.

Όσον αφορά τη σύγκρουσή τους με εν λειτουργία ανεμογεννήτριες, είναι γεγονός ότι οι μεγάλοι περιστρεφόμενοι ρότορες των ανεμογεννητριών είναι πιθανόν να εμποδίζουν την κίνηση των πουλιών και σε ορισμένες περιπτώσεις να προκαλούν ατυχήματα. Επιβάλλεται να αποφεύγεται η εγκατάσταση ανεμογεννητριών σε περάσματα πουλιών και σε περιοχές που ενδημούν σπάνια είδη πουλιών. Τέλος, όπως αναφέρεται στη διεθνή βιβλιογραφία (Sovacool, 2009²⁴), οι εγκαταστάσεις ηλεκτροπαραγωγής από ορυκτά καύσιμα είναι 17 φορές πιο επικίνδυνες για τα πτηνά ανά παραγόμενη GWh (συνολικά το 2006 οι Α/Γ ήταν υπεύθυνες για το θάνατο 7.000 πτηνών, έναντι 14,5 εκατομμυρίων των ορυκτών καυσίμων και 327.000 των πυρηνικών σταθμών).

²³ Tsoutsos, T., Tsouchlaraki, A., Tsiropoulos, M., Serpetsidakis, M., 2009, *Visual Impact Evaluation of a wind park in a Greek island*, Applied Energy, Vol. 86/4, σελ. 546-553.

²⁴ Sovacool, B.K., 2009, *Contextualizing avian mortality: A preliminary appraisal of bird and bat fatalities from wind, fossil-fuel, and nuclear electricity*, Energy Policy, 37/6, σελ. 2241-2248.

ε) Ηλεκτρομαγνητική παρενόχληση

Είναι γνωστό ότι οποιαδήποτε μεγάλη κατασκευή που περιέχει σημαντικά μεταλλικά μέρη, όπως, π.χ., οι ανεμογεννήτριες, είναι πιθανόν να παρενοχλεί τη διάδοση των ηλεκτρομαγνητικών σημάτων. Έτσι, αναφέρονται περιπτώσεις κατά τις οποίες ηλεκτρομαγνητικά σήματα ανακλώνται πάνω στα πτερύγια των ανεμογεννητριών που βρίσκονται κοντά σε κάποιο δέκτη, οπότε ο δέκτης αυτός λαμβάνει το σήμα παραμορφωμένο ή λαμβάνει δύο σήματα, το απευθείας και το ανακλώμενο. Η πρώτη περίπτωση εμφανίζεται συχνότερα και αφορά σήματα στη ζώνη UHF. Η δεύτερη περίπτωση είναι σπανιότερη και είναι δυνατόν να προκαλέσει κυρίως στα τηλεοπτικά σήματα δευτερογενή εικόνα.

Ο βαθμός της ηλεκτρομαγνητικής παρενόχλησης εξαρτάται α) από το υλικό από το οποίο είναι κατασκευασμένα τα πτερύγια και β) από τη γεωμετρία του πύργου. Όσον αφορά τα υλικά των πτερυγίων αποδεικνύεται ότι το ξύλο απορροφά μάλλον παρά ανακλά τα ηλεκτρομαγνητικά σήματα, εν αντιθέσει με τα μεταλλικά πτερύγια ή εκείνα που περιέχουν μεταλλικά μέρη για λόγους αυξημένης αντοχής ή τέλος εκείνα που είναι κατασκευασμένα από πλαστικό ενισχυμένο με υαλώδεις ίνες και εποξικές ρητίνες. Τα προβλήματα με την ηλεκτρομαγνητική παρενόχληση των τηλεοπτικών σημάτων που είναι και τα πλέον συχνά μπορούν να λυθούν με ενισχυτές σήματος, καλωδιακών συνδέσεων και επαναρύθμισης των κεραίων.

Επίσης, πέραν της ηλεκτρομαγνητικής παρενόχλησης των τηλεοπτικών σημάτων, πλέον ευαίσθητα είναι τα σήματα στη ζώνη VHF, γεγονός που επηρεάζει διάφορες τηλεπικοινωνίες. Έτσι, επιβάλλεται η απαγόρευση εγκατάστασης ανεμογεννητριών πλησίον αεροδρομίων, ραντάρ και άλλων ευαίσθητων περιοχών. Άλλωστε η σχετική νομοθεσία στην Ελλάδα προβλέπει ικανή απόσταση μεταξύ ανεμογεννητριών και τέτοιων περιοχών.

10.6 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας

10.6.1 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την ενεργειακή αξιοποίηση της φυτικής βιομάζας

α) Συγκομιδή και συλλογή

Στα στάδια αυτά οι ρύποι που παράγονται συνδέονται, ως επί το πλείστον, με τον εξοπλισμό που χρησιμοποιείται για την εκτέλεση των εργασιών και την ενέργεια που καταναλώνεται για το σκοπό αυτό (υγρά καύσιμα).

Στην περίπτωση του άχυρου, παραπροϊόντος της συγκομιδής των δημητριακών, η μεγαλύτερη ποσότητα χρησιμοποιείται ήδη για αγροτικούς σκοπούς, όπως τροφή για ζώα, ή εναλλακτικά για την κατασκευή χαρτιού. Ωστόσο το περίσσειμα από τις χρήσεις αυτές αποτελεί μία πολύ καλή πηγή ενέργειας. Η συλλογή και το δέσιμό του αποτελούν μία σημαντική πηγή εκπομπών ρύπων (Πίνακας 10.12).

Πίνακας 10.12 Εκπομπές ρύπων κατά τη συλλογή και το δέσιμο του άχυρου (International Energy Agency, 1999²⁵).

Ρύπος	Ποσότητα υπολειμμάτων (g/t)	g/kWh
CO ₂	3.790-9.983	3,2-8,3
CO	17,2-45,4	0,0014-0,038
HC	13,4-35,2	0,0011-0,029
NO _x	60,2-158,6	0,05-0,132
SO ₂ (περιεκτικότητα θείου 0,05-0,2%)	1,3-13,6	0,001-0,011
Σωματίδια	3,98-10,5	0,003-0,009

Τα επίπεδα εκπομπών από τη διαδικασία της συγκομιδής και της συλλογής των δασικών υπολειμμάτων εξαρτώνται από την ακριβή μέθοδο συλλογής τους. Δηλαδή αν η συλλογή των υλικών αυτών γίνεται ως μέρος της διαδικασίας συγκομιδής ή ανήκει σε δευτερεύουσα διαδικασία. Εκτίμηση για τους ρύπους που εκπέμπονται από τον τεμαχισμό γίνεται στον Πίνακα 10.13.

²⁵ International Energy Agency, Priddle R. (ed), 1999, *Benign Energy? The Environmental Implications of renewables*, www.iea.org.

Πίνακας 10.13 Εκπομπές ρύπων κατά τον τεμαχισμό των δασικών υπολειμμάτων (International Energy Agency, 1999²⁶).

Ρύπος	Ποσότητα υπολειμμάτων (g/t)	g/kWh
CO ₂	22.596	20,6
CO	103	0,09
HC	80	0,07
NO _x	359	0,33
SO ₂ *	7,7-30,8	0,007-0,028
Σωματίδια	23,7	0,022

Τα πλεονεκτήματα από την απομάκρυνση των δασικών υπολειμμάτων είναι:

- μείωση των πιθανοτήτων εμφάνισης επιδημιών στις εκτάσεις
- αύξηση της οπτικής ελκυστικότητας των δασών
- διευκόλυνση της επανεμφύτευσης των εκτάσεων
- μείωση του κινδύνου πυρκαγιάς, ιδιαίτερα σε ξηρά κλίματα

Υπάρχουν παράλληλα ενδεχόμενες επιβαρύνσεις που αφορούν τα παρακάτω:

- με την απομάκρυνση των υπολειμμάτων είναι πιθανό να απομακρυνθούν πηγές θρεπτικών συστατικών απαραίτητων για την ανάπτυξη του δάσους
- αυξάνεται η αποψίλωση, που μπορεί να οδηγήσει σε διάβρωση του εδάφους
- τα υπολείμματα λειτουργούν ως προστατευτικό χαλί για τη λειτουργία των μηχανημάτων και συνεπώς απομάκρυνσή τους σημαίνει ενδεχόμενη αρνητική επίδραση στην ανάπτυξη των φυτών.

