



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΚΑΙ
ΒΙΩΣΙΜΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟΥ ΛΕΠΤΟΥ ΥΜΕΝΑ ΣΤΙΣ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΤΟΥ ΜΑΡΙΟΥ ΡΑΓΚΟΥΣΗ

ΧΑΝΙΑ, 2016

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

Καθηγητής **ΘΕΟΧΑΡΗΣ ΤΣΟΥΤΣΟΣ** (ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ)

Καθηγητής **ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΚΑΛΑΪΤΖΑΚΗΣ**

Αναπλ. Καθηγητής **ΣΤΕΛΙΟΣ ΡΟΖΑΚΗΣ**



ΑΦΙΕΡΩΝΕΤΑΙ
στον Παππού μου
Ιωάννη Χρήστου
(1915-2001)

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαιτέρως τον επιβλέπον Καθηγητή της διπλωματικής μου εργασίας Θεοχάρη Τσούτσο για τη στήριξη που μου προσέφερε σε επιστημονικό και φιλικό επίπεδο καθ' όλη τη διάρκεια της παρούσας εργασίας. Ακόμη, εκφράζω τις ευχαριστίες μου στον υποψήφιο Διδάκτορα Νικόλαο Σαββάκη για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση που μου παρείχε σε όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας εργασίας. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω και τον Δρ. Σπυρίδωνα Φωτείνη για της αξιόλογες πληροφορίες και συμβουλές που μου προσέφερε. Επιπλέον, ευχαριστώ τα μέλη της Εξεταστικής Επιτροπής, τους Καθηγητές Κωνσταντίνο Καλαϊτζάκη και Στέλιο Ροζάκη για τα εύστοχα σχόλια πάνω στην εργασία μου.

Τέλος, οφείλω να ευχαριστήσω θερμά τους φίλους μου και ειδικότερα τους γονείς και τα αδέρφια μου για την στήριξη και συμπαράσταση όλα αυτά τα χρόνια.

Μάριος Ραγκούσης

Περιεχόμενα	
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	7
ABSTRACT.....	8
Πίνακας συντομογραφιών.....	9
Κατάλογος πινάκων.....	10
Κατάλογος διαγραμμάτων.....	12
Κατάλογος εικόνων.....	14
Κεφάλαιο 1 : ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ	15
Κεφάλαιο 2 : ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ	16
2.1 Η παγκόσμια αγορά φωτοβολταϊκών συστημάτων.....	16
2.1.1 Η φωτοβολταϊκή ενέργεια σε διεθνές επίπεδο.....	16
2.1.2 Η φωτοβολταϊκή τεχνολογία στην Ελλάδα	17
2.2 Φωτοβολταϊκή τεχνολογία.....	19
2.2.1 Είδη φωτοβολταϊκών στοιχείων	19
2.2.2 Ανάλυση Κύκλου Ζωής (ΑΚΖ) Φωτοβολταϊκών Συστημάτων	21
2.3 Παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση των Φωτοβολταϊκών	36
2.3.1 Τεχνικές ψύξης Φωτοβολταϊκών Συστημάτων	37
2.3.2 Υλικά Αλλαγής Φάσης	38
2.3.3 Υλικά Αλλαγής Φάσης σε Φωτοβολταϊκά Συστήματα	39
Κεφάλαιο 3 : ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	43
3.1 Περιγραφή του εξεταζόμενου συστήματος.....	43
3.1.1 Εισαγωγικά στοιχεία	43
3.1.2 Φωτοβολταϊκό πλαίσιο United Solar	43
3.1.3 Φωτοβολταϊκό πλαίσιο Sharp	44
3.1.4 Σύστημα ΦΒ-ΥΑΦ	46
3.1.5 Υλικό Αλλαγής Φάσης	47
3.1.6 Μεταλλικό δοχείο ΥΑΦ.....	48
3.2 Ανάλυση Κύκλου Ζωής.....	49
3.2.1 Εισαγωγικά στοιχεία της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής.....	49
3.2.2 Σκοπός της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής	50
3.2.3 Στάδια Ανάλυσης Κύκλου Ζωής.....	50
3.3 Περιγραφή του λογισμικού	54
3.3.1 Εισαγωγή στο SimaPro	54

3.3.2 Ξεκινώντας στο SimaPro.....	55
3.3.3 Μέθοδοι αποτίμησης	58
3.3.4 Μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν.....	59
3.4 Σενάρια που μελετήθηκαν	63
3.5 Βασικές υποθέσεις	64
Κεφάλαιο 4 : ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	65
4.1 Καθορισμός Σκοπού και Στόχου	65
4.2 Απογραφή του Κύκλου Ζωής - Life Cycle Inventory (LCI)	65
4.3 Ανάλυση Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων	67
4.3.1 Φωτοβολταϊκό πλαίσιο United Solar ASR-128.....	67
4.3.2 Φωτοβολταϊκό πλαίσιο Sharp NA135L5	81
4.3.3 Φωτοβολταϊκό σύστημα ΦΒ-ΥΑΦ ₁ με τη δεξαμενή του ΥΑΦ από χάλυβα.....	94
4.3.4 Φωτοβολταϊκό σύστημα ΦΒ-ΥΑΦ ₂ με τη δεξαμενή του ΥΑΦ από αλουμίνιο	107
4.3.4 Αξιολόγηση του ΦΒ-ΥΑΦ	120
Κεφάλαιο 5 : ΣΥΖΗΤΗΣΗ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	128
BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	135
INTERNET SITES	138
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	139

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Την περίοδο που διανύουμε, ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα που αντιμετωπίζουμε είναι η κλιματική αλλαγή. Πολλοί ερευνητές παγκοσμίως έχουν επικεντρωθεί στην εύρεση και βελτιστοποίηση εναλλακτικών μορφών ενέργειας, όπως οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ). Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν και τα φωτοβολταϊκά τα οποία έχουν τη δυνατότητα να μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρική ενέργεια. Ωστόσο, η βιωσιμότητα και οι περιβαλλοντικές επιβαρύνσεις αυτών των συστημάτων δεν έχουν αναλυθεί επισταμένως. Μια ευρύτερα χρησιμοποιούμενη μέθοδος περιβαλλοντικής αξιολόγησης των συστημάτων αυτών είναι η Ανάλυση Κύκλου Ζωής. Η Ανάλυση Κύκλου Ζωής αποτελεί σημαντικό εργαλείο για τη διερεύνηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, δεδομένου ότι οι εμπλεκόμενες ροές υλικών, ενέργειας όπως και οι εκπομπές των αερίων που απελευθερώνονται στο περιβάλλον εμφανίζονται στα διάφορα στάδια του κύκλου ζωής.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετήθηκαν τα περιβαλλοντικά φορτία που εκλύονται κατά τη συναρμολόγηση ενός απλού φωτοβολταϊκού πλαισίου λεπτού υμένα αλλά και του πρότυπου συστήματος του εργαστηρίου, με τη βοήθεια του λογισμικού SimaPro. Το πρότυπο σύστημα ΦΒ-ΥΑΦ που αναπτύχθηκε στο Εργαστήριο Ανανεώσιμων και Βιώσιμων Ενεργειακών Συστημάτων, αποτελείται από ένα ΦΒ πλαίσιο τύπου Sharp NA135L5 και δεξαμενή χάλυβα η οποία εμπεριέχει Υλικό Αλλαγής Φάσης στο εσωτερικό της, με σκοπό τη ρύθμιση της θερμοκρασίας λειτουργίας του πλαισίου. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της λειτουργίας του πρότυπου συστήματος παρατηρήθηκε σημαντική βελτίωση στην ενεργειακή απόδοση, ωστόσο στα πλαίσια της παρούσας μελέτης εξετάζεται η περιβαλλοντική απόδοσή του, προκειμένου να αποτιμηθεί το όφελος σε σχέση με το κόστος από την κατασκευή της δεξαμενής υποδοχής του ΥΑΦ, η οποία έχει ως βασικό υλικό γαλβανισμένο χάλυβα. Μια τροποποίηση που έγινε στο παραπάνω σύστημα ήταν η αλλαγή του υλικού κατασκευής της δεξαμενής σε αλουμίνιο. Από τα τελικά αποτελέσματα σύγκρισης των τριών συστημάτων παρατηρήθηκε ότι το ΦΒ-ΥΑΦ με τη δεξαμενή του αλουμινίου έχει μικρότερο περιβαλλοντικό αντίκτυπο σε σχέση με τα αντίστοιχα συστήματα που εξετάστηκαν, τα οποία εμφανίζουν σχεδόν όμοια περιβαλλοντική επιβάρυνση.

ABSTRACT

Climate change constitutes one of the major environmental challenges today. As a result, research has been focused on environmental friendly energy sources, such as renewable energy sources (RES), and their optimization. Energy from photovoltaic (PV) panels falls in this category, since they convert solar radiation to electricity. Even though PVs have been long used in Mediterranean countries, there are still knowledge gaps in their sustainability and environmental performance under local conditions. Life cycle analysis of assessment (LCA) is a robust tool for estimating the environmental impacts attributed to the life cycle of a product or a process. Therefore, it can be used as an assessment tool for environmental sustainability of PV panel under Mediterranean conditions.

This work utilizes the LCA methodology in order to estimate the environmental footprint for the production of a thin-film PV panel and of a phase change material (PCM) system, used for the panel's temperature adjustment, i.e. cooling. For this reason the software package SimaPro 8 was used. The PV-PCM system was developed at the Renewable and Sustainable Energy Systems Laboratory, Technical University of Crete, Greece and comprise a SharpNA135L5 type PV panel and a steel tank that houses the PCM. Experimental results of the PCM system indicate that the PCM system significantly improves the PV panel's energy efficiency. Results, from this work showed that in Life Cycle of a PV panel and a PV-PCM system with the phase operation in the area of Crete, the PV panel gives us better environmental footprints.

Moreover, alternative scenarios to improve the environmental sustainability of the PV-PCM system were examined. For this reason, two different construction materials, i.e. aluminium and galvanized steel, for the tank that houses the PCM were examined. The PV-PCM system with the lower environmental footprint was the one that uses galvanized steel as the tank's construction material.

Πίνακας συντομογραφιών

ΑΠΕ: Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

ΦΒ: Φωτοβολταϊκό

ΑΚΖ: Ανάλυση Κύκλου Ζωής

ΥΑΦ: Υλικό Αλλαγής Φάσης

ΦΒ-ΥΑΦ: Φωτοβολταϊκό σύστημα με Υλικό Αλλαγής Φάσης

ΦΒ-ΥΑΦ₁: Φωτοβολταϊκό σύστημα με Υλικό Αλλαγής Φάσης και δεξαμενή του ΥΑΦ κατασκευασμένη από χάλυβα

ΦΒ-ΥΑΦ₂: Φωτοβολταϊκό σύστημα με Υλικό Αλλαγής Φάσης και δεξαμενή του ΥΑΦ κατασκευασμένη από αλουμίνιο

EPIA: European Photovoltaic Industry Association

IEA: International Energy Agency

SETAC: Society for Environmental Toxicology and Chemistry

Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 2.1: Εγκατεστημένη φωτοβολταϊκή ισχύ στην Ελλάδα	18
Πίνακας 2.2: Εκτίμηση εισροών ενέργειας κι υλικών για παραγωγή 1m^2 φωτοβολταϊκού πλαισίου	26
Πίνακας 2.3: Εκτίμηση εισροών από ανάλυση κύκλου ζωής σε φωτοβολταϊκά συστήματα οροφής (On – roof) και σε ενσωματωμένα στην οροφή του κτιρίου (In – roof)	27
Πίνακας 2.4: Κύριες ροές εισόδου για παραγωγή 1cm^2 υβριδικού πλαισίου	29
Πίνακας 2.5: Τελικά αποτελέσματα της έρευνας των Azzopardi και Mutale	29
Πίνακας 2.6: Αποτελέσματα του Sergio Pacca για την αξιολόγηση της ανάλυσης κύκλου ζωής	30
Πίνακας 2.7: Ενέργεια που απαιτείται για παραγωγή φωτοβολταϊκού τύπου c-Si	31
Πίνακας 2.8: Ενέργεια που απαιτείται για παραγωγή φωτοβολταϊκού τύπου a-Si	31
Πίνακας 2.9: Κατανομή της απαιτούμενης ενέργειας για παραγωγή ΦΒ μονάδας mono-Si ...	33
Πίνακας 2.10: Κατανομή της απαιτούμενης ενέργειας για παραγωγή ΦΒ μονάδας mc-Si	33
Πίνακας 2.11: Κατανομή της απαιτούμενης ενέργειας για παραγωγή ΦΒ μονάδας a-Si	34
Πίνακας 2.12: Σύνοψη της κατασκευής και του κόστους των υλικών παραγωγής για τα ΦΒ-ΥΑΦ στην Ιρλανδία και στο Πακιστάν	41
Πίνακας 3.1: Τυπικά χαρακτηριστικά ΦΒ πλαισίου United Solar ASR-128	44
Πίνακας 3.2: Τυπικά χαρακτηριστικά ΦΒ πλαισίου SHARP NA-E135L5	45
Πίνακας 3.3: Τα σημαντικότερα δεδομένα για το ΥΑΦ RT27	48
Πίνακας 3.4: Πίνακας με τους δεκαοκτώ δείκτες	60
Πίνακας 3.5: Σύνοψη σεναρίων για τα ΦΒ πλαίσια	63
Πίνακας 3.6: Σενάρια για τη δεξαμενή του ΥΑΦ	63
Πίνακας 4.1: Απογραφή του κύκλου ζωής του ΦΒ πλαισίου της United Solar	66
Πίνακας 4.2: Αναλυτικά τα αποτελέσματα σε Pt από τις κατηγορίες με τη μεγαλύτερη επίδραση	78
Πίνακας 4.3: Ποσά CO_2 του πλαισίου ASR-128 για όλα τα σενάρια	81
Πίνακας 4.4: Αναλυτικά αποτελέσματα σε Pt από τις κατηγορίες με τη μεγαλύτερη επίδραση	91
Πίνακας 4.5: Ποσά CO_2 του πλαισίου NA135L5 της Sharp για όλα τα σενάρια	94
Πίνακας 4.6: Αναλυτικά αποτελέσματα σε Pt από τις κατηγορίες με τη μεγαλύτερη επίδραση	104
Πίνακας 4.7: Ποσά CO_2 του πλαισίου ΦΒ-ΥΑΦ ₁ για όλα τα σενάρια	107
Πίνακας 4.8: Αναλυτικά αποτελέσματα σε Pt από τις κατηγορίες με τη μεγαλύτερη επίδραση	116
Πίνακας 4.9: Ποσά CO_2 του πλαισίου ΦΒ-ΥΑΦ ₂ για όλα τα σενάρια	119
Πίνακας 4.10: Μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο ίσο με 30° H(30) και μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες	120
Πίνακας 4.11: Απόδοση πλαισίου και υπολογισμός ενέργειας	121
Πίνακας 5.1: Κύριες περιβαλλοντικές ροές για το ΦΒ πλαίσιο ASR-128	128
Πίνακας 5.2: Κύριες περιβαλλοντικές επιβαρύνσεις για το ΦΒ πλαίσιο NA135L5	129
Πίνακας 5.3: Οι κύριες περιβαλλοντικές επιβαρύνσεις για το σύστημα ΦΒ-ΥΑΦ ₁	130
Πίνακας 5.4: Οι κύριες περιβαλλοντικές επιβαρύνσεις για το σύστημα ΦΒ-ΥΑΦ ₂	131
Πίνακας 5.5 Σύγκριση των τριών ΦΒ πλαισίων με βάση το φορτίο τους σε Pt	131

Πίνακας 5.6: Σύγκριση των τριών ΦΒ πλαισίων με βάση τα kg CO ₂ eq που εκλύουν κατά τη συναρμολόγηση.....	131
Πίνακας 5.7: Αποτελέσματα της ΑΚΖ των τριών ΦΒ πλαισίων με φορτίο σε Ρt.....	134
Πίνακας 5.9: Αποτελέσματα της ΑΚΖ των τριών ΦΒ πλαισίων με βάση τα kg CO ₂ eq	134

Κατάλογος διαγραμμάτων

Διάγραμμα 2.1: Περιβαλλοντική αποτίμηση διάφορων ενεργειακών τεχνολογιών	16
Διάγραμμα 2.2: Διαχρονική εξέλιξη της συνολικής εγκατεστημένης φωτοβολταϊκής ισχύος κατά την περίοδο 2000-2013	17
Διάγραμμα 2.3: Η εξέλιξη της ελληνικής αγοράς φωτοβολταϊκών συστημάτων	18
Διάγραμμα 2.4: Η συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ στην Ελλάδα	19
Διάγραμμα 2.5: Παρουσίαση εισροών ενέργειας στη φάση παραγωγής για τις δύο τεχνολογίες	30
Διάγραμμα 2.6: Εκπομπές CO ₂ κατά την παραγωγή φωτοβολταϊκών σε διάφορες χώρες	32
Διάγραμμα 2.7: Αποτελέσματα από βλάβες στην ανθρώπινη υγεία.	35
Διάγραμμα 2.8: Αποτελέσματα από βλάβες που προκαλούνται από την παραγωγή φωτοβολταϊκών.	36
Διάγραμμα 2.9: Επίδραση θερμοκρασίας στην απόδοση των φωτοβολταϊκών	37
Διάγραμμα 2.10: Η εξέλιξη της θερμοκρασίας στα συστήματα κατά τη διάρκεια μιας μέρας .	40
Διάγραμμα 2.11: Σύγκριση της απόδοσης και ηλεκτρικής ενέργειας των δύο συστημάτων ...	40
Διάγραμμα 4.1: Διάγραμμα ροής περιβαλλοντικών φορτίων για συναρμολόγηση του ΦΒ ASR-128 στην Κρήτη.....	68
Διάγραμμα 4.2: Διάγραμμα ροής περιβαλλοντικών φορτίων για συναρμολόγηση του ΦΒ ASR-128 στην ηπειρωτική Ελλάδα.....	69
Διάγραμμα 4.3: Διάγραμμα ροής περιβαλλοντικών φορτίων για συναρμολόγηση του ΦΒ ASR-128 στην Γερμανία.....	70
Διάγραμμα 4.4: Διάγραμμα ροής περιβαλλοντικών φορτίων για συναρμολόγηση του ΦΒ ASR-128 στην Γαλλία.....	71
Διάγραμμα 4.5: Διάγραμμα ροής περιβαλλοντικών φορτίων για συναρμολόγηση του ΦΒ ASR-128 στην Ισπανία.....	72
Διάγραμμα 4.6: Διάγραμμα ροής περιβαλλοντικών φορτίων για συναρμολόγηση του ΦΒ ASR-128 στη Νορβηγία.....	73
Διάγραμμα 4.7: Γράφημα χαρακτηρισμού	75
Διάγραμμα 4.8: Κανονικοποίηση ανά κατηγορία επίδρασης	76
Διάγραμμα 4.9: Συνολικές επιπτώσεις ανά κατηγορία επίδρασης.....	77
Διάγραμμα 4.10: Αξιολόγηση βλαβών ανά κατηγορία	79
Διάγραμμα 4.11: Κανονικοποίηση ανά κατηγορία βλαβών.....	80
Διάγραμμα 4.12: Συνολικά αποτελέσματα ανά κατηγορία βλάβης	81
Διάγραμμα 4.13: Διάγραμμα ροής περιβαλλοντικών φορτίων για συναρμολόγηση του ΦΒ NA135L5 στην Κρήτη.....	82
Διάγραμμα 4.14: Διάγραμμα ροής περιβαλλοντικών φορτίων για συναρμολόγηση του ΦΒ NA135L5 στην ηπειρωτική Ελλάδα	83
Διάγραμμα 4.15: Διάγραμμα ροής περιβαλλοντικών φορτίων για συναρμολόγηση του ΦΒ NA135L5 στην Γερμανία.....	84
Διάγραμμα 4.16: Διάγραμμα ροής περιβαλλοντικών φορτίων για συναρμολόγηση του ΦΒ NA135L5 στην Γαλλία	85
Διάγραμμα 4.17: Διάγραμμα ροής περιβαλλοντικών φορτίων για συναρμολόγηση του ΦΒ NA135L5 στην Ισπανία.....	86

Διάγραμμα 4.18: Διάγραμμα ροής περιβαλλοντικών φορτίων για συναρμολόγηση του ΦΒ ΝΑ135L5 στην Νορβηγία.....	87
Διάγραμμα 4.19: Γράφημα χαρακτηρισμού.....	89
Διάγραμμα 4.20: Κανονικοποίηση ανά κατηγορία επίδρασης.....	90
Διάγραμμα 4.21: Συνολικές επιπτώσεις ανά κατηγορία επίδρασης	91
Διάγραμμα 4.22: Αξιολόγησης βλαβών ανά κατηγορία	92
Διάγραμμα 4.23: Κανονικοποίησης ανά κατηγορία βλάβης.....	93
Διάγραμμα 4.24: Συνολικά αποτελέσματα ανά κατηγορία βλάβης	94
Διάγραμμα 4.25: Διάγραμμα ροής περιβαλλοντικών φορτίων για συναρμολόγηση του ΦΒ-ΥΑΦ ₁ στην Κρήτη	95
Διάγραμμα 4.26: Διάγραμμα ροής περιβαλλοντικών φορτίων για συναρμολόγηση του ΦΒ-ΥΑΦ ₁ στην ηπειρωτική Ελλάδα	96
Διάγραμμα 4.27: Διάγραμμα ροής περιβαλλοντικών φορτίων για συναρμολόγηση του ΦΒ-ΥΑΦ ₁ στη Γερμανία	97
Διάγραμμα 4.28: Διάγραμμα ροής περιβαλλοντικών φορτίων για συναρμολόγηση του ΦΒ-ΥΑΦ ₁ στη Γαλλία.....	98
Διάγραμμα 4.29: Διάγραμμα ροής περιβαλλοντικών φορτίων για συναρμολόγηση του ΦΒ-ΥΑΦ ₁ στην Ισπανία.....	99
Διάγραμμα 4.30: Διάγραμμα ροής περιβαλλοντικών φορτίων για συναρμολόγηση του ΦΒ-ΥΑΦ στη Νορβηγία.....	100
Διάγραμμα 4.31: Γράφημα χαρακτηρισμού.....	102
Διάγραμμα 4.32: Κανονικοποίηση ανά κατηγορία επίδρασης.....	103
Διάγραμμα 4.33: Συνολικές επιπτώσεις ανά κατηγορία επίδρασης	104
Διάγραμμα 4.34: Αξιολόγηση βλαβών ανά κατηγορία.....	105
Διάγραμμα 4.35: Κανονικοποίηση ανά κατηγορία βλαβών	106
Διάγραμμα 4.36: Τελικά αποτελέσματα ανά κατηγορία βλάβης.....	107
Διάγραμμα 4.37 Διάγραμμα ροής περιβαλλοντικών φορτίων για συναρμολόγηση του ΦΒ-ΥΑΦ ₂ στην Κρήτη	108
Διάγραμμα 4.38: Διάγραμμα ροής περιβαλλοντικών φορτίων για συναρμολόγηση του ΦΒ-ΥΑΦ ₂ στην ηπειρωτική Ελλάδα	109
Διάγραμμα 4.39: Διάγραμμα ροής περιβαλλοντικών φορτίων για συναρμολόγηση του ΦΒ-ΥΑΦ ₂ στην Γερμανία	110
Διάγραμμα 4.40: Διάγραμμα ροής περιβαλλοντικών φορτίων για συναρμολόγηση του ΦΒ-ΥΑΦ ₂ στην Γαλλία.....	111
Διάγραμμα 4.41: Διάγραμμα ροής περιβαλλοντικών φορτίων για συναρμολόγηση του ΦΒ-ΥΑΦ ₂ στην Ισπανία.....	112
Διάγραμμα 4.42: Διάγραμμα ροής περιβαλλοντικών φορτίων για συναρμολόγηση του ΦΒ-ΥΑΦ ₂ στη Νορβηγία	113
Διάγραμμα 4.43: Γράφημα χαρακτηρισμού.....	114
Διάγραμμα 4.44: Κανονικοποίηση ανά κατηγορία επίδρασης.....	115
Διάγραμμα 4.45: Συνολικές επιπτώσεις ανά κατηγορία επίδρασης	116
Διάγραμμα 4.46: Αξιολόγηση βλαβών ανά κατηγορία	117
Διάγραμμα 4.47: Κανονικοποίηση ανά κατηγορία βλαβών	118
Διάγραμμα 4.48: Τελικά αποτελέσματα ανά κατηγορία βλάβης.....	119
Διάγραμμα 4.49: Γράφημα χαρακτηρισμού.....	122

Διάγραμμα 4.50: Κανονικοποίηση ανά κατηγορία επίδρασης.....	123
Διάγραμμα 4.51 : Συνολικές επιπτώσεις ανά κατηγορία επίδρασης	123
Διάγραμμα 4.52: Τελικά αποτελέσματα ανά κατηγορία βλάβης.....	124
Διάγραμμα 4.53: Γράφημα χαρακτηρισμού.....	125
Διάγραμμα 4.54: Κανονικοποίηση ανά κατηγορία επίδρασης.....	126
Διάγραμμα 4.55: Συνολικές επιπτώσεις ανά κατηγορία επίδρασης	126
Διάγραμμα 4.56: Τελικά αποτελέσματα ανά κατηγορία βλάβης.....	127
Διάγραμμα 5.1: Σύγκριση των τριών ΦΒ πλαισίων με βάση τα συνολικά	132
Διάγραμμα 5.2: Σύγκριση των τριών ΦΒ πλαισίων με βάση τα kg CO ₂ eq	133

Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 2.1: Κατηγοριοποίηση των διαθέσιμων φωτοβολταϊκών στοιχείων	20
Εικόνα 2.2: Ενδεικτικές αποδόσεις των διαθέσιμων φωτοβολταϊκών στοιχείων	21
Εικόνα 2.3: Βασικά στάδια κύκλου ζωής των φωτοβολταϊκών	22
Εικόνα 2.4: Διαδικασίες παραγωγής φωτοβολταϊκών πυριτίου	23
Εικόνα 2.5: Διαδικασίες παραγωγής φωτοβολταϊκών CdTe	24
Εικόνα 2.6: Σχηματική απεικόνιση της πορείας των διεργασιών παραγωγής ΦΒ	25
Εικόνα 2.7: Σχηματική απεικόνιση ανακύκλωσης φωτοβολταϊκών	28
Εικόνα 2.8: Τυπικό σύστημα ΦΒ-ΥΑΦ	39
Εικόνα 2.9: Οι επιφανειακές θερμοκρασίες των φωτοβολταϊκών α) Δουβλίνο και β) Vehari .	41
Εικόνα 3.1: ΦΒ πλαίσιο της United Solar τύπου ASR-128	43
Εικόνα 3.2: Χαρακτηριστικά του πλαισίου	44
Εικόνα 3.3: Ενδεικτική απεικόνιση της τομής πλαισίου	45
Εικόνα 3.4: Μπροστά όψη συστήματος ΦΒ-ΥΑΦ	46
Εικόνα 3.5: Πίσω όψη συστήματος ΦΒ-ΥΑΦ	47
Εικόνα 3.6: Εικόνα ΥΑΦ	47
Εικόνα 3.7: Απεικόνιση των τριών δεξαμενών και οι αναλυτικές διαστάσεις τους	49
Εικόνα 3.8: Στάδια Ανάλυσης Κύκλου Ζωής	51
Εικόνα 3.9: Οριοθέτηση του συστήματος	52
Εικόνα 3.10: Ενδεικτική περιγραφή επιπτώσεων σε διάφορα συστήματα κατά τον Κύκλο Ζωής τους	53
Εικόνα 3.11: Αρχική εικόνα του λογισμικού SimaPro που χρησιμοποιήθηκε.....	54
Εικόνα 3.12: Γενικό περιβάλλον του SimaPro και εισαγωγή νέου έργου.....	56
Εικόνα 3.13: Οι διαθέσιμες βιβλιοθήκες του χρήστη.....	56
Εικόνα 3.14: Επιλογές της καρτέλας των διεργασιών.....	57
Εικόνα 3.15: Δημιουργία νέων προϊόντων.....	57
Εικόνα 3.16: Φόρμα εισαγωγής όλων των απαιτούμενων ενεργειών για το προϊόν.....	58
Εικόνα 3.17: Σχηματική απεικόνιση της ReCiPe	61

Κεφάλαιο 1 : ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ

Η συμβολή των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) στην αειφόρο ανάπτυξη και την προστασία του περιβάλλοντος έχει αναγνωριστεί ευρέως τα τελευταία χρόνια. Προβλήματα όπως η υπερθέρμανση του πλανήτη έχουν προωθήσει σημαντικά την εξέλιξη των τεχνολογιών ανανεώσιμης ενέργειας, όπως είναι τα φωτοβολταϊκά (ΦΒ). Τα ΦΒ θεωρούνται από τις πλέον διαδεδομένες τεχνολογίες ΑΠΕ και αυτό οφείλεται σε ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που διαθέτουν, με αποτέλεσμα να διαχωρίζονται. Ένα σημαντικό κομμάτι των τεχνολογιών ΑΠΕ είναι η περιβαλλοντική αξιολόγηση τους. Μια από τις πλέον κατάλληλες μεθόδους αξιολόγησης τέτοιων τεχνολογιών είναι η Ανάλυση Κύκλου Ζωής (ΑΚΖ). Το σύνολο της ΑΚΖ αποτελείται από τέσσερα στάδια:

- 1) τον καθορισμό σκοπού και στόχου,
- 2) την απογραφή του κύκλου ζωής,
- 3) την ανάλυση των επιπτώσεων του κύκλου ζωής και
- 4) την ερμηνεία των αποτελεσμάτων.

Επιπλέον, ένα μεγάλο μέρος της έρευνας των ΦΒ έχει επικεντρωθεί στην βελτίωση της απόδοσης τους. Επί του παρόντος, μόνο το 15-20% της ηλιακής ενέργειας που προσπίπτει σε ένα ΦΒ πλαίσιο μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια, με το υπόλοιπο να γίνεται θερμότητα. Αυτή η θερμότητα αναγκάζει το πλαίσιο να λειτουργεί σε υψηλές θερμοκρασίες μειώνοντας έτσι την απόδοσή του. Τα τελευταία χρόνια αρκετοί μελετητές έχουν προτείνει ως τρόπο ρύθμισης της θερμοκρασίας του πλαισίου τη τοποθέτηση Υλικού Αλλαγής Φάσης (ΥΑΦ) στο πίσω μέρος του πλαισίου. Το σύστημα ονομάστηκε ΦΒ-ΥΑΦ, ενώ η περιβαλλοντική αξιολόγηση του αποτέλεσε το βασικό ζητούμενο διερεύνησης.

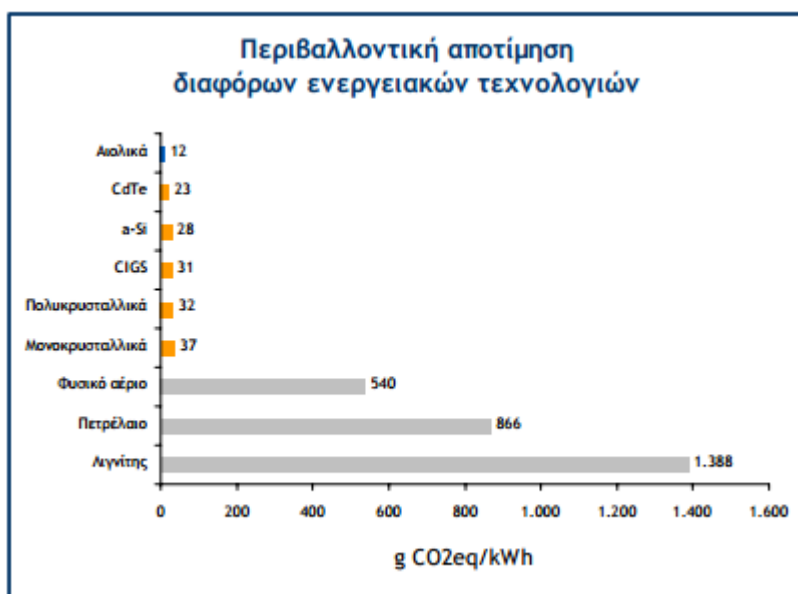
Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματική εργασίας αξιολογήθηκε συγκριτικά η περιβαλλοντική απόδοση των ΦΒ πλαισίων λεπτού υμένα όπως και του συστήματος ΦΒ-ΥΑΦ εφαρμόζοντας τη μέθοδο της ΑΚΖ.

Κεφάλαιο 2 : ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

2.1 Η παγκόσμια αγορά φωτοβολταϊκών συστημάτων

2.1.1 Η φωτοβολταϊκή ενέργεια σε διεθνές επίπεδο

Με την συνεχόμενη αύξηση του πληθυσμού και την τεχνολογική ανάπτυξη τα ποσά ενέργειας που απαιτούνται, ώστε να δημιουργηθεί ένα καλύτερο περιβάλλον διαβίωσης, αυξάνονται συνεχώς. Ωστόσο, η καύση των παραδοσιακών ορυκτών καυσίμων μπορεί να προκαλέσει μια σειρά από περιβαλλοντικά προβλήματα όπως την κλιματική αλλαγή, την υπερθέρμανση του πλανήτη, τη ρύπανση του αέρα, την όξινη βροχή κ.α.. Τα τελευταία χρόνια, έχει παρατηρηθεί σε διεθνές επίπεδο μια μεγάλη στροφή προς την αξιοποίηση των ΑΠΕ. Αυτό οφείλεται κυρίως στην προσπάθεια αντιμετώπισης των περιβαλλοντικών προβλημάτων αλλά και στην αύξησης της τιμής των ορυκτών καυσίμων. Με την ανάπτυξη των ΑΠΕ συνεπάγονται σημαντικά οφέλη για το περιβάλλον με κυριότερη την μείωση των εκπομπών αερίου του θερμοκηπίου (διάγραμμα 2.1) όπως και άλλων επικίνδυνων ρύπων (NO_x, SO₂, CH₄ κ.λπ.).

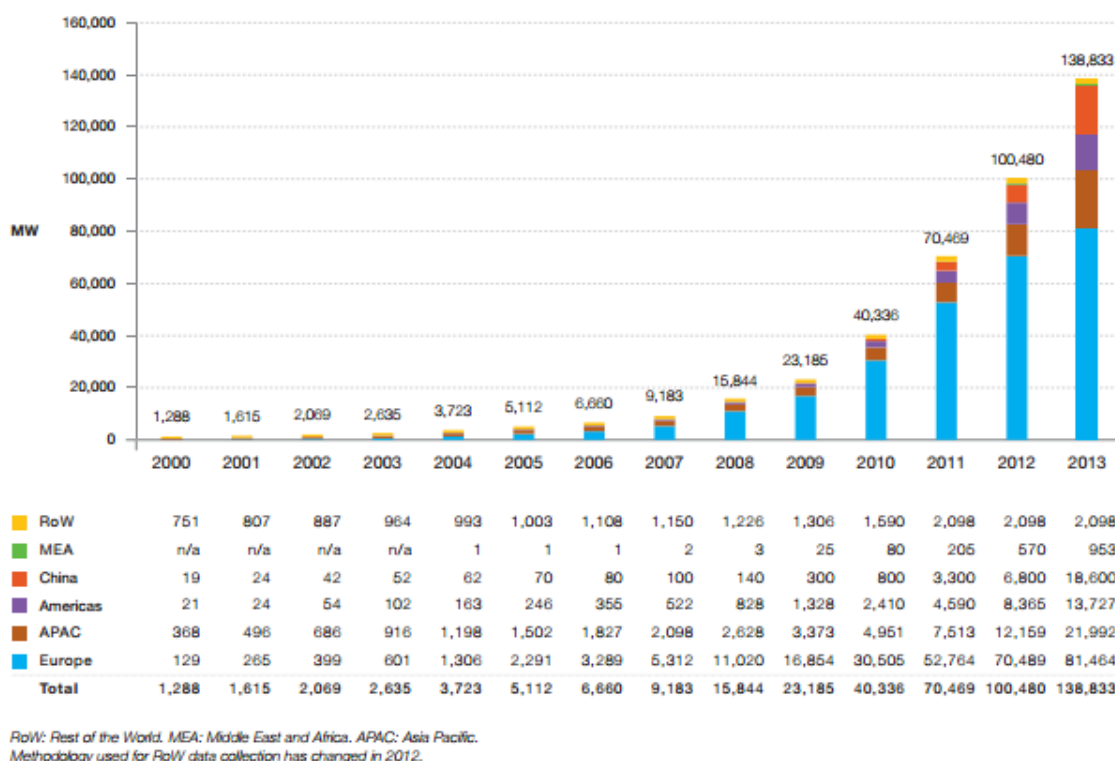


Διάγραμμα 2.1: Περιβαλλοντική αποτίμηση διάφορων ενεργειακών τεχνολογιών [Helarco, 2011]

Γενικά οι ΑΠΕ έχουν συνδεθεί με την οικολογική διαχείριση των φυσικών συστημάτων και οι τεχνολογίες αξιοποίησής τους θεωρούνται ήπιες.