Β) Μεταφορά της πρώτης ύλης

Το στάδιο αυτό αποτελεί σημαντική πηγή επιπτώσεων στο περιβάλλον. Το μέσο μεταφοράς της πρώτης ύλης προκαλεί περιβαλλοντική όχληση τόσο οπτική όσο και ηχητική, ενώ παράλληλα τα ποσά των εκπεμπόμενων ατμοσφαιρικών ρύπων προκαλούν επιδείνωση του φαινομένου του θερμοκηπίου. Για την περίπτωση του άχυρου γίνεται αναφορά στον Πίνακα 10.14.

²⁶ International Energy Agency, Priddle R. (ed), 1999, *Benign Energy? The Environmental Implications of renewables*, www.iea.org.

Πίνακας 10.14 Επιπτώσεις από τη μεταφορά του άχυρου (International Energy Agency, 1999²⁷).

Πηγή	Αποδέκτης	Επίπτωση
Εκπομπές	Διάφοροι	Πολλαπλή
Θόρυβος	Ευρύτερο κοινό	Ηχορύπανση
Κυκλοφορία οχημάτων	Ευρύτερο κοινό	Ατυχήματα Κυκλοφοριακή συμφόρηση

Γενικά οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από το στάδιο της μεταφοράς της πρώτης ύλης είναι δύσκολο να εκτιμηθούν ποσοτικά, γιατί κατά την εκτίμηση πρέπει να συμπεριληφθούν κάποιες παράμετροι, όπως:

- το μέγεθος του οχήματος,
- η διανυόμενη απόσταση,
- το είδος του καυσίμου που καταναλώνεται,
- το βάρος του φορτίου.

Μία ποιοτική εικόνα δίνεται στον Πίνακα 10.15.

Πίνακας 10.15 Επιπτώσεις από τη μεταφορά των δασικών υπολειμμάτων (International Energy Agency, 1999²⁸).

Πηγή	Αποδέκτης	Επίπτωση
Εκπομπές	Διάφοροι	Πολλαπλή
Θόρυβος	Ευρύτερο κοινό	Ηχορύπανση
Κυκλοφορία οχημάτων	Ευρύτερο κοινό	Ατυχήματα Κυκλοφοριακή συμφόρηση
Αποθήκευση τεμαχίων ξύλου	Επαγγελματική υγεία	Ασθένειες του αναπνευστικού

γ) Αποθήκευση

Με την κατασκευή αποθηκών και σιλό για την αποθήκευση πρώτης ύλης δημιουργείται το φαινόμενο της οπτικής όχλησης (Πίνακας 10.16). Για την αποφυγή του

²⁷ International Energy Agency, Priddle R. (ed), 1999, *Benign Energy? The Environmental Implications of renewables*, www.iea.org.

²⁸ ο.π.

προβλήματος αυτού προτείνεται το σχέδιο κατασκευής τους να είναι παρόμοιο με αυτό που χρησιμοποιείται για τις υπόλοιπες αγροτικές εργασίες.

Ιδιαίτερα για το άχυρο η χαμηλή θερμογόνος δύναμή του απαιτεί μεγάλες ποσότητες αποθηκευμένης πρώτης ύλης, και συνεπώς μεγάλους χώρους αποθήκευσης. Έτσι, κάποιες φορές το άχυρο παραμένει στους χώρους καλλιέργειας.

Πίνακας 10.16 Επιπτώσεις από τη διαδικασία συλλογής και αποθήκευσης άχυρου (International Energy Agency, 1999).

Πηγή	Αποδέκτης	Επιβάρυνση
Εκπομπές συλλογής	Διάφοροι	Πολλαπλή
Αποθήκευση	Ευρύτερο κοινό Οικοσυστήματα	Κίνδυνος πυρκαγιάς Οπτική όχληση

Ανάλογα ισχύουν και για την αποθήκευση των δασικών υπολειμμάτων (Πίνακας 10.17).

Πίνακας 10.17 Επιπτώσεις από τη διαδικασία συλλογής και αποθήκευσης των δασικών υπολειμμάτων (International Energy Agency, 1999²⁹).

Πηγή	Αποδέκτης	Επίπτωση
Εκπομπές ρύπων	Διάφοροι	πολλαπλή
Απομάκρυνση υπολειμμάτων	Δασοκομία Ευρύτερο κοινό	Μείωση των πηγών θρεπτικών συστατικών Αύξηση της αποψίλωσης της επιφάνειας Συγκεντρωμένη καταστροφή Μείωση ενδεχόμενων ασθενειών Μείωση κινδύνου πυρκαγιάς Βελτίωση της αισθητικής των δασών

δ) Κατασκευή ενεργειακής μονάδας

Η κατασκευή της μονάδας παραγωγής (σκάψιμο, δημόσια έργα, μηχανολογικές και ηλεκτρολογικές εργασίες κ.ά.) είναι πιθανή πηγή για πολλές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Αυτές είναι αντίστοιχες ενός δημόσιου έργου του ίδιου μεγέθους. Συνεπώς:

²⁹ International Energy Agency, Priddle R. (ed), 1999, *Benign Energy? The Environmental Implications of renewables*, www.iea.org.

- υπάρχουν εκπομπές από όλες τις εγκαταστάσεις και τον εξοπλισμό που χρησιμοποιείται (μικρές σε σχέση με αυτές από τη λειτουργία)
- παράγεται θόρυβος από τα οχήματα και τον εξοπλισμό, που μπορεί να ενοχλήσει τους κατοίκους και να προκαλέσει ζημιές στα οικοσυστήματα (συνήθως οι μονάδες παραγωγής εγκαθίστανται σε περιοχές με λίγους κατοίκους)
- υπάρχει οπτική όχληση από τις εργασίες
- υπάρχουν εκπομπές από τη μεταφορά προσωπικού και υλικών (ατμοσφαιρικοί ρύποι, σκόνη, θόρυβος, αυξημένη κίνηση).

ε) Μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που αναφέρθηκαν είναι συνήθως μικρής κλίμακας, έχουν επίδραση σε τοπικό επίπεδο (στον Πίνακα 10.18 παρουσιάζονται οι εκπομπές ρύπων για την κυτταρινούχο βιομάζα όπως η δασική και το άχυρο, ενώ επιπλέον υπάρχουν μέθοδοι για τη βελτίωση των προβλημάτων που δημιουργούνται σε βαθμό ώστε να γίνουν περιβαλλοντικά αποδεκτές (Πίνακας 10.19). Τέλος ένα μέτρο (κρίσιμο) που θα βοηθήσει την αποδοχή των ενεργειακών μονάδων είναι η συμμετοχή της τοπικής κοινωνίας στις διάφορες φάσεις εγκατάστασης και λειτουργίας της μονάδας.

Πίνακας 10.18 Εκπομπές ρύπων με την κυτταρινούχο βιομάζα (άχυρο, δασική) ως πρώτη ύλη στον ενεργειακό κύκλο (g/kWh) (International Energy Agency, 1999³⁰).