Η φωτοβολταϊκή (ΦΒ) τεχνολογία έχει συγκεντρώσει το ενδιαφέρον αρκετών ερευνητικών προσπαθειών, έχοντας ως κύριο στόχο την αύξηση της ενεργειακής απόδοσης με ταυτόχρονη μείωση του οικονομικού και περιβαλλοντικού κόστους,

αποτέλεσμα που μπορεί να προκύψει από τον περιορισμό των χρησιμοποιούμενων πρώτων υλών. Κατά την τελευταία δεκαετία, η αγορά των ΦΒ έχει αυξηθεί αρκετά, παρόλο που οι οικονομικές συνθήκες δεν ευνοούν. Σύμφωνα με πρόσφατα στοιχεία από την EPIA, η παγκόσμια εγκατεστημένη ισχύς από 1.288 MWp το έτος 2010 αυξήθηκε σε 138.833 MWp στο τέλος του 2013 (διάγραμμα 2.2). Από αυτά περίπου τα 81,5 GWp αφορούν εγκατεστημένη ισχύ στην Ευρώπη, τα 18,6 GWp στην Κίνα και τα 13,7 GWp στην Αμερική. Τέλος, η μεγαλύτερη αύξηση παρατηρείται το 2013 κυρίως στην Κίνα και λιγότερο σε Ευρώπη και Αμερική. [EPIA, 2014].



Διάγραμμα 2.2: Διαχρονική εξέλιξη της συνολικής εγκατεστημένης φωτοβολταϊκής ισχύος κατά την περίοδο 2000-2013 [EPIA, 2014]

2.1.2 Η φωτοβολταϊκή τεχνολογία στην Ελλάδα

Σύμφωνα με τα τελευταία στοιχεία, η συνολική εγκατεστημένη ισχύς ΦΒ συστημάτων στην Ελλάδα έως και το 2014 ανέρχεται στα 2.595,75 MWp (διάγραμμα 2.3). Το 2014 εγκαταστάθηκαν ελάχιστα συστήματα (16,95 MWp) και αυτό οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στην οικονομική κρίση που επικρατεί στη χώρα μας (πίνακας 2.1). Συνοπτικά, τα ΦΒ κάλυψαν το 7% των αναγκών της χώρας σε ηλεκτρική ενέργεια, περισσότερο από κάθε άλλη τεχνολογία ΑΠΕ (διάγραμμα 2.4).[Helarco, 2015]

Πίνακας 2.1: Εγκατεστημένη φωτοβολταϊκή ισχύ στην Ελλάδα. [Helarco,2015]

Διασυνδεδεμένα συστήματα	MWp
Νέα εγκατεστημένη ισχύς διασυνδεδεμένων φωτοβολταϊκών το 2014 *	16,95
Συνολική εγκατεστημένη ισχύς φωτοβολταϊκών ως και το 2014	2.595,75



Διάγραμμα 2.3: Η εξέλιξη της ελληνικής αγοράς φωτοβολταϊκών συστημάτων [Helarco,2015]



Διάγραμμα 2.4: Η συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ στην Ελλάδα [Helarco,2015]

2.2 Φωτοβολταϊκή τεχνολογία

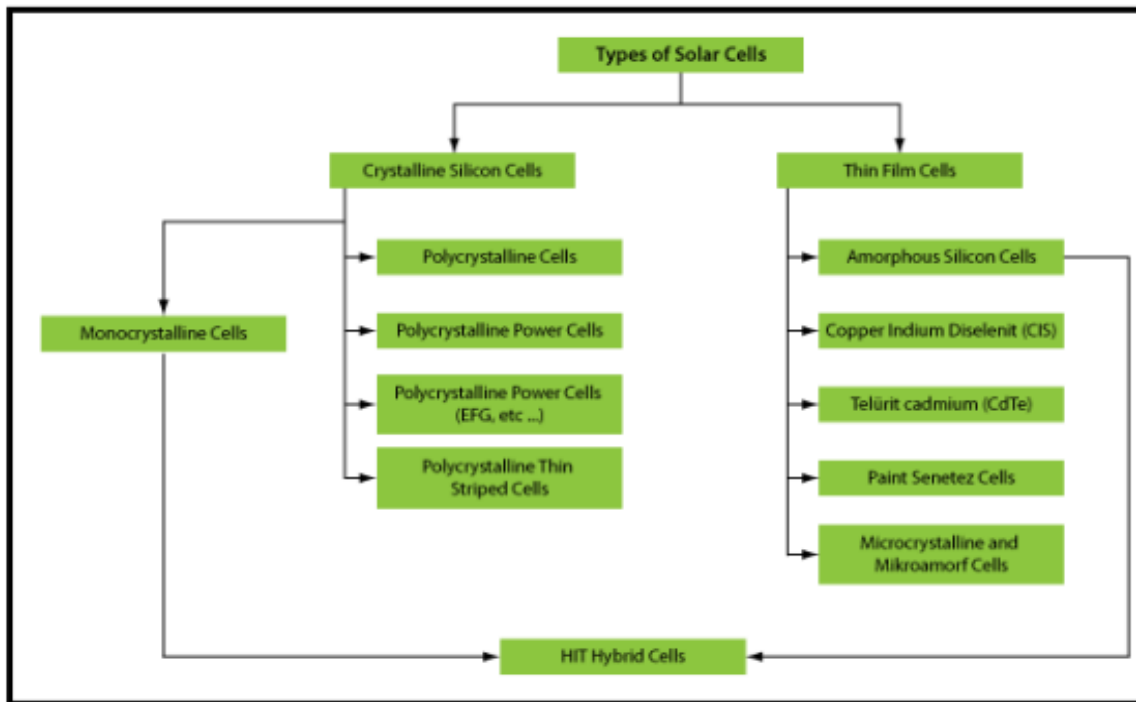
Η μεγάλη ανάπτυξη της ΦΒ τεχνολογίας οφείλεται σε ιδιαίτερα χαρακτηριστικά, που τη διακρίνουν από τις άλλες ΑΠΕ και είναι τα παρακάτω:

- 1) Δεν παράγουν αέρια του θερμοκηπίου κατά τη λειτουργία τους και είναι απολύτως αθόρυβα, κάτι που κάνει την εγκατάσταση να είναι επιθυμητή και σε αστική περιοχή. Επίσης, ένα μεγάλο πλεονέκτημα των ΦΒ συστημάτων είναι η δυνατότητά τους να τοποθετούνται είτε σε οροφές κτηρίων, είτε να ενσωματώνονται με αυτά.
- 2) Μπορούν να λειτουργήσουν ως αυτόνομα συστήματα, αλλά και ως συνδεδεμένα στο δίκτυο.
- 3) Μπορούν να δώσουν ποικιλία ισχύος από λίγα Wp έως δεκάδες MWp
- 4) Τέλος, μπορούν να συνδυαστούν με άλλες μορφές ενέργειας (κυρίως ΑΠΕ) και να λειτουργήσουν ως υβριδικά συστήματα. [Τσούτσος, 2013]

2.2.1 Είδη φωτοβολταϊκών στοιχείων

Το υλικό που χρησιμοποιείται ευρύτατα στη βιομηχανία παραγωγής ΦΒ στοιχείων είναι το πυρίτιο (Si), το οποίο θεωρείται ένα από τα πιο διαδεδομένα στοιχεία στη φύση. Άλλα υλικά που χρησιμοποιούνται για την δημιουργία ΦΒ στοιχείων είναι ο δισηληνοϊνδιούχος χαλκός (CIS), το τελουριούχο κάδμιο (CdTe) κ.α.. Τα ΦΒ στοιχεία χωρίζονται σε δύο κύριες κατηγορίες:

- α) Τα ΦΒ κρυσταλλικού πυριτίου (c-Si) και
- β) Τα ΦΒ λεπτού υμένα (Thin film) (εικόνα 2.1). [Τσούτσος, 2013]

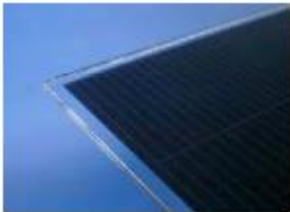




Εικόνα 2.1: Κατηγοριοποίηση των διαθέσιμων φωτοβολταϊκών στοιχείων [Σαββάκης, 2014]

Τα ΦΒ που κυριαρχούν στην αγορά την τρέχουσα χρονική περίοδο, είναι κατασκευασμένα από κρυσταλλικό πυρίτιο και αποτελούν το 86% της παγκόσμιας αγοράς. Ενώ, η τεχνολογία του λεπτού υμένα λαμβάνει μερίδιο της τάξεως του 10%. [Shazim Ali Memon, 2014].

Το πλεονέκτημα των ΦΒ κρυσταλλικού πυριτίου είναι η υψηλότερη απόδοση σε σχέση με τα λεπτού υμένα (εικόνα 2.2), ενώ το βασικότερο μειονέκτημά τους είναι οι αυξημένες απαιτήσεις πρώτων υλών κατά την φάση κατασκευής τους.

Μεγάλο μέρος τη επιστημονικής δραστηριότητας στα ΦΒ έχει εστιάσει στη τεχνολογία του λεπτού υμένα δεδομένου ότι οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή τους βρίσκονται σε αφθονία και είναι μη τοξικές για το περιβάλλον. Για την αξιολόγηση και την θεμελίωση μιας ολοκληρωμένης άποψης, έχει αναπτυχθεί μια τεχνική εκτίμησης της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης που προσδίδουν οι διάφορες ΦΒ τεχνολογίες, η οποία ονομάζεται Ανάλυση Κύκλου Ζωής (ΑΚΖ). [Jinqing Peng et al., 2013]

ΤΥΠΟΣ	'Λεπτού υμενίου' ή 'Thin Film'	Πολυκρυσταλλικά	Μονοκρυσταλλικά
Εμφάνιση			
Απόδοση ανά μονάδα επιφάνειας	a-Si: 4,5-6,5% μ-Si: 8-9% CIS-CIGS: 6-12% CdTe: 6-11%	11-16%	11-19%
Επιφάνεια ανά kWp	9-25 m ²	7-9 m ²	5,5-9 m ²

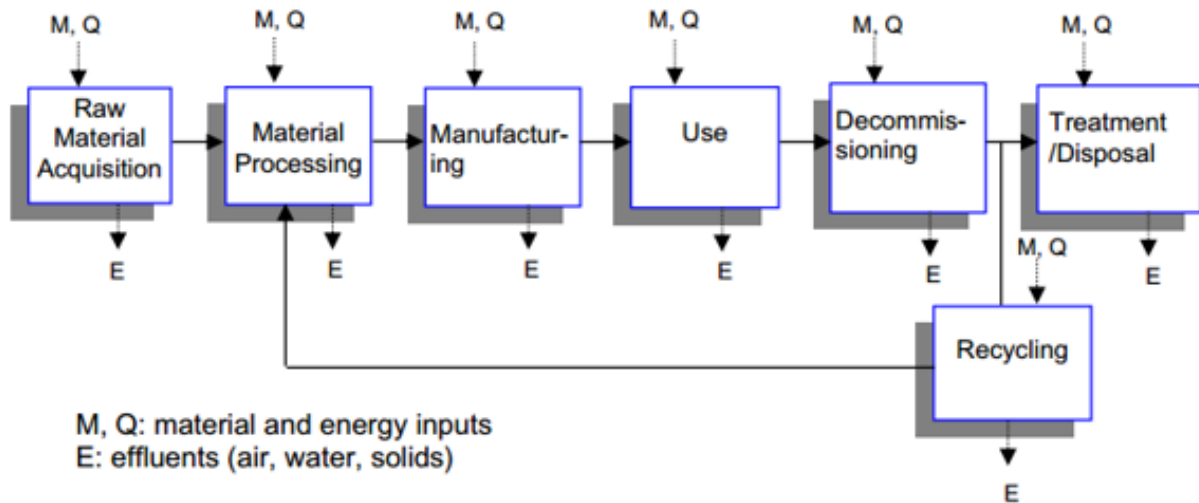
Εικόνα 2.2: Ενδεικτικές αποδόσεις των διαθέσιμων φωτοβολταϊκών στοιχείων [Helarco,2013]

2.2.2 Ανάλυση Κύκλου Ζωής (ΑΚΖ) Φωτοβολταϊκών Συστημάτων

Η υλοποίηση μιας Ανάλυσης Κύκλου Ζωής (ΑΚΖ) σε ένα ΦΒ σύστημα δίνει τη δυνατότητα αξιολόγησης της βιωσιμότητας του. Η ΑΚΖ αποτελεί ένα βασικό εργαλείο για τη διερεύνηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και της ενεργειακής απόσβεσης του συστήματος. Θεωρείται απαραίτητη η υλοποίηση της στα ΦΒ συστήματα, δεδομένου ότι υπάρχουν σημαντικές ροές υλικών και ενέργειας, με τις αντίστοιχες εκπομπές αέριων ρύπων που απελευθερώνονται στο περιβάλλον, στα διάφορα στάδια του κύκλου ζωής. [Fthenakis and Kim, 2011]

Τα βασικά στάδια του κύκλου ζωής ενός ΦΒ συστήματος περιλαμβάνουν (Εικόνα 2.3):

- 1) Την παραγωγή των πρώτων υλών
- 2) Την επεξεργασία και τον καθαρισμό τους
- 3) Την παραγωγή των μονάδων και των εξωτερικών συστημάτων
- 4) Την εγκατάσταση και χρήση των συστημάτων
- 5) Την αποξήλωση και διάθεση ή ανακύκλωση



Εικόνα 2.3: Βασικά στάδια κύκλου ζωής των φωτοβολταϊκών [Fthenakis and Kim, 2011]

Ιδιαίτερα σημαντικό ζήτημα της ΑΚΖ θεωρείται η συγκριτική αξιολόγηση με κατάλληλα στοιχεία-κριτήρια από σχετικές μελέτες έτσι ώστε να προκύψουν τα τελικά συμπεράσματα. Σύμφωνα με τον Fthenakis τα κρίσιμα κριτήρια κατά την ΑΚΖ ενός ΦΒ συστήματος είναι τα εξής:

- 1) Ενεργειακός χρόνος αποπληρωμής (Energy Pay-Back Time)
- 2) Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (GHG)
- 3) Τοξικά αέρια και εκπομπές σε βαρέα μέταλλα [Fthenakis, 2011]

Ο χρόνος ενεργειακής αποπληρωμής (EPBT) ορίζεται ως η απαιτούμενη χρονική περίοδος, ώστε ένα σύστημα αξιοποίησης ανανεώσιμων μορφών ενέργειας να παράγει την ίδια ποσότητα ενέργειας με αυτή που καταναλώθηκε κατά την κατασκευή, τη συναρμολόγηση, το σύστημα παροπλισμού και την ανακύκλωση.

Οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (GHG) κατά τα στάδια του κύκλου ζωής ενός ΦΒ συστήματος υπολογίζεται ως ισοδύναμα kg CO₂. Οι σημαντικότερες GHG είναι εκπομπές CO₂, CH₄, N₂O και οι χλωροφθοράνθρακες (CFCs).

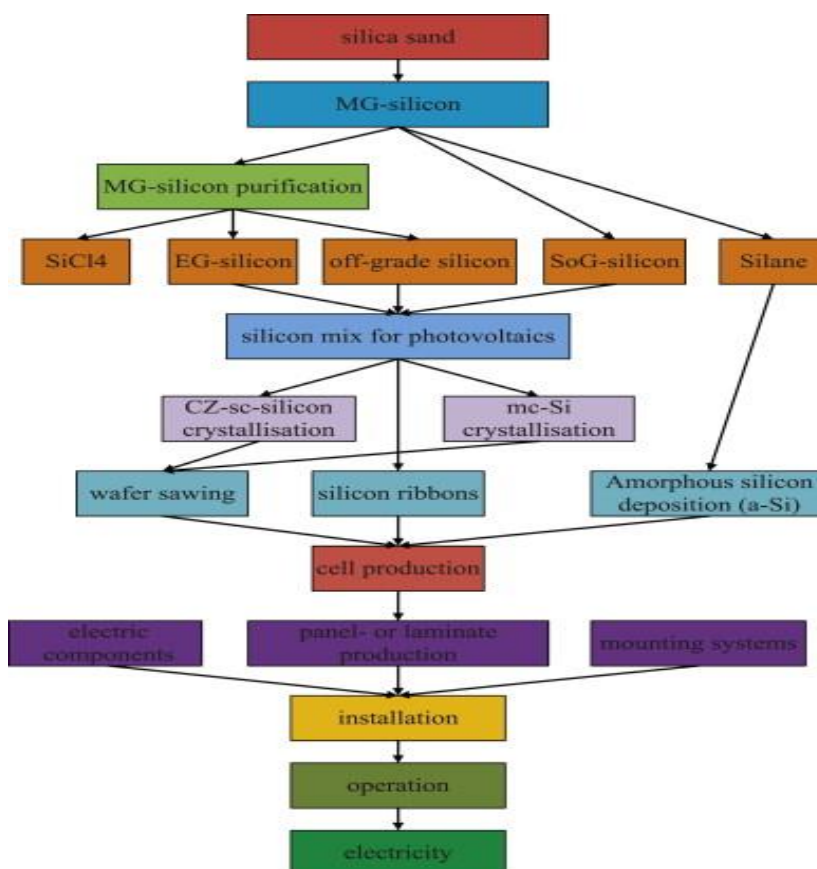
Τα τοξικά αέρια και τα βαρέα μέταλλα μπορούν να εκπέμπονται άμεσα από το υλικό επεξεργασίας και κατασκευής ΦΒ και έμμεσα από την παραγωγή της ενέργειας που χρησιμοποιείται για τα στάδια αυτά. [Fthenakis και Kim, 2011]

Στο πλαίσιο της διαδικασίας διερεύνησης του βασικού αντικειμένου της παρούσας διπλωματικής εργασίας, παρουσιάζεται ένας σημαντικός αριθμός συναφών μελετών που εμφανίζονται στη διεθνή βιβλιογραφία.

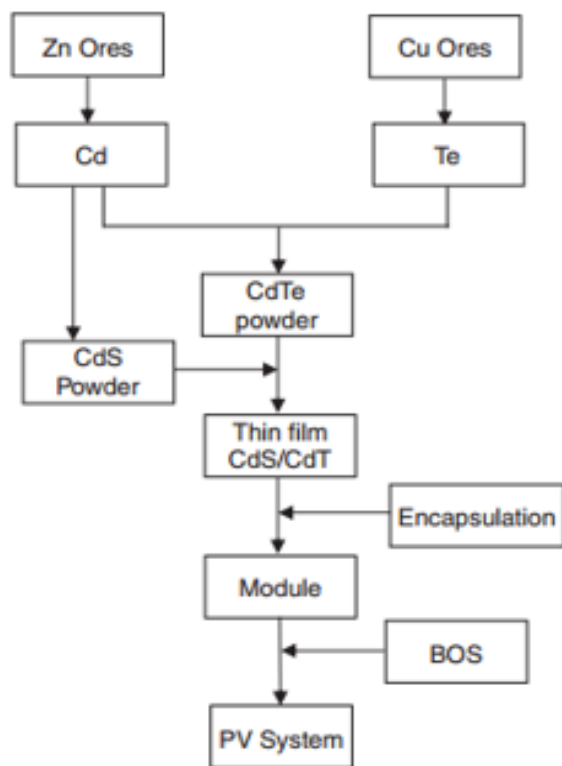
Οι Fthenakis και Kim το 2011 έκαναν μια εκτενή μελέτη γύρω από την ΑΚΖ των ΦΒ και περιέγραψαν λεπτομερώς τα στάδιά της. Το αρχικό στάδιο μιας ΑΚΖ ενός ΦΒ ξεκινάει με την εξόρυξη, τη συλλογή, και την παραγωγή των πρώτων υλών. Η κύρια πρώτη ύλη

για την παραγωγή ΦΒ πλαισίων πυριτίου είναι το διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2) που συλλέγεται από χαλαζιακά πετρώματα και άμμο πυριτίου (εικόνα 2.4), ενώ για τα ΦΒ CdTe η πρώτη ύλη συγκεντρώνεται από ορυκτά ψευδαργύρου και χαλκού (εικόνα 2.5). Στην εικόνα 2.6 εμφανίζεται αναλυτικά η σχηματική απεικόνιση των διεργασιών που πραγματοποιούνται για την παραγωγή ενός ΦΒ.

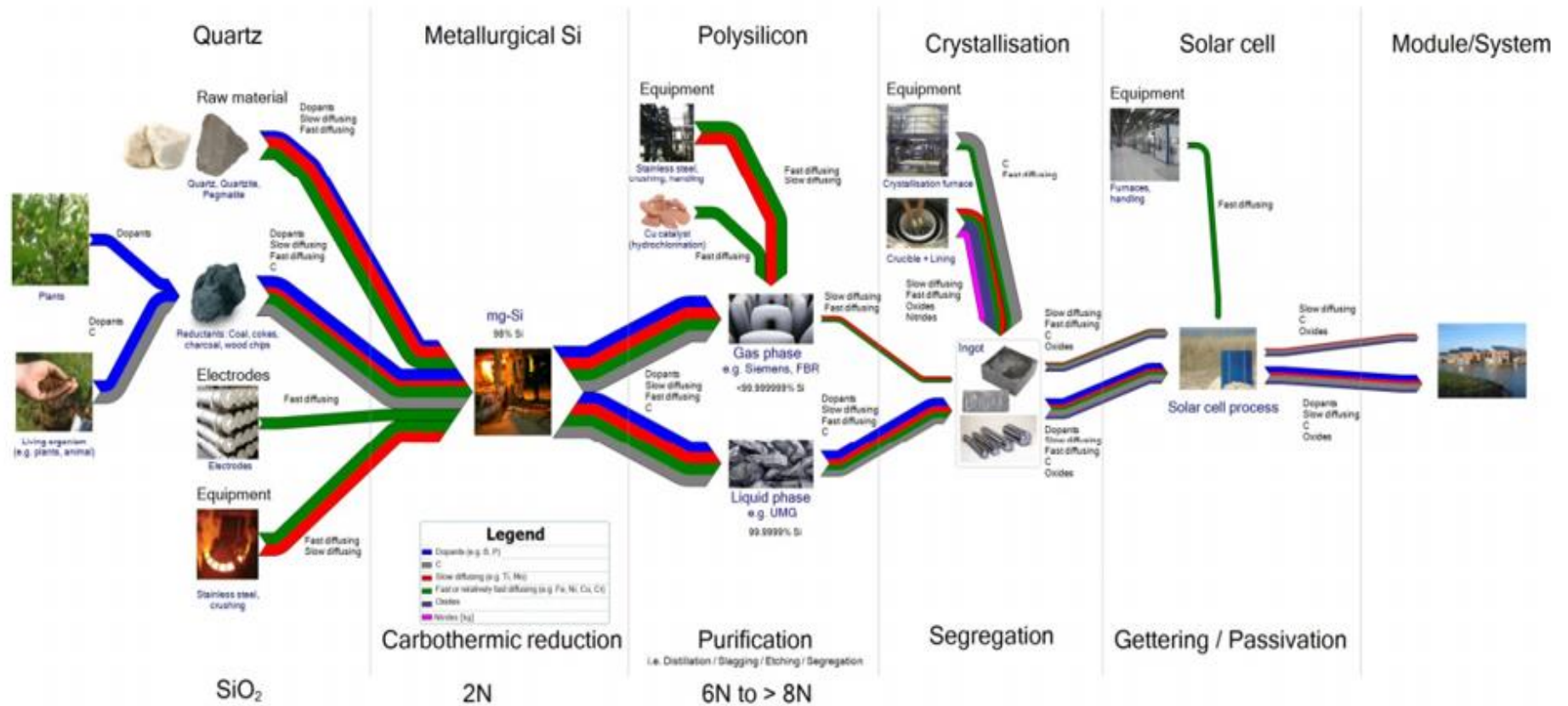
Στη συνέχεια, οι διαδικασίες περιλαμβάνουν τη δημιουργία πυριτίου μεταλλουργικής ποιότητας (MG-silicon), το οποίο χωρίς κάποια περαιτέρω διεργασία αποτελεί την κύρια πρώτη ύλη για την παραγωγή πλαισίων άμορφου πυριτίου. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα πλαίσια κρυσταλλικού πυριτίου χρειάζονται επιπλέον καθαρισμό, ώστε να προκύψει το ηλεκτρονικό πυρίτιο (EG-silicon). Η διαδικασία καθαρισμού του MG-silicon απαιτεί το μεγαλύτερο ποσό ενέργειας κατά τη διαδικασία παραγωγής των πλαισίων κρυσταλλικού πυριτίου, αντιπροσωπεύοντας το 45% της συνολικής ενέργειας παραγωγής. Δύο είναι οι βασικές μέθοδοι για τη παραγωγή του EG-silicon: α) η μέθοδος του αντιδραστήρα Siemens και β) ο αντιδραστήρας ρευστοποιημένης κλίνης. Η διαδικασία Siemens λαμβάνει χώρα σε πολύ υψηλή θερμοκρασία (1100-1200 °C) και το EG-silicon που παράγεται με αυτή τη διαδικασία είναι καθαρότερο από τη δεύτερη μέθοδο. [Fthenakis and Kim, 2011]



Εικόνα 2.4: Διαδικασίες παραγωγής φωτοβολταϊκών πυριτίου [Jinqing Peng et al.,2013]



Εικόνα 2.5: Διαδικασίες παραγωγής φωτοβολταϊκών CdTe [Fthenakis and Kim, 2011]



Εικόνα 2.6: Σχηματική απεικόνιση της πορείας των διεργασιών παραγωγής ΦΒ [ECN, 2010]

Μετά το πέρας όλων των παραπάνω διεργασιών που απαιτούνται για την παραγωγή ενός ΦΒ πλαισίου υπολογίζονται οι ενεργειακές εισροές καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής. Οι Fthenakis και Kim έκαναν μια εκτίμηση για τις εισροές ενέργειας και υλικών για την παραγωγή ενός ΦΒ πλαισίου 1m² διαφόρων τεχνολογιών (πίνακας 2.2). Οι εισροές διαχωρίζονται σε τρεις κατηγορίες:

- 1) Τα συστατικά κατασκευής ΦΒ πλαισίων
- 2) Τα αναλώσιμα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν και
- 3) Η ενέργεια που απαιτείται

Πίνακας 2.2: Εκτίμηση εισροών ενέργειας κι υλικών για παραγωγή 1m² φωτοβολταϊκού πλαισίου [Fthenakis and Kim, 2011]

Κατηγορία	Εισροές	Ταινία πυριτίου (Ribbon-Si)	Πολυκρυσταλλικού πυριτίου	Μονοκρυσταλλικού πυριτίου	CdTe
Συστατικά (kg)	Συστατικά υλικά ΦΒ στοιχείου	0,9	1,6	1,5	0,065
	Γυαλί	9,1	9,1	9,1	19,2
	Οξικό άλας αιθυλαινίου 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	-

Επίσης απαιτείται η επέκταση για την εκτίμηση του συστήματος σε σχέση με τις εισροές ενέργειας για την παραγωγή των συστημάτων εξισορρόπησης (Balance Of System- BOS). Τα συστήματα εξισορρόπησης αποτελούν τον βοηθητικό εξοπλισμό που χρησιμοποιείται για τη λειτουργία ενός ΦΒ συστήματος (π.χ. σύστημα στερέωσης ΦΒ, καλωδιώσεις, αντιστροφείς κ.λπ.). Ανάλογα με την εφαρμογή, τα συστήματα χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: Σε εδάφους και σε οροφής. Κάθε μια από τις επιμέρους κατηγορίες χρειάζονται και τον κατάλληλο βοηθητικό εξοπλισμό. Ο Fthenakis και ο Kim έκαναν μια εκτίμηση εισροών για σύστημα οροφής με δύο παραλλαγές: σύστημα οροφής (On – roof) και για ενσωματωμένο στην οροφή του κτιρίου (In – roof) (πίνακας 2.3). [Fthenakis and Kim, 2011]

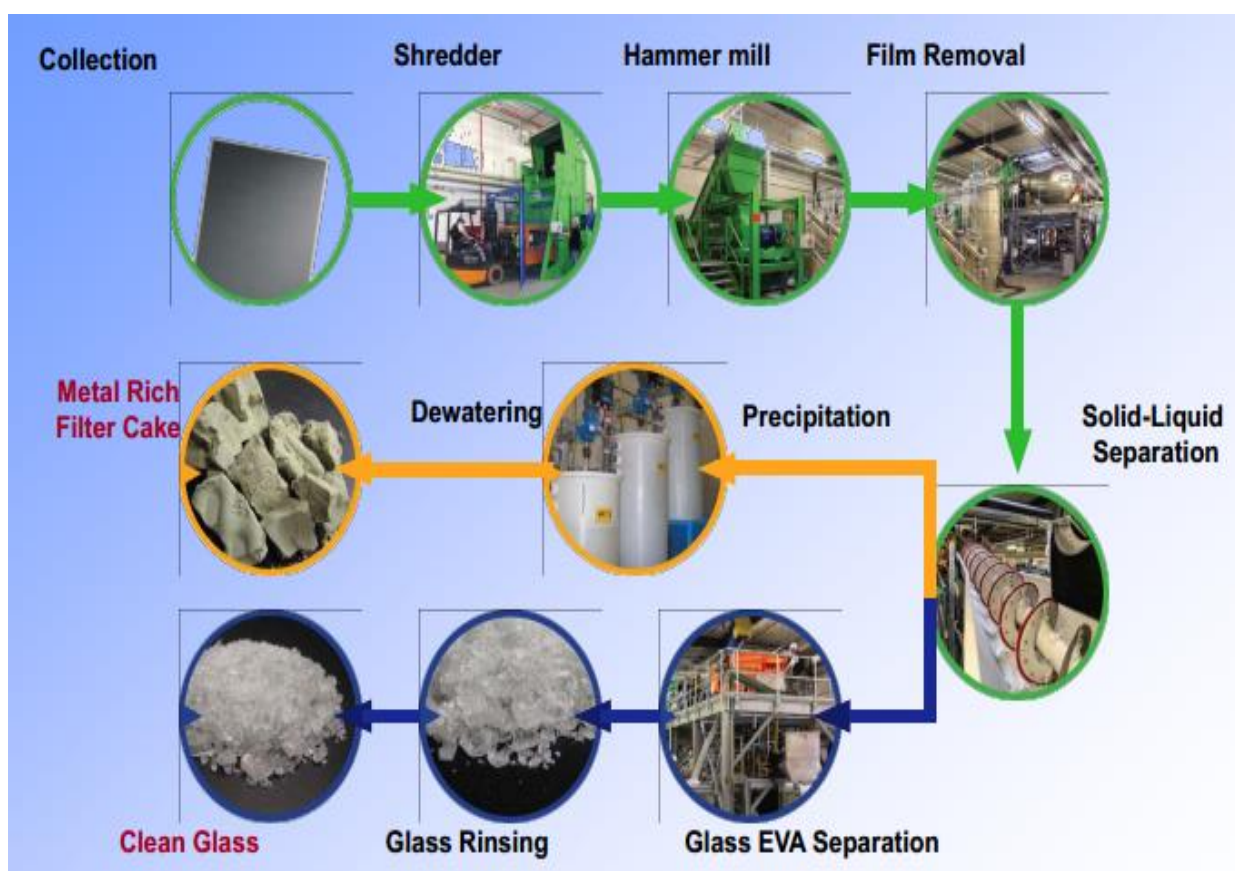
Πίνακας 2.3: Εκτίμηση εισροών από ανάλυση κύκλου ζωής σε φωτοβολταϊκά συστήματα οροφής (On – roof) και σε ενσωματωμένα στην οροφή του κτιρίου (In – roof) [Fthenakis and Kim, 2011]

	Σύστημα οροφής (On-roof)		Σύστημα ενσωματωμένο στην οροφή (In-roof)	
	Phonix, Tectosun	Schletter, Eco5+ Eco G	Schletter, Plandach 5	Schweizer, Solrif
(α) Σύστημα στερέωσης (kg/m ²)				
Χάλυβας χαμηλού κράματος	0	0	0	0
Ανοξείδωτος χάλυβας	0,49	0,72	0,28	0,08
Αλουμίνιο (Al)	0,54	0,97	1,21	1,71
Σκυρόδεμα	0	0	0	0
Πλαίσια	3,04	0	3,04	0
		Heukable, Solaflex 101,4mm ² , DC		Heukable, NYM-J, 6mm ² , AC
(β) Καλωδίωση (g/m ²)				
Χαλκός		83,0		19,9
Θερμοπλαστικό ελαστομερές (TPE)		64,0		0,0
PVC		0,0		16,9
		Philips PSI 500 (500 W)		
(γ) Αντιστροφέας (inverter) (g)				Mastervolt SunMaster 2.500 (2.500W)
Χάλυβας		78		9.800
Αλουμίνιο (Al)		682		1.400
Χαλκός		2		
Πολυανθρακικά		68		
Θερμοπλαστικά ABS		148		
Λοιπά πλαστικά		5,4		
Πλακέτες τυπωμένου κυκλώματος		100		1.800 ¹
Συνδετήρας (connector)		50		
Μετασχηματιστές (wire-wound)		310		5.000
Πηνία		74		
Δίοδοι τρανζίστορ		10		
Πυκνωτές (φιλμ)		72		
Πυκνωτές (ηλεκτρολυτικοί)		54		
Λοιπά ηλεκτρικά εξαρτήματα		20		

¹ Μαζί με τα ηλεκτρικά εξαρτήματα

Το επόμενο βήμα είναι η εγκατάσταση και η λειτουργία του συστήματος. Στο κομμάτι της εγκατάστασης συνυπολογίζεται και η ενέργεια που χρειάζεται ώστε το πλαίσιο να φτάσει στο σημείο της εγκατάστασης. Κατά τη λειτουργία του συστήματος είναι ελάχιστα τα ποσά ενέργειας που απαιτούνται για τη συντήρησή του, τα οποία πολλές φορές θεωρούνται αμελητέα.

Μετά το πέρας των 30 ετών, που είναι ο μέσος όρος ζωής ενός ΦΒ πλαισίου, το τελικό στάδιο είναι η αποσύνθεση ή ανακύκλωση των πλαισίων. Στην εικόνα 2.7 φαίνεται σχηματικά η πορεία που ακολουθεί ένα πλαίσιο μέχρις ότου ανακτηθεί η μέγιστη πρώτη ύλη, που είναι σε θέση να επαναχρησιμοποιηθεί. [Fthenakis and Kim, 2011]



Εικόνα 2.7: Σχηματική απεικόνιση ανακύκλωσης φωτοβολταϊκών [Fthenakis, 2011]

Επιπροσθέτως, το 2010 πραγματοποιήθηκε μια ΑΚΖ σε συνεργασία των Πανεπιστημίων του Manchester και του Imperial College Λονδίνου για τα μελλοντικά ΦΒ συστήματα. Ο στόχος της έρευνας των δύο Πανεπιστημίων ήταν η ανάπτυξη υβριδικών ΦΒ για χρήση σε μικρά συστήματα, τα οποία θα ήταν πιο προσιτά σε όλο τον κόσμο. Η λειτουργική μονάδα που ορίστηκε ήταν το 1 cm² του υβριδικού πλαισίου που μελετήθηκε.

Οι εισροές που απαιτούνται για την παραγωγή 1 cm² πλαισίου είναι βασισμένες σε δεδομένα από το λογισμικό Ecoinvent (έκδοση 2.01) και παρουσιάζονται αναλυτικά στον παρακάτω πίνακα. (πίνακας 2.4). [Azzopardi and Mutale, 2010]

Πίνακας 2.4: Κύριες ροές εισόδου για παραγωγή 1cm² υβριδικού πλαισίου [Azzopardi and Mutale, 2010]

	Τύπος ανάμειξης	Τύπος παραλλαγής
Γυαλί	0,07737 g/cm ²	0,07737 g/cm ²
ITO	1,15E-04 g/cm ²	1,15E-04 g/cm ²
PEDOT:PSS	4,32E-04 g/cm ²	
Πολυμερές	1,11E-04 g/cm ²	1,11E-04 g/cm ²
QD	1,11E-04 g/cm ²	6,71E-04 g/cm ²
Διαλυτικά	8,85E-05 g/cm ²	8,85E-05 g/cm ²
Ανόργανα νανοσωματίδια		4,54E-04 g/cm ²
Al	5,10E-06 g/cm ²	
Χρυσός		3,65E-05 g/cm ²
PVDC	0,0133 g/cm ²	0,0133 g/cm ²
PET	0,0133 g/cm ²	0,0133 g/cm ²
Ηλεκτρική ενέργεια	0,01 kWh/cm ²	0,01 kWh/cm ²

Αφού ολοκληρωθεί το παραπάνω στάδιο, η αξιολόγηση του κύκλου ζωής πραγματοποιείται μέσω διαφόρων δεικτών, που επιλέγει κάθε φορά ο εκάστοτε μελετητής. Τα συγκρίσιμα κριτήρια για τη βιωσιμότητα των παραπάνω συστημάτων είναι ο δείκτης καθαρής ενέργειας (Net Energy Ratio- NER), ο δείκτης ενεργειακής αποπληρωμής (EPBT) και οι εκπομπές CO₂ ανά μονάδα που παράγεται κατά τη διάρκεια ζωής (πίνακας 2.5).