	Συγκομιδή	Μεταφορά	Φυτική Βιομηχανία	Καύση	Σύνολο
Συνολικό CO ₂	4,6	5,5	2,6	1.170	1.182,7
CO ₂ από βιομάζα				1.170	1.170
CO ₂ από άλλες πηγές	4,6	5,5	2,6		12,7
SO ₂	0,002-0,006	0,002-0,008	0,021	0,86	0,895
NO _x	0,073	0,07	0,008	1,40	1,551
Πτητικές ουσίες	0,016	0,009		0,20	0,225
Σωματίδια	0,005	0,005		0,34	0,35

³⁰ International Energy Agency, Priddle R. (ed), 1999, *Benign Energy? The Environmental Implications of renewables*, www.iea.org.

Πίνακας 10.19 Κύρια μέτρα προστασίας για τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τις τεχνολογίες αξιοποίησης φυτικής βιομάζας (Τσούτσος, 2005³¹).

Τύπος Βιομάζας	Περιβαλλοντικές επιπτώσεις	Μέτρα προστασίας
Ενεργειακές καλλιέργειες	Επιπτώσεις από την καύση	Η καύση του C εκπέμπει στο περιβάλλον CO ₂ . Βασικό μέτρο είναι κίνητρα για τη μείωση των εκπομπών (εξοικονόμηση ενέργειας, βελτιωμένα συστήματα καύσης, αξιοποίηση βιομάζας – ως ουδέτερη μέσω της φωτοσύνθεσης)
	Θόρυβος	Προσεκτική επιλογή τοποθεσίας
	Αλλαγές στο τοπικό οικοσύστημα	Προσεκτική επιλογή τοποθεσίας
Υπολείμματα των τεχνολογιών	Θόρυβος, οσμή, οπτική όχληση από τις καλλιέργειες, από τη μεταφορά των υπολειμμάτων και από άλλες λειτουργίες	Προσεκτική επιλογή της περιοχής εγκατάστασης

στ) Καύση

Κατά τη διάρκεια της καύσης της βιομάζας απελευθερώνεται, ως γνωστόν, CO₂. Η ποσότητα αυτή απορροφάται κατά τη διάρκεια της φωτοσύνθεσης για την παραγωγή νέας βιομάζας κ.ο.κ. Συνεπώς, όταν γίνεται αναφορά στον κύκλο ζωής της βιομάζας, θεωρείται ότι δεν υπάρχει εκπομπή CO₂ στην ατμόσφαιρα (ή οι σχετικές εκπομπές είναι πολύ χαμηλές σε σχέση με τις συμβατικές πηγές ενέργειας) ιδιαίτερα λαμβάνοντας υπόψη την ανάγκη να πραγματοποιείται η διαχείριση των πόρων βιομάζας με γνώμονα την αειφορία (ΕΕ, 2009³²).

Επιπλέον τυχόν περιεκτικότητα σε S είναι πολύ μικρή (<0,1%) σε σχέση με συμβατικά ορυκτά καύσιμα (π.χ., στο λιγνίτη η περιεκτικότητα σε θειούχες ενώσεις φτάνει το 0,5-5%). Συνεπώς, οι εκπομπές SO₂ θα είναι αντίστοιχα πολύ μικρές.

³¹ Τσούτσος, Θ., 2005, *Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, σημειώσεις μαθήματος*, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης.

³² Ευρωπαϊκή Επιτροπή, Οδηγία 2009/28/EK σχετικά με την προώθηση της χρήσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές και την τροποποίηση και τη συνακόλουθη κατάργηση των οδηγιών 2001/77/EK και 2003/30/EK, 2009.

Οι μη ελεγχόμενες εκπομπές σωματιδίων μπορεί να είναι υψηλές, αλλά μπορούν να μειωθούν με τη χρήση καθιερωμένων συστημάτων (π.χ., κυκλώνων, κεραμικών φίλτρων κ.λπ.).

Άλλο ένα παραπροϊόν είναι η στάχτη (15-20 g/kWh). Η ποσότητα που παράγεται από την εκμετάλλευση της βιομάζας είναι τυπικά τουλάχιστον πολύ πιο μικρή από την ποσότητα που προέρχεται από την εκμετάλλευση του λιγνίτη. Γενικά δεν περιέχει τοξικά κατάλοιπα, ενώ η πλούσια περιεκτικότητά της σε ποτάσα και φωσφορικό άλας την καθιστά ιδανική για τη χρήση της ως λίπασμα.

ζ) Σύνοψη

Μία γενική εικόνα που υπενθυμίζει στον αναγνώστη τις επιπτώσεις από την παραγωγή ενέργειας από βιομάζα υπάρχει στον Πίνακα 10.20.

Πίνακας 10.20 Συνοπτική παρουσίαση των επιπτώσεων από την παραγωγή ενέργειας από βιομάζα (Τσούτσος, 2005³³).

Πηγή	Αποδέκτης	Επιπτώσεις
Εκπομπές	Διάφοροι	Αέριες και στέρεες εκπομπές
Θόρυβος	Κάτοικοι	Ηχορύπανση
Οπτική όχληση	Κάτοικοι	Πρόβλημα αισθητικής
Επαγγελματική υγεία	Εργατικό δυναμικό Αγορά εργασίας	Εργατικά ατυχήματα Αύξηση θέσεων εργασίας*
Εκμετάλλευση γης	Φυσικά οικοσυστήματα Γεωργία	Διαταραχή των συνθηκών ανάπτυξης των οικοσυστημάτων Μείωση της καλλιεργήσιμης γης
Δραστηριότητες	Φυσικά οικοσυστήματα	Διαταραχή των συνθηκών ανάπτυξης των οικοσυστημάτων
Παροπλισμός εγκατάστασης	Διάφοροι	Εκπομπές/ θόρυβος

* πρόκειται για όφελος

³³ Τσούτσος, Θ., 2005, *Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, σημειώσεις μαθήματος*, Τμήμα Μηχανικών περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης.

10.6.2 Ενεργειακές καλλιέργειες

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η ευρεία αξιοποίηση των ενεργειακών καλλιεργειών προς βιοκαύσιμα με το σημερινό τρόπο δημιουργεί σημαντικά περιβαλλοντικά και κοινωνικοοικονομικά προβλήματα, που οφείλουν να επιλυθούν στα πλαίσια της βιώσιμης διαχείρισης.

Στα προβλήματα που έχουν ήδη αναφερθεί θα πρέπει να ληφθούν υπόψη και τα εξής:

- τα βιοκαύσιμα αδυνατούν να καλύψουν πλήρως τις παγκόσμιες ενεργειακές ανάγκες με τα σημερινά πρότυπα παραγωγής πρώτων υλών και ενεργειακής ζήτησης
- η ενδεχόμενη εκχέρσωση δασικών εκτάσεων στις τροπικές περιοχές για την παραγωγή βιοκαυσίμων συνεπάγεται την έκλυση στην ατμόσφαιρα του οργανικού άνθρακα των δέντρων και την καταστροφή του δασικού οικοσυστήματος.

Σήμερα, τεχνικά, η βιομάζα αναγνωρίζεται ως «ουδέτερη» σε σχέση με το φαινόμενο του θερμοκηπίου, αφού ο άνθρακας που εκπέμπεται από την καύση των φυτικών καυσίμων προέρχεται απευθείας από την ατμόσφαιρα μέσω της φωτοσύνθεσης.

Ο κύκλος αυτός θα ήταν «πράσινος» όμως αν κανένα αγροτικό μηχάνημα δεν όργωνε, δε χρησιμοποιούνταν λίπασμα ή φυτοφάρμακο (που η παραγωγή τους είναι ενεργοβόρα), δεν απαιτούνταν μηχάνημα για τη συλλογή και τη μεταφορά τους στα εργοστάσια, και αν τα εργοστάσια λειτουργούσαν πλήρως με ΑΠΕ.