Πίνακας 2.5: Τελικά αποτελέσματα της έρευνας των Azzopardi και Mutale [Azzopardi and Mutale, 2010]

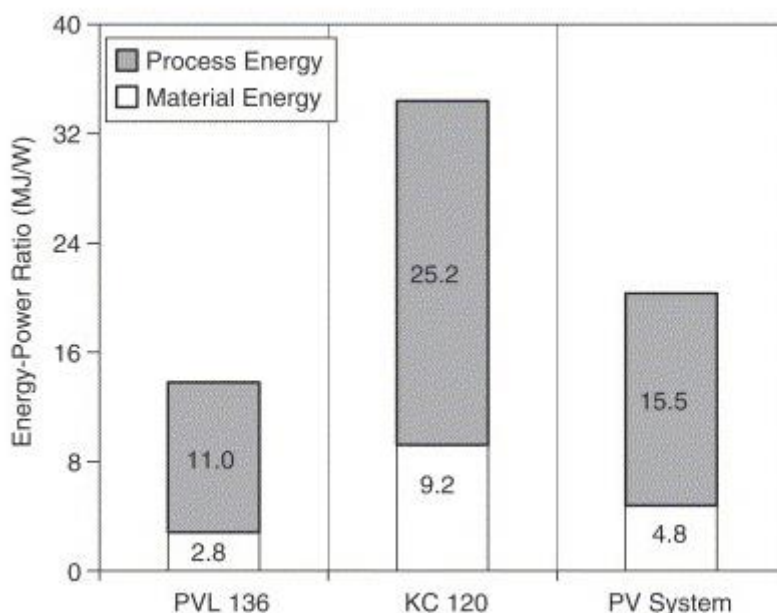
	Υβριδικό ΦΒ	
	Τύπος ανάμειξης	Τύπος παραλλαγής
Παραδοχές και όρια		
Ηλιακή ακτινοβολία (H)	1.700 kWh/m ²	1.700 kWh/m ²
PR	0,75	0,75
Απόδοση	10 %	10 %
Επιφάνεια	100 cm ² /Wp	100 cm ² /Wp
Χρόνος ζωής	25 years	25 years
Υπολογισμοί		
Ετήσια παραγωγή	1,28 kWh/Wp	1,28 kWh/Wp
Παραγόμενη ενέργεια	31,88 kWh/Wp	31,88 kWh/Wp
Ετήσια παραγωγή ενέργειας	14,79 MJ/Wp	14,79 MJ/Wp
Παραγόμενη ενέργεια	369,75 MJ/Wp	369,75 MJ/Wp
Επιπτώσεις		
Χρήση μη ανανεώσιμης ενέργειας για το πλαίσιο	12,64 MJ/Wp	12,64 MJ/Wp
Χρήση μη ανανεώσιμης ενέργειας για τα εξωτερικά εξαρτήματα	17,7594 MJ/Wp	22,19 MJ/Wp
Κλιματική αλλαγή	35,34 g CO ₂ -eq/Wp	92,03 g CO ₂ -eq/Wp
Εκτίμηση		
Κλιματική Αλλαγή	2,89 g CO ₂ -eq/Wp	2,89 g CO ₂ -eq/Wp
EPBT	1,51 years	1,51 years
NER	20,82	16,66

Τα αποτελέσματα της παραπάνω έρευνας καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι τα υβριδικά συστήματα είναι αρκετά ευνοϊκά σε σχέση με τις υπάρχουσες ΦΒ τεχνολογίες, λόγω των πολύ χαμηλών εκπομπών CO₂ που εκλύονται κατά τον κύκλο ζωής. [Azzopardi and Mutale, 2010]

Οι Sergio Pacca et al. το 2007 σε μια εγκατάσταση 33 kWp στη στέγη του Πανεπιστημίου του Michigan πραγματοποίησαν μια σύγκριση ΦΒ πολυκρυσταλλικού πυριτίου (KC120) με απόδοση 13% και άμορφου πυριτίου (PVL136) με απόδοση 6,3%.

Στο διάγραμμα 2.5 παρουσιάζονται σχηματικά οι εισροές ενέργειας και των δύο τεχνολογιών.

Για την αξιολόγηση του συστήματος υπολογίστηκε ο δείκτης καθαρής ενέργειας (NER), ο χρόνος ενεργειακής αποπληρωμής (EPBT) και οι εκπομπές CO₂ (πίνακας 2.6).



Διάγραμμα 2.5: Παρουσίαση εισροών ενέργειας στη φάση παραγωγής για τις δύο τεχνολογίες [Sergio Pacca et al., 2007]

Πίνακας 2.6: Αποτελέσματα του Sergio Pacca για την αξιολόγηση της ανάλυσης κύκλου ζωής [Sergio Pacca et al., 2007]

	Πολυκρυσταλλικό (mc-Si) KC120	Άμορφο (a-Si) PLV136
Απόδοση (%)	13	6,3
Δείκτης καθαρής ενέργειας(NER)	2,7	5,14
Χρόνος ενεργειακής αποπληρωμής (EPBT)	7,4	3,15
Εκπομπές gCO ₂ -eq/kWh	72,4	34,3

Μια πρόβλεψη από τους Sergio Pacca et al. για τους μελλοντικούς χρόνους ενεργειακής αποπληρωμής των δύο ΦΒ, a-Si και mc-Si, είναι τα 1,6 και τα 5,7 έτη αντίστοιχα. Τέλος, η σημείωση τους για τη βελτίωση των περιβαλλοντικών αποδόσεων των ΦΒ, ήταν πως απαιτείται η μείωση της κατανάλωσης της ενέργειας κατά τη φάση της παραγωγής τους, χωρίς ωστόσο να επηρεάζεται η απόδοση του ΦΒ συστήματος. [Sergio Pacca et al., 2007]

Σε αντίστοιχη έρευνα που έχει υλοποιηθεί από τους Noah Kittner et al. το 2013, η οποία είχε σαν κύριο στόχο τη σύγκριση του κύκλου ζωής των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, της ενσωματωμένης ενέργειας και της οικονομικής επένδυσης πλαισίων c-Si και a-Si. Τα δύο πλαίσια c-Si και a-Si που μελετήθηκαν ήταν περίπου 60 kWp, απόδοσης 15% και 7% αντίστοιχα, ενώ είχαν μια εκτίμηση ζωής 30 χρόνων. Για τα c-Si πλαίσια χρειάστηκαν περίπου 400 m², ενώ για τα a-Si απαιτούνταν 857 m² για την παραγωγή ίδιας ηλεκτρικής ενέργειας. Η ενέργεια που χρειάστηκε για την παραγωγή των παραπάνω ΦΒ παρουσιάζεται στους πίνακες 2.7 και 2.8. Η πρώτη παρατήρηση αφορά την παραγωγή ίδιου ποσού ηλεκτρικής ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα, τα ΦΒ a-Si χρειάζονται σχεδόν τη διπλάσια επιφάνεια από αυτά του c-Si. Κατά δεύτερον, οι εκπομπές CO₂ των ΦΒ a-Si είχαν καλύτερες επιδόσεις, με τις τιμές να κυμαίνονται από 0,005-0,035 kg CO₂-eq/kWh. Αναφορικά με την περίοδο απόσβεσης για τα ΦΒ a-Si κυμαίνεται από 2 έως 3,5 έτη.

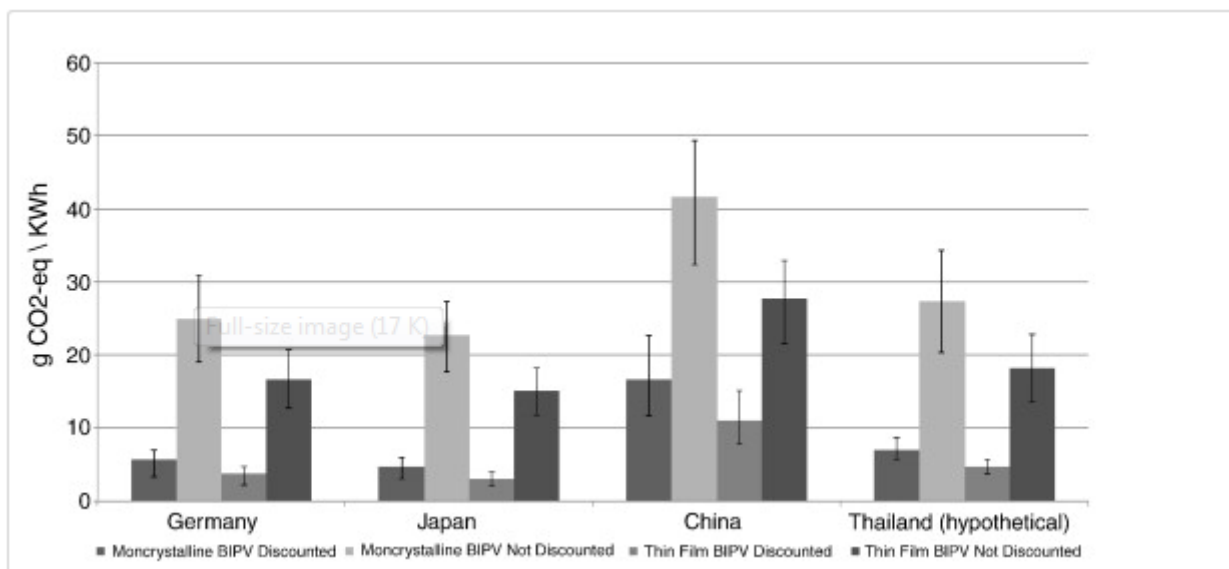
Πίνακας 2.7: Ενέργεια που απαιτείται για παραγωγή φωτοβολταϊκού τύπου c-Si [Noah Kittner et al., 2013]

	Μονάδα	Τιμή
Στάδιο παραγωγής	kWh/kg	85,6
Παραγωγή πλακιδίων	kWh/wafer	0,3
Χρήση ηλεκτρονικού πυριτίου	g/wafer	11,2
Παραγωγή κελιών	kWh/cell	0,2
Πλαίσιο/ φύλλο πυριτίου	kWh/kWp	0,064
Κελί ανά πλαίσιο	cells/panel	112,5
Κελί ανά kWp	cells/kWp	608

Πίνακας 2.8: Ενέργεια που απαιτείται για παραγωγή φωτοβολταϊκού τύπου a-Si [Noah Kittner et al., 2013]

	MJ/m²
Υλικό κελιού	11
Γυαλί	276
Επεξεργασία	332
Κύριος εξοπλισμός	140
Ενέργεια βοηθητικών ενεργειών	88
Σύνολο	847

Μια σημαντική παρατήρηση που εξάγεται μέσω της έρευνας των Noah Kittner et al., αφορά τις εκπομπές CO₂ που δημιουργεί ένα ΦΒ κατά την παραγωγή του. Αυτό που παρατηρήθηκε είναι η διάφορα στις εκπομπές CO₂ ανάλογα με τη χώρα κατασκευής των ΦΒ. Η Κίνα είναι η χώρα με τις μεγαλύτερες εκπομπές CO₂ στην παραγωγή ΦΒ. Αυτό οφείλεται στη χρήση μεγάλου μέρους ηλεκτρικής ενέργειας με καύση άνθρακα κατά την παραγωγή αυτών, κάτι που είναι αρκετά επιβαρυντικό για το περιβάλλον (Διάγραμμα 2.6). [Noah Kittner et al., 2013]



Διάγραμμα 2.6: Εκπομπές CO₂ κατά την παραγωγή φωτοβολταϊκών σε διάφορες χώρες [Noah Kittner et al., 2013]

Συνεχίζοντας με την ανασκόπηση στη διεθνή βιβλιογραφία, σε πρόσφατη ανακεφαλαίωση από τους Jinqing Peng et al. παρατίθενται υπάρχουσες μελέτες πάνω στην ΑΚΖ για αρκετές φωτοβολταϊκές τεχνολογίες. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι οι καλύτερες περιβαλλοντικές επιδόσεις από την άποψη του χρόνου της ενεργειακής αποπληρωμής και των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου της έχει το σύστημα CdTe. Αυτό συμβαίνει λόγω των χαμηλών ενεργειακών απαιτήσεων που υπάρχουν σε όλο τον κύκλο ζωής, δίνοντάς στο σύστημα CdTe σχετικά υψηλή απόδοση. Αντιθέτως, το σύστημα με τις χειρότερες επιδόσεις είναι το mono-Si.

Ο χρόνος ενεργειακής αποπληρωμής για τα ΦΒ λεπτών υμενίων είναι εντός του εύρους των 0,75 έως 3,5 ετών, ενώ το εύρος για τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου είναι από 10,5 έως 50 g CO₂-eq/KWh. Για τα ΦΒ τύπου mono-Si οι τιμές κυμαίνονται από 1,7 έως 2,7 έτη και από 29 έως 45 g CO₂-eq/KWh αντίστοιχα.

Γενικά, τα αποτελέσματα της ΑΚΖ δείχνουν ότι στο σύνολό τους οι τεχνολογίες ΦΒ συστημάτων είναι βιώσιμες και φιλικές προς το περιβάλλον. Επιπλέον, αναμένεται βελτίωση ως προς τις εκπομπές αερίων, με τελικό στόχο την περαιτέρω μείωση αυτών στο μέλλον.

Στους παρακάτω πίνακες φαίνεται η συνολική ενέργεια που απαιτήθηκε για την παραγωγή πλαισίων διαφόρων τεχνικών και μέσα από αυτούς γίνεται κατανοητό το χάσμα που υπάρχει στην καταναλισκόμενη ενέργεια. (πίνακας 2.9 - 2.11).

Πίνακας 2.9: Κατανομή της απαιτούμενης ενέργειας για παραγωγή ΦΒ μονάδας mono-Si [Jinqing Peng et al., 2013]

Συγγραφέας/χρόνος	Μεταλλουργικό πυρίτιο (MJ _p /m ²)	Πρώτες ύλες Si (MJ _p /m ²)	Στάδιο παραγωγής mono-Si (MJ _p /m ²)	Πλακίδιο (MJ _p /m ²)	Παραγωγή κελιού (MJ _p /m ²)	Συναρμολόγηση πλαισίου (MJ _p /m ²)	Πλαίσιο (MJ _p /m ²)	Σύνολο (MJ _p /m ²)
Kato and Murata	298	797	9.808		261	509	N/A	11.673
Alsema and Frank	500	1.900	2.400	250	600	350	Frameless	6.000
Alsema	450	1.800	2.300	250	550	350	Frameless	5.700
Knapp and Jester	3.950		4.100				N/A	8.060
Alsema and Wild-Scholten	1.759		2.391		473	394	Frame	5.253
Jungbluth and Stucki	141	888	1.208	562	595	466	Frame	3.860
Wild-Scholten	728		1.266		389	477	Frameless	2.860
Laleman	2.397		432			684		3.513

Πίνακας 2.10: Κατανομή της απαιτούμενης ενέργειας για παραγωγή ΦΒ μονάδας mc-Si [Jinqing Peng et al., 2013]

Συγγραφέας/χρόνος	Παραγωγή πρώτων υλών (MJ _p /m ²)	Διαδικασίες πλακιδίων (MJ _p /m ²)	Παραγωγή κελιού (MJ _p /m ²)	Συναρμολόγηση (MJ _p /m ²)	Πλαίσιο (MJ _p /m ²)	Άλλα (MJ _p /m ²)	Σύνολο (MJ _p /m ²)
Kato and Murata	1.562	717	353	709	N/A	39	3.380
Alsema and Frank	2.250	1.000	600	350	Frameless	N/A	4.200
Alsema	2.200	1.000	300	200	Frame	500	4.600
Knapp and Jester	3.904	535	115	556	N/A	40	5.150
	1.759	1.078	473	276	Frame	118	3.940
Alsema and Wild-Scholten	1.075		3.247		N/A	N/A	4.322
Jungbluth and Stucki	1.400	550	400	500	Frame	N/A	3.120
Wild-Scholten	1.030	968	544	523	Frame	N/A	3.065
Laleman	1.110	744	378	467	Frameless	N/A	2.699

Πίνακας 2.11: Κατανομή της απαιτούμενης ενέργειας για παραγωγή ΦΒ μονάδας a-Si [Jinqing Peng et al., 2013]

Συγγραφέας	Κελί	Υλικά κελιού (MJ _p /m ²)	Παραγωγή κελιών (MJ _p /m ²)	Ενέργειες διαδικασι ών	Βασικός εξοπλι- σμός (MJ _p /m ²)	Συναρμο- λόγηση (MJ _p /m ²)	Πλαίσιο (MJ _p /m ²)	BOS (MJ _p /m ²)	Σύνολο (MJ _p /m ²)
Kato and Murata	a-Si	1.078	797	449			Frame	N/A	1.587
Alsema and Frank	a-Si	400	1.900	400			Frameles s	400	1.200
Alsema	a-Si	40	300-400	500-840	100-200	N/A	Frameles s	N/A	940-1.480
Alsema	CdTe	40	300-400	350-650	100-200	N/A	Frameles s	N/A	790-1.270
Alsema and Nieuwlaar	a-Si	50	350	400	N/A	N/A	Frame	400	1.600
Knapp and Jester	CIS	1.380		1770		N/A	Frameles s	N/A	3.150
Kato and Hibino	Cds/Cd Te	N/A		637	N/A	310	Frame	128	1.514
Pacca and Sivaraman	a-Si	172	690				N/A	N/A	862
Wild-Scholten	a-Si	50	350	400	189		Frameles s	N/A	989
Wild-Scholten	CdTe	40	244	400	127		Frameles s	N/A	811
Wild-Scholten	CIS	50	389	1245			Frameles s	N/A	1.684

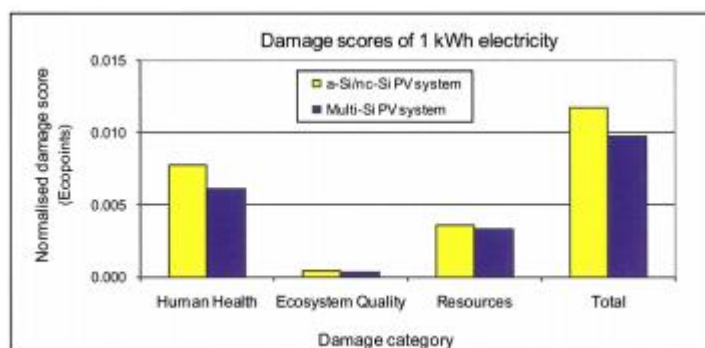
Το αποτέλεσμα που προκύπτει είναι η διαφορά της συνολικής ενέργειας παραγωγής που απαιτείται από ένα ΦΒ πλαίσιο ανάλογα την τεχνολογία του. Εύκολα διακρίνεται ότι τα ΦΒ λεπτού υμένα χρειάζονται πολύ λιγότερη ενέργεια από αυτά c-Si. [Jinqing Peng et al., 2013]

Τέλος, μια εκτίμηση για τον περιβαλλοντικό κύκλο ζωής ενός ΦΒ συστήματος πραγματοποιήθηκε από τους Mohr et al. το 2012 για ένα σύστημα ενσωματωμένο σε στέγη. Η μονάδα αποτελούνταν από πλαίσια με άμορφο και νανοκρυσταλλικό πυρίτιο (a-Si/nc-Si). Η απόδοση αυτού του συστήματος θεωρούνταν περίπου στο 10% και η ανερχόμενη διάρκεια ζωής του στα 20 έτη. Το σύστημα συγκρίθηκε με ένα πανομοιότυπο c-Si, όπου αυτό είχε απόδοση 14,4% και διάρκεια ζωής 30 έτη.

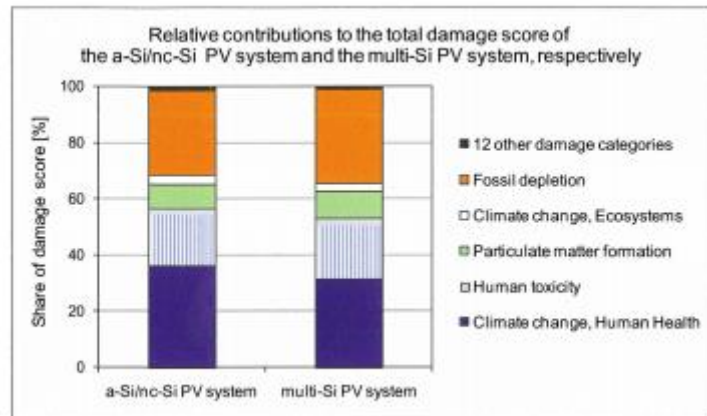
Όσον αφορά την επιφάνεια, το πλαίσιο a-Si/nc-Si για την παραγωγή 1 kWh χρειάζεται 6,5 cm² ενώ το κρυσταλλικό 3 cm².

Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων έγινε μέσα από το λογισμικό SimaPro με την εμφάνιση διαγραμμάτων με τα οποία αξιολογείται ο περιβαλλοντικός κύκλος του συστήματος.

Στο διάγραμμα 2.7 παρατίθενται οι συνολικές βλάβες που προκαλούνται από τα δύο συστήματα στην ανθρώπινη υγεία, στα οικοσυστήματα και στην εξάντληση των πόρων. Επίσης, στο διάγραμμα 2.8 υπάρχουν τα αρνητικά αποτελέσματα που παρατηρούνται στην ανθρώπινη υγεία από την κλιματική αλλαγή, την τοξικότητα, το σχηματισμό σωματιδίων, την εξάντληση των ορυκτών πόρων, τις ζημιές στα οικοσυστήματα λόγω της κλιματικής αλλαγής κ.α.. [N.J. Mohr et al., 2013]



Διάγραμμα 2.7: Αποτελέσματα από βλάβες στην ανθρώπινη υγεία. [N.J. Mohr et al., 2013]



Διάγραμμα 2.8: Αποτελέσματα από βλάβες που προκαλούνται από την παραγωγή φωτοβολταϊκών. [N.J. Mohr et al., 2013]

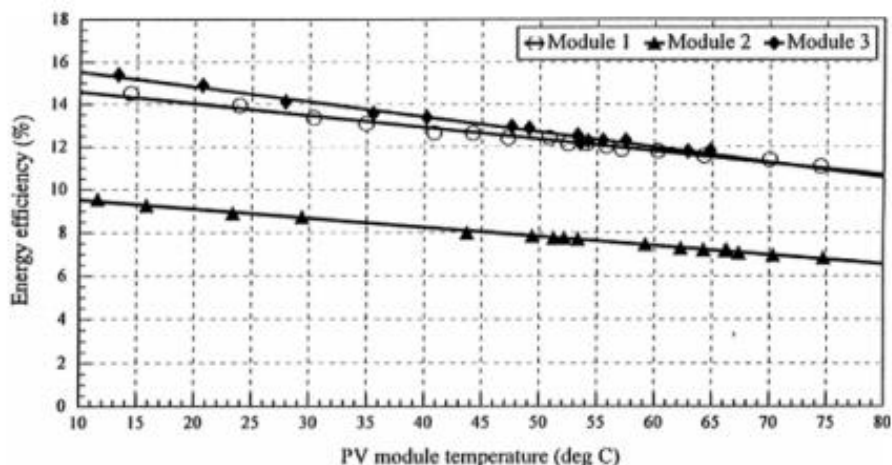
2.3 Παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση των Φωτοβολταϊκών

Γενικά, η απόδοση των ΦΒ πλαισίων εξαρτάται από τους παρακάτω παράγοντες:

- 1) Την πυκνότητα ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας
- 2) Τα υλικά παραγωγής του πλαισίου
- 3) Τη θερμοκρασία λειτουργίας του ΦΒ στοιχείου
- 4) Άλλοι παράγοντες όπως:
 - Η ανάκλαση του φωτός που συμβαίνει στην επιφάνεια του ΦΒ στοιχείου με αποτέλεσμα μέρος φωτονίων να μην εισέρχεται στην κυψέλη
 - Η απορρόφηση φωτονίων που δεν συνεισφέρουν στη δημιουργία ΦΒ φαινομένου
 - Η απώλεια ενέργειας κατά τη μεταφορά της από το ΦΒ
 - Κατασκευαστικές αστοχίες [Τσούτσος, 2013]

Από τα παραπάνω, για να επιτευχθεί μια αύξηση στην απόδοση των ΦΒ στοιχείων, οι μελετητές σε παγκόσμιο επίπεδο έχουν εστιάσει στη διερεύνηση νέων υλικών για την παραγωγή πλαισίων και κυρίως στους τρόπους διατήρησης χαμηλών θερμοκρασιών στην επιφάνεια του πλαισίου.

Στο διάγραμμα 2.9 φαίνεται η επίδραση της θερμοκρασίας λειτουργίας στην απόδοση του πλαισίου. Η απορροφούμενη θερμότητα αυξάνει την θερμοκρασία της μονάδας, η οποία επηρεάζει την απόδοση αλλά επίσης προκαλεί και μακροπρόθεσμες βλάβες στα πλαίσια.



Διάγραμμα 2.9: Επίδραση θερμοκρασίας στην απόδοση των φωτοβολταϊκών [Tao Ma et al., 2015]

2.3.1 Τεχνικές ψύξης Φωτοβολταϊκών Συστημάτων

Τα τελευταία χρόνια η επιστημονική κοινότητα έχει αφοσιωθεί στην αναζήτηση κατάλληλων τεχνικών προκειμένου να ελέγχεται η θερμοκρασία που αναπτύσσεται στη επιφάνεια του ΦΒ. Επί του παρόντος, μόνο το 15-20% της ηλιακής ενέργειας που προσπίπτει σε ένα πλαίσιο μπορεί να μετατραπεί σε ηλεκτρική ενέργεια και το υπόλοιπο μετατρέπεται σε θερμότητα. Αυτή η θερμότητα απορροφάται από το πλαίσιο, προκαλώντας μεγάλη αύξηση θερμοκρασίας στην επιφάνειά του με αποτέλεσμα αυτή να φτάνει έως και τους 80 °C. Για κάθε αύξηση 1 °C από τη θερμοκρασία λειτουργίας του (25 °C), μειώνεται η απόδοση του πλαισίου κατά 0,4 - 0,65%. [Tao Ma et al., 2015]

Έτσι μεγάλο μέρος της έρευνας έχει επικεντρωθεί στην απομάκρυνση της θερμότητας από την επιφάνεια του ΦΒ με διάφορες τεχνικές, οι οποίες χωρίζονται σε παθητικές και ενεργητικές.

❖ Παθητική ψύξη

Η παθητική μέθοδος ψύξης εξαρτάται από τρεις βασικούς μηχανισμούς μεταφοράς θερμότητας:

- Τη μεταφορά
- Την αγωγιμότητα και
- Την ακτινοβολία

Ενδεικτικά κάποιες τεχνικές που χρησιμοποιούνται είναι:

- α) Φυσική κυκλοφορία αέρα
- β) Σωλήνες θερμότητας

Η φυσική κυκλοφορία αέρα επιτυγχάνεται με ένα κανάλι πίσω από το πλαίσιο, που εξάγει τη θερμότητα με φυσική ροή. Για την τεχνική αυτή τα αποτελέσματα από τους Yun et al. έδειξαν ότι η θερμοκρασία λειτουργίας έφτασε στο υψηλότερο σημείο της στους 55,5 °C σε αντίθεση με τους 76,7 °C, που θα έφτανε χωρίς αερισμό, δηλαδή έχουμε μια βελτίωση 15% στην απόδοση. Η άλλη παθητική μέθοδος ψύξης είναι με σωλήνες θερμότητας, η οποία μέσω της κυκλοφορίας ρευστού, εξάγει θερμότητα. Τέτοια υβριδικά συστήματα καταφέρνουν μια βελτίωση της απόδοσης 10% και μια θερμική απόδοση περίπου 58%. [Tao Ma et al., 2015]

❖ Ενεργητική ψύξη

Η ενεργητική ψύξη έχει μελετηθεί ευρέως διότι με αυτή τη μέθοδο ενισχύουμε τα ποσοστά απαγωγής της θερμότητας. Κατ' επέκταση, έχουμε υψηλότερα ποσοστά απόδοσης των ΦΒ συστημάτων απ' ό,τι με την παθητική ψύξη. Βέβαια, η κατανάλωση ενέργειας και το κόστος συντήρησης του συστήματος είναι σαφώς μεγαλύτερο.

Ενδεικτικά κάποιες τεχνικές που χρησιμοποιούνται είναι:

- α) Η χρήση ανεμιστήρων για διατήρηση της ροής του αέρα στο πίσω μέρος του πλαισίου.
- β) Η τοποθέτηση νερού στο επάνω μέρος του πλαισίου. Η τεχνική αυτή μας έχει δώσει ενθαρρυντικά αποτελέσματα, παρέχοντας διπλάσιο ποσό ηλεκτρικής ενέργειας από ένα συμβατικό πλαίσιο, καθώς μπορεί να αποθηκεύσει αρκετή ποσότητα θερμικής ενέργειας στο νερό. [Tao Ma et al., 2015]

2.3.2 Υλικά Αλλαγής Φάσης

Μια εναλλακτική προσέγγιση για την παθητική ψύξη των ΦΒ συστημάτων αποτελεί η αξιοποίηση Υλικών Αλλαγής Φάσης (ΥΑΦ). Τα ΥΑΦ ή PCMs (Phase Change Materials), όπως είναι διεθνώς γνωστά, είναι τα υλικά που προσφέρονται για αξιοποίηση της λανθάνουσας θερμότητας, την οποία αποθηκεύουν ή αποδίδουν κατά την αλλαγή φάσης τους. Με την έννοια αλλαγή φάσης εννοούμε τη μεταβολή από στερεό σε υγρό ή από υγρό σε αέριο και αντίστροφα. Το πιο γνωστό υλικό που φημίζεται για τις αλλαγές φάσης είναι το νερό, καθώς μετατρέπεται από στερεό σε υγρό αλλά και από υγρό σε αέριο.

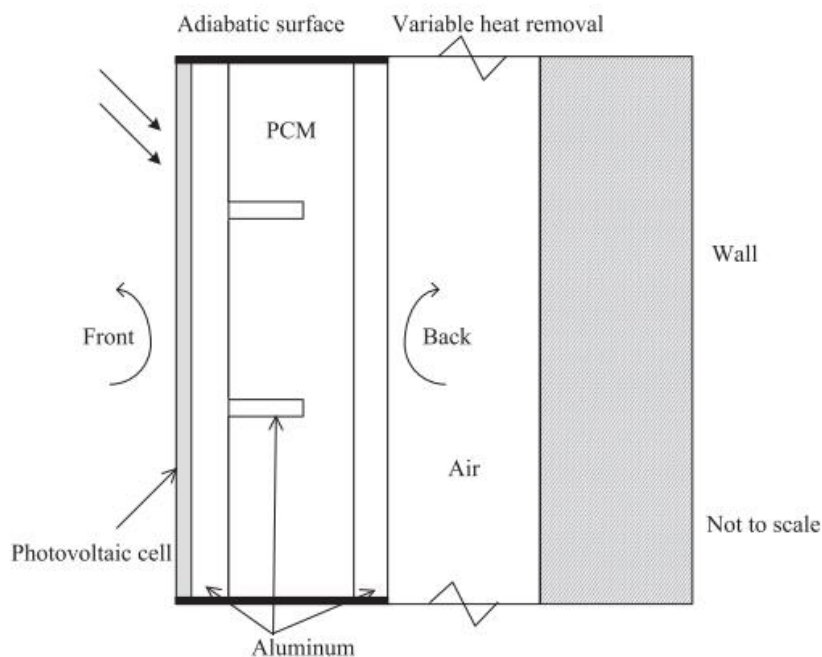
Οι διαθέσιμες τεχνολογίες αξιοποίησης του φαινομένου της αλλαγής φάσης των υλικών περιορίζονται στην αλλαγή από στερεό σε υγρό γιατί η μεταβολή υγρού σε αέριο συναντά δυσκολίες και δεν βρίσκει πρακτικές εφαρμογές.

Η τεχνολογία των ΥΑΦ ακολουθεί δύο βασικές κατευθύνσεις:

- Η πρώτη στοχεύει στον έλεγχο της θερμοκρασίας
- Η δεύτερη στην αποθήκευση θερμότητας [Econ, 2015]

2.3.3 Υλικά Αλλαγής Φάσης σε Φωτοβολταϊκά Συστήματα

Σε πρόσφατες μελέτες, οι ερευνητές έδωσαν ιδιαίτερη έμφαση στην ενσωμάτωση ΥΑΦ. Η πρώτη μελέτη σχετικά με την ενσωμάτωση των κατάλληλων ΥΑΦ μέσα σε ΦΒ πλαίσια, για εξισορρόπηση της θερμοκρασίας λειτουργίας του πλαισίου, έγινε το 2000 από τους Huang et al.. Το σύστημα αυτό ονομάστηκε PV-PCM (ΦΒ-ΥΑΦ) και είναι μια υβριδική τεχνολογία που ενσωματώνει πλαίσιο και ΥΑΦ σε μια ενιαία μορφή για την επίτευξη υψηλότερης απόδοσης (εικόνα 2.8). Ωστόσο, το σύστημα ΦΒ-ΥΑΦ είναι ακόμα σε πολύ αρχικό στάδιο και υπάρχουν διάφορα θέματα που χρειάζονται περαιτέρω ανάλυση και έρευνα. Εκτός από το ΦΒ-ΥΑΦ υπάρχει ακόμα ένα σύστημα που καλείται PV-ST-PCM. Αυτό το σύστημα έχει σκοπό να μειώσει τη θερμοκρασία λειτουργίας του πλαισίου αλλά με βασική διαφορά να χρησιμοποιήσει αυτή την αποθηκευμένη ενέργεια για θέρμανση χώρων, αερισμό και ζεστό νερό. Είναι μια τεχνολογία που βρίσκεται στην αρχή της και έπεται σίγουρα επιπλέον ανάλυση και βελτίωση. [Tao Ma et al., 2015]

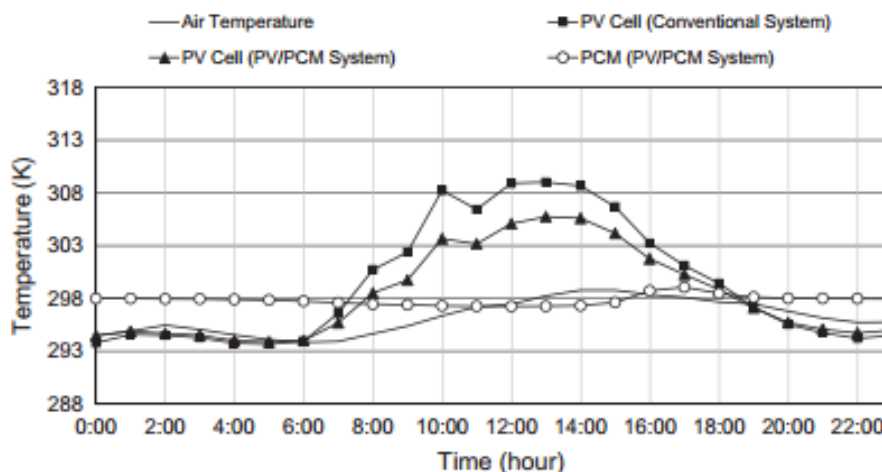


Εικόνα 2.8: Τυπικό σύστημα ΦΒ-ΥΑΦ [Tao Ma et al., 2015]

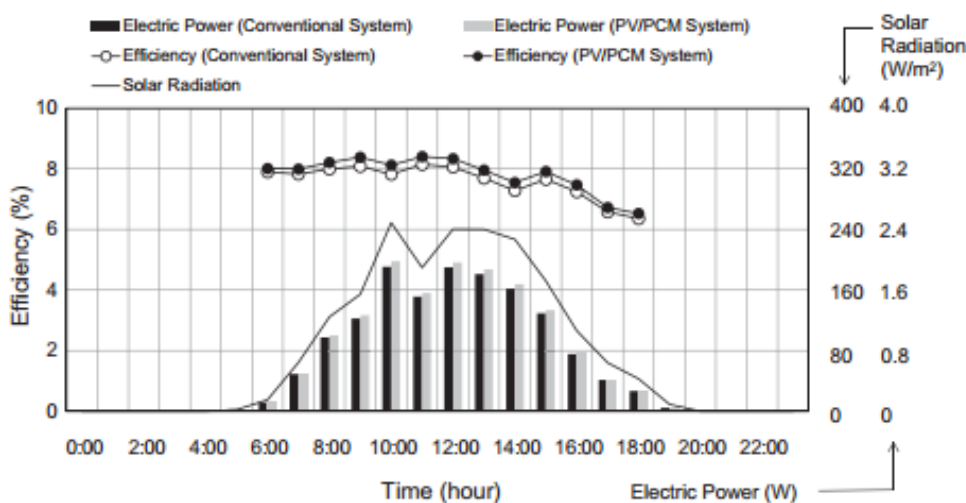
Στη συνέχεια, παρατίθενται μια σειρά από μελέτες που πραγματοποιήθηκαν με βάση την ενσωμάτωση των ΥΑΦ σε ΦΒ συστήματα (ΦΒ-ΥΑΦ).

Μια σημαντική μελέτη πάνω στα ΦΒ-ΥΑΦ συστήματα πραγματοποιήθηκε από τους Jungwoo Park et al. το 2014 στη Νότια Κορέα. Τα αποτελέσματα ήταν αρκετά

ενθαρρυντικά αφού η θερμοκρασία του ΦΒ-ΥΑΦ ήταν κατά 5 °C χαμηλότερη από την απλή μονάδα (διάγραμμα 2.10) και η ενεργειακή του απόδοση αυξήθηκε περίπου κατά 3,1% (διάγραμμα 2.11). Η ηλεκτρική ενέργεια από την μονάδα ΦΒ-ΥΑΦ αυξήθηκε κατά 1,5%. [Jungwoo Park et al, 2014]



Διάγραμμα 2.10: Η εξέλιξη της θερμοκρασίας στα συστήματα κατά τη διάρκεια μιας μέρας [Jungwoo Park et al., 2014]

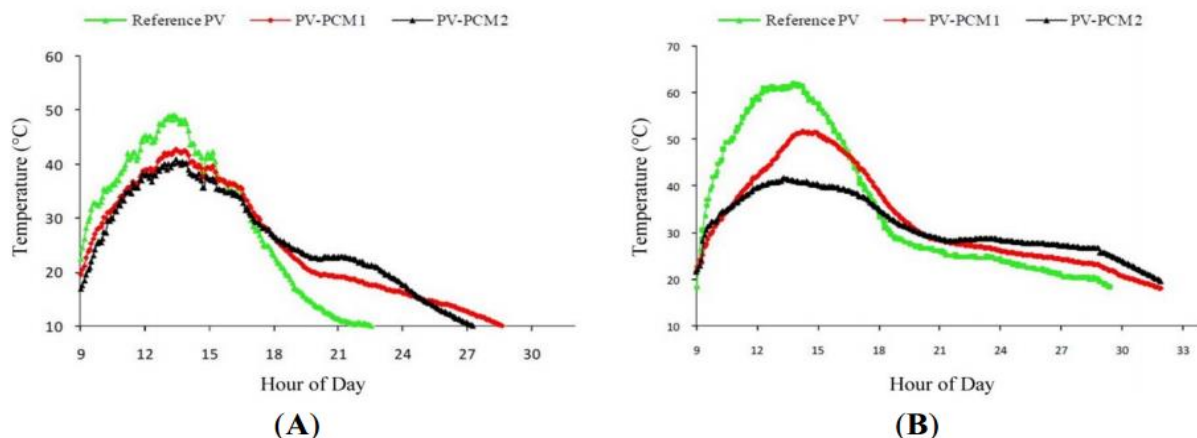


Διάγραμμα 2.11: Σύγκριση της απόδοσης και ηλεκτρικής ενέργειας των δύο συστημάτων [Jungwoo Park et al., 2014]

Σε έρευνα που πραγματοποιήθηκε από τους Huang et al. σε σύστημα ΦΒ-ΥΑΦ με υλικό αλλαγής φάσης το RT25, παρατηρήθηκε ότι το σύστημα διατηρεί θερμοκρασία κάτω από τους 36,4 °C για 80 λεπτά σε συνεχόμενη έκθεση στα 1.000 W/m², ενώ χωρίς το PCM ο χρόνος θα ήταν περίπου στα 5 λεπτά. [Ziye Ling et al., 2014]

Σε μια μεγάλης κλίμακας έρευνα που έγινε από τους Ahmad Hasan et al., χρησιμοποιήθηκαν τρία πλαίσια mc-Si των 65 Wp, τα οποία τοποθετήθηκαν σε δύο περιοχές διαφορετικού κλίματος. Το πρώτο σύστημα βρισκόταν στην Ιρλανδία και

συγκεκριμένα στο Δουβλίνο και το άλλο στο Πακιστάν στη πόλη Vehari. Το κάθε σύστημα αποτελούνταν από δύο ΦΒ-ΥΑΦ με διαφορετικό ΥΑΦ για τις δύο περιπτώσεις και το τρίτο ήταν ένα απλό πλαίσιο. Η διαφορά θερμοκρασίας που παρατηρήθηκε κατά τη διάρκεια μια μέρας φαίνεται στην εικόνα 2.9. [Ahmad Hasan et al., 2014]



Εικόνα 2.9: Οι επιφανειακές θερμοκρασίες των φωτοβολταϊκών α) Δουβλίνο και β) Vehari [Ahmad Hasan et al., 2014]

Η συνολική αύξηση της ενέργειας στο Δουβλίνο βρέθηκε να είναι 10,7 Wp για το ΦΒ-ΥΑΦ_A και 15,8 Wp για το ΦΒ-ΥΑΦ_B, ενώ στο Πακιστάν ήταν 22 Wp και 33,7 Wp αντίστοιχα. Το οικονομικό όφελος που λαμβάνεται, για το έτος 2013 από το σύστημα στην Ιρλανδία είναι 51,5 € για το ΦΒ-ΥΑΦ_A και 76 € για το ΦΒ-ΥΑΦ_B, ενώ το αντίστοιχο κόστος για μαζική παραγωγή τέτοιων συστημάτων είναι 92 € και 98 €. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι τα συστήματα αυτά δεν είναι συμφέροντα από οικονομικής πλευράς για την Ιρλανδία. Αντιθέτως, στο Πακιστάν το οικονομικό όφελος που λαμβάνεται είναι 105,8 € και 162 € για τα δύο συστήματα ΦΒ-ΥΑΦ ενώ το κόστος παραγωγής είναι 56 € και 62 € αντίστοιχα. Το όφελος στην περιοχή του Πακιστάν είναι δύο φορές υψηλότερο, στοιχείο το οποίο δείχνει ότι τα συστήματα αυτά είναι οικονομικώς αποδοτικά σε αυτές τις κλιματικές συνθήκες (πίνακας 2.12). [Ahmad Hasan et al., 2014]

Πίνακας 2.12: Σύνοψη της κατασκευής και του κόστους των υλικών παραγωγής για τα ΦΒ-ΥΑΦ στην Ιρλανδία και στο Πακιστάν. [Ahmad Hasan et al., 2014]

Χώρα		Ενιαία παραγωγή συστήματος ΦΒ-ΥΑΦ [κόστος (€)]		Μαζική παραγωγή συστήματος ΦΒ-ΥΑΦ [κόστος (€)]	
		ΦΒ-ΥΑΦ _A	ΦΒ-ΥΑΦ _B	ΦΒ-ΥΑΦ _A	ΦΒ-ΥΑΦ _B
Ιρλανδία	ΥΑΦ	360	418	30	36
	Αλουμίνιο	74	74	32	32
	Βιομηχανοποίηση	300	300	30	30
	Καθαρό κόστος	734	792	92	98
Πακιστάν	ΥΑΦ	360	418	30	36
	Αλουμίνιο	49	49	22	22
	Βιομηχανοποίηση	4	4	4	4
	Καθαρό κόστος	413	471	56	62

Τέλος, το βασικότερο συμπέρασμα που εξήχθη από αυτήν την έρευνα για τη βιωσιμότητα του συστήματος ΦΒ-ΥΑΦ είναι η σημαντική εξάρτηση της από τη γεωγραφική θέση της εγκατάστασης. Καθώς ως κατάλληλες περιοχές για φωτοβολταϊκές εφαρμογές θεωρούνται οι περιοχές με υψηλό ηλιακό δυναμικό οι οποίες εμφανίζουν συνήθως ιδιαίτερα υψηλές θερμοκρασίες, για να επιτευχθεί αυξημένη παραγωγή ενέργειας απαιτείται θερμοκρασιακή ρύθμιση. Λαμβάνοντας υπόψη την παραπάνω διαπίστωση, περιοχές όπως η Αφρική και η Αυστραλία φαίνονται να είναι εκείνες που επηρεάζονται περισσότερο από την αύξηση της θερμοκρασίας των ΦΒ και θα ωφεληθούν ιδιαίτερα από την τεχνική κάτι που κάνει την τεχνική πιο βιώσιμη οικονομικά. [M.C. Browne et al., 2015]

Κεφάλαιο 3 : ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

3.1 Περιγραφή του εξεταζόμενου συστήματος

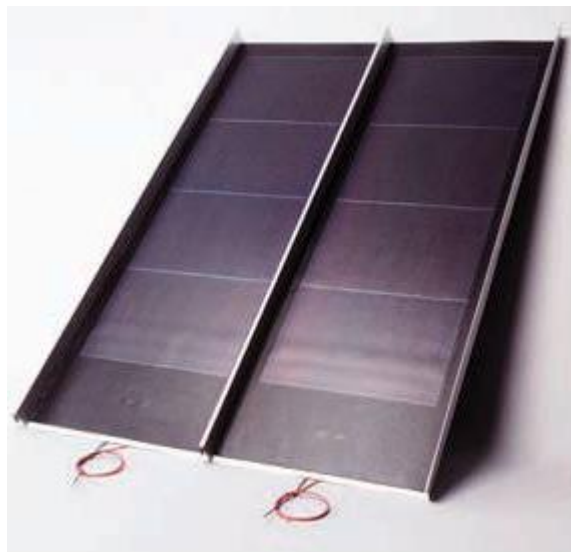
3.1.1 Εισαγωγικά στοιχεία

Τα συστήματα που μελετώνται στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας είναι τα εξής και στη συνέχεια γίνεται εκτενής περιγραφή αυτών:

- 1) Το ΦΒ πλαίσιο της United Solar (ASR-128)
- 2) Το ΦΒ πλαίσιο της Sharp (NA135L5)
- 3) Το σύστημα ΦΒ-ΥΑΦ

3.1.2 Φωτοβολταϊκό πλαίσιο United Solar

Το πρώτο εκ των δύο πλαισίων που εξετάσθηκε είναι αυτό της United Solar το οποίο είναι τεχνολογίας λεπτού υμένα διπλής επίστρωσης (a-Si), τύπου (ASR-128) με ονομαστική ισχύ 128 Wp. Τα πλαίσια που παράγονται είναι διαστάσεων 5578mm x 406mm x 3mm μέγεθος 2,2 m² και το βάρος τους είναι 21 kg. Το συγκεκριμένο πλαίσιο δεν υπάρχει στο εργαστήριο απλά χρησιμοποιήθηκε στη μελέτη γιατί ήταν το μόνο πλαίσιο άμορφου πυριτίου για το οποίο είχαμε μια απογραφή του κύκλου ζωής του. [Kim and Fthenakis, 2011]



Εικόνα 3.1: ΦΒ πλαίσιο της United Solar τύπου ASR-128 [United Solar, 2014]

Πίνακας 3.1: Τυπικά χαρακτηριστικά ΦΒ πλαισίου United Solar ASR-128 [Posharp, 2014]

Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά United Solar ASR-128	
Ονομαστική Ισχύς	128 Wp
Τάση ανοικτού κυκλώματος - V_{oc}	47,6 V
Ρεύμα βραχυκυκλώσεως - I_{sc}	4,80 A
Τάση σε μέγιστη ισχύ - V_{pm}	33,0 V
Ρεύμα σε μέγιστη ισχύ - I_{pm}	3,90 A
Απόδοση μονάδας - η_m	5,7%

3.1.3 Φωτοβολταϊκό πλαίσιο Sharp

Το εξεταζόμενο ΦΒ πλαίσιο που χρησιμοποιήθηκε για την παρούσα έρευνα είναι τεχνολογίας λεπτού υμένα διπλής επίστρωσης (a-Si/μc-Si), τύπου SHARP NA-E135(L5) με ονομαστική ισχύ 135 Wp. Το πλαίσιο έχει βάρος 24 kg και είναι διαστάσεων 1402mm x 1001mm x 6,7mm. Η κατασκευή του είναι από διαφανές γυαλί, συνθετικό υλικό EVA και φύλλο προστασίας κατά των καιρικών συνθηκών. Η βιομηχανική εγκατάσταση πιστοποιείται βάση ISO 9001Q2008, ISO 14001:2004 και OHSAS18001:2007.

Το ΦΒ πλαίσιο είναι εξετασμένο και πιστοποιημένο σύμφωνα με:

- IEC/EN 61646 και IEC/EN 61730 κατηγορία A εφαρμογής
- Κατηγορία II/CE, κατηγορία E ασφάλειας σύμφωνα με EN13501-1 [Sharp NA series, 2014]



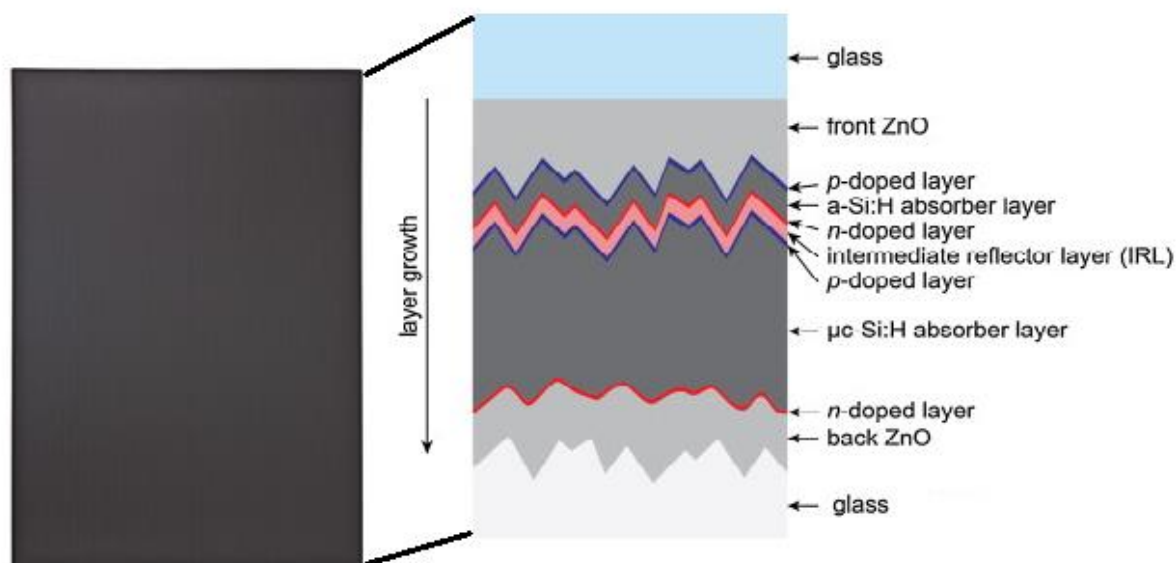
NA-E135L5

- Tandem structure with an amorphous and a microcrystalline silicon layer offering a stabilised module efficiency of 9.6%
- Two glass layers laminated with a high performing vapor barrier encapsulant
- Aesthetic design for many applications
- Low temperature coefficients enabling higher energy yields per watt at high temperatures
- Less dirt accumulation due to frameless design
- Installation in landscape or portrait mode
- One bypass diode integrated in the junction box
- No Cadmium – RoHS compliant

Εικόνα 3.2: Χαρακτηριστικά του πλαισίου [Sharp NA series, 2014]

Πίνακας 3.2: Τυπικά χαρακτηριστικά ΦΒ πλαισίου SHARP NA-E135L5 [Sharp NA series, 2014]

Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά SHARP NA-E135L5	
Ονομαστική Ισχύς	135 Wp
Τάση ανοικτού κυκλώματος - V_{oc}	61,3 V
Ρεύμα βραχυκυκλώσεως - I_{sc}	3,41 A
Τάση σε μέγιστη ισχύ - V_{pm}	47,0 V
Ρεύμα σε μέγιστη ισχύ - I_{pm}	2,88 A
Απόδοση μονάδας - η_m	9,6%
NOCT	46
Συντελεστής θερμοκρασίας-τάση ανοικτού κυκλώματος - V_{oc}	- 0,30%/°C
Συντελεστής θερμοκρασίας-ρεύματος βραχυκυκλώσεως - I_{sc}	+ 0,07%/°C
Συντελεστής θερμοκρασίας - ισχύος - β_{MP}	- 0,24%/°C
Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά ισχύουν σε πρότυπες συνθήκες δοκιμασίας (STC): Ακτινοβολία 1000 W/m ² με φάσμα φωτός AM 1,5 με θερμοκρασία κυψέλης 25 °C. Η ωφέλιμη ισχύς υπόκειται σε μια ανοχή διαδικασίας ύψους – 2%. Προϋποθέσεις NOCT : Ακτινοβολία 800W/m ² , θερμοκρασία περιβάλλοντος 20°C και ταχύτητα 1m/s	



Εικόνα 3.3: Ενδεικτική απεικόνιση της τομής πλαισίου [F.Meillaud et al., 2015]

3.1.4 Σύστημα ΦΒ-ΥΑΦ

Στο τελευταίο ΦΒ σύστημα που εξετάζεται στο πλαίσιο της εργασίας αυτής, έχει προστεθεί κατάλληλο Υλικό Αλλαγής Φάσης (ΥΑΦ) στο πίσω μέρος του πλαισίου. Αυτό το σύστημα έχει καθιερωθεί διεθνώς με την ονομασία PV-PCM (ΦΒ-ΥΑΦ). Το σύστημα αποτελείται από τρία μέρη:

Α) το ΦΒ πλαίσιο της Sharp

Β) το ΥΑΦ

Γ) το μεταλλικό δοχείο που περιέχει το ΥΑΦ

Τα τελευταία χρόνια αρκετές έρευνες έχουν επικεντρωθεί στη μελέτη του ΦΒ-ΥΑΦ συστήματος, βασιζόμενοι στις ενδείξεις ότι μπορεί να αποτελέσει τεχνική ρύθμισης της θερμοκρασίας λειτουργίας του ΦΒ πάνελ, με σκοπό τη βελτίωση της απόδοσης των πλαισίων. Στις παρακάτω εικόνες έχουμε τη σχηματική απεικόνιση του συστήματος (εικόνα 3.4 - 3.5).



Εικόνα 3.4: Μπροστά όψη συστήματος ΦΒ-ΥΑΦ



Εικόνα 3.5: Πίσω όψη συστήματος ΦΒ-ΥΑΦ

3.1.5 Υλικό Αλλαγής Φάσης

Τα ΥΑΦ είναι υλικά που αποθηκεύουν θερμότητα χρησιμοποιώντας τις διαδικασίες αλλαγής φάσης μεταξύ στερεών και υγρών. Το ΥΑΦ που χρησιμοποιήθηκε στο σύστημά μας είναι της εταιρίας Rubitherm η οποία εξειδικεύεται στα ΥΑΦ. Το ΥΑΦ είναι το RT27 όπου έχει σημείο τήξης τους 27°C , ενώ η χωρητικότητα αποθήκευσης της θερμότητας ανέρχεται στα 179 kJ/kg . [Rubitherm, 2014]



Εικόνα 3.6: Εικόνα ΥΑΦ [Rubitherm, 2014]

Οι ιδιότητες του αυτού του ΥΑΦ είναι ότι διαθέτει:

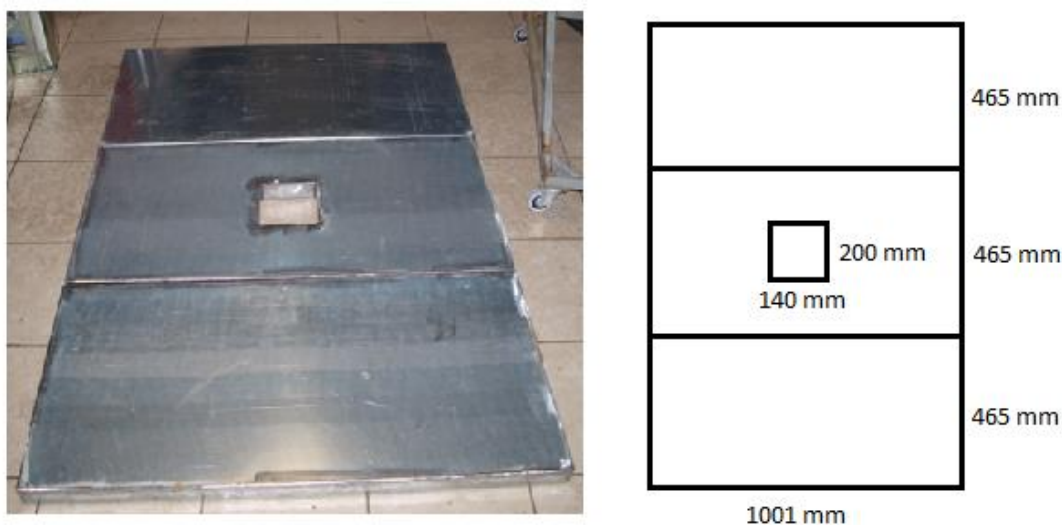
- Υψηλή θερμική ικανότητα αποθήκευσης ενέργειας
- Τη δυνατότητα να αποθηκεύει θερμότητα και να την απελευθερώνει σε σχετικά σταθερές θερμοκρασίες κάθε φορά
- Μεγάλη διάρκεια ζωής με σταθερή απόδοση μέσα από τους κύκλους της αλλαγής φάσης
- Εύρος θερμοκρασίας τήξης μεταξύ - 4 °C και 100 °C [Rubitherm, 2014]

Πίνακας 3.3: Τα σημαντικότερα δεδομένα για το ΥΑΦ RT27 [Rubitherm, 2014]

RT 27 (Rubitherm)	
Περιοχή τήξης	25 – 28 °C
Περιοχή πήξης	28 – 25 °C
Χωρητικότητα θερμότητας $\pm 7,5\%$	179 kJ/kg
Ειδική θερμοχωρητικότητα	2 kJ/kg*K
Πυκνότητα στερεού στους 15ο	0,88 kg/l
Πυκνότητα υγρού στους 40ο	0,76 kg/l
Θερμική αγωγιμότητα (δύο φάσεις)	0,2 W/(m*K)
Αύξηση όγκου	12,5%
Σημείο ανάφλεξης (ΥΑΦ)	146 °C
Μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας	50 °C

3.1.6 Μεταλλικό δοχείο ΥΑΦ

Το τμηματοποιημένο μεταλλικό δοχείο στο οποίο περιέχεται το ΥΑΦ έχει κατασκευαστεί από γαλβανισμένο χάλυβα πάχους 3mm και βρίσκεται τοποθετημένο κάτω από το ΦΒ πλαίσιο. Αποτελείται από τρεις μικρές δεξαμενές συγκεκριμένων διαστάσεων όπως φαίνεται στην εικόνα 3.7.



Εικόνα 3.7: Απεικόνιση των τριών δεξαμενών και οι αναλυτικές διαστάσεις τους

3.2 Ανάλυση Κύκλου Ζωής

3.2.1 Εισαγωγικά στοιχεία της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής

Με την ευαισθητοποίηση όλο και μεγαλύτερου μέρους του πληθυσμού σε θέματα που αφορούν το περιβάλλον, η ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων κατά την παραγωγική διαδικασία αποτελεί πια μείζον θέμα. Μέχρι τώρα η βελτίωση της ποιότητας των προϊόντων γινόταν με μοναδικό στόχο το κέρδος. Παράγοντες όπως η ελάττωση των ρύπων και η διαχείριση των αποβλήτων στις παραγωγικές μονάδες συνθέτουν πια σημαντικές λειτουργίες για τις βιομηχανίες.

Μια από τις πλέον πολλά υποσχόμενες συστηματικές προσεγγίσεις για τον προσδιορισμό και την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων αποτελεί η λεγόμενη Ανάλυση Κύκλου Ζωής – AKZ (Life Cycle Analysis - LCA). Η AKZ είναι μια ολοκληρωμένη μέθοδος ποσοτικοποίησης υλικού και ενεργειακών εισροών, όπου μας δίνει την δυνατότητα να λάβουμε υπόψη όλα τα στάδια του κύκλου ζωής. Η AKZ είναι σύμφωνη με το ISO 14040, ISO 14044 και τις πρότυπες κατευθυντήριες γραμμές από την Task 12 της IEA. Εφαρμόζοντας μια AKZ, οι εταιρείες προσδιορίζουν τις υπάρχουσες περιβαλλοντικές επιπτώσεις μιας παραγωγικής διαδικασίας, με σκοπό τη μείωση αυτών και την περαιτέρω βελτίωση και ανταγωνιστικότητα των προϊόντων. Αν και η AKZ είναι μια σχετικά νέα έννοια, έχει βοηθήσει αρκετά στο να ελαχιστοποιηθούν τα παραγόμενα απόβλητα και επίσης έχει συνεισφέρει στη γενική μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων σε αρκετές διεργασίες. [Fthenakis and Kim, 2011]

Η ΑΚΖ αποτελεί πολύτιμο εργαλείο για:

- Την παροχή τρόπου προσδιορισμού των αλλαγών που προκύπτουν από μετατροπές του σχεδιασμού ενός προϊόντος, των χρησιμοποιούμενων τεχνολογιών και διάφορων άλλων διαχειριστικών επιλογών.
- Τη δημιουργία μιας βάσης δεδομένων με αναφορικά στοιχεία που θα αποτελέσουν μέτρο σύγκρισης μελλοντικών τροποποιήσεων.
- Τον ποσοτικό προσδιορισμό και την παρακολούθηση της καταναλισκόμενης ενέργειας και των εκπομπών που δημιουργούνται κατά τη κατασκευή ενός προϊόντος [Γιδαράκος, 2005]

Ο όρος «Ανάλυση Κύκλου Ζωής» χρησιμοποιείται όλο και πιο συχνά στις βιομηχανίες, γι' αυτό είναι σημαντική η κατανόηση της διαδικασίας.

Η SETAC (Society for Environmental Toxicology and Chemistry) έχει ορίσει την ΑΚΖ σαν «μια τεχνική εκτίμησης των περιβαλλοντικών επιβαρύνσεων που συνδέονται με κάποιο προϊόν, διεργασία ή δραστηριότητα προσδιορίζοντας και ποσοτικοποιώντας την ενέργεια και τα υλικά που χρησιμοποιούνται, καθώς και τα απόβλητα που απελευθερώνονται στο περιβάλλον, εκτιμώντας τις επιπτώσεις από την χρήση της ενέργειας και των υλικών καθώς και των αποβλήτων, αναγνωρίζοντας και εκτιμώντας τις δυνατότητες περιβαλλοντικών βελτιώσεων». [Κορνελάκη, 2011]

3.2.2 Σκοπός της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής

Η ΑΚΖ αποτελεί ένα βασικό εργαλείο περιβαλλοντικής διαχείρισης και λήψης αποφάσεων. Συμβάλλει στην πρόληψη της ρύπανσης, στην εξοικονόμηση φυσικών πόρων και γενικά στη βιώσιμη ανάπτυξη. Είναι μια μεθοδική προσέγγιση και αποτίμηση, παρακολουθώντας όλο τον κύκλο ζωής ενός προϊόντος, από τη συλλογή των πρώτων υλών μέχρι την τελική διάθεσή του προϊόντος. Εξετάζει μέσω εναλλακτικών σεναρίων την ελαχιστοποίηση της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης για την προστασία του περιβάλλοντος. Επίσης, παρουσιάζεται μια αποτίμηση (1) των σχετικών αποβλήτων που παράγονται, (2) των επιρροών στην ανθρώπινη υγεία και (3) των οικολογικών επιβαρύνσεων. Τέλος, αξιολογεί τις πιθανές περιβαλλοντικές επιπτώσεις και τις εκπομπές αερίων, παρέχοντας έτσι μια διευκόλυνση στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων και στη λήψη των αποφάσεων, με σκοπό τη βελτίωση και την ανταγωνιστικότητα των προϊόντων.

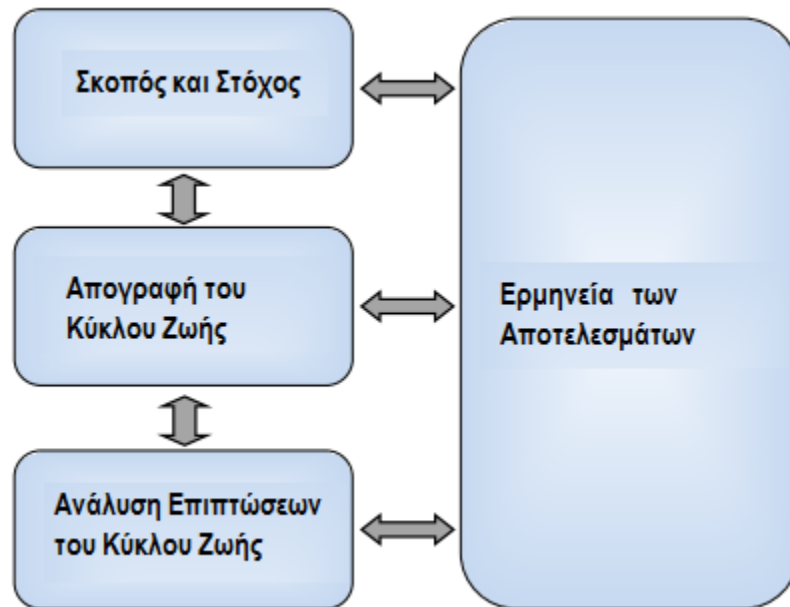
3.2.3 Στάδια Ανάλυσης Κύκλου Ζωής

Σύμφωνα με τη SETAC η ΑΚΖ αποτελείται από τέσσερα βασικά στάδια (εικόνα 3.8):

- Σκοπός και Στόχος (Scope and Goal): Προσδιορισμός του σκοπού και του αντικειμένου της μελέτης
- Απογραφή του Κύκλου Ζωής (Life Cycle Inventory): Αναλυτική απογραφή των δεδομένων
- Ανάλυση Επιπτώσεων του Κύκλου Ζωής (Life Cycle Impact Assessment): Προσδιορισμός και εκτίμηση των επιπτώσεων που

προκύπτουν από τη χρήση πρώτων υλών και ενέργειας, και των εκπομπών ρύπων προς το περιβάλλον

- Αποτίμηση - Ερμηνεία των Αποτελεσμάτων (Data Interpretation): Εύρεση εναλλακτικών δυνατοτήτων για τη μείωση των περιβαλλοντικών επιβαρύνσεων [Κορνελάκη, 2011]



Εικόνα 3.8: Στάδια Ανάλυσης Κύκλου Ζωής [SAIC, 2006]

❖ Σκοπός και στόχος

Το πρώτο στάδιο καθορίζεται από το σκοπό, το αντικείμενο, τη μελλοντική εφαρμογή της μελέτης (που επηρεάζει άμεσα τις απαιτήσεις της τελικής αναφοράς) και τον καθορισμό της λειτουργικής μονάδας. Η λειτουργική μονάδα ορίζεται συνήθως ως ένα κομμάτι του προϊόντος ή της παροχής συγκεκριμένης λειτουργίας (π.χ. 1 ΦΒ πλαίσιο) [Fthenakis, 2012]

❖ Απογραφή του Κύκλου Ζωής

Στη συνέχεια, συλλέγονται και παρουσιάζονται όλα τα δεδομένα εισόδου – εξόδου του υπό εξέτασης συστήματος σε όλα τα στάδια του. Από τη μία πλευρά, δεδομένα εισόδου θεωρούνται όλες οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιήθηκαν, όπως επίσης και η ενέργεια που δαπανήθηκε. Από την άλλη, ως δεδομένα εξόδου καλούνται οι αέριες εκπομπές, τα απόβλητα κ.α.. [Κορωναίος, 2001]



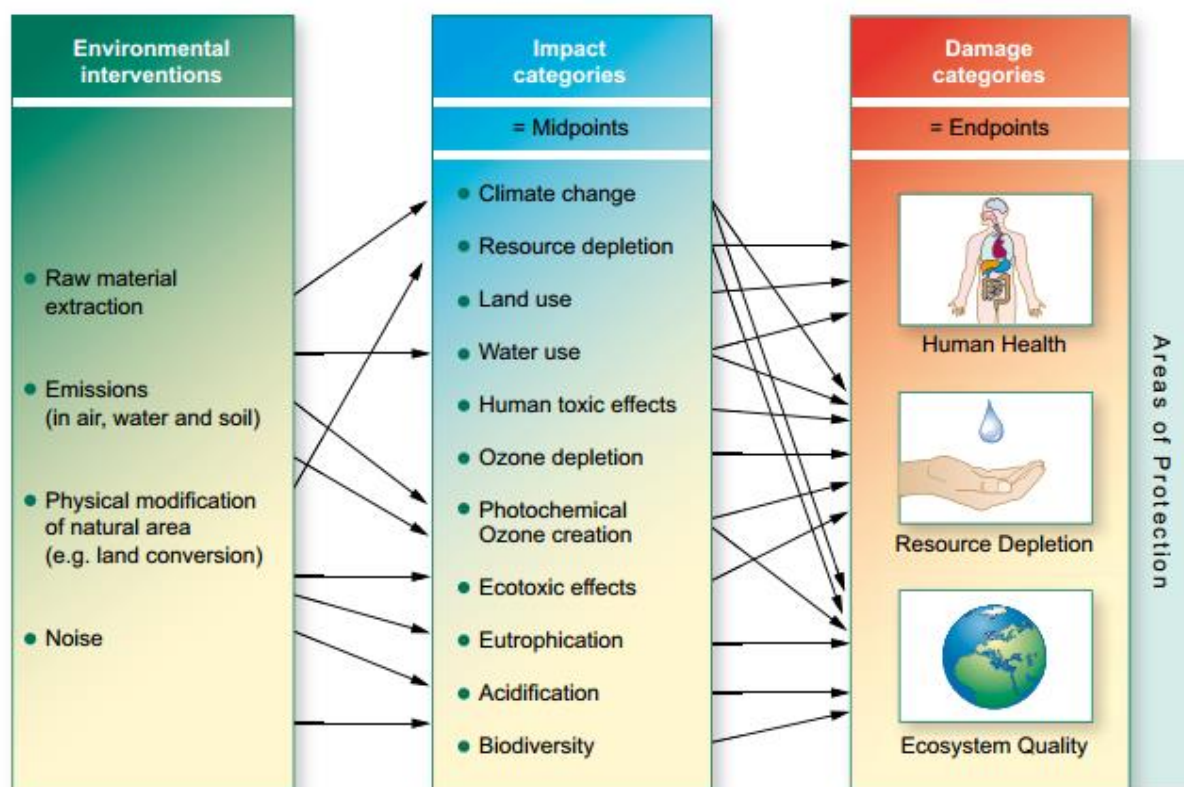
Εικόνα 3.9: Οριοθέτηση του συστήματος [Κορνελάκη, 2009]

❖ Ανάλυση Επιπτώσεων του Κύκλου Ζωής

Ένα ακόμα σημαντικό στάδιο της ΑΚΖ είναι η ανάλυση των επιπτώσεων. Σε αυτό το στάδιο, κατατάσσονται οι εκπομπές που προκαλούνται στον κύκλο ζωής και οι οποίες ανάλογα με την συμβολή τους στις κατηγορίες των περιβαλλοντικών επιπτώσεων (π.χ. την υπερθέρμανση του πλανήτη) χαρακτηρίζονται και με τη σχέση τους ως προς τη μονάδα αναφοράς (π.χ. σε kg CO₂). [Fthenakis, 2012]

Η χρήση περιβαλλοντικών δεικτών βοηθάει στην εξαγωγή των αποτελεσμάτων. Η εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων διακρίνεται στις παρακάτω κατηγορίες:

- Ανθρώπινη υγεία (π.χ. Εισπνοή οργανικών και ανόργανων ενώσεων)
- Ποιότητα οικοσυστήματος (π.χ. Κλιματική αλλαγή)
- Φυσικοί πόροι (π.χ. Μείωση πρώτων υλών)



Εικόνα 3.10: Ενδεικτική περιγραφή επιπτώσεων σε διάφορα συστήματα κατά τον Κύκλο Ζωής τους [UNEP, 2011]

❖ Αποτίμηση – Ερμηνεία

Η ερμηνεία των αποτελεσμάτων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον σχεδιασμό της βελτίωσης του προϊόντος αλλά και την μείωση των απρόβλεπτων επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον. Επίσης, μπορεί να συγκριθεί με άλλες μελέτες ανάλυσης κύκλου ζωής, ώστε να βγουν τα τελικά συμπεράσματα. [Fthenakis, 2012]

3.3 Περιγραφή του λογισμικού

3.3.1 Εισαγωγή στο SimaPro



Εικόνα 3.11: Αρχική εικόνα του λογισμικό SimaPro που χρησιμοποιήθηκε

Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για την παρούσα ΑΚΖ είναι το SimaPro 8 (System for Integrated environMental Assessment of PROducts), το οποίο δημιουργήθηκε και διατίθεται από την Ολλανδική εταιρεία Pre Consultants. Είναι διεθνώς αναγνωρισμένο και ευρέως διαδεδομένο εργαλείο για την ΑΚΖ, ενώ είναι ένα επικυρωμένο εργαλείο από Πανεπιστήμια και Ερευνητικά Κέντρα.