Για την εκτίμηση όλων αυτών των παραγόντων αναπτύχθηκαν μέθοδοι αξιολόγησης όλης της παραγωγικής αλυσίδας, με κυριότερη την Ανάλυση Κύκλου Ζωής (ΑΚΖ) που παρουσιάζεται στη συνέχεια.

10.6.3 Εφαρμογή της μεθόδου Ανάλυσης Κύκλου Ζωής στην παραγωγή βιοντίζελ

Η ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ

Η Ανάλυση Κύκλου Ζωής (ΑΚΖ) είναι τεχνική εκτίμησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που συνδέονται με κάποιο προϊόν, διεργασία ή δραστηριότητα, προσδιορίζοντας και ποσοτικοποιώντας την ενέργεια και τα υλικά που χρησι-

μπορούνται, καθώς και τα απόβλητα που απελευθερώνονται στο περιβάλλον, εκτιμώντας τις επιπτώσεις από τη χρήση της ενέργειας και των υλικών, καθώς και των αποβλήτων και αναγνωρίζοντας και εκτιμώντας τις δυνατότητες περιβαλλοντικών βελτιώσεων (EPA, 2012³⁴).

Η ΑΚΖ είναι μια προσέγγιση από την κούνια στον τάφο [cradle-to-grave] για την αξιολόγηση παραγωγικών συστημάτων. Η προσέγγιση αυτή αρχίζει με τη συλλογή των πρώτων υλών από τη γη που είναι απαραίτητες για να δημιουργηθεί το προϊόν, και τελειώνει στο σημείο όπου όλα τα υλικά επιστρέφονται στο έδαφος. Η ΑΚΖ αξιολογεί όλα τα στάδια της ζωής ενός προϊόντος από τη σκοπιά ότι είναι αλληλοεξαρτώμενα, κάτι που σημαίνει ότι η μια λειτουργία οδηγεί στην επόμενη. Η ΑΚΖ επιτρέπει την εκτίμηση των αθροιστικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων όλων των σταδίων του κύκλου ζωής ενός προϊόντος, και συμπεριλαμβάνει επιπτώσεις που δε λαμβάνονται υπόψη στις περισσότερες παραδοσιακές αναλύσεις (π.χ., εξαγωγή πρώτων υλών, μεταφορά υλικών, τελική διάθεση προϊόντων κ.λπ.). Συμπεριλαμβάνοντας τις επιπτώσεις ολόκληρου του κύκλου ζωής των προϊόντων, η ΑΚΖ παρέχει περιεκτική εικόνα των περιβαλλοντικών πτυχών ενός προϊόντος ή μιας διεργασίας και ακριβέστερη εικόνα των αληθινών περιβαλλοντικών «ανταλλαγών» στην επιλογή προϊόντων.

Η ΑΚΖ αποτελεί εργαλείο περιβαλλοντικής διαχείρισης και λήψης αποφάσεων που σκοπεύει να αποτιμήσει τις επιπτώσεις από τη χρήση ενέργειας και την επεξεργασία υλικών, συμπεριλαμβανομένης της απόρριψης αποβλήτων στο περιβάλλον, και να εκτιμήσει τις δυνατότητες επίτευξης περιβαλλοντικών βελτιώσεων σε συνδυασμό με την ορθολογική χρήση πρώτων υλών και ενέργειας κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής προϊόντος ή διεργασίας.

Συγκεκριμένα η ΑΚΖ είναι μια τεχνική για την αποτίμηση των περιβαλλοντικών πτυχών και των πιθανών επιπτώσεων που συνδέονται με ένα προϊόν, μια διεργασία ή μια υπηρεσία, που περιλαμβάνει:

- σύνταξη καταλόγου απογραφής της εισροής της σχετικής ενέργειας και των υλικών και των εκπομπών στο περιβάλλον
- αξιολόγηση των πιθανών περιβαλλοντικών επιπτώσεων που συνδέονται με τις προσδιορισμένες εισροές και εκπομπές
- ερμηνεία αποτελεσμάτων για διευκόλυνση λήψης ενημερωμένων αποφάσεων.

³⁴ Environmental Protection Agency (EPA), www.epa.gov/nrmrl/std/lca/lca.html 2012.

Η ΑΚΖ είναι τεχνική:

- αποτίμησης όλων των εισροών και εκροών προϊόντος, διεργασίας ή υπηρεσίας (κατάλογος απογραφής κύκλου ζωής)
- αποτίμησης των σχετικών αποβλήτων, της ανθρώπινης υγείας και των οικολογικών επιβαρύνσεων (αποτίμηση επιπτώσεων)
- ερμηνείας, διάδοσης και επικοινωνίας των αποτελεσμάτων της αξιολόγησης (ερμηνεία κύκλου ζωής) ολόκληρου του κύκλου ζωής των προϊόντων ή των διεργασιών που εξετάζονται.

Ο όρος «κύκλος ζωής» αναφέρεται στις σημαντικότερες δραστηριότητες κατά τη διάρκεια ζωής του προϊόντος, από την κατασκευή, τη χρήση, τη συντήρηση και την τελική διάθεσή του, συμπεριλαμβάνοντας την απόκτηση των πρώτων υλών που απαιτούνται για να κατασκευαστεί το προϊόν.

Η ΑΚΖ στα βιοκαύσιμα αποτελεί σχετικά πρόσφατο εργαλείο, οπότε η διεθνής εμπειρία που αναφέρεται στις ενεργειακές καλλιέργειες είναι περιορισμένη. Στη διεθνή βιβλιογραφία τα αποτελέσματα των ΑΚΖ του βιοντίζελ παρουσιάζουν μεγάλες διαφοροποιήσεις μεταξύ τους, εντούτοις κάποια κρίσιμα συμπεράσματά τους είναι κοινά στις περισσότερες περιπτώσεις. Οι διαφοροποιήσεις αυτές οφείλονται στα διαφορετικά δεδομένα που χρησιμοποιούνται κάθε φορά, καθώς και σε διαφορές που υπάρχουν στις μεθόδους παραγωγής και καλλιέργειας (Tsoutsos et al, 2010³⁵):

- Οι Kaltschmitt et al (1996) υπολόγισαν για το βιοντίζελ από ελαιοκράμβη, σε σχέση με το συμβατικό ότι οι εκπομπές CO₂ μειώθηκαν κατά 70,5%, αλλά αυξήθηκαν οι εκπομπές NO_x και N₂O κατά 12,5% και 151% αντίστοιχα.
- Οι Ceuterick και Spirinx (1997) κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι τα περιβαλλοντικά οφέλη είναι περιορισμένα από την υποκατάσταση ορυκτών πρώτων υλών και την ελάττωση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, αλλά στις υπόλοιπες κατηγορίες ευρείας επίδρασης τα συμβατικά καύσιμα παρουσιάζονται να υπερτερούν, κυρίως λόγω της αυξημένης χρήσης λιπασμάτων.
- Οι Sheenhan et al (1998) με τη μελέτη της σόγιας συμπεραίνουν ότι τα περιβαλλοντικά οφέλη είναι σημαντικά περισσότερα από τα αντίστοιχα των συμβατικών καυσίμων. Ειδικότερα εκτιμούν ότι στην περίπτωση του βιοντίζελ η παραγόμενη ποσότητα ενέργειας είναι 3,2 φορές αυτής που καταναλώνεται

³⁵ Tsoutsos, T., Kouloumpis, V., Zafiris, T., Foteinis, S., 2010, *Life Cycle Assessment for biodiesel production under Greek climate conditions*, Journal of Cleaner Production, Vol. 18/4, σελ. 328-335.