Το λογισμικό αυτό παρέχει μεγάλο όγκο δεδομένων, τα οποία βρίσκονται καταμελημένα σε ξεχωριστές βιβλιοθήκες, προσφέροντας έτσι τη δυνατότητα να χρησιμοποιούνται ταυτόχρονα. Ακόμη μια ιδιότητα του λογισμικού αυτού είναι ότι τα αποτελέσματα που εξάγονται στα αρχικά στάδια μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε επόμενες διαδικασίες. Ο χρήστης έχει στη διάθεσή του διάφορα εργαλεία τα οποία του προσφέρουν τη δυνατότητα να προσδιορίσει με περισσότερη ακρίβεια τον κύκλο ζωής του προϊόντος, προσθέτοντας τα σημαντικότερα δεδομένα. Παράλληλα, παρουσιάζονται σε ραβδογράμματα και πίνακες οι σημαντικότερες πληροφορίες που λαμβάνονται από τα αποτελέσματα (π.χ. σημαντικότερες εκπομπές). Δηλαδή μέσω της επιλογής των ορίων που κάνει ο χρήστης μπορεί να αποφύγει την παρουσίαση δεδομένων εξόδου με πολλή μικρή συνεισφορά στο περιβαλλοντικό φορτίο. Τα δεδομένα εξόδου κατατάσσονται ανάλογα με τον αποδέκτη εκπομπών (εκπομπές σε υδάτινο περιβάλλον, εκπομπές στην ατμόσφαιρα, εκπομπές στο έδαφος) και ανάλογα με τον αποδέκτη αποβλήτων. Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων πραγματοποιείται με διάφορους τρόπους, δίνοντας τη δυνατότητα

να εμφανίζονται μόνο τα αποτελέσματα που συνεισφέρουν σε μια συγκεκριμένη κατηγορία ευρείας επίδρασης.

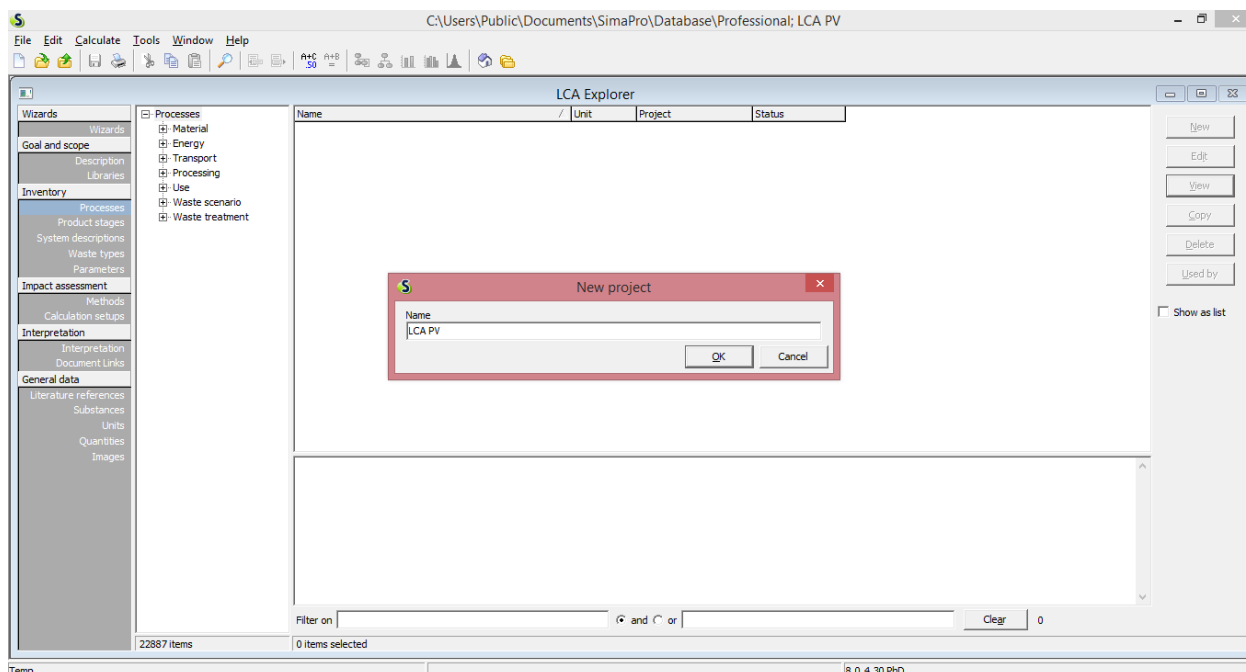
Τα κύρια χαρακτηριστικά του λογισμικού αυτού είναι:

- Ένα διαισθητικό περιβάλλον διεπαφής με το χρήστη καθοδηγεί μέσα από μια εξορθολογισμένη ή βασισμένη στο ISO 14040 AKZ.
- Εύκολη μοντελοποίηση με δυνατά εργαλεία.
- Διάφορες βάσεις δεδομένων απογραφής και μέθοδοι αξιολόγησης επιδράσεων προς επιλογή.
- Κατανομή πολλαπλών διαδικασιών των εξαγομένων.
- Διαφάνεια εύκολη ανάδραση.
- Ανάλυση αδύναμων στοιχείων αναγνώριση των «hot spots» στον κύκλο ζωής χρησιμοποιώντας το δέντρο της διαδικασίας.
- Φιλτράρισμα επιλογών διαθέσιμων για όλα τα αποτελέσματα.
- Ανάλυση πολύπλοκης διαχείρισης αποβλήτων και σεναρίων ανακύκλωσης.
- Monte Carlo ανάλυση για αβεβαιότητα δεδομένων.

3.3.2 Ξεκινώντας στο SimaPro

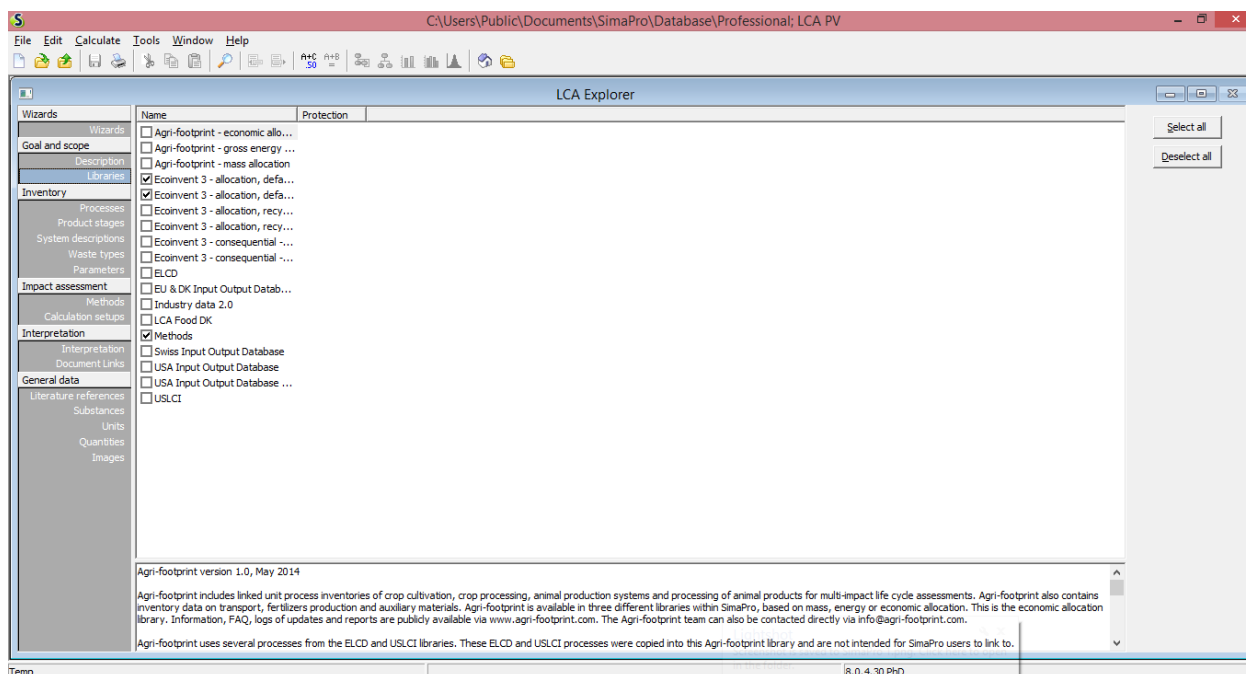
Κατά την εκκίνηση του λογισμικού ζητείτε είτε να ανοιχθεί ένα έργο ή μια βιβλιοθήκη, είτε να δημιουργηθεί ένα νέο έργο (Εικόνα 3.12). Ανοίγοντας ένα νέο έργο έχουμε τη δυνατότητα να αποθηκευτούν τα δεδομένα που απαιτούνται και να συναρμολογηθούν τα προϊόντα ή οι διεργασίες που θα μελετηθούν. Επίσης στην εικόνα 3.12 στα αριστερά φαίνονται τα στάδια του λογισμικού που είναι ίδια με εκείνα της AKZ όπως παρατίθενται παρακάτω:

- Σκοπός και Στόχος (Scope and Goal)
- Απογραφή (Inventory)
- Ανάλυση Επιπτώσεων (Impact Assessment)
- Αποτίμηση – Ερμηνεία (Interpretation)



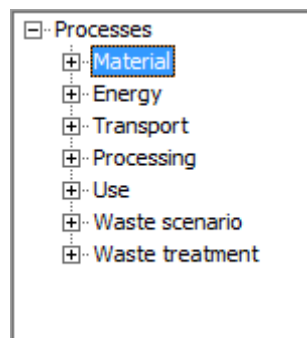
Εικόνα 3.12: Γενικό περιβάλλον του SimaPro και εισαγωγή νέου έργου

Οι βιβλιοθήκες περιλαμβάνουν κάποια συγκεκριμένα δεδομένα που παρέχονται από το SimaPro και όπως παρατηρείτε στην εικόνα 3.13 υπάρχει η δυνατότητα να επιλεγθούν όσες είναι θεωρούνται απαραίτητες για το εκάστοτε έργο.

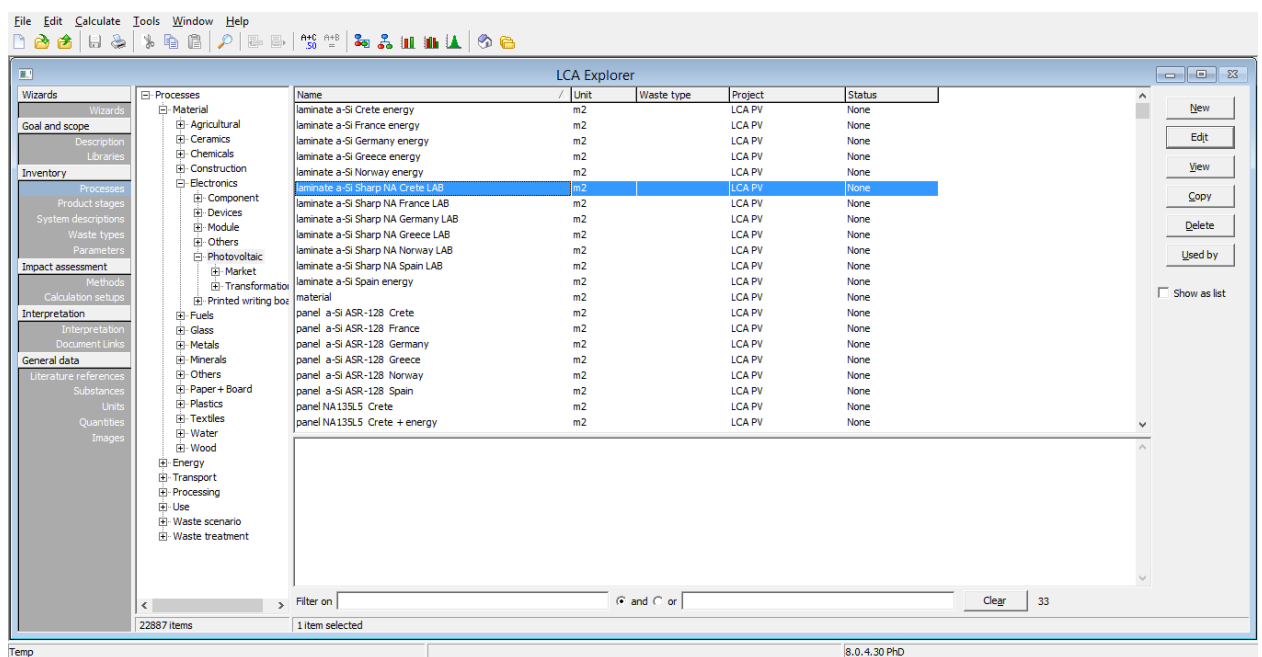


Εικόνα 3.13: Οι διαθέσιμες βιβλιοθήκες του χρήστη

Πηγαίνοντας στην απογραφή υπάρχει μια καρτέλα που ονομάζεται διαδικασίες (Process), πατώντας εκεί ανοίγουν διάφορες επιλογές όπως υλικά, μεταφορές, ενέργεια κ.α. (εικόνα 3.14). Από εκεί πηγαίνοντας στην κατάλληλη επιλογή, για παράδειγμα στην δικιά μας περίπτωση για το ΦΒ πλαίσιο πήγαμε: υλικά→ ηλεκτρονική→ ΦΒ (material → electronics → photovoltaic) και πατώντας πάνω δεξιά την επιλογή “νέο” δημιουργήσαμε ένα νέο προϊόν τοποθετώντας όλα τα υλικά, ενέργεια, μεταφορές κ.α. που απαιτούνται. (εικόνα 3.15 και εικόνα 3.16).



Εικόνα 3.14: Επιλογές της καρτέλας των διεργασιών



Εικόνα 3.15: Δημιουργία νέων προϊόντων

Εικόνα 3.16: Φόρμα εισαγωγής όλων των απαιτούμενων ενεργειών για το προϊόν

3.3.3 Μέθοδοι αποτίμησης

Το λογισμικό SimaPro περιέχει διάφορες μεθόδους αποτίμησης αντικτύπου. Η βασική δομή των μεθόδων αντικτύπου είναι οι εξής:

- Χαρακτηρισμός – Characterization
- Αποτίμηση βλάβης – Damage Assessment
- Κανονικοποίηση – Normalization
- Στάθμιση – Weighting

Εκτός από το πρώτο βήμα τα επόμενα τρία είναι προαιρετικά σύμφωνα με τα πρότυπα ISO, επομένως δεν είναι διαθέσιμα και τα τέσσερα βήματα σε όλες τις μεθόδους που προσφέρονται για αποτίμηση.

❖ Χαρακτηρισμός – Characterization

Οι ουσίες που συνεισφέρουν σε μια κατηγορία ευρείας επίδρασης, πολλαπλασιάζονται με κάποιο αντίστοιχο συντελεστή (Characterization), όπου εκφράζει το βαθμό συνεισφοράς της κάθε υπό εξέταση ουσίας, στην αντίστοιχη κατηγορία επίδρασης. Το παραγόμενο αποτέλεσμα εκφράζεται σε δείκτες ευρείας επίδρασης (Impact Category Indications).

❖ Αποτίμηση βλάβης – Damage Assessment

Σκοπός του συγκεκριμένου βήματος είναι ο συνδυασμός ενός αριθμού δεικτών κατηγορίας ευρείας επίδρασης σε μια ευρύτερη κατηγορία βλάβης (Damage Category). Συνοψίζοντας τις επιβαρύνσεις σε συγκεκριμένες ευρύτερες κατηγορίες,

είναι ευκολότερο να αξιολογήσουμε τη συνολική επιβάρυνση που προκαλείται από κάθε κατηγορία ευρείας επίδρασης στις κατηγορίες βλάβης.

❖ Κανονικοποίηση – Normalization

Στο βήμα αυτό δίνεται η δυνατότητα σύγκρισης των δεικτών κατηγορίας ευρείας επίδρασης με καθορισμένο σημείο αναφοράς. Η σύγκριση αυτή επιτυγχάνεται διαιρώντας τους δείκτες με το σημείο αναφοράς, ανάγοντας έτσι όλους τους δείκτες στην ίδια μονάδα μέτρησης. Το βήμα αυτό μπορεί να εφαρμοστεί τόσο στα αποτελέσματα που προκύπτουν από το πρώτο βήμα, όσο και σε αυτά που εξάγονται από το δεύτερο. Ως σημείο αναφοράς χρησιμοποιείται ευρέως το μέσο ετήσιο περιβαλλοντικό φορτίο ανά χώρα ή ήπειρο, διαιρούμενο με τον αντίστοιχο πληθυσμό.

❖ Στάθμιση – Weighting

Στο τελευταίο αυτό βήμα μπορούμε να πολλαπλασιάσουμε τα δεδομένα που έχουμε, είτε τους δείκτες κατηγορίας ευρείας επίδρασης είτε τους αντίστοιχους δείκτες από τις κατηγορίες βλάβης (Damage Category Indications), με ένα συντελεστή στάθμισης (weighting factor) προσθέτοντας τα νέα αποτελέσματα, ώστε να έχουμε ένα συνολικό τελικό αποτέλεσμα. Το βήμα αυτό έχει τη δυνατότητα να εφαρμοστεί σε κανονικοποιημένα ή μη δεδομένα. [Κορνελάκη, 2009]

3.3.4 Μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν

Μέθοδος ReCiPe

Η μέθοδος σύγκρισης και παρουσίασης των αποτελεσμάτων που επιλέχθηκε είναι η ReCiPe η οποία είναι διάδοχος της Eco – Indicator 99 και τις CML-IA. Η μεθοδολογία ReCiPe παρέχει μια «συνταγή» για τον υπολογισμό των δεικτών κατηγοριών επίδρασης του κύκλου ζωής. Ο βασικός στόχος της ReCiPe είναι η μετατροπή της μεγάλης λίστας των αποτελεσμάτων των επιπτώσεων του κύκλου ζωής σε έναν περιορισμένο αριθμό δεικτών. Εδώ οι δείκτες εκφράζουν τη σχετική σοβαρότητα μια περιβαλλοντικής κατηγορίας επίδρασης.

Οι δείκτες καθορίζονται σε δύο επίπεδα:

- 1) Δείκτες σε δεκαοκτώ κατηγορίες επίδρασης που απευθύνονται στο ενδιάμεσο επίπεδο:

Πίνακας 3.4: Πίνακας με τους δεκαοκτώ δείκτες [Πανταζή, 2014]

1. κλιματική αλλαγή (CC)	10. οικοτοξικότητα γλυκού νερού (FET)
2. μείωση όζοντος (OD)	11.θαλάσσια οικοτοξικότητα (MET)
3. οξίνιση εδάφους (TA)	12. ιοντίζουσα ακτινοβολία (IR)
4. ευτροφισμός γλυκού νερού (FE)	13. ενασχόληση με την αγροτική γη (ALO)
5. θαλάσσιος ευτροφισμός (ME)	14. ενασχόληση με την αστική γη (ULO)
6. ανθρώπινη τοξικότητα (HT)	15. μετασχηματισμός φυσικής γης (NLT)
7. φωτοχημική οξείδωση (POF)	16. μείωση νερού (WD)
8. σχηματισμός σωματιδίων (PMF)	17. μείωση ορυκτών πόρων (MRD)
9. οικοτοξικότητα εδάφους (TET)	18. μείωση ορυκτών καυσίμων (FD)

2) Οι παραπάνω κατηγορίες μετατρέπονται και συντίθενται στις ακόλουθες τρεις τελικές κατηγορίες, οι οποίες αποτελούν τους κυριότερους αποδέκτες των περιβαλλοντικών φορτίων:

- Βλάβες στην Ανθρώπινη υγεία – Damage to Human Health
- Βλάβες στην Ποιότητα Οικοσυστήματος - Damage to Ecosystem Quality
- Βλάβες στους Πόρους - Damage to Resources

❖ **Βλάβες στην Ανθρώπινη υγεία – Damage to Human Health**

Τα αποτελέσματα εκφράζονται ως αριθμός των ετών ζωής που χάθηκαν και τον αριθμό των ετών ζωής αναπηρίας. Από το συνδυασμό αυτών προκύπτει η αντίστοιχη μονάδα μέτρησης DALY (Disability Adjusted Life Years).

❖ **Βλάβες στην Ποιότητα Οικοσυστήματος - Damage to Ecosystem Quality**

Μια προσέγγιση για την περιγραφή της ποιότητας του οικοσυστήματος είναι σε όρους ενέργειας, ύλης και ροής πληροφοριών. Τα αποτελέσματα εκφράζονται ως αριθμός ειδών που εξαφανίστηκαν σε καθορισμένη περιοχή για καθορισμένο χρόνο (species.yr).

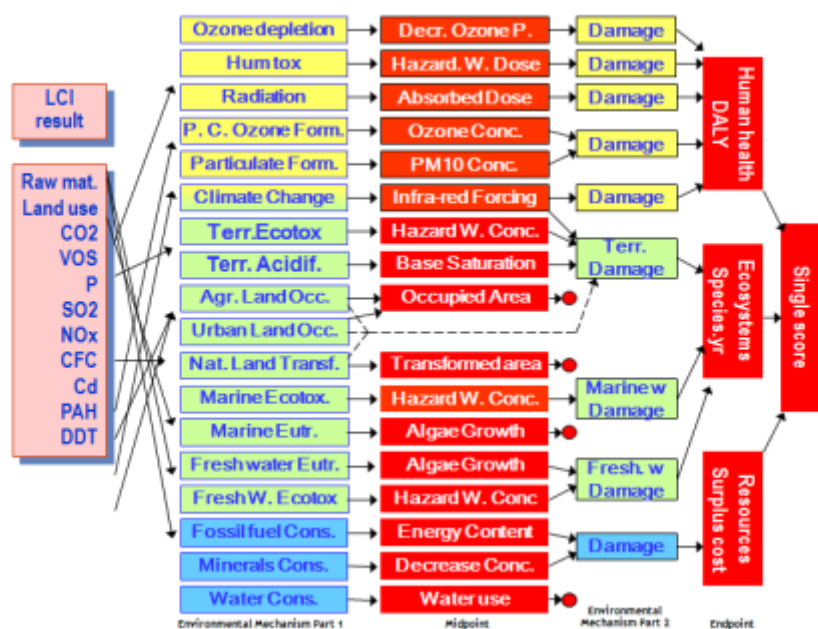
❖ **Βλάβες στους Πόρους - Damage to Resources**

Ένα αρκετά σημαντικό ζήτημα που αναφέρεται πολύ τα τελευταία χρόνια είναι η εξάντληση των πόρων. Εδώ η μέθοδος που χρησιμοποιούμε έχει επιλέξει να βασίσουν αυτό το μοντέλο στη γεωλογική κατανομή ορυκτών πόρων και καυσίμων και να αξιολογήσουν πως η χρήση αυτών προκαλεί αλλαγές στις προσπάθειες εξόρυξης μελλοντικών πόρων. Τα αποτελέσματα εκφράζονται ως πλεόνασμα

ενέργειας που απαιτείται για μελλοντική εξαγωγή ορυκτών καυσίμων (\$). [Πανταζή, 2014]

Η ReCiPe χρησιμοποιεί έναν περιβαλλοντικό μηχανισμό σαν τη βάση για τη μοντελοποίηση. Ένας περιβαλλοντικός μηχανισμός μπορεί να θεωρηθεί σαν μια σειρά επιπτώσεων που όλες μαζί μπορούν να δημιουργήσουν ένα συγκεκριμένο επίπεδο βλάβης στη ανθρώπινη υγεία ή στο οικοσύστημα. Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται σχηματικά η μέθοδος όπου αντιστοιχίζονται τα αποτελέσματα των επιπτώσεων του κύκλου ζωής στις μέσες κατηγορίες κι έπειτα στις κατηγορίες βλάβης.

Τέλος, η χρησιμοποιούμενη μονάδα μέτρησης για τα συνολικά αποτελέσματα είναι το 1 Pt, το οποίο είναι ίσο με το 1/1000 του ετήσιου περιβαλλοντικού φορτίου ενός μέσου Ευρωπαίου κατοίκου.



Εικόνα 3.17: Σχηματική απεικόνιση της ReCiPe [SimaPro database manual methods library, 2014]

Μέθοδος IPCC 2013

Η μέθοδος IPCC 2013 είναι μια ανανέωση της μεθόδου IPCC 2007, που αναπτύχθηκε από το Διεθνές Panel στην Κλιματική Αλλαγή (International Panel on Climate Change, IPCC). Ο χαρακτηρισμός διαφόρων αέριων εκπομπών σύμφωνα με το δυναμικό τους στην υπερθέρμανση του πλανήτη και τη σύνθεση διαφόρων εκπομπών στην κατηγορία επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής είναι μία από τις πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες μεθόδους στην αξιολόγηση μιας ΑΚΖ. Οι συντελεστές χαρακτηρισμού για τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου βασίζονται στα δυναμικά αποτελέσματα για την υπερθέρμανσης του πλανήτη που έχουν δημοσιευθεί από το IPCC και χρησιμοποιούνται επίσης και σε άλλες μεθόδους αξιολόγησης επιπτώσεων όπως η Eco-indicator 99 ή η Ecological Scarcity 2006. Όλες αυτές οι μέθοδοι αξιολογούν τις εκπομπές αερίων φαινομένου θερμοκηπίου που οφείλονται σε ανθρωπογενείς δραστηριότητες και καταγράφονται στους πίνακες απογραφής. Να σημειωθεί ότι χρησιμοποιούνται τρεις χρονικοί ορίζοντες – των 20, 100 και 500 ετών – για να δείξουν τις επιδράσεις των ατμοσφαιρικών χρόνων ζωής των διαφορετικών αερίων.

❖ Χρήση της μεθόδου

Τα άμεσα δυναμικά της υπερθέρμανσης του πλανήτη (global warming potentials, GWPs) σχετίζονται με την επίδραση του διοξειδίου του άνθρακα. Τα GWPs είναι ένας δείκτης για την εκτίμηση της σχετικής συμβολής στην πλανητική υπερθέρμανση εξαιτίας ατμοσφαιρικής εκπομπής ενός κιλού ενός συγκεκριμένου αερίου του θερμοκηπίου σε σύγκριση με μια εκπομπή ενός κιλού διοξειδίου του άνθρακα.

❖ Χαρακτηρισμός

Στην εφαρμογή της μεθόδου λαμβάνονται υπόψη οι εκπομπές αερίων στην ατμόσφαιρα. Με βάση την εφαρμογή της μεθόδου στο SimaPro, οι συντελεστές χαρακτηρισμού για το άμεσο δυναμικό της υπερθέρμανσης του πλανήτη των αέριων εκπομπών (εκτός από το μεθάνιο CH₄):

- Δεν περιλαμβάνει την έμμεση δημιουργία νιτρικού μονοξειδίου από νιτρικές εκπομπές, διότι δε συμβάλλουν άμεσα στο πρόβλημα της κλιματικής αλλαγής.
- Δε λαμβάνει υπόψη την κατακράτηση ακτινοβολίας εξαιτίας εκπομπών NO_x, νερού, θειικού άλατος, κ.ά. στη χαμηλότερη στρατόσφαιρα και στην υψηλότερη τροπόσφαιρα
- Δε λαμβάνει υπόψη τις διάφορες έμμεσες επιδράσεις που δίνονται από το IPCC από υδρογονάνθρακες και έμμεσες εκπομπές νιτρικού μονοξειδίου
- Δεν περιλαμβάνει τη δημιουργία διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) από τις εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα (CO).
- Δεν θεωρεί το βιογενές uptake CO₂ σαν αρνητική επίδραση.

Στη μέθοδο αυτή η κανονικοποίηση και η στάθμιση δεν αποτελούν μέρος της. [Πανταζή, 2014]

3.4 Σενάρια που μελετήθηκαν

Στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης αποτιμήθηκε περιβαλλοντικά η συναρμολόγηση ενός ΦΒ πλαισίου λαμβάνοντας υπόψη τη γεωγραφική διάσταση της, διαμορφώνοντας κατάλληλα σενάρια αξιολόγησης. Συγκεκριμένα μελετήθηκε η περιβαλλοντική επιβάρυνση που θα προκληθεί από τη συναρμολόγηση ενός ΦΒ πλαισίου σε διαφορετικές γεωγραφικές περιοχές (πίνακας 3.5). Η επιλογή αυτή βασίστηκε στην παρατήρηση διαφοροποιήσεων στο ενεργειακό μείγμα κατά την συναρμολόγηση οι οποίες οδηγούν σε διαφορετικά περιβαλλοντικά φορτία.

Το ενεργειακό μείγμα για τις εξεταζόμενες περιπτώσεις λαμβάνεται από τη βάση δεδομένων του SimaPro του έτους 2013.

Προκειμένου να οριστεί στο λογισμικό SimaPro η δεξαμενή του ΥΑΦ, διαμορφώθηκε κατάλληλη τροποποίηση η οποία ενσωματώνεται σε καθ' ένα από τα εξεταζόμενα σενάρια. Ακόμη η τροποποίηση που μελετήθηκε ήταν η αλλαγή της δεξαμενής του χάλυβα (3mm) σε αλουμίνιο (4mm) έτσι ώστε να παρατηρηθούν τυχόν διαφορές (πίνακας 3.6).

Πίνακας 3.5: Σύνοψη σεναρίων για τα ΦΒ πλαίσια

Σενάρια για ΦΒ πλαίσια		Ενεργειακό μείγμα
1	Συναρμολόγηση των πλαισίων στην περιοχή της Κρήτης	70% → Μαζούτ και ντίζελ
2	Συναρμολόγηση των πλαισίων στην ηπειρωτική Ελλάδα	50% → θερμοηλεκτρικοί σταθμοί λιγνίτη
3	Συναρμολόγηση των πλαισίων στην Γερμανία	24% → θερμοηλεκτρικοί σταθμοί λιγνίτη 19% → λιθάνθρακες
4	Συναρμολόγηση των πλαισίων στην Γαλλία	76% → πυρηνική ενέργεια
5	Συναρμολόγηση των πλαισίων στην Ισπανία	40% → φυσικό αέριο 15% → λιθάνθρακες
6	Συναρμολόγηση των πλαισίων στην Νορβηγία	95% → υδροηλεκτρική ενέργεια

Πίνακας 3.6: Σενάρια για τη δεξαμενή του ΥΑΦ

Δεξαμενή του ΥΑΦ	Υλικά
	Χάλυβας (3mm)
	Αλουμίνιο (4mm)

Τέλος εκτός των παραπάνω σεναρίων εξετάσθηκε και η περιβαλλοντική επιβάρυνση των δύο πλαισίων του εργαστηρίου, του απλού ΦΒ και του πρότυπου ΦΒ-ΥΑΦ με τη δεξαμενή του χάλυβα συν την παραδοχή του αλουμινίου, προσθέτοντας αυτή τη φορά και τη φάση λειτουργίας τους. Εκεί υπολογίσθηκε η συνολική ηλεκτρική ενέργεια που μπορεί να δώσουν τα δύο πλαίσια (απλό ΦΒ και ΦΒ-ΥΑΦ) σε βάθος 30 χρόνων στο δίκτυο της Κρήτης. Ο ετήσιος υπολογισμός που λάβαμε υπόψιν ήταν για τη χρονιά 2011 διότι υπήρχαν δεδομένα από τις μέσες θερμοκρασίες που επικρατούσαν στο απλό ΦΒ πλαίσιο από μεταπτυχιακή εργασία που έχει υλοποιηθεί παλαιότερα στο εργαστήριο Ανανεώσιμων και Βιώσιμων Ενεργειακών Συστημάτων. [Σαββάκης, 2014]

Σε αυτή την περίπτωση μελετήθηκαν μόνο δύο σενάρια, για συναρμολόγηση στην Κρήτη και τη Γερμανία διότι παρατηρήθηκαν ελάχιστες αλλαγές στα αποτελέσματα.

3.5 Βασικές υποθέσεις

Για την εκπόνηση της παρούσας εργασίας ήταν αναγκαίο να γίνουν κάποιες βασικές υποθέσεις. Ειδικότερα, θεωρήθηκε συναρμολόγηση του ΦΒ σε διάφορες χώρες, χωρίς να υπολογισθεί η μεταφορά των πρώτων υλών και των υλικών που απαιτούνται από τη χώρα παραγωγής τους (π.χ. Γερμανία, Κίνα) στην εκάστοτε χώρα ξεχωριστά. Όλα τα υλικά και οι διεργασίες που απαιτούνταν καταχωρήθηκαν από τη βάση δεδομένων του λογισμικού SimaPro.

Επίσης, ως βασική υπόθεση ελήφθη στο ΦΒ πλαίσιο από την Sharp. Δεδομένου ότι για το εξεταζόμενο ΦΒ πλαίσιο δεν υπήρχε κάποια απογραφή του κύκλου ζωής του στη διαθέσιμη βιβλιογραφία, χρησιμοποιήθηκε ως βάση η απογραφή του κύκλου ζωής όμοιου ΦΒ πλαισίου της United Solar από τον πίνακα της IEA, έτσι ώστε να γίνει η καλύτερη δυνατή προσέγγιση. Σημειώνεται ότι τα δύο πλαίσια αποτελούνται από ΦΒ στοιχεία άμορφου πυριτίου, ενώ κύρια παρατηρούμενη διαφορά αποτελεί το αυξημένο βάρος στο πλαίσιο της Sharp. Το παραπάνω γεγονός οφείλεται στη διαμόρφωση από κατάλληλο γυαλί που υπάρχει στις δύο όψεις του ΦΒ πλαισίου της Sharp σε αντίθεση με πολύ λεπτό πλαστικό γυαλί που εφαρμόζει στην μπροστινή πλευρά του ΦΒ πλαισίου της United Solar. Τέλος, θεωρήθηκε μια τροποποίηση του πρότυπου συστήματος ΦΒ-ΥΑΦ με τη δεξαμενή του ΥΑΦ να είναι κατασκευασμένη από αλουμίνιο. Και στις δύο περιπτώσεις υποθέσαμε μια ανακύκλωση της τάξης του 70% του χάλυβα και του αλουμινίου αντίστοιχα, που χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή της δεξαμενής του ΥΑΦ.

Για στα δύο απλά ΦΒ πλαίσια (ASR-128 και NA135L5) δεν λήφθηκε υπόψη οποιαδήποτε ανακύκλωση. Ακόμη δεν έχουν ληφθεί υπόψη τα ποσά ηλεκτρικής ενέργειας που χρειάστηκαν για την συναρμολόγηση της δεξαμενής του ΥΑΦ όπως και η συντήρηση κατά τη φάση χρησιμοποίησης. Τα δύο παραπάνω κυμαίνονται σε χαμηλά επίπεδα και δεν επηρεάζουν τη μελέτη.

Κεφάλαιο 4 : ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

4.1 Καθορισμός Σκοπού και Στόχου

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η περιβαλλοντική αξιολόγηση φωτοβολταϊκών πλαισίων λεπτού υμένα ως προς τις διαφορετικές κατηγορίες επιδράσεων που ενδέχεται να έχουν στο περιβάλλον. Αυτό που επιδιώχθηκε ήταν η εύρεση της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης που επιφέρει ένα πλαίσιο άμορφου πυριτίου αλλά και ένα σύστημα ΦΒ-ΥΑΦ κατά τη συναρμολόγηση τους, με στόχο την περιβαλλοντική τους αξιολόγηση. Τέλος θα γίνει σύγκριση του συστήματος ΦΒ-ΥΑΦ με το απλό ΦΒ πλαίσιο.

Η λειτουργική μονάδα που ορίζεται για την συγκεκριμένη μελέτη είναι το 1m² επιφάνειας από το κάθε πλαίσιο όπως και για την δεξαμενή του ΥΑΦ. Η φάση λειτουργίας του πλαισίου θεωρείται στην περιοχή των Χανίων και συγκεκριμένα στο Πολυτεχνείο Κρήτης.

4.2 Απογραφή του Κύκλου Ζωής - Life Cycle Inventory (LCI)

Όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο η παρούσα μελέτη είχε ως βάση την απογραφή του κύκλου ζωής του ΦΒ πλαισίου της United Solar η οποία ήταν και η μοναδική για πλαίσιο άμορφου πυριτίου που ήταν διαθέσιμη. Στον πίνακα 4.1 εμφανίζονται τα δεδομένα της IEA με όλα τα υλικά και τις διεργασίες που απαιτούνται για τη συναρμολόγηση ενός ΦΒ πλαισίου άμορφου πυριτίου. Με βάση αυτήν την απογραφή (LCI) έγινε η καλύτερη δυνατή εκτίμηση για το ΦΒ πλαίσιο του εργαστηρίου.

Η βασική διαφορά των δύο πλαισίων εμφανίζεται στο βάρος τους, όπου εκεί 1m² του ΦΒ ASR-128 ζυγίζει περίπου 9,7 kg ενώ αυτό της Sharp είναι περίπου 17 kg. Ο λόγος που συμβαίνει αυτό είναι το γυαλί που υπάρχει στις δύο όψεις του ΦΒ πλαισίου της Sharp και την απουσία γυαλιού από αυτό της United Solar. Έτσι το μόνο που προστέθηκε στην υπάρχουσα απογραφή του κύκλου ζωής για το πλαίσιο της Sharp ήταν το γυαλί μπροστά και πίσω από το ΦΒ που ζύγιζε 8 kg, όπως και το ανάλογο ποσό εναπόθεσης γυαλιού κατά την αποσύνθεσή του.