για την παραγωγή, επιβεβαιώνοντας την πράσινη φύση του βιοντίζελ. Αντίστοιχα η μείωση σε εκπομπές CO₂ ήταν 78,45%, ενώ μείωση σημειώθηκε και σε εκπομπές σωματιδίων και CO. Αρνητικές και σε αυτή την έρευνα ήταν οι εκπομπές των NO_x.

- Οι Mattsson et al (1999) σε μελέτη για την ελαιοκράμβη καταλήγουν πως κυριότερο πρόβλημα αποτελεί η χρήση αζωτούχων λιπασμάτων γιατί προκαλεί διαρροή νιτρικών αλάτων στο έδαφος.
- Έρευνα των Elsayed et al (2003) δείχνει πως ο κύκλος ζωής του βιοντίζελ από ελαιοκράμβη εξοικονομεί 65% ενέργεια συγκριτικά με τα συμβατικά καύσιμα, οι παραγόμενες ποσότητες CO₂ μειώνονται κατά 71%, ενώ μοναδικό αρνητικό αποτέλεσμα αποτελεί η αυξημένη εκπεμπόμενη ποσότητα NO_x.
- Οι Gasol et al (2006)³⁶ για βιοντίζελ από ελαιοκράμβη αναφέρουν πως η χρήση λιπασμάτων έχει τις πιο ψηλές επιπτώσεις σε έξι από τις δέκα κατηγορίες ευρείας επίδρασης που είχαν ορίσει.

Στον Πίνακα 10.21 παρουσιάζονται οι κυριότερες εισροές σε ενέργεια και πρώτες ύλες για τρεις διαφορετικούς τύπους ενεργειακών καλλιεργειών με στόχο την παραγωγή βιοντίζελ (Tsoutsos et al 2010³⁷).

Πίνακας 10.21 Απαιτήσεις σε ενέργεια και πρώτες ύλες για τρεις διαφορετικούς τύπους ενεργειακών καλλιεργειών ανά εκτάριο για την παραγωγή βιοντίζελ (Tsoutsos et al, 2010³⁸).

	Ελαιοκράμβη	Ηλίανθος	Σόγια
Άρδευση (m³)			
Νερό ποταμού	540	1.080	2.160
Λίπανση (kg)			
N	230	70	40
K ₂ O	200	-	-
P ₂ O ₅	90	-	-

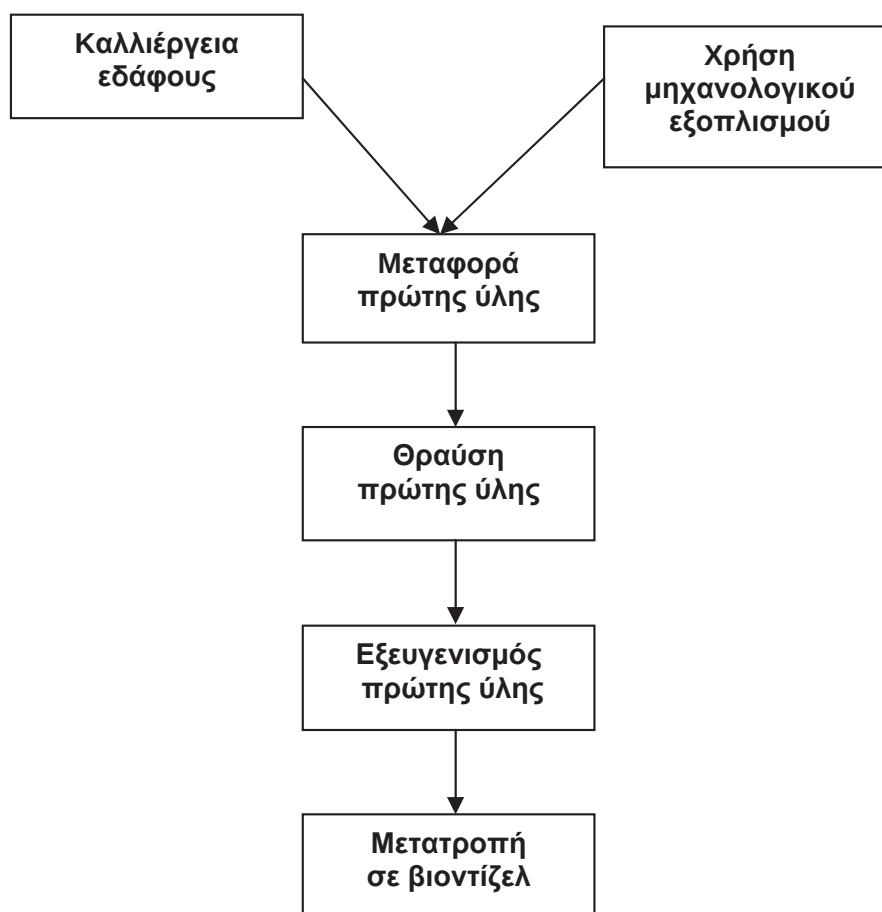
³⁶ Για αυτήν και όλες τις προηγούμενες αναφορές βλ. Tsoutsos, T., Kouloumpis, V., Zafiris, T., Foteinis, S., 2010, *Life Cycle Assessment for biodiesel production under Greek climate conditions*, Journal of Cleaner Production, Vol. 18/4, σελ. 328-335.

³⁷ Tsoutsos, T., Kouloumpis, V., Zafiris, T., Foteinis, S., 2010, *Life Cycle Assessment for biodiesel production under Greek climate conditions*, Journal of Cleaner Production, Vol. 18/4, σελ. 328-335.

³⁸ Tsoutsos, T., Kouloumpis, V., Zafiris, T., Foteinis, S., 2010, *Life Cycle Assessment for biodiesel production under Greek climate conditions*, Journal of Cleaner Production, Vol. 18/4, σελ. 328-335.

	Ελαιοκράμβη	Ηλίανθος	Σόγια
MgO	25	-	-
Ψεκασμός (kg)			
Ζιζανιοκτόνο trifluralin	1	1	1
Παρασιτοκτόνο pirimicarb	1	-	1
Παρασιτοκτόνο dicofol	-	-	0,5
Μεταφορά πρώτης ύλης (tkm)			
Φορτηγό 16t τύπου B250	130	105	120
Ενεργειακές απαιτήσεις στη μονάδα θραύσης			
Αργό πετρέλαιο (kg)	100,3	84,0	76,8
Ηλεκτρισμός από το ελληνικό δίκτυο μέσης τάσης (MJ)	676,8	567,0	432,0
Ενεργειακές απαιτήσεις στη ραφιναρία			
Αργό πετρέλαιο (kg)	58,7	50,4	25,9
Ηλεκτρισμός από το ελληνικό δίκτυο μέσης τάσης (MJ)	235,80	202,68	102,60
Αντιδραστήρια και ενεργειακές απαιτήσεις			
Σπορέλαιο (kg)	980	840	432
MeOH (kg)	210,0	181,7	93,5
NaOH (kg)	7,8	6,7	3,5
H ₂ O (kg)	990,0	849,7	437,0
H ₃ PO ₄ (kg)	6,1	5,2	2,6
Ηλεκτρισμός από το ελληνικό δίκτυο μέσης τάσης (MJ)	229,32	180,00	108,00
Παραγόμενο βιοντίζελ ανά στρέμμα καλλιέργειας			
Ποσότητα που παράγεται (kg)	971,2	834,4	429,1
Μέση απόδοση πρώτης ύλης (kg)	2.507	2.300	2.710

Στη συνέχεια παρουσιάζεται η διαδικασία ΑΚΖ Βιοντίζελ, παραγόμενου στις ελληνικές συνθήκες. Στο παράδειγμα αυτό παρουσιάζονται οι κύκλοι ζωής βιοντίζελ από τρεις διαφορετικές καλλιέργειες ως πρώτες ύλες σε ελληνικές κλιματικές συνθήκες. Οι καλλιέργειες αυτές είναι η ελαιοκράμβη, ο ηλίανθος και η σόγια. Πρόκειται για καλλιέργειες που ήδη χρησιμοποιούνται για την παραγωγή βιοντίζελ παγκόσμια, ενώ εντός της χώρας υπάρχουν ήδη καλλιέργειες ελαιοκράμβης και ηλίανθου προς παραγωγή βιοντίζελ. Καλλιέργειες σόγιας δε γίνονται στη χώρα μας για αυτόν το σκοπό, όμως διάφορες εταιρείες εισάγουν πρώτες ύλες από καλλιέργειες σόγιας στο εξωτερικό για την επεξεργασία τους προς παραγωγή βιοντίζελ.