Επίσης τα μέσα που επιλέχθηκαν για τις μεταφορές, είναι το τρένο από τις χώρες της Ευρώπης μέχρι την Αθήνα και μετά πλοίο έως τα Χανιά όπου είναι και η περιοχή εγκατάστασης. Η μονάδα μέτρησης της μεταφοράς στο SimaPro ήταν τα τονοχιλιόμετρα (tkm), έτσι για κάθε περίπτωση έγινε ο πολλαπλασιασμός των χιλιομέτρων με το βάρος των πλαισίων σε τόνους.

Πίνακας 4.1: Απογραφή του κύκλου ζωής του ΦΒ πλαισίου της United Solar [IEA, 2011]

	Name	Location	Infrastructure Process	Unit	photovoltaic laminate, a- Si, at plant	photovoltaic panel, a-Si, at plant
	Location InfrastructureProcess Unit				US 1 m2	US 1 m2
product	photovoltaic laminate, a-Si, at plant	US	1	m2	1,00E+0	0
	photovoltaic panel, a-Si, at plant	US	1	m2	0	1,00E+0
technosphere	electricity, medium voltage, at grid	US	0	kWh	4,82E+1	-
	light fuel oil, burned in industrial furnace 1MW, non-modulating	RER	0	MJ	5,89E+0	-
infrastructure	photovoltaic panel factory	GLO	1	unit	4,00E-6	-
water	tap water, at user	RER	0	kg	3,97E+1	-
manufacturing	wire drawing, copper	RER	0	kg	6,68E-2	-
	sheet rolling, steel	RER	0	kg	9,64E-1	2,18E+0
materials	photovoltaic laminate, a-Si, at plant	US	1	m2	-	1,00E+0
	aluminium alloy, AlMg3, at plant	RER	0	kg	1,43E-2	3,34E+0
	copper, at regional storage	RER	0	kg	6,68E-2	-
	steel, low-alloyed, at plant	RER	0	kg	9,64E-1	2,18E+0
	brazing solder, cadmium free, at plant	RER	0	kg	2,62E-3	1.5-
	soft solder, Sn97Cu3, at plant	RER	0	kg	9,71E-3	-
	polyethylene, HDPE, granulate, at plant	RER	0	kg	1,10E+0	-
	packaging film, LDPE, at plant	RER	0	kg	3,10E-1	-
	polyvinylfluoride film, at plant	US	0	kg	1,23E-1	-
	glass fibre reinforced plastic, polyamide, injection moulding, at plant	RER	0	kg	3,58E-2	-
	synthetic rubber, at plant	RER	0	kg	6,76E-2	-
coating	silicon tetrahydride, at plant	RER	0	kg	3,58E-3	-
	indium, at regional storage	RER	0	kg	8,94E-4	-
	cadmium telluride, semiconductor-grade, at plant	US	0	kg	8,94E-4	-
	phosphoric acid, fertiliser grade, 70% in H2O, at plant	US	0	kg	7,50E-5	-
auxiliaries	oxygen, liquid, at plant	RER	0	kg	4,85E-4	-
	hydrogen, liquid, at plant	RER	0	kg	2,18E-2	-
packaging	polyethylene, LDPE, granulate, at plant	RER	0	kg	1,84E-2	-
transport	transport, lorry >16t, fleet average	RER	0	tkm	8,49E-3	-
	transport, transoceanic freight ship	OCE	0	tkm	9,07E+0	6,98E+0
	transport, freight, rail	RER	0	tkm	1,50E+0	4,16E+0
disposal	disposal, municipal solid waste, 22.9% water, to municipal incineration	CH	0	kg	3,00E-2	-
	disposal, rubber, unspecified, 0% water, to municipal incineration	CH	0	kg	6,76E-2	-
	disposal, polyvinylfluoride, 0.2% water, to municipal incineration	CH	0	kg	1,23E-1	-

emission air	disposal, plastics, mixture, 15.3% water, to municipal incineration	CH	0	kg	3,46E-1	-
	treatment, glass production effluent, to wastewater treatment, class 2	CH	0	m3	3,97E-2	-
	Heat, waste	-	-	MJ	1,74E+2	-

Η δεξαμενή του ΥΑΦ είναι κατασκευασμένη από γαλβανισμένο χάλυβα και το 1m² της ζυγίζει 65 kg. Η τροποποίηση αυτού του συστήματος και η χρησιμοποίηση του αλουμινίου ως βασικό υλικό θα έκανε την κατασκευή κατά 35 kg ελαφρύτερη. [Νιταδώρας, 2015]

Το ΥΑΦ που τοποθετήθηκε στο εσωτερικό της δεξαμενής ήταν η παραφίνη και η βέλτιστη τιμή της βρέθηκε να είναι 10,88 kg για το 1m². [Κοκκάλης-Μελάς, 2015]

Ακόμα λάβαμε υπόψη και την μεταφορά της δεξαμενής χωρίς το ΥΑΦ από το Ηράκλειο που κατασκευάστηκε για τα Χανιά με τη βοήθεια φορτηγού.

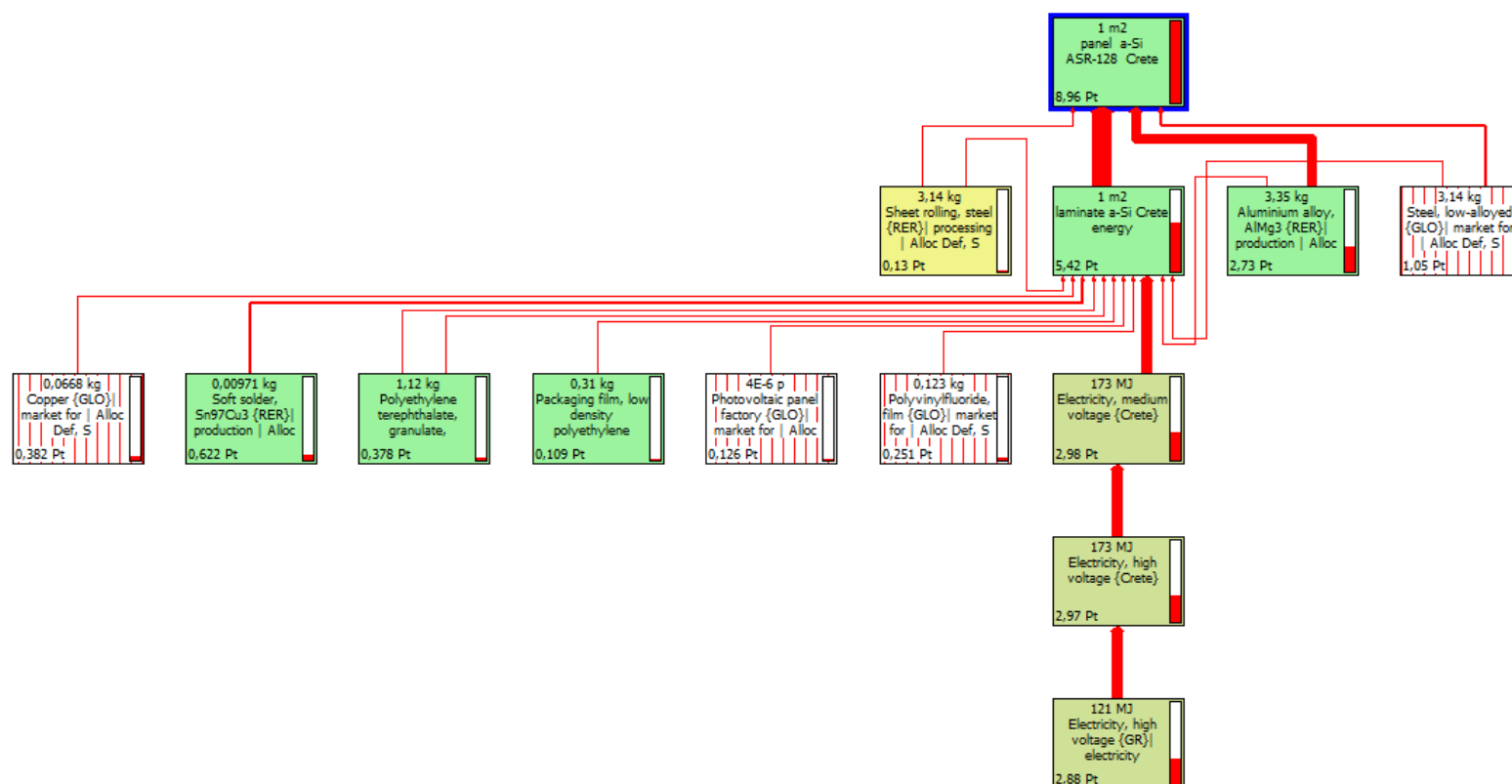
4.3 Ανάλυση Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων

Στην παρούσα ενότητα θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα της ανάλυσης που πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια του λογισμικού SimaPro. Στην συγκεκριμένη εργασία θα παρουσιαστούν οι επιβαρύνσεις που προκαλούνται από τα ΦΒ που μελετάμε κατά τη συναρμολόγησή τους, σε διάφορες κατηγορίες επίδρασης και βλάβης αλλά και τα ποσά διοξειδίου που εκλύονται για όλα τα σενάρια που υποθέσαμε.

4.3.1 Φωτοβολταϊκό πλαίσιο United Solar ASR-128

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης του SimaPro, με τα διαγράμματα ροής περιβαλλοντικών φορτίων για το ΦΒ πλαίσιο της United Solar όπου εμφανίζεται το 99,12 % (cut – off=0,88%) από αυτά που το επηρεάζουν.

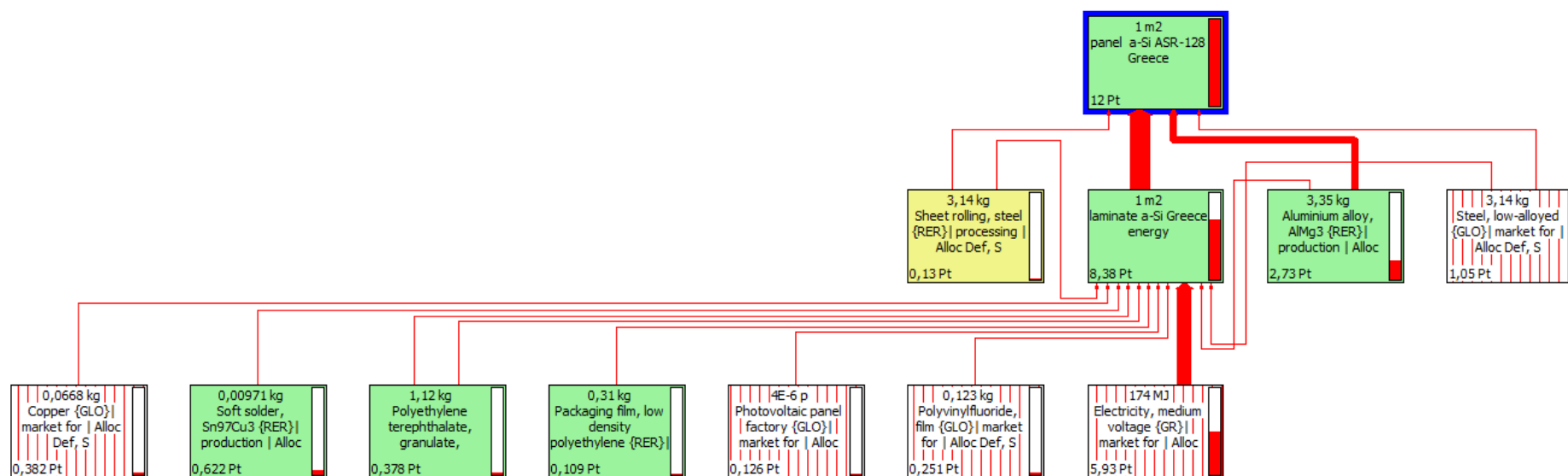
Σενάριο 1^ο : Συναρμολόγηση στην Κρήτη



Διάγραμμα 4.1: Διάγραμμα ροής περιβαλλοντικών φορτίων για συναρμολόγηση του ΦΒ ASR-128 στην Κρήτη

² Όπου 1Pt ισούται με το 1/1000 του συνολικού ετήσιο περιβαλλοντικού φορτίου ενός μέσου Ευρωπαίου πολίτη

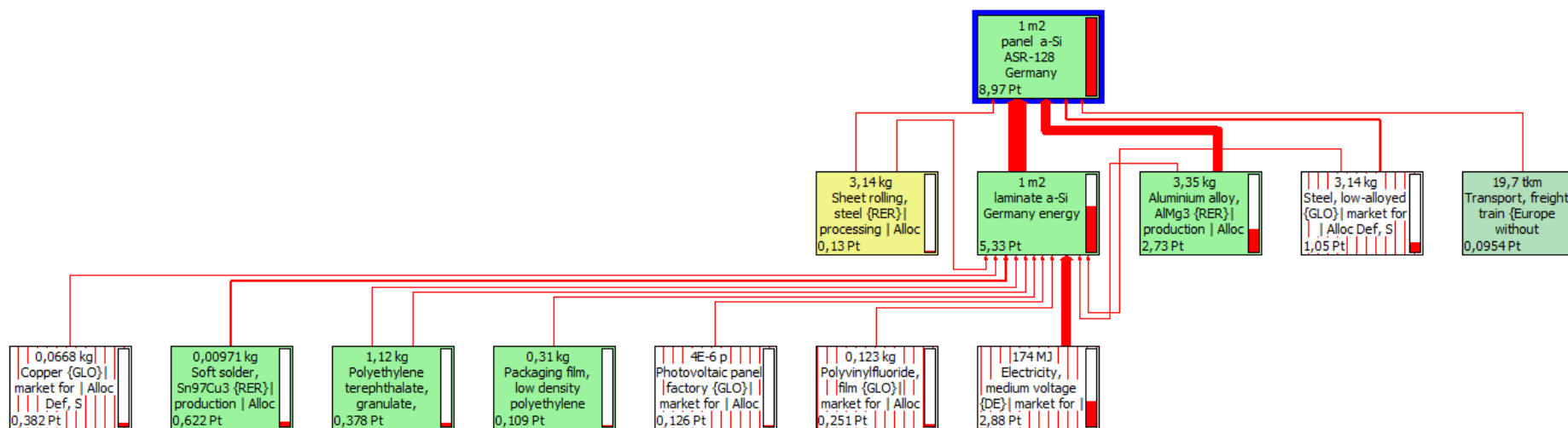
Σενάριο 2^ο : Συναρμολόγηση στην ηπειρωτική Ελλάδα



³Διάγραμμα 4.2: Διάγραμμα ροής περιβαλλοντικών φορτίων για συναρμολόγηση του ΦΒ ASR-128 στην ηπειρωτική Ελλάδα

³ Όπου 1Pt ισούται με το 1/1000 του συνολικού ετήσιο περιβαλλοντικού φορτίου ενός μέσου Ευρωπαίου πολίτη

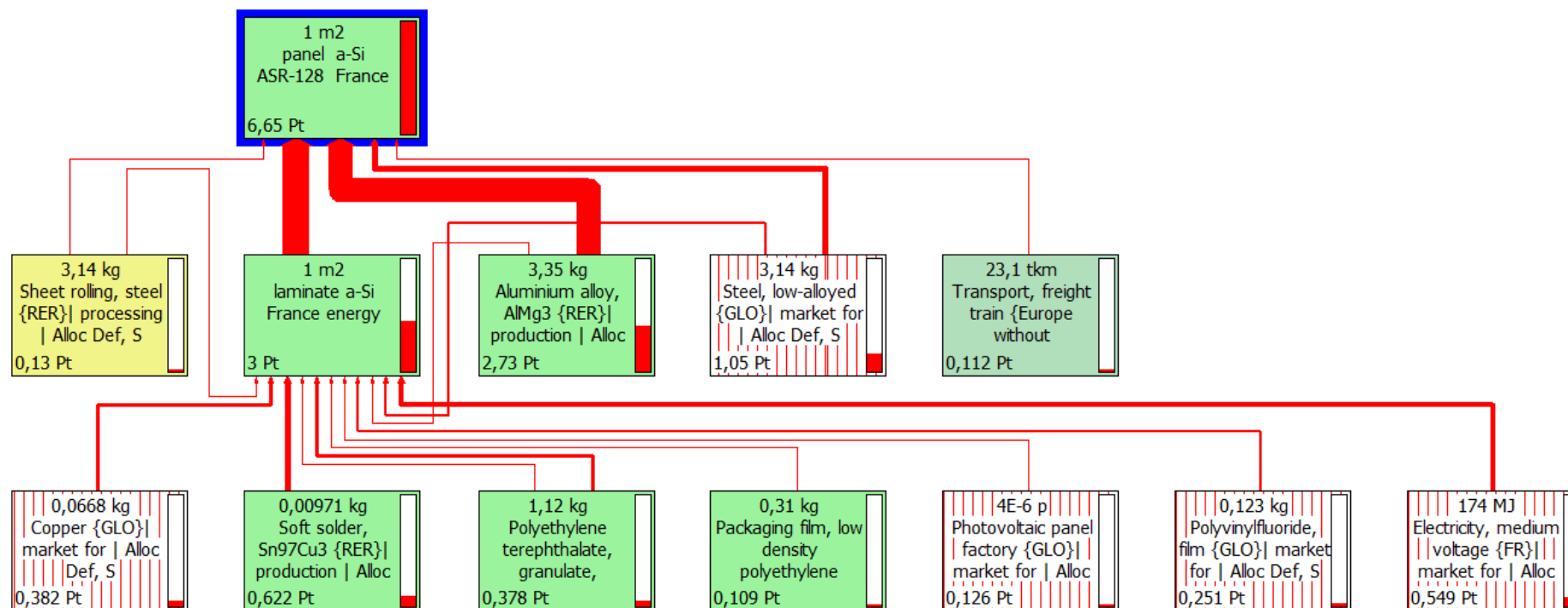
Σενάριο 3^ο : Συναρμολόγηση στην Γερμανία



⁴Διάγραμμα 4.3: Διάγραμμα ροής περιβαλλοντικών φορτίων για συναρμολόγηση του ΦΒ ASR-128 στην Γερμανία

⁴ Όπου 1Pt ισούται με το 1/1000 του συνολικού ετήσιο περιβαλλοντικού φορτίου ενός μέσου Ευρωπαίου πολίτη

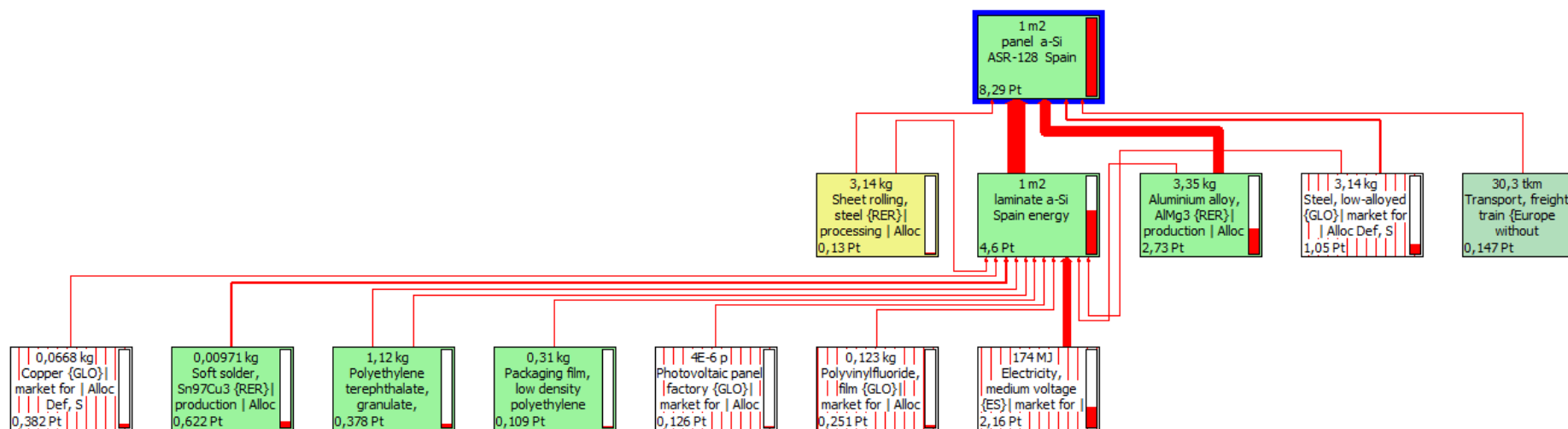
Σενάριο 4^ο : Συναρμολόγηση στην Γαλλία



Διάγραμμα 4.4: Διάγραμμα ροής περιβαλλοντικών φορτίων για συναρμολόγηση του ΦΒ ASR-128 στην Γαλλία

⁵ Όπου 1Pt ισούται με το 1/1000 του συνολικού ετήσιο περιβαλλοντικού φορτίου ενός μέσου Ευρωπαίου πολίτη

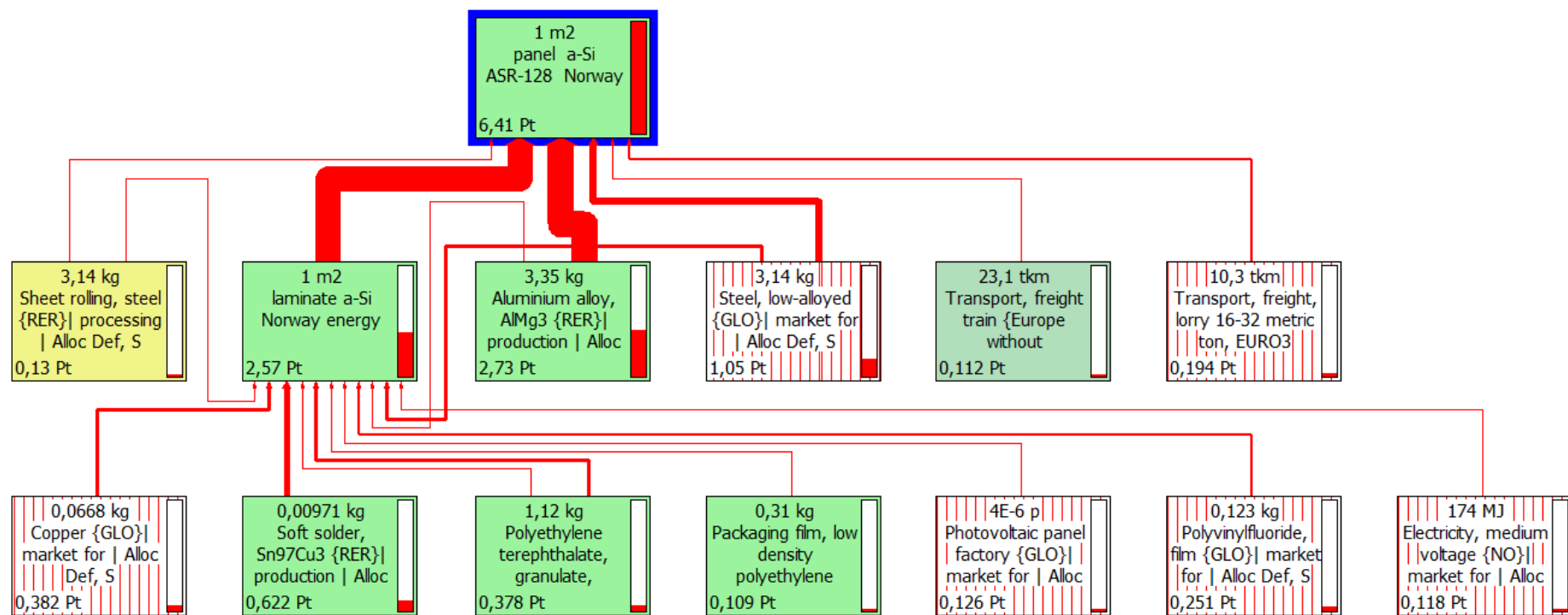
Σενάριο 5^ο : Συναρμολόγηση στην Ισπανία



⁶Διάγραμμα 4.5: Διάγραμμα ροής περιβαλλοντικών φορτίων για συναρμολόγηση του ΦΒ ASR-128 στην Ισπανία

⁶ Όπου 1Pt ισούται με το 1/1000 του συνολικού ετήσιο περιβαλλοντικού φορτίου ενός μέσου Ευρωπαίου πολίτη

Σενάριο 6° : Συναρμολόγηση στην Νορβηγία



Διάγραμμα 4.6: Διάγραμμα ροής περιβαλλοντικών φορτίων για συναρμολόγηση του ΦΒ ASR-128 στη Νορβηγία

⁷ Όπου 1Pt ισούται με το 1/1000 του συνολικού ετήσιο περιβαλλοντικού φορτίου ενός μέσου Ευρωπαίου πολίτη

Βρίσκοντας τα δεδομένα που εμφανίζονται στον πίνακα 4.1 στη βάση δεδομένων του λογισμικού SimaPro κατασκευάστηκε στην αρχή το φύλλο πυριτίου (Laminate) το οποίο χρησιμοποιήθηκε στη συνέχεια σαν υλικό για το πλαίσιο, όπως φαίνεται στα παραπάνω διαγράμματα. Στα διαγράμματα εμφανίζονται οι εισροές που επηρεάζουν το 99,12% του συνολικού περιβαλλοντικού φορτίου. Κάθε εισροή στα δεξιά της έχει μια στήλη η οποία δείχνει το περιβαλλοντικό φορτίο της, σε σχέση με τη συνολική επιβάρυνση που έχει στο τελικό προϊόν. Όσο πιο υψηλή τιμή έχει τόσο μεγαλύτερο είναι και το περιβαλλοντικό φορτίο. Το ίδιο συμβαίνει και με τις γραμμές ροής όπου όσο πιο παχιές είναι τόσο μεγαλύτερο φορτίο μεταφέρουν.

Στο φύλλο πυριτίου εμφανίζονται οι παρακάτω εισροές σε όλες τις περιπτώσεις:

- 1) Χαλκός (Copper) με φορτίο 0,382 Pt
- 2) Μαλακές συγκολλήσεις (soft solder) με φορτίο 0,622 Pt
- 3) Πολυαιθυλένιο (polyethylene) με φορτίο 0,378 Pt
- 4) Συσκευασία φιλμ (packaging film) με φορτίο 0,109 Pt
- 5) Εργοστάσιο ΦΒ πλαισίου (photovoltaic panel factory) με φορτίο 0,126 Pt
- 6) Φιλμ φθοριούχου πολυβινυλίου (polyvinylfluoride film) με φορτίο 0,251 Pt
- 7) Μέση τάση ηλεκτρικής ενέργειας

Η τιμή της μέσης τάσης της ηλεκτρικής ενέργειας αλλάζει για κάθε σενάριο και είναι η κύρια υπεύθυνη για τις διαφορές που υπάρχουν μεταξύ των σεναρίων.

Για το ΦΒ πλαίσιο παίρνουμε το φύλλο πυριτίου που κατασκευάστηκε και προστίθενται τα απαραίτητα υλικά με βάση των πίνακα 4.1. Παρατηρείτε στα διαγράμματα τα ότι κάποια υλικά έχουν γραμμή ροής και στο φύλλο πυριτίου αλλά εμφανίζονται μόνο μια φορά, εκεί που έχουν τη μεγαλύτερη επίδραση με το συνολικό τους φορτίο. Τα υλικά που επηρεάζουν το 99,12% του ΦΒ πλαίσιο είναι:

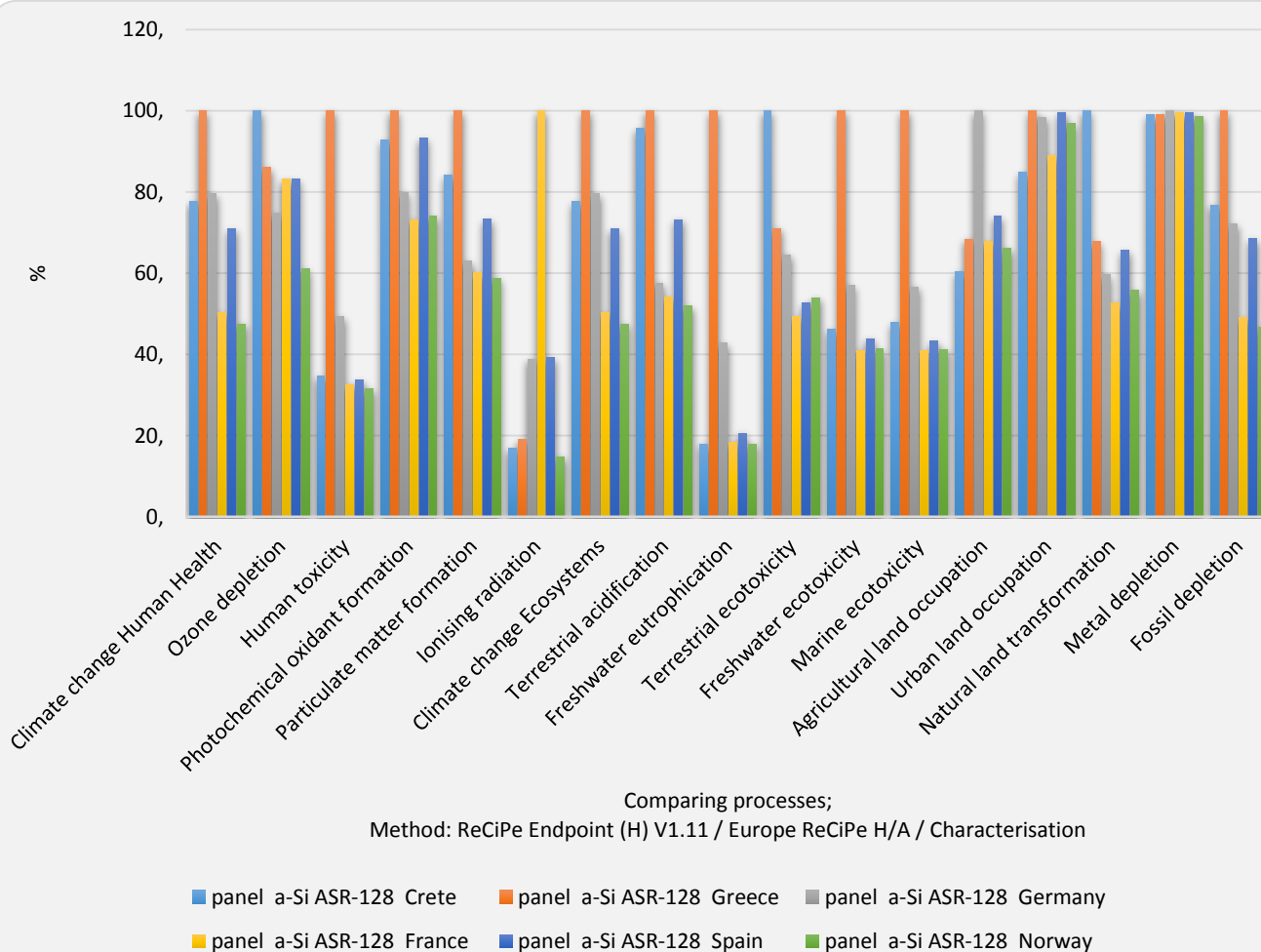
- 1) Φύλλο χάλυβα (sheet rolling, steel) με συνολικό φορτίο 0,13 Pt
- 2) Φύλλο πυριτίου (Laminate) με φορτίο 5,33 Pt
- 3) Κράμα αλουμινίου (aluminium alloy) με συνολικό φορτίο 2,73 Pt
- 4) Χαμηλό κράμα χάλυβα (steel, low-alloyed) με συνολικό φορτίο 1,05 Pt
- 5) Μεταφορά

Ακόμα μια μεταβλητή που αλλάζει ανάλογα με το σενάριο που μελετάτε κάθε φορά, είναι η μεταφορά που απαιτείται από την χώρα συναρμολόγησης στην περιοχή εγκατάστασης, που είναι η Κρήτη.

Με μια πρώτη ματιά βγαίνει το συμπέρασμα ότι στην ηπειρωτική Ελλάδα έχουμε τη μεγαλύτερη περιβαλλοντική επιβάρυνση ενώ στη Νορβηγία τη λιγότερη. Παρατηρήθηκε ότι η Κρήτη, η ηπειρωτική Ελλάδα και η Γερμανία διαθέτουν το μεγαλύτερο φορτίο στις απαιτήσεις ενέργειας, συγκεκριμένα στη μέση τάση της ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτείται για την συναρμολόγηση του φύλλου άμορφου πυριτίου. Για την Κρήτη και την Γερμανία το φορτίο επιρροής της ηλεκτρικής ενέργειας κυμαίνεται στα 2,98 και 2,88 Pt αντίστοιχα ενώ για την ηπειρωτική Ελλάδα φτάνει τα 5,93 Pt όπου είναι η μεγαλύτερη τιμή που εμφανίζεται. Να σημειωθεί ότι η εναπόθεση όλων των μελών του πλαισίου μετά τη φάσης λειτουργίας δεν επηρεάζει άμεσα το περιβαλλοντικό φορτίο γι' αυτό και δεν εμφανίζεται στα διαγράμματα ροής.

Τέλος μικρό είναι και το ποσοστό των μεταφορών που έχουν προστεθεί όπου χρειαζόταν όπως φαίνεται στα διαγράμματα ροής.

Στο διάγραμμα 4.7 του χαρακτηρισμού των δεδομένων της απογραφής παρατηρούμε τη σχετική συμβολή των ουσιών που εκλύονται στις κατηγορίες επιπτώσεων. Κατά τη συναρμολόγηση του ΦΒ πλαισίου ή την εξόρυξη των πρώτων υλών που απαιτούνται, διάφορες ουσίες όπως π.χ. το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) εκλύονται προς το περιβάλλον με την κάθε μια να έχει διαφορετική επίπτωση στην κάθε κατηγορία. Για κάθε ουσία το SimaPro έχει ένα συντελεστή που εκφράζει τη σχετική συμβολή της ουσίας στην εκάστοτε κατηγορία και έτσι παίρνουμε το διάγραμμα του χαρακτηρισμού.



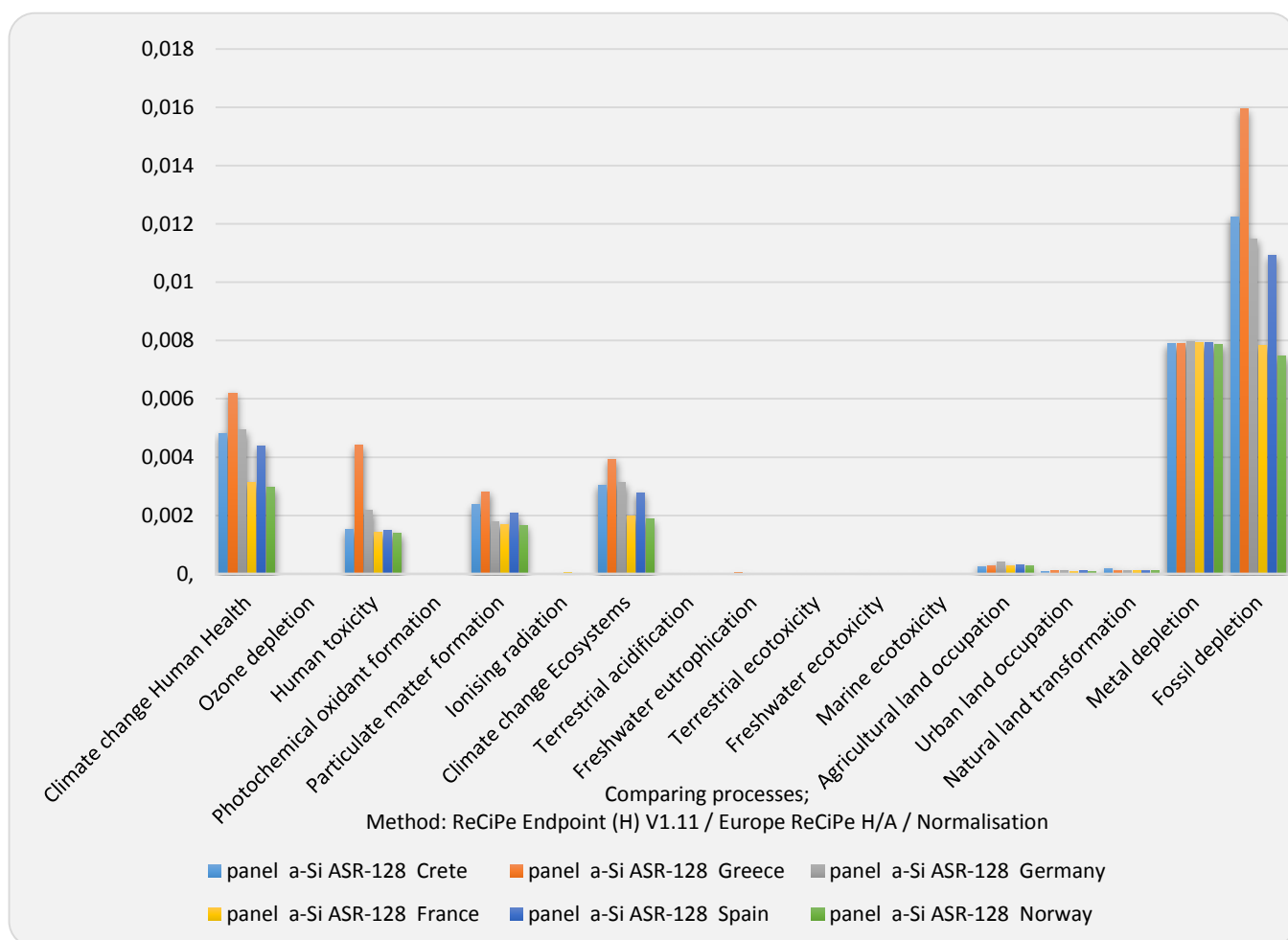
Διάγραμμα 4.7: Γράφημα χαρακτηρισμού

Ακολουθεί το διάγραμμα 4.8 της κανονικοποίησης των αποτελεσμάτων ανά κατηγορία επίδρασης όπου δίνεται η δυνατότητα σύγκρισης αυτών με καθορισμένο σημείο αναφοράς. Συνηθέστερο είναι αυτό της μέσης ετήσιας επιβάρυνσης του περιβάλλοντος σε μια χώρα ή ήπειρο διαιρώντας κάθε φορά με τον αντίστοιχο αριθμό κατοίκων, ώστε όλοι οι δείκτες να έχουν κοινή μονάδα μέτρησης.