Διάγραμμα 10.2 Κύκλος Ζωής Βιοντίζελ.

Κάθε καλλιέργεια χωρίστηκε σε πέντε επιμέρους στάδια (διάγραμμα 10.2) που καλύπτουν ολόκληρη τη διαδικασία παραγωγής από την προετοιμασία του εδάφους έως την παραγωγή βιοντίζελ:

- Προετοιμασία εδάφους και καλλιέργεια
- Μεταφορά πρώτης ύλης
- Σπορelaiουργείο - θραυστήρας
- Ραφιναρία σπορέλαιων
- Παραγωγή βιοντίζελ

α) Καθορισμός κύκλου ζωής

Ο κύκλος ζωής του βιοντίζελ ορίζεται όπως φαίνεται στο διάγραμμα 10.2. Αρχικό στάδιο του κύκλου ζωής αποτελεί η προετοιμασία και η καλλιέργεια του εδάφους. Μετά την ανάπτυξη των φυτών και τη συλλογή τους μεταφέρεται η πρώτη ύλη στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας πρώτης ύλης (δεύτερο στάδιο). Στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας πρώτης ύλης πραγματοποιούνται τα επόμενα δύο στάδια. Αρχικά, στο τρίτο στάδιο, θραύονται οι σπόροι για την παραγωγή σπορέλαιων. Μετά τη συλλογή των σπορέλαιων, στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λαμβάνει χώρα το τέταρτο στάδιο, της ραφιναρίας των ελαίων. Τέλος μετά τη ραφιναρία των ελαίων ακολουθεί το τελευταίο στάδιο, όπου μετατρέπεται το έλαιο σε βιοντίζελ στη μονάδα παραγωγής βιοντίζελ.

β) Προετοιμασία εδάφους και καλλιέργεια

Στο στάδιο αυτό περιλαμβάνονται οι διαδικασίες που αφορούν την προετοιμασία του εδάφους και τον αντίστοιχο μηχανικό εξοπλισμό που χρησιμοποιήθηκε, οι προσθήκες χημικών για αύξηση της παραγωγής και προστασία της καλλιέργειας καθώς και η χρησιμοποίηση πόρων για αποδοτικότερη σοδειά (Πίνακας 10.22).

Πίνακας 10.22 Διαδικασίες κατά το στάδιο προετοιμασίας εδάφους (Tsoutsos et al, 2010³⁹).

Διεργασίες εδάφους	Χημικά	Πόροι
Όργωμα	Λιπάσματα	Νερό (πότισμα)
Σβάρνισμα		
Θέρισμα	Παρασιτοκτόνα	
Σκάλισμα		

³⁹ Tsoutsos, T., Kouloumpis, V., Zafiris, T., Foteinis, S., 2010, *Life Cycle Assessment for biodiesel production under Greek climate conditions*, Journal of Cleaner Production, Vol. 18/4, σελ. 328-335.

Στη χώρα μας, όπως και στις περισσότερες, οι αγρότες προχωρούν σε εμπλουτισμό των εδαφών με λιπάσματα βιομηχανικής παραγωγής, ανόργανης σύστασης με σκοπό την αύξηση της παραγωγής. Εκτός από τις εισροές λιπασμάτων είναι απαραίτητη και η χρήση παρασιτοκτόνων για τον έλεγχο ή την εξόντωση παρασίτων βλαβερών για τις καλλιέργειες. Τέλος κρίσιμη παράμετρο στη βελτίωση της παραγόμενης ποσότητας αποτελεί η άρδευση. Μεταξύ των τριών καλλιεργειών υπάρχουν σημαντικές διαφοροποιήσεις στις απαιτούμενες ποσότητες νερού, καθώς η καλλιέργεια της ελαιοκράμβης που χαρακτηρίζεται ως χειμερινή, έχει σαφώς λιγότερες απαιτήσεις. Ενδεικτικά αναφέρονται τέσσερις διαφορετικές κατηγορίες λιπασμάτων, ανόργανης σύστασης: N, K₂O, P₂O₅ και MgO.

Αντίστοιχα στις τρεις καλλιέργειες υπάρχουν διαφορετικές απαιτήσεις σε παρασιτοκτόνα λόγω διαφορών στην περίοδο καλλιέργειας αλλά και λόγω διαφοροποίησης των εχθρών κάθε φυτού. Συνολικά χρησιμοποιούνται δύο διαφορετικά παρασιτοκτόνα σε μεγάλη συχνότητα, αν και ανάλογα με την περιοχή ή σε τυχαίες περιπτώσεις ίσως είναι απαραίτητος ο ψεκασμός με κάποιο επιπλέον είδος παρασιτοκτόνων. Απαραίτητη είναι και η χρήση ζιζανιοκτόνων πριν τη σπορά για την εξάλειψη ζιζανίων. Η κύρια σύσταση των δύο παρασιτοκτόνων και του ζιζανιοκτόνου που συναντάμε συχνότερα είναι ζιζανιοκτόνα με κύριο συστατικό την ένωση Trifluralin (C₁₃H₁₆F₃N₃O₄), παρασιτοκτόνα με κύριο συστατικό την ένωση Pirimicarb (C₁₁H₁₈N₄O₂) για την αντιμετώπιση των αφίδων (αφιδοκτόνο), και παρασιτοκτόνα με κύριο συστατικό την ένωση Dicofol (C₁₄H₉Cl₅O) για την αντιμετώπιση των ακάρεων (ακαρεοκτόνο) (Tsoutsos et al, 2010⁴⁰).

γ) Μεταφορά πρώτης ύλης

Λόγω του μεγάλου όγκου και βάρους της παραγόμενης ποσότητας κρίσιμη παράμετρος είναι η απόσταση του χώρου των καλλιεργειών από τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας των σπόρων προς παραγωγή ελαίου αρχικά και στη συνέχεια προς την παραγωγή βιοκαυσίμου.

Απαιτούνται μεγάλες εκτάσεις για την καλλιέργεια, καθώς σύμφωνα με τις απαιτήσεις της Ευρωπαϊκής Ένωσης με την πάροδο των χρόνων οι ενεργειακές καλλιέργειες προς παραγωγή βιοκαυσίμων θα αυξηθούν σημαντικά. Αντίστοιχα λόγω της αυξανόμενης παραγωγής θα δημιουργηθούν νέες μονάδες επεξεργασίας της πρώτης ύλης των καλλιεργειών αυτών, σε σημεία πλησίον των καλλιεργειών για λόγους οικονομίας.