Με τη βοήθεια των διαγραμμάτων 4.7 και 4.8 του χαρακτηρισμού και της κανονικοποίησης αντίστοιχα παρατηρούμε ότι οι έξι κατηγορίες που επηρεάζονται άμεσα από τη συναρμολόγηση του ΦΒ πλαισίου είναι:

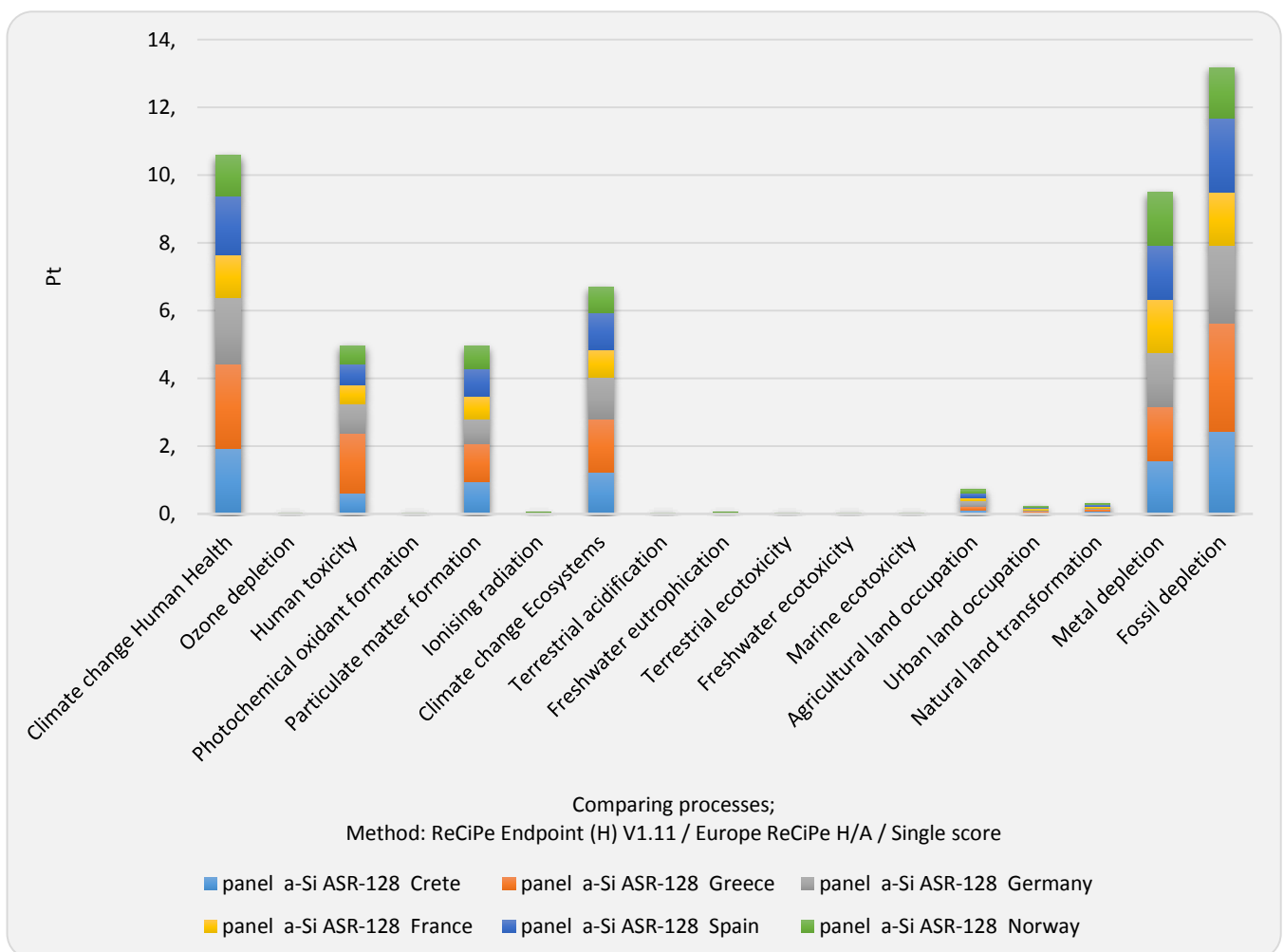
- η μείωση των καυσίμων (Fossil depletion)
- η εξάντληση των πόρων (Metal depletion)
- η κλιματική αλλαγή σε σχέση με την ανθρώπινη υγεία (Climate change Human Health)
- η κλιματική αλλαγή σε σχέση με τα οικοσυστήματα (Climate change ecosystems)
- τα μικρά σωματίδια (Particulate matter formation) και
- η ανθρώπινη τοξικότητα (Human toxicity).

Η επίδραση στις περισσότερες κατηγορίες για την Κρήτη, την ηπειρωτική Ελλάδα και τη Γερμανία οφείλεται κυρίως στην κατανάλωση υλικών για την παραγωγή ενέργειας ενώ στις άλλες τρεις περιοχές κυρίως από το κράμα αλουμινίου που χρησιμοποιείται. Να σημειωθεί ότι επηρεάζονται και οι υπόλοιπες κατηγορίες επιπτώσεων αλλά σε μικρότερο βαθμό όπως προκύπτει και από τα δεδομένα στους πίνακες του Παραρτήματος (Π-1 και Π-2).



Διάγραμμα 4.8: Κανονικοποίηση ανά κατηγορία επίδρασης

Τέλος παραθέτουμε το διάγραμμα 4.9 των συνολικών επιπτώσεων ανά κατηγορία επίδρασης από το SimaPro για όλα τα σενάρια. Στον πίνακα 4.3 παρατίθενται αναλυτικά τα αποτελέσματα σε Pt για τις έξι κατηγορίες που έχουν μεγαλύτερη επίδραση. Οι κατηγορίες εξάντλησης των πόρων, σχηματισμός σωματιδίων και επίδραση της κλιματικής αλλαγής στα οικοσυστήματα δεν έχουμε μεγάλες διακυμάνσεις ενώ οι άλλες τρεις κατηγορίες έχουμε μεγαλύτερες. Αυτό οφείλεται γιατί σε αυτές τις κατηγορίες το κύριο φορτίο έρχεται από το ενεργειακό μίγμα που χρησιμοποιεί κάθε περιοχή. Επίσης η κατηγορία των συνολικών επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής σε σχέση με την ανθρώπινη υγεία έχει μεγαλύτερη τιμή από την εξάντληση των πόρων κάτι που δεν φαινόταν στα άλλα δύο διαγράμματα.

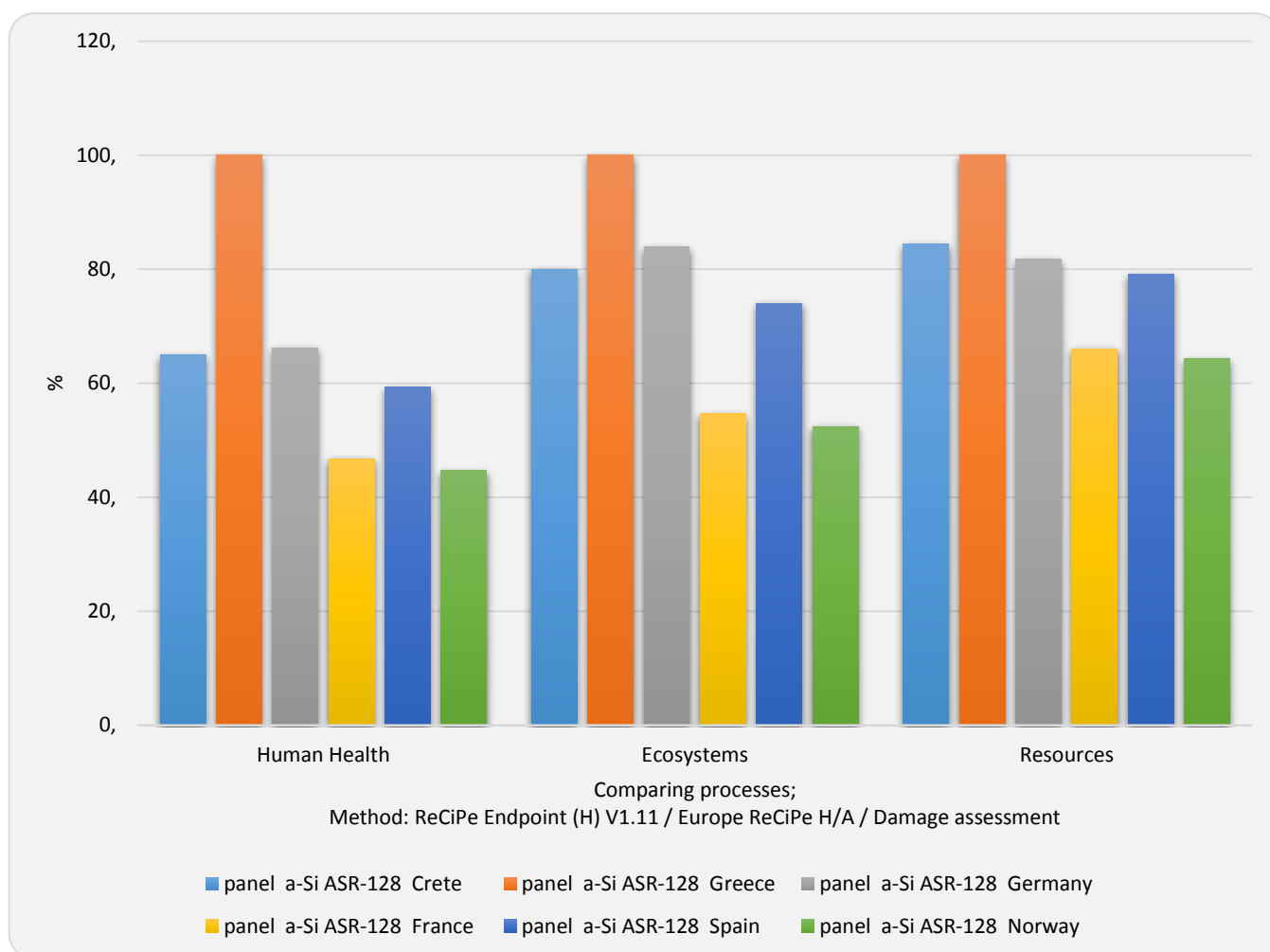


Διάγραμμα 4.9: Συνολικές επιπτώσεις ανά κατηγορία επίδρασης

Πίνακας 4.2: Αναλυτικά τα αποτελέσματα σε Pt από τις κατηγορίες με τη μεγαλύτερη επίδραση

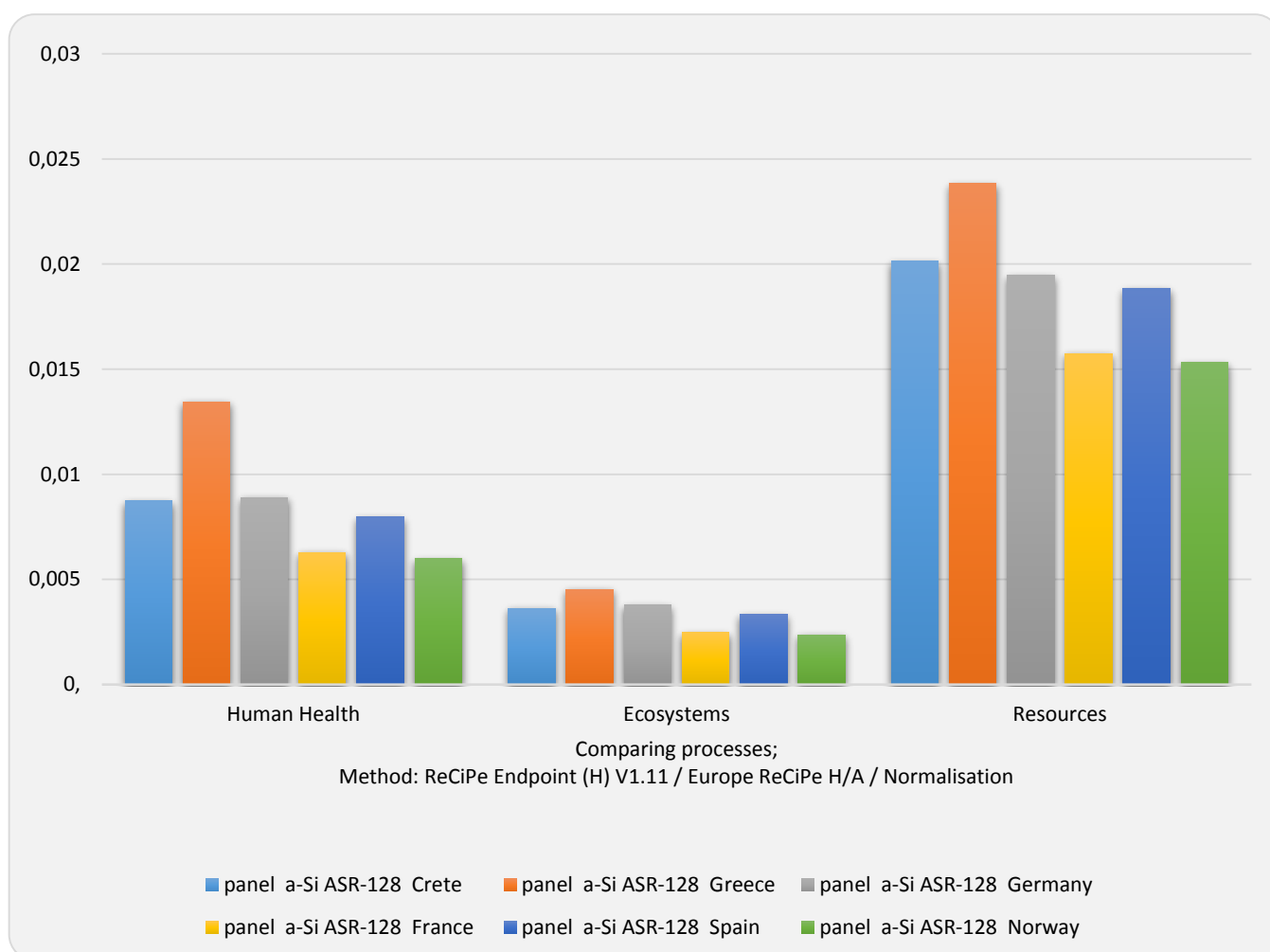
ΦΒ ASR-128	Climate change Human Health	Human toxicity	Particulate matter formation	Climate change Ecosystems	Metal depletion	Fossil depletion
Κρήτη	1,9272	0,6109	0,9486	1,2194	1,5782	2,4482
Ηπειρωτική Ελλάδα	2,4835	1,7618	1,1268	1,5714	1,5789	3,1889
Γερμανία	1,9751	0,8693	0,7096	1,2497	1,5945	2,2995
Γαλλία	1,248	0,5716	0,6779	0,7896	1,5856	1,5642
Ισπανία	1,7592	0,5939	0,8264	1,113	1,586	2,1825
Νορβηγία	1,1798	0,5554	0,6623	0,7465	1,5738	1,4926

Απ' τα διαγράμματα 4.10 και 4.12 της αξιολόγησης βλαβών ανά κατηγορία και του συνολικού αποτελέσματος ανά κατηγορία βλάβης αντίστοιχα βλέπουμε ότι η ηπειρωτική Ελλάδα είναι πρώτη και στις τρεις κατηγορίες βλαβών. Στην κατηγορία της ανθρώπινης υγείας παρατηρείτε η μεγαλύτερη διαφορά με τα υπόλοιπα σενάρια ενώ στην ποιότητα του οικοσυστήματος και τους πόρους οι διαφορές μεταξύ των σεναρίων είναι μικρότερες. Αυτό οφείλεται στη χρησιμοποίηση των ίδιων υλικών από τη βάση δεδομένων για όλα τα σενάρια και στο μη υπολογισμό των μεταφορών των πρώτων υλών στην εκάστοτε χώρα από τη χώρα παραγωγής. Βέβαια όπως ήταν αναμενόμενο οι περιοχές με τα μικρότερα ποσοστά είναι η Γαλλία και η Νορβηγία διότι είναι λιγότερο ρυπογόνο το ενεργειακό μίγμα που χρησιμοποιούν.

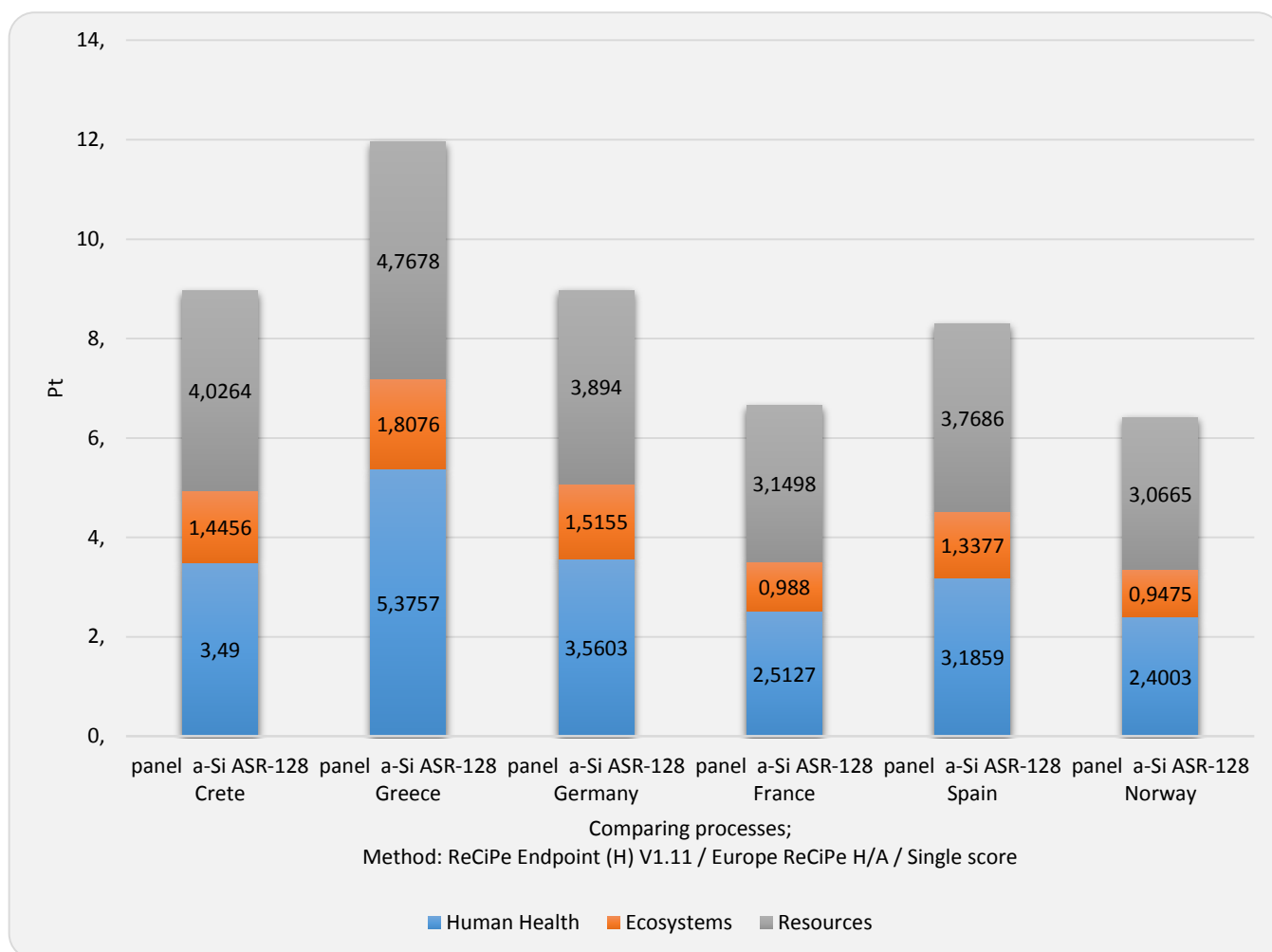


Διάγραμμα 4.10: Αξιολόγηση βλαβών ανά κατηγορία

Στο διάγραμμα της κανονικοποίησης των βλαβών μεγάλες τιμές διαπιστώνονται στην κατηγορία των πόρων (resources) και μικρότερες στις άλλες δύο κατηγορίες. Από αυτό βγαίνει το συμπέρασμα ότι η κατηγορία της μείωσης των πόρων επιβαρύνεται περισσότερο σε σχέση με τις άλλες δύο κατηγορίες. Αυτό φαίνεται καλύτερα στο τελευταίο διάγραμμα των τελικών αποτελεσμάτων ανά κατηγορία βλάβης όπου για όλα τα σενάρια εκτός αυτό της ηπειρωτικής Ελλάδας η κατηγορία των πόρων έχει μεγαλύτερες τιμές.



Διάγραμμα 4.11: Κανονικοποίηση ανά κατηγορία βλαβών



Διάγραμμα 4.12: Συνολικά αποτελέσματα ανά κατηγορία βλάβης

Τέλος εκτός από τις κατηγορίες επίδρασης και βλάβης που είδαμε παραπάνω, με τη βοήθεια της δεύτερης μεθόδου που χρησιμοποιήθηκε (IPCC 2013 GWP) βρέθηκαν τα ποσά διοξειδίου που εκλύονται κατά τη συναρμολόγηση του πλαισίου που μελετάτε. Τα αποτελέσματα όπως εμφανίζονται στον πίνακα 4.3 δεν έχουν διαφορές με τα παραπάνω αφού η ηπειρωτική Ελλάδα και εδώ έχει τα μεγαλύτερα ποσά CO₂ ενώ η Νορβηγία τα λιγότερα.

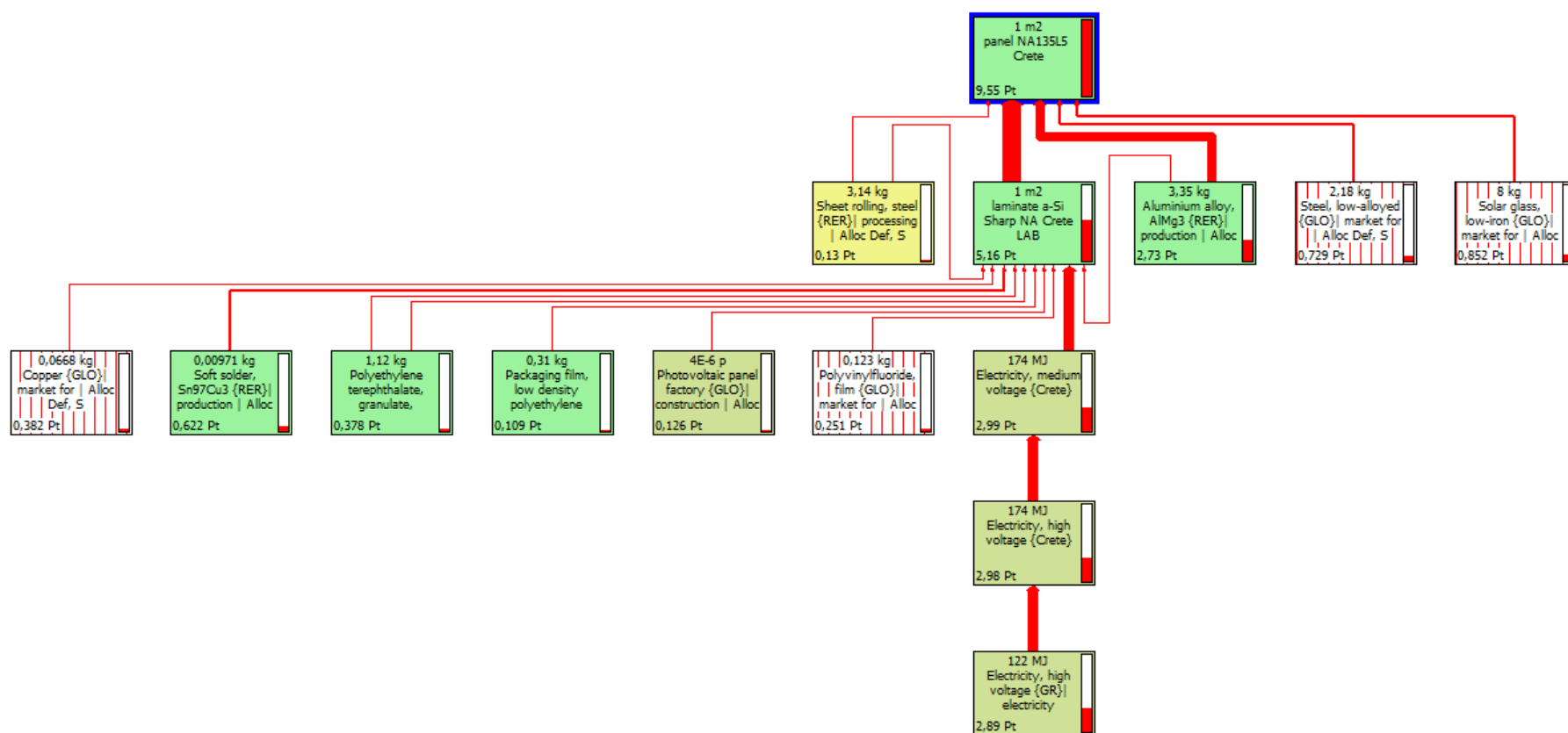
Πίνακας 4.3: Ποσά CO₂ του πλαισίου ASR-128 για όλα τα σενάρια

Σενάρια	Κρήτη	Ηπειρωτική Ελλάδα	Γερμανία	Γαλλία	Ισπανία	Νορβηγία
ΦΒ ASR-128 (kg CO₂ eq)	70	90,2	71,9	45,6	64,1	43,1

4.3.2 Φωτοβολταϊκό πλαίσιο Sharp NA135L5

Στη συνέχεια παρατίθενται τα διαγράμματα ροής περιβαλλοντικών φορτίων για το ΦΒ πλαίσιο της Sharp NA135L5 του εργαστηρίου μας, όπου εμφανίζεται το 99,12 % (cut – off=0,88%) από αυτά που το επηρεάζουν.

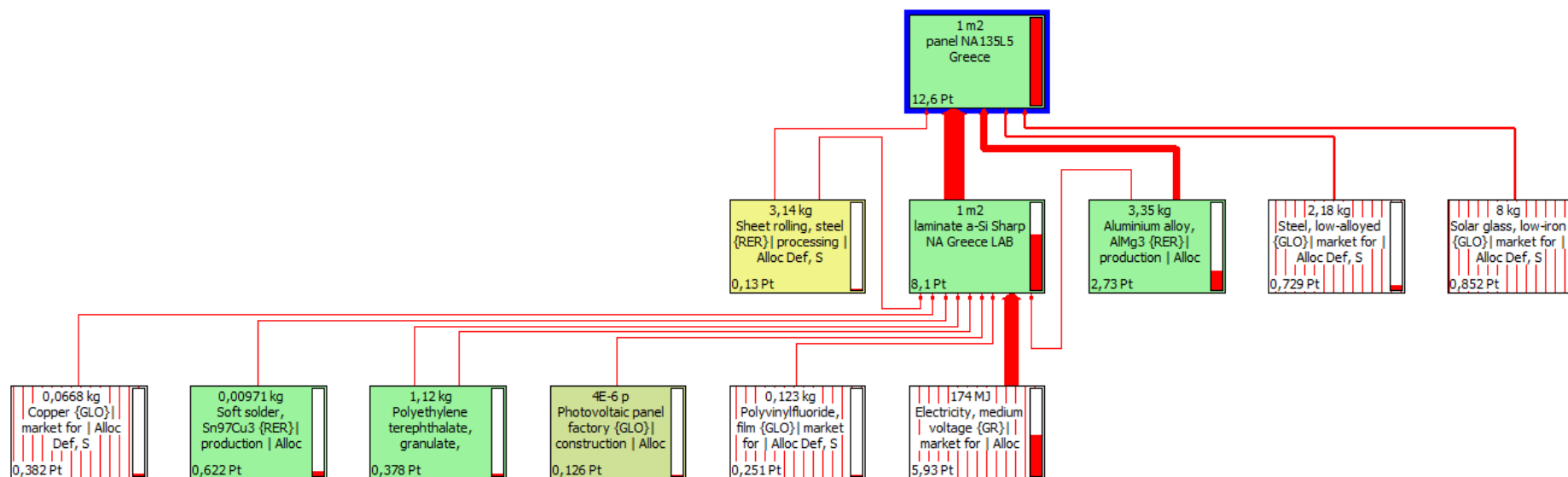
Σενάριο 1^ο Συναρμολόγηση στην Κρήτη



⁸Διάγραμμα 4.13: Διάγραμμα ροής περιβαλλοντικών φορτίων για συναρμολόγηση του ΦΒ NA135L5 στην Κρήτη

⁸ Όπου 1Pt ισούται με το 1/1000 του συνολικού ετήσιο περιβαλλοντικού φορτίου ενός μέσου Ευρωπαίου πολίτη

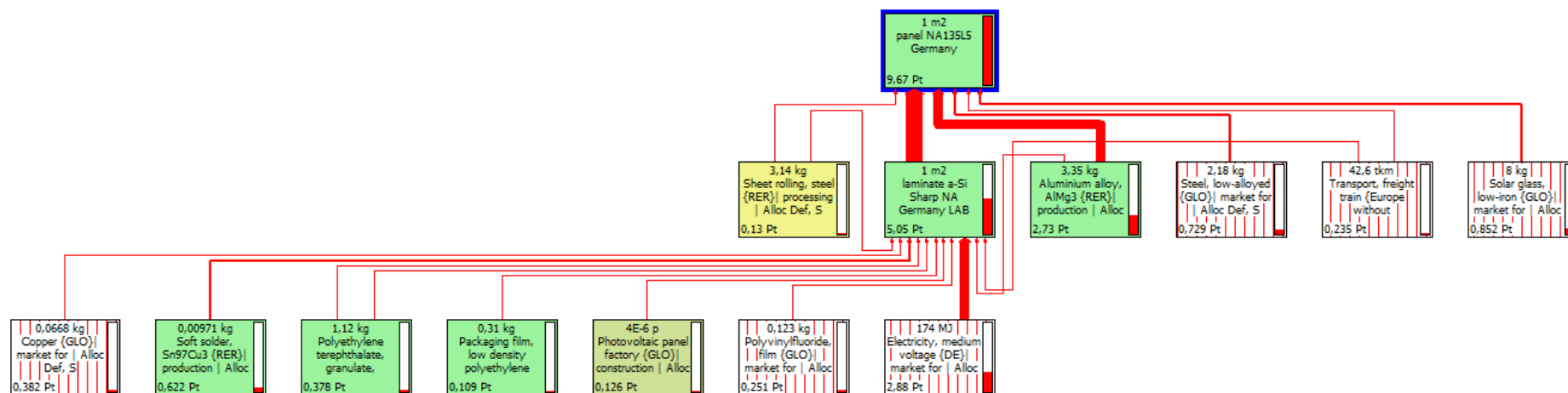
⁹Σενάριο 2^ο Συναρμολόγηση στην ηπειρωτική Ελλάδα



Διάγραμμα 4.14: Διάγραμμα ροής περιβαλλοντικών φορτίων για συναρμολόγηση του ΦB NA135L5 στην ηπειρωτική Ελλάδα

⁹ Όπου 1Pt ισούται με το 1/1000 του συνολικού ετήσιο περιβαλλοντικού φορτίου ενός μέσου Ευρωπαίου πολίτη

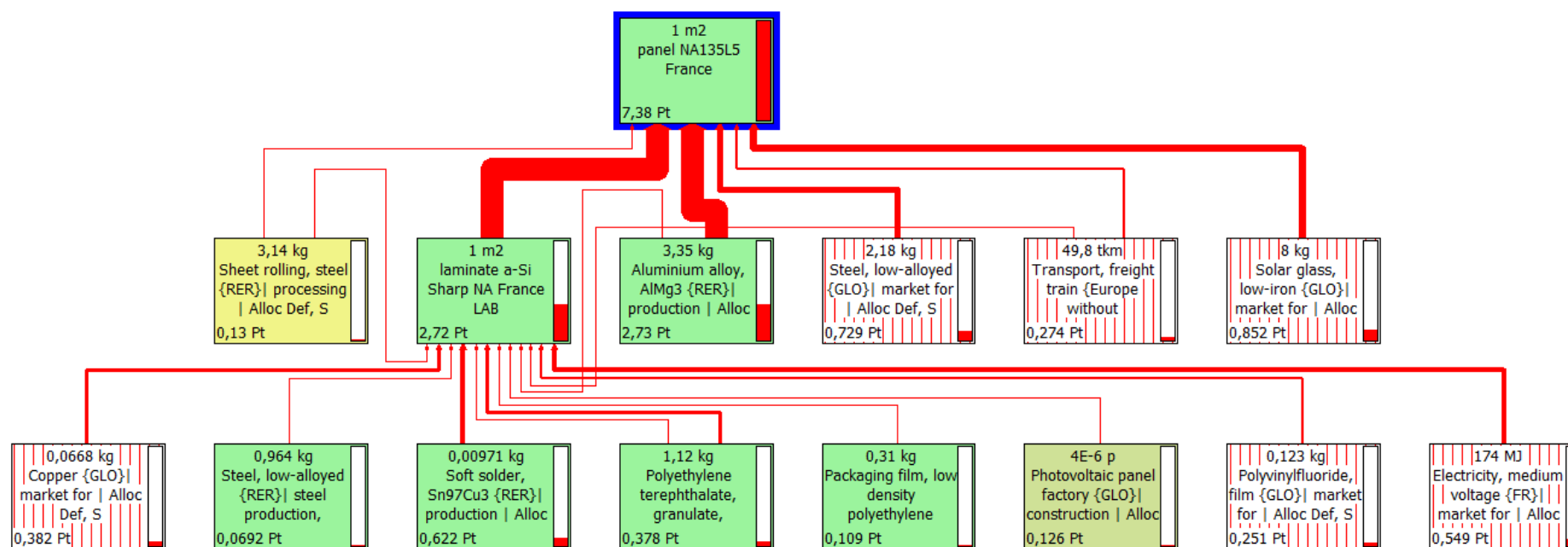
¹⁰Σενάριο 3^ο Συναρμολόγηση στην Γερμανία



Διάγραμμα 4.15: Διάγραμμα ροής περιβαλλοντικών φορτίων για συναρμολόγηση του ΦΒ NA135L5 στην Γερμανία

¹⁰ Όπου 1Pt ισούται με το 1/1000 του συνολικού ετήσιο περιβαλλοντικού φορτίου ενός μέσου Ευρωπαίου πολίτη