⁴⁰ Tsoutsos, T., Kouloumpis, V., Zafiris, T., Foteinis, S., 2010, *Life Cycle Assessment for biodiesel production under Greek climate conditions*, Journal of Cleaner Production, Vol. 18/4, σελ. 328-335.

δ) Σπορελαιοργείο - Θραυστήρας

Μετά τη συλλογή, κύριο τμήμα της προετοιμασίας αποτελεί το στάδιο της θραύσης του καρπού και της συλλογής του ελαίου από τους ελαιούχους σπόρους, διαχωρίζοντάς το από την παραγόμενη πίτα. Κατά το στάδιο αυτό δαπανώνται μεγάλα ποσά ενέργειας, από το τοπικό δίκτυο, καθώς και μεγάλα ποσά καυσίμου με τη μορφή μαζούτ. Σημαντικές δραστηριότητες που λαμβάνουν χώρα στις μονάδες του σπορελαιοργείου είναι (Τσούτσος, 2008⁴¹):

- παραλαβή και αποθήκευση σπόρου
- καθαρισμός σπόρου από ξένες ύλες με κοσκίνισμα
- σπάσιμο σπόρου
- ψήσιμο σπόρου
- νιφαδοποίηση και πίεση σπόρου σε πρέσες για τη μερική απόληψη του περιεχόμενου ελαίου
- φιλτράρισμα του ελαίου των πρεσών
- εκχύλιση της πίτας που προέρχεται από τις πρέσες

Η νιφαδοποίηση και η εκχύλιση του σπόρου γίνονται με χρήση ατμού που παράγεται με την κατανάλωση καυσίμου (μαζούτ). Οι συνολικές απαιτήσεις σε ενέργεια μεταβάλλονται ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν. Οι αποκλίσεις οφείλονται κυρίως στη θερμοκρασία περιβάλλοντος, καθώς σε ημέρες με χαμηλή θερμοκρασία απαιτούνται μεγαλύτερα ποσά ενέργειας.

Η πίτα που συλλέγεται αποτελεί μείγμα πλούσιο σε πρωτεΐνη που χρησιμοποιείται σήμερα ως ζωτροφή. Με την αύξηση της παραγωγής τα επόμενα χρόνια η παραγόμενη πίτα θα χάσει την οικονομική της αξία, όμως θα μπορεί να χρησιμοποιείται ως ζωτροφή χωρίς να δημιουργεί προβλήματα στη διαχείρισή της.

ε) Ραφιναρία σπορέλαιων

Για να διασφαλιστεί η ποιότητα του ελαίου ώστε να πληρούνται οι προδιαγραφές του καυσίμου, η συλλεγόμενη ποσότητα ελαίου πρέπει να ραφινारιστεί. Στο στάδιο αυτό οι απαιτήσεις σε ενέργεια και καύσιμο είναι αρκετά σημαντικές και πρέπει να ληφθούν υπόψη. Στο στάδιο αυτό οι διεργασίες που βοηθούν στη βελτίωση της ποιότητας του ελαίου είναι οι παρακάτω (Τσούτσος, 2008⁴²):

⁴¹ Τσούτσος, Θ., 2008, *Κεφάλαιο 11: Βιοντίζελ – Και από τα φυτά ενέργεια*, έκδοση Μελών ΔΕΠ τμ. ΜηΠερ, «Εισαγωγή στην Επιστήμη του Μηχανικού Περιβάλλοντος», ΕΠΕΑΕΚ, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος.

⁴² Τσούτσος, Θ., 2008, *Κεφάλαιο 11: Βιοντίζελ – Και από τα φυτά ενέργεια*, έκδοση Μελών ΔΕΠ τμ. ΜηΠερ, «Εισαγωγή στην Επιστήμη του Μηχανικού Περιβάλλοντος», ΕΠΕΑΕΚ, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος.

- απομάκρυνση των φωσφατιδίων (λεκιθινών) από το έλαιο
- αποχρωματισμός του ελαίου με σκοπό την απομάκρυνση χρωστικών ουσιών, όπου παράλληλα απομακρύνονται και άλλες ανεπιθύμητες ουσίες (μέταλλα, φώσφορος, σάπωνες)
- απόσμιση του ελαίου με απόσταξη.

στ) Μονάδα παραγωγής βιοντίζελ

Το τελικό στάδιο της διαδικασίας αφορά μονάδες παράγωγης βιοντίζελ, όπου γίνεται η μετατροπή του ελαίου σε βιοντίζελ. Για την ολοκλήρωση της διαδικασίας απαιτείται ποσότητα ενέργειας, προσθήκη ουσιών που αποτελούν τα αντιδρώντα αλλά και τους καταλύτες της αντίδρασης μετατροπής, καθώς και ποσότητες νερού. Στο στάδιο αυτό περιλαμβάνονται τα παρακάτω:

- ξήρανση του ελαίου
- εστεροποίηση του ελαίου με προσθήκη αιθανόλης ή μεθανόλης και καταλύτη
- απομάκρυνση της γλυκερίνης
- απόσταξη και απομάκρυνση της μεθανόλης ή αιθανόλης από το βιοντίζελ
- πλύση και ξήρανση του βιοντίζελ
- απομάκρυνση των σαπώνων από τη γλυκερίνη
- απόσταξη και απομάκρυνση της μεθανόλης από τη γλυκερίνη

Η παραγόμενη γλυκερίνη μπορεί να αξιοποιηθεί εμπορικά, όμως με την αύξηση της παραγωγής η οικονομική της αξία υποβαθμίζεται ραγδαία. Οι μεγάλες ποσότητες που αναμένεται να παράγονται τα επόμενα χρόνια μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως καύσιμο πολύ χαμηλής ποιότητας χωρίς να επιβαρύνουν το περιβάλλον.

10.7 Ενέργεια από σκουπίδια

Λέγοντας σκουπίδια εννοούμε όλα τα αστικού τύπου μη επικίνδυνα στερεά απορρίμματα, που προέρχονται από τον οικιακό, εμπορικό και βιομηχανικό τομέα. Στα σκουπίδια δεν περιλαμβάνονται τα βιομηχανικά, επικίνδυνα ή τοξικά απόβλητα, η διαχείριση των οποίων απαιτεί τεχνικές ιδιαίτερα αυστηρές όσον αφορά την προστασία του περιβάλλοντος και άρα τεχνολογίες και μεθοδολογίες ιδιαίτερα δαπανηρές.

Η ταφή αποτελεί ακόμη και σήμερα την πλέον διαδεδομένη τεχνική διαχείρισης σκουπιδιών στις σύγχρονες βιομηχανικές κοινωνίες παρά τους υπάρχοντες περιορισμούς. Ωστόσο προβλήματα όπως η έλλειψη χώρου, η ρύπανση των εδαφών και του υδροφόρου ορίζοντα, καθώς και η μόλυνση του ατμοσφαιρικού αέρα, έχουν οδηγήσει στην ανάπτυξη και τη χρήση τεχνικών, μέσω των οποίων γίνεται καθαρότερη διαχείριση και ταυτόχρονα ενεργειακή αξιοποίηση των σκουπιδιών. Δύο τέτοιες τεχνικές είναι α) αυτή της **απευθείας καύσης των σκουπιδιών** και β) της **καύσης του βιοαερίου** που προκύπτει από την ελεγχόμενη ταφή των σκουπιδιών, τεχνικές που ήδη εφαρμόζονται σε κάποιες περιοχές της Ευρώπης. Εντούτοις και αυτές με τη σειρά τους έχουν έντονες περιβαλλοντικές επιπτώσεις, τέτοιες ώστε, σε αρκετές περιπτώσεις, τα εξ αυτών ενεργειακά οφέλη να αγνοούνται.

Άλλες μέθοδοι περιβαλλοντικής διαχείρισης και ταυτόχρονης ενεργειακής διαχείρισης των σκουπιδιών είναι η λιπασματοποίηση, η πυρόλυση και η αεριοποίηση, σε συνδυασμό με ανακύκλωση κάποιων υλικών (π.χ., γυαλιού, αλουμινίου, μετάλλων, χαρτιού) στην πηγή παραγωγής των σκουπιδιών αυτών. Οι μέθοδοι αυτές βρίσκονται ακόμη στο στάδιο της μελέτης, κυρίως όσον αφορά την οικονομική τους βιωσιμότητα.

Παρακάτω δίνεται μια σύντομη τεχνική περιγραφή των δύο προαναφερθέντων τεχνικών:

α) Καύση σκουπιδιών

Η καύση των σκουπιδιών γίνεται σε ειδικούς αποτεφρωτές, οι οποίοι είναι εγκατεστημένοι στην περιοχή όπου παράγονται τα σκουπίδια, οπότε αποφεύγονται οι περιβαλλοντικές οχλήσεις από την εκτεταμένη μεταφορά των σκουπιδιών. Η καύση έχει ως αποτέλεσμα τη μεγάλη μείωση του όγκου (περίπου στο 10%) και

της μάζας τους (περίπου στο 30%) με ταυτόχρονη παραγωγή ηλεκτρισμού ή/και θερμότητας, περίπου 0,25-0,70 kWh/kg⁴³ σκουπιδιών, ανάλογα με τη θερμογόνο δύναμη των σκουπιδιών και την αποδοτικότητα της καύσης. Τα ελαχίστου πλέον όγκου υπολείμματα της καύσης (στάχτη και άλλα στερεά) οδηγούνται σε χώρους υγειονομικής ταφής.

Αν και το κόστος της καύσης των σκουπιδιών αποδεικνύεται συχνά υψηλότερο εκείνου της ταφής, ωστόσο αρκετές ευρωπαϊκές χώρες υιοθετούν τη μέθοδο αυτή ως έχουσα μικρότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Έτσι, υπάρχουν εκατοντάδες μονάδες καύσης σκουπιδιών σε όλη την Ευρώπη.

Όσον αφορά την **περιβαλλοντική επιβάρυνση** από την καύση σκουπιδιών, αναφέρονται δύο ειδών ρυπαντές, α) εκείνοι που εκπέμπονται προς την ατμόσφαιρα μέσω της καμινάδας και β) εκείνοι που περιέχονται στα υπολείμματα της καύσης, δηλαδή την τέφρα, την ιπτάμενη τέφρα, τα υδαρή λύματα και τις διάφορες σκουριές μετάλλων.

Στους πρώτους περιλαμβάνονται στερεά σωματίδια (PM₁₀), το διοξείδιο του θείου (SO₂), τα οξείδια του αζώτου (NO_x), το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) και τα οξέα των διαφόρων αλογόνων (π.χ., HCl, HF). Φαίνεται ότι είναι πολύ δύσκολο να εκτιμηθεί η ποσότητα των ρυπαντών αυτών, καθώς εκπέμπονται από την καμινάδα μιας μονάδας καύσης σκουπιδιών, αφού η ποσότητα αυτή εξαρτάται έντονα από τη χημική σύσταση των σκουπιδιών αλλά και τα χαρακτηριστικά της χρησιμοποιούμενης τεχνολογίας καύσης. Σύμφωνα με στοιχεία κατασκευαστών τέτοιων μονάδων η συγκέντρωση των παραπάνω ρυπαντών είναι περίπου 3 mg PM₁₀/Nm³ καυσαερίων στην καμινάδα, 200 mg NO_x/Nm³, 50 mg SO₂/Nm³, 50 mg CO/Nm³, 10 mg HCl/Nm³ και 1 mg HF/Nm³.

Στους δεύτερους περιλαμβάνονται τα βαριά μέταλλα (κυρίως κάδμιο, μόλυβδος και υδράργυρος), τα διάφορα οργανικά χλωροπαράγωγα και οι πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες. Ωστόσο, από τις μέχρι σήμερα εκπονηθείσες μελέτες, φαίνεται ότι οι μεγάλες ποσότητες των υπολειμμάτων της καύσης σκουπιδιών ευρίσκονται υπό τη μορφή της τέφρας (280-350 kg/t σκουπιδιών) και της ιπτάμενης τέφρας (25 έως 30 kg/t σκουπιδιών). Έτσι, οι ρυπαντές, οι περιεχόμενοι σε αυτές τις δύο μορφές υπολειμμάτων, απομακρύνονται μέσω της ασφαλούς ταφής τους (περίπτωση τέφρας) και της δέσμευσης από συστήματα ελέγχου αέριας μόλυνσης (περίπτωση ιπτάμενης τέφρας). Όσον αφορά τις άλλες δύο μορφές υπολειμμάτων, δηλαδή υδαρή λύματα και σκουριές μετάλλων, οι ποσότητες είναι σχετικά μικρές (1 έως 5 m³/t σκουπιδιών και 1 έως 3 m³/t σκουπιδιών αντίστοιχα), οπότε οι επιπτώσεις των περιεχόμενων ρυπαντών θεωρούνται αμελητέες.

⁴³ www.eurobserv-er.org/pdf/baro200a.pdf

Β) Καύση βιοαερίου από την ελεγχόμενη ταφή σκουπιδιών

Το βιοαέριο, ως προϊόν της αποσύνθεσης του οργανικού μέρους των σκουπιδιών, περιέχει κυρίως CH_4 και CO_2 , δηλαδή δύο από εκείνα τα αέρια που είναι υπεύθυνα για το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Όμως λόγω της περιεκτικότητας του βιοαερίου σε μεθάνιο (CH_4), το βιοαέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο για την παραγωγή ηλεκτρισμού ή/και θερμότητας. Έτσι, σε χώρους ελεγχόμενης ταφής σκουπιδιών, μέσω ειδικών σωληνώσεων που διατρέχουν τον όγκο των αποσυντιθέμενων σκουπιδιών, συλλέγεται το παραγόμενο βιοαέριο, καθαρίζεται και οδηγείται προς καύση.

Όσον αφορά την περιβαλλοντική επιβάρυνση από την αξιοποίηση του βιοαερίου, αναφέρονται δύο κατηγορίες ρυπαντών, α) εκείνοι που εκπέμπονται κατά την παραγωγή του βιοαερίου και β) εκείνοι που εκπέμπονται κατά την καύση του.

Ως ο πλέον επικίνδυνος ρυπαντής, που περιλαμβάνεται στην πρώτη κατηγορία, είναι το βενζόλιο, η συγκέντρωση του οποίου εκτιμάται περίπου σε 17 mg/Nm^3 παραγόμενου βιοαερίου. Αντίθετα οι ποσότητες των παραγόμενων στερεών σωματιδίων (PM_{10}), του διοξειδίου του θείου (SO_2) και των οξειδίων του αζώτου (NO_x) θεωρούνται αμελητέες.

Στη δεύτερη κατηγορία ρυπαντών αναφέρονται το διοξείδιο του θείου (SO_2) και τα οξείδια του αζώτου (NO_x), οι συγκεντρώσεις των οποίων εκτιμώνται περίπου σε 55 και 250 αντίστοιχα mg/Nm^3 καυσαερίων στην καμινάδα. Άλλες τοξικές ουσίες που περιέχονται στο βιοαέριο και θα έπρεπε να αναφέρονται σε αυτήν την κατηγορία ρυπαντών θεωρούνται ότι καταστρέφονται κατά την καύση λόγω υψηλών θερμοκρασιών.