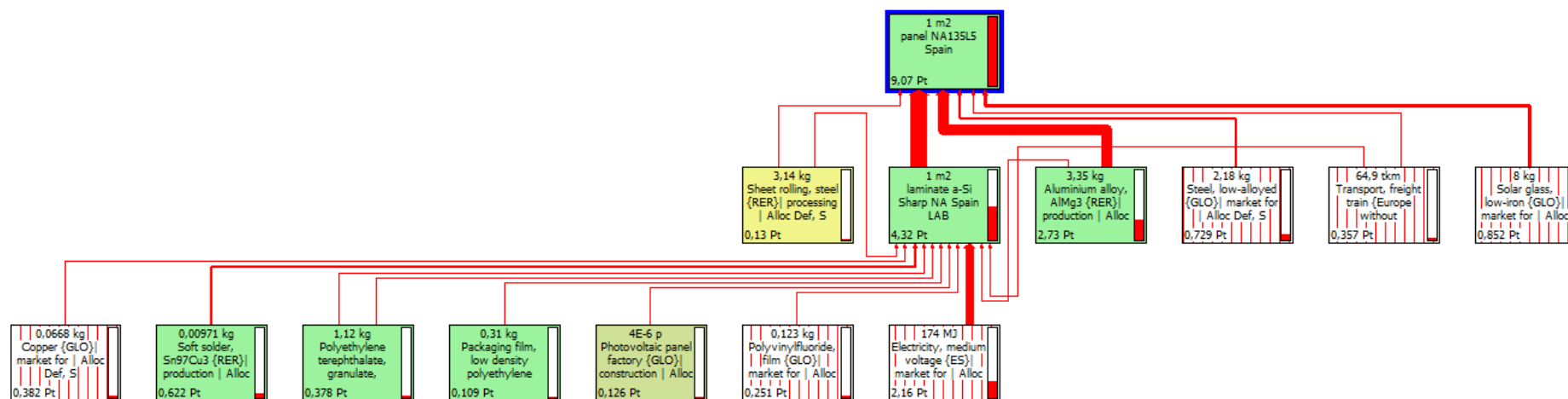
Σενάριο 4^ο Συναρμολόγηση στην Γαλλία



¹¹Διάγραμμα 4.16: Διάγραμμα ροής περιβαλλοντικών φορτίων για συναρμολόγηση του ΦΒ NA135L5 στην Γαλλία

¹¹ Όπου 1Pt ισούται με το 1/1000 του συνολικού ετήσιο περιβαλλοντικού φορτίου ενός μέσου Ευρωπαίου πολίτη

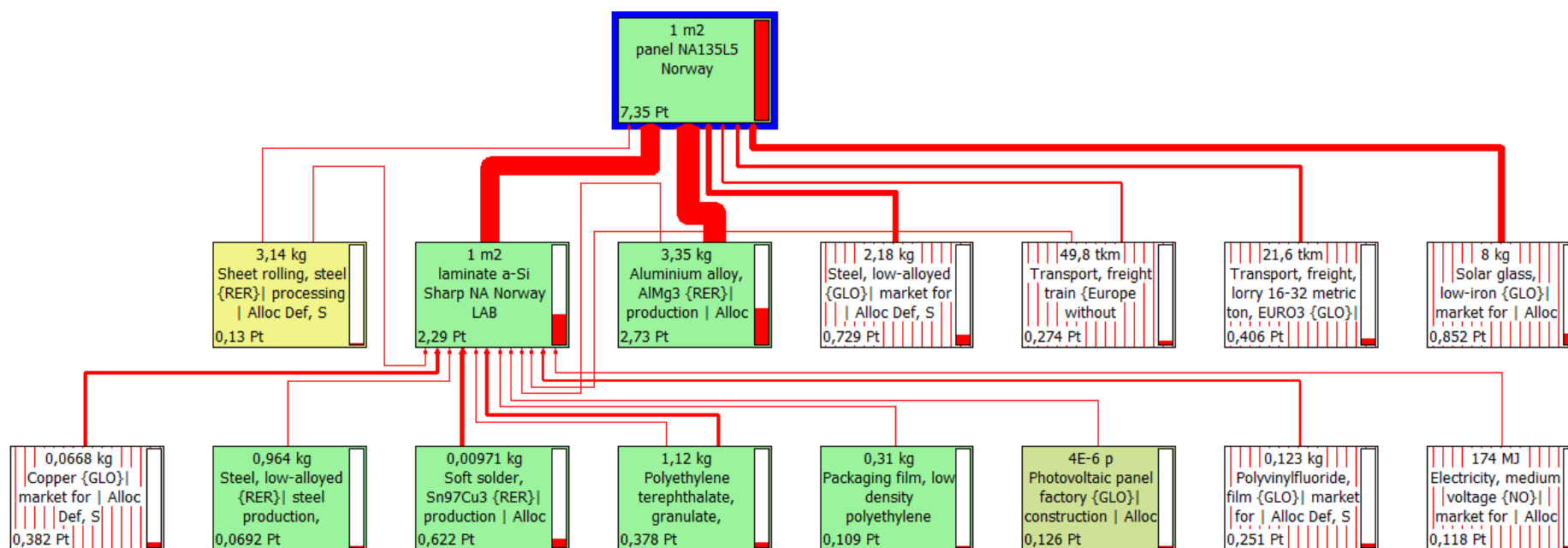
¹²Σενάριο 5^ο Συναρμολόγηση στην Ισπανία



Διάγραμμα 4.17: Διάγραμμα ροής περιβαλλοντικών φορτίων για συναρμολόγηση του ΦΒ NA135L5 στην Ισπανία

¹² Όπου 1Pt ισούται με το 1/1000 του συνολικού ετήσιο περιβαλλοντικού φορτίου ενός μέσου Ευρωπαίου πολίτη

¹³Σενάριο 6° Συναρμολόγηση στην Νορβηγία



Διάγραμμα 4.18: Διάγραμμα ροής περιβαλλοντικών φορτίων για συναρμολόγηση του ΦΒ NA135L5 στην Νορβηγία

¹³ Όπου 1Pt ισούται με το 1/1000 του συνολικού ετήσιο περιβαλλοντικού φορτίου ενός μέσου Ευρωπαίου πολίτη

Για να κατασκευαστεί το πλαίσιο της Sharp στο λογισμικό SimaPro χρησιμοποιήθηκε σαν βάση η απογραφή του κύκλου ζωής του πλαισίου της United Solar. Εκεί αφαιρέθηκε το λεπτό πλαστικό γυαλί που υπήρχε και προστέθηκε το ηλιακό γυαλί που ζύγιζε 8 kg. Όπως και προηγουμένως στα δεξιά κάθε εισροής υπάρχει η στήλη που μας δείχνει το περιβαλλοντικό φορτίο σε σχέση με τη συνολική επιβάρυνση που έχει στο τελικό προϊόν. Όσο πιο υψηλή τιμή έχει τόσο μεγαλύτερο το περιβαλλοντικό φορτίο του. Το ίδιο συμβαίνει και με τις γραμμές ροής όπου όσο πιο παχιές είναι τόσο μεγαλύτερο το περιβαλλοντικό φορτίο.

Το 99,12% της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης για το φύλλο πυριτίου εμφανίζει τις εξής εισροές:

- 1) Χαλκός (Copper) με φορτίο 0,382 Pt
- 2) Μαλακές συγκολλήσεις (soft solder) με φορτίο 0,622 Pt
- 3) Πολυαιθυλένιο (polyethylene) με φορτίο 0,378 Pt
- 4) Συσκευασία φιλμ (packaging film) με φορτίο 0,109 Pt
- 5) Εργοστάσιο πλαισίου (photovoltaic panel factory) με φορτίο 0,126 Pt
- 6) Φιλμ φθοριούχου πολυβινυλίου (polyvinylfluoride film) με φορτίο 0,251 Pt
- 7) Μέση τάση ηλεκτρικής ενέργειας

Η τιμή της μέση τάση της ηλεκτρικής ενέργειας παραμένει στα ίδια επίπεδα επιβάρυνσης με τη προηγούμενη περίπτωση για όλα τα σενάρια.

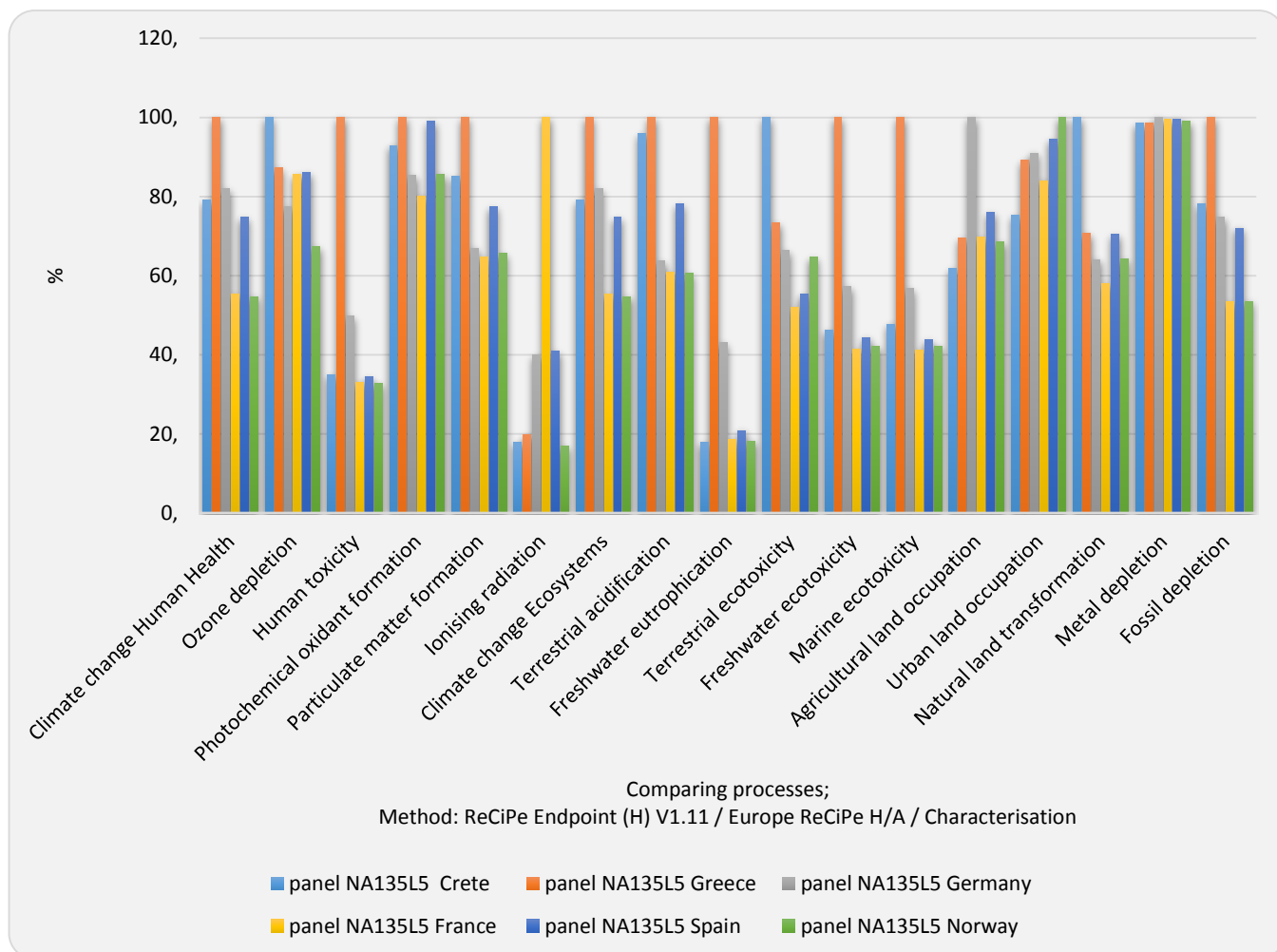
Το φύλλο πυριτίου που χρησιμοποιείται στο ΦΒ πλαίσιο παραμένει το ίδιο. Εκεί προστίθενται τα απαραίτητα υλικά και επιπλέον το ηλιακό γυαλί. Οι εισροές και τα συνολικά φορτία τους είναι:

- 1) Φύλλο χάλυβα (sheet rolling, steel) με 0,13 Pt
- 2) Φύλλο πυριτίου (Laminate) με 5,33 Pt
- 3) Κράμα αλουμινίου (aluminium alloy) με 2,73 Pt
- 4) Χαμηλό κράμα χάλυβα (steel, low-alloyed) με 1,05 Pt
- 5) Ηλιακό γυαλί (Solar glass, low iron) με 0,852Pt
- 6) Μεταφορά

Η μονάδα μέτρησης της μεταφοράς στο λογισμικό SimaPro είναι τα τονοχιλιόμετρα (tkm) και η τιμή εδώ αλλάζει διότι σε αυτή την περίπτωση το πλαίσιο μας είναι βαρύτερο.

Παρατηρώντας τα αποτελέσματα που μας δίνονται από το SimaPro, η μέγιστη επιβάρυνση περιβαλλοντικού φορτίου όπως και προηγουμένως προκαλείται από την ηλεκτρική ενέργεια για την Κρήτη, την ηπειρωτική Ελλάδα και την Γερμανία ενώ για την Γαλλία, την Ισπανία και την Νορβηγία προκαλείται από το κράμα αλουμινίου. Η κύρια διαφορά αυτού του πλαισίου με το προηγούμενο είναι το γυαλί που προστέθηκε στις δύο όψεις του, το οποίο επιφέρει επιβάρυνση της τάξης του 0,852 Pt. Ακόμα υπήρξαν αλλαγές στις μεταφορές λόγω τις διαφοράς βάρους με την προηγούμενη περίπτωση γι' αυτό και δεν παρατηρείται μια σταθερή αλλαγή σε όλα τα σενάρια.

Από το διάγραμμα 4.19 του χαρακτηρισμού του ΦΒ πλαισίου της Sharp δεν παρατηρούνται μεγάλες αλλαγές σε σχέση με αυτό της United Solar και αυτό φαίνεται και στους δύο πίνακες (Π-7 και Π-8) στο παράρτημα. Όλες οι κατηγορίες έχουν μια μικρή αύξηση των τιμών τους λόγω της εισαγωγής του γυαλιού στο ΦΒ.

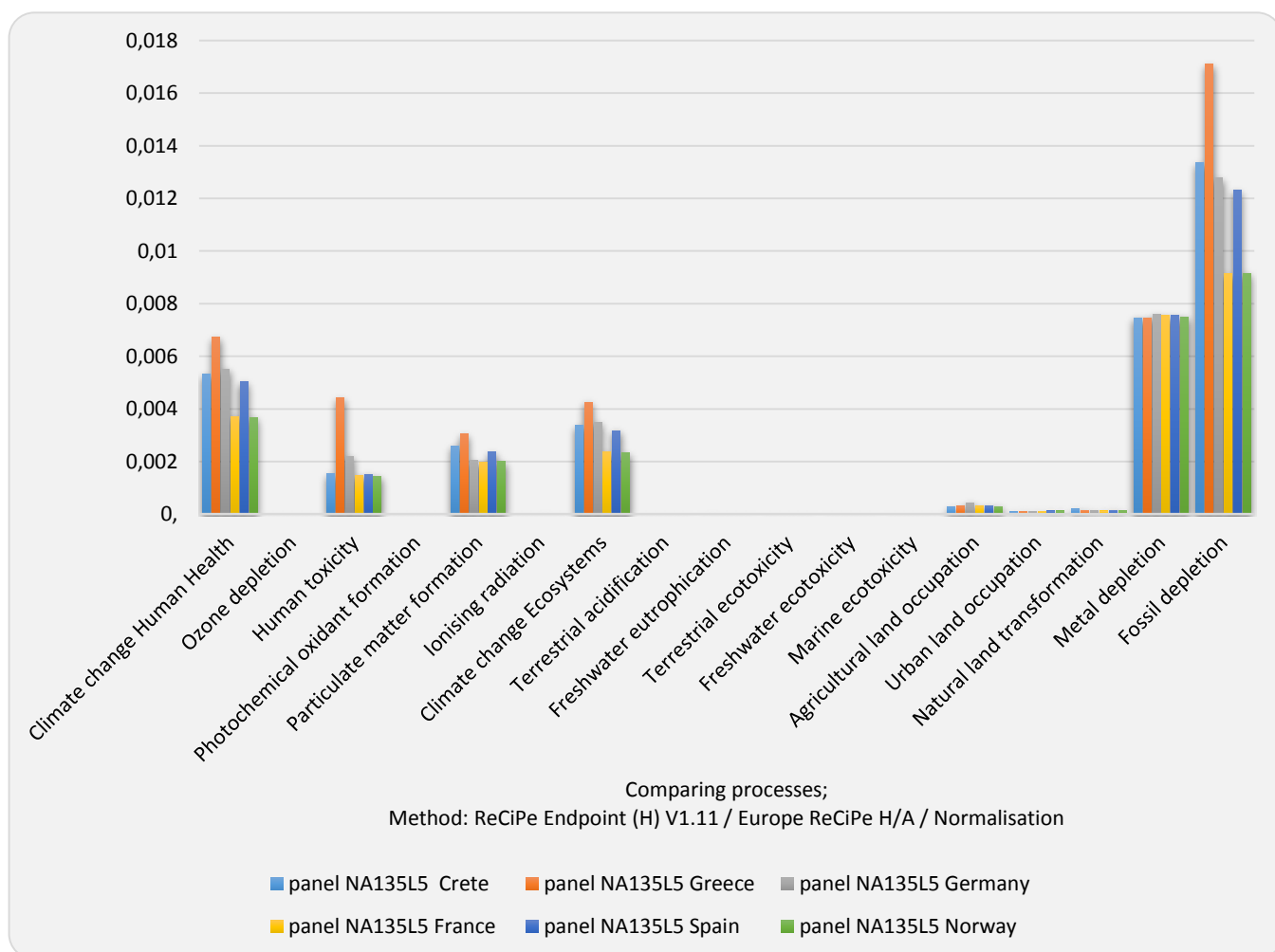


Διάγραμμα 4.19: Γράφημα χαρακτηρισμού

Μια πιο ολοκληρωμένη άποψη εξάγεται από το διάγραμμα 4.20 της κανονικοποίησης των αποτελεσμάτων. Όπως και στο προηγούμενο ΦΒ έτσι και δω οι κατηγορίες που επιβαρύνονται περισσότερο είναι οι ίδιες, δηλαδή:

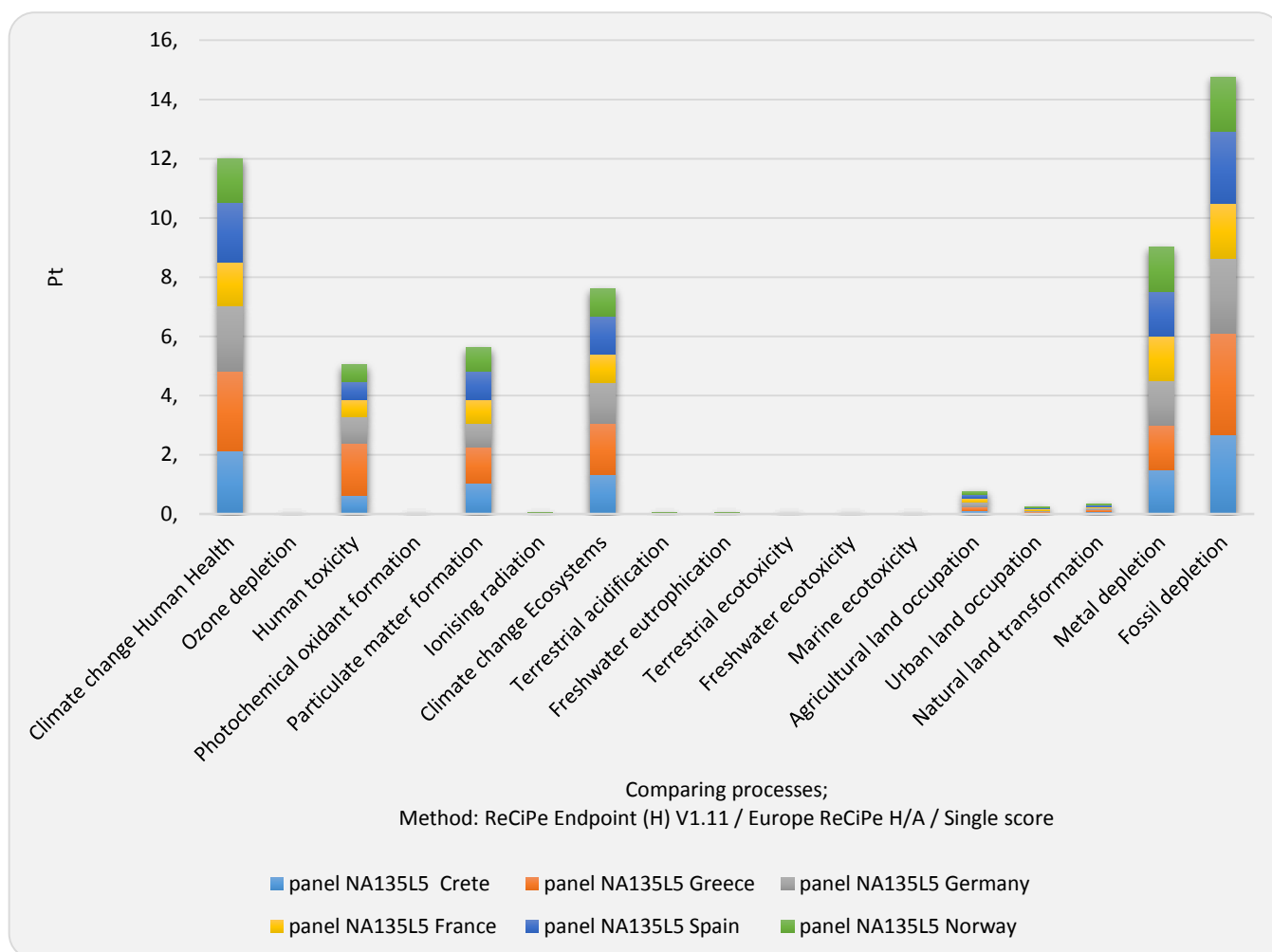
- η μείωση των καυσίμων (Fossil depletion)
- η εξάντληση των πόρων (Metal depletion)
- η κλιματική αλλαγή σε σχέση με την ανθρώπινη υγεία (Climate change Human Health)
- η κλιματική αλλαγή σε σχέση με τα οικοσυστήματα (Climate change ecosystems)
- τα μικρά σωματίδια (Particulate matter formation) και
- η ανθρώπινη τοξικότητα (Human toxicity).

Σε όλες τις κατηγορίες παρατηρήσαμε μια μικρή αύξηση στην τιμή τους. Αυτό είναι δύσκολό να φανεί στο διάγραμμα γιατί παρόλο την αύξηση πάλι οι τιμές είναι πολύ μικρές, όμως φαίνεται στον πίνακα του παραρτήματος (Π-8). Η μείωση στην κατηγορία της εξάντληση των πόρων φαίνεται και στο διάγραμμα της κανονικοποίησης.



Διάγραμμα 4.20: Κανονικοποίηση ανά κατηγορία επίδρασης

Στη συνέχεια έχουμε το διάγραμμα 4.21 με τις συνολικές επιπτώσεις ανά κατηγορία. Εδώ η μεγαλύτερη διαφορά παρατηρείται στις κατηγορίες της κλιματικής αλλαγής σε σχέση με την ανθρώπινη υγεία και στην εξάντληση των ορυκτών καυσίμων.

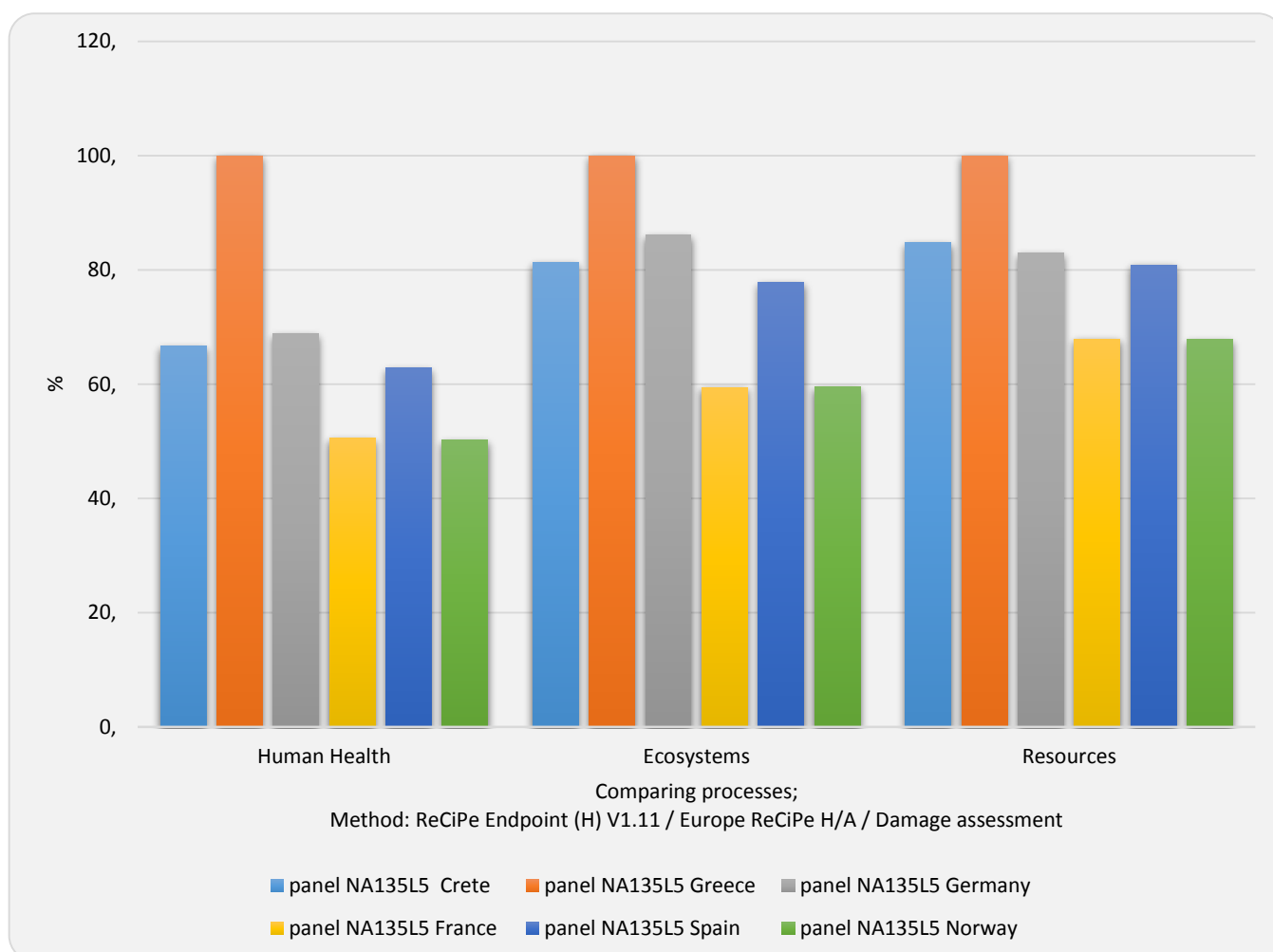


Διάγραμμα 4.21: Συνολικές επιπτώσεις ανά κατηγορία επίδρασης

Πίνακας 4.4: Αναλυτικά αποτελέσματα σε Pt από τις κατηγορίες με τη μεγαλύτερη επίδραση

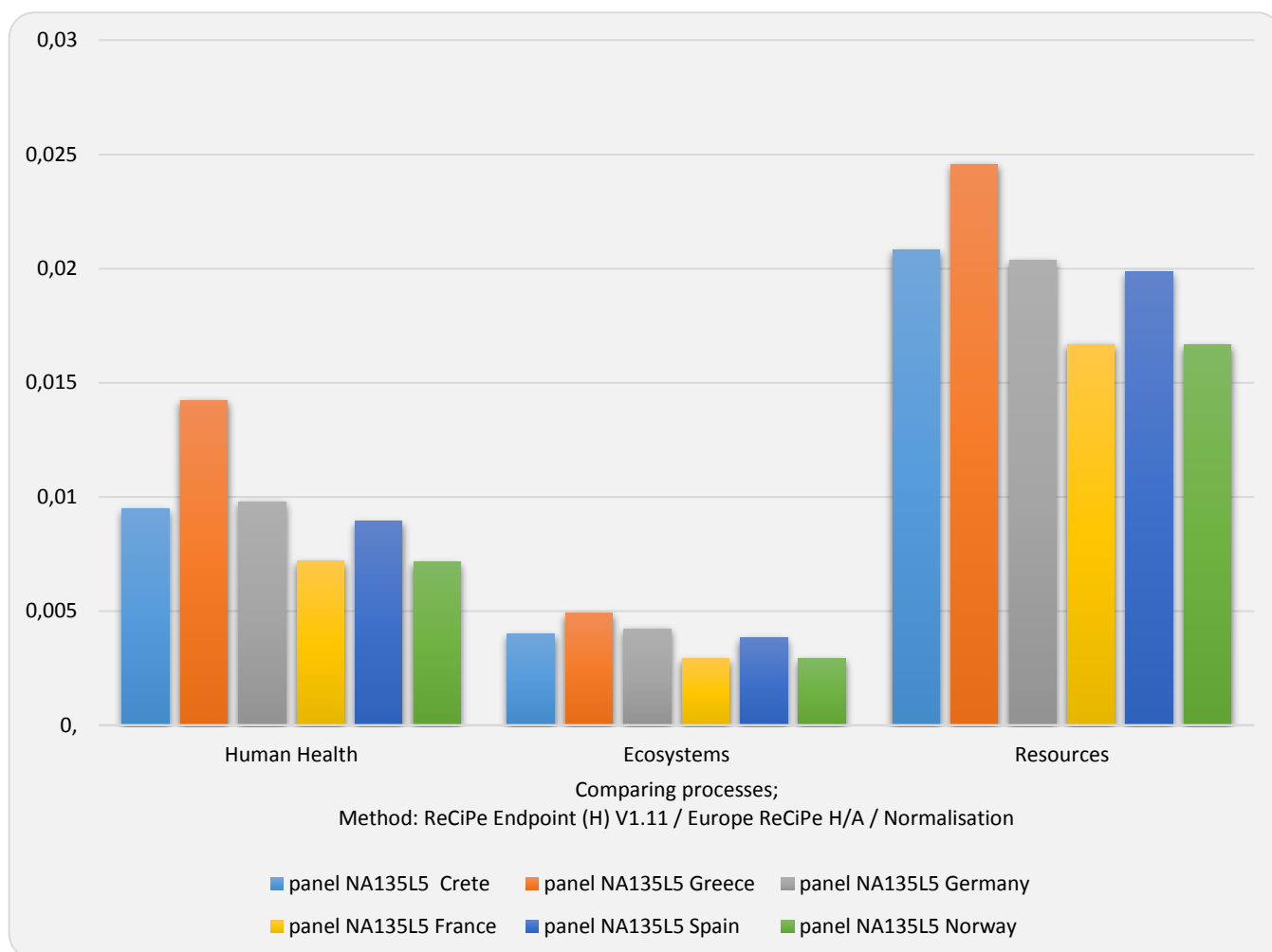
ΦΒ NA135L5	Climate change Human Health	Human toxicity	Particulate matter formation	Climate change Ecosystems	Metal depletion	Fossil depletion
Κρήτη	2,1297	0,6178	1,0392	1,3476	1,4934	2,6704
Ηπειρωτική Ελλάδα	2,6919	1,7697	1,2216	1,7032	1,4946	3,4197
Γερμανία	2,2087	0,8808	0,8182	1,3975	1,5165	2,5569
Γαλλία	1,4876	0,5841	0,7897	0,9413	1,5088	1,8284
Ισπανία	2,0113	0,6085	0,945	1,2726	1,5118	2,461
Νορβηγία	1,4726	0,5789	0,8019	0,9318	1,5004	1,831

Στα παρακάτω διαγράμματα 4.22, 4.23 και 4.24 θα δούμε την αξιολόγηση των βλαβών ανά κατηγορία, την κανονικοποίηση των βλαβών και τις συνολικές επιπτώσεις που έχει η συναρμολόγηση του πλαισίου στις τρεις κατηγορίες βλάβης αντίστοιχα. Από το διάγραμμα της αξιολόγησης των βλαβών δεν βγαίνουν σαφή συμπεράσματα αλλά φαίνεται μια αύξηση σε όλα τα σενάρια. Αναλυτικά τα αποτελέσματα βρίσκονται στους πίνακες του παρατήματος (Π-10, Π-11, Π-12).



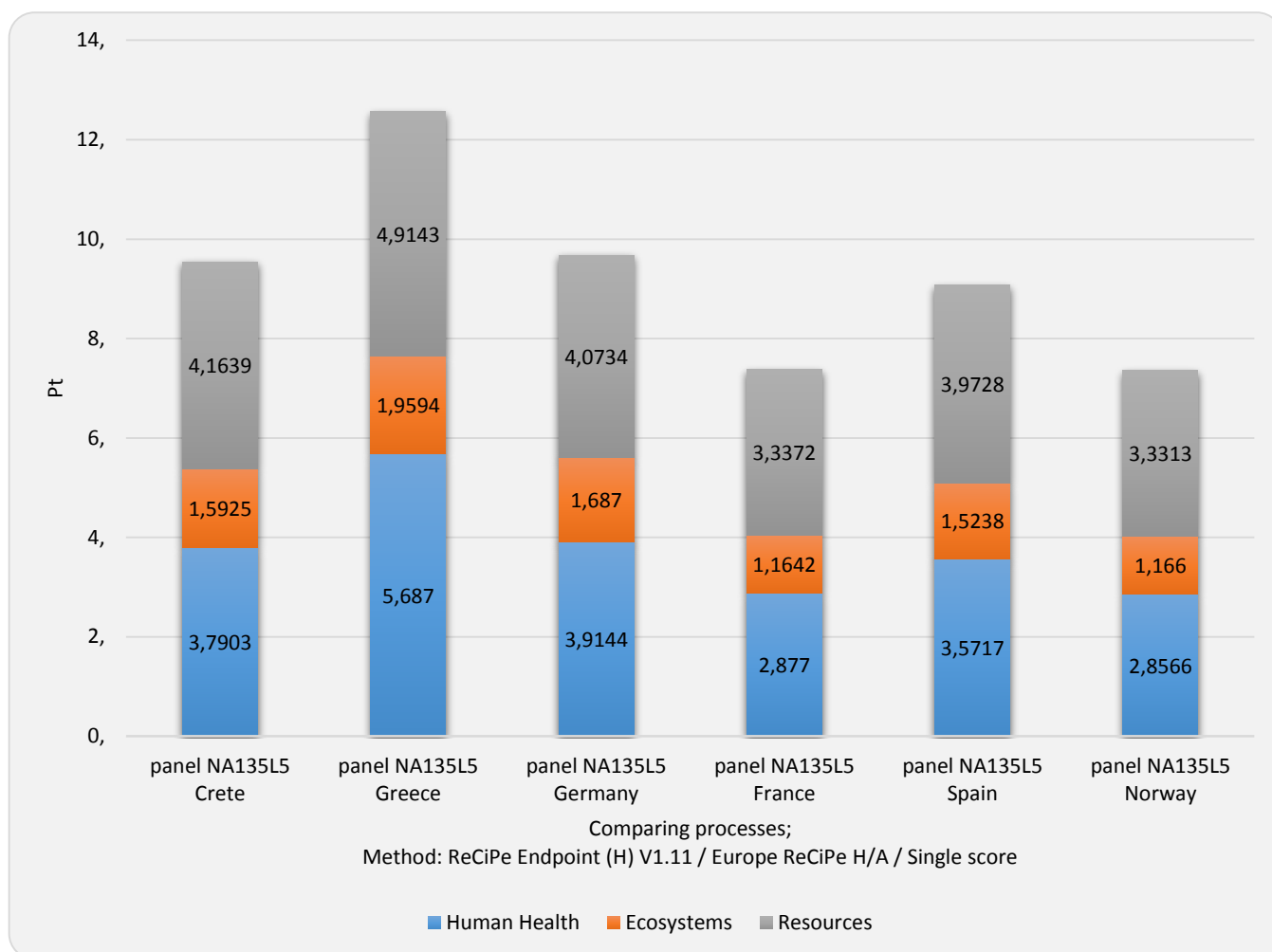
Διάγραμμα 4.22: Αξιολόγησης βλαβών ανά κατηγορία

Η εικόνα που βλέπουμε εδώ είναι παρόμοια με αυτή του προηγούμενου πλαισίου και μπορούμε να συμπεράνουμε ότι σε σχέση με τον πληθυσμό για κάθε περιοχή η μείωση των πόρων επηρεάζεται περισσότερο από τις άλλες κατηγορίες βλάβης χωρίς να παρατηρούνται μεγάλες αλλαγές.



Διάγραμμα 4.23: Κανονικοποίησης ανά κατηγορία βλάβης

Στο τελικό διάγραμμα φαίνονται ξεκάθαρα οι επιβαρύνσεις που έχει κάθε σενάριο στις τρεις κατηγορίες βλάβης όπου σε όλες τις κατηγορίες παρατηρείτε μια μικρή αύξηση σε σχέση με το προηγούμενο ΦΒ πλαίσιο.



Διάγραμμα 4.24: Συνολικά αποτελέσματα ανά κατηγορία βλάβης

Όπως και στην προηγούμενη περίπτωση παρακάτω παρατίθενται τα ποσά CO₂ που εκλύονται κατά τη συναρμολόγηση του ΦΒ πλαισίου με τη βοήθεια της μεθόδου IPCC 2013 GWP που χρησιμοποιεί το SimaPro. Η αύξηση που παρατηρείται είναι περίπου 7-10 kg CO₂ eq για όλα τα σενάρια.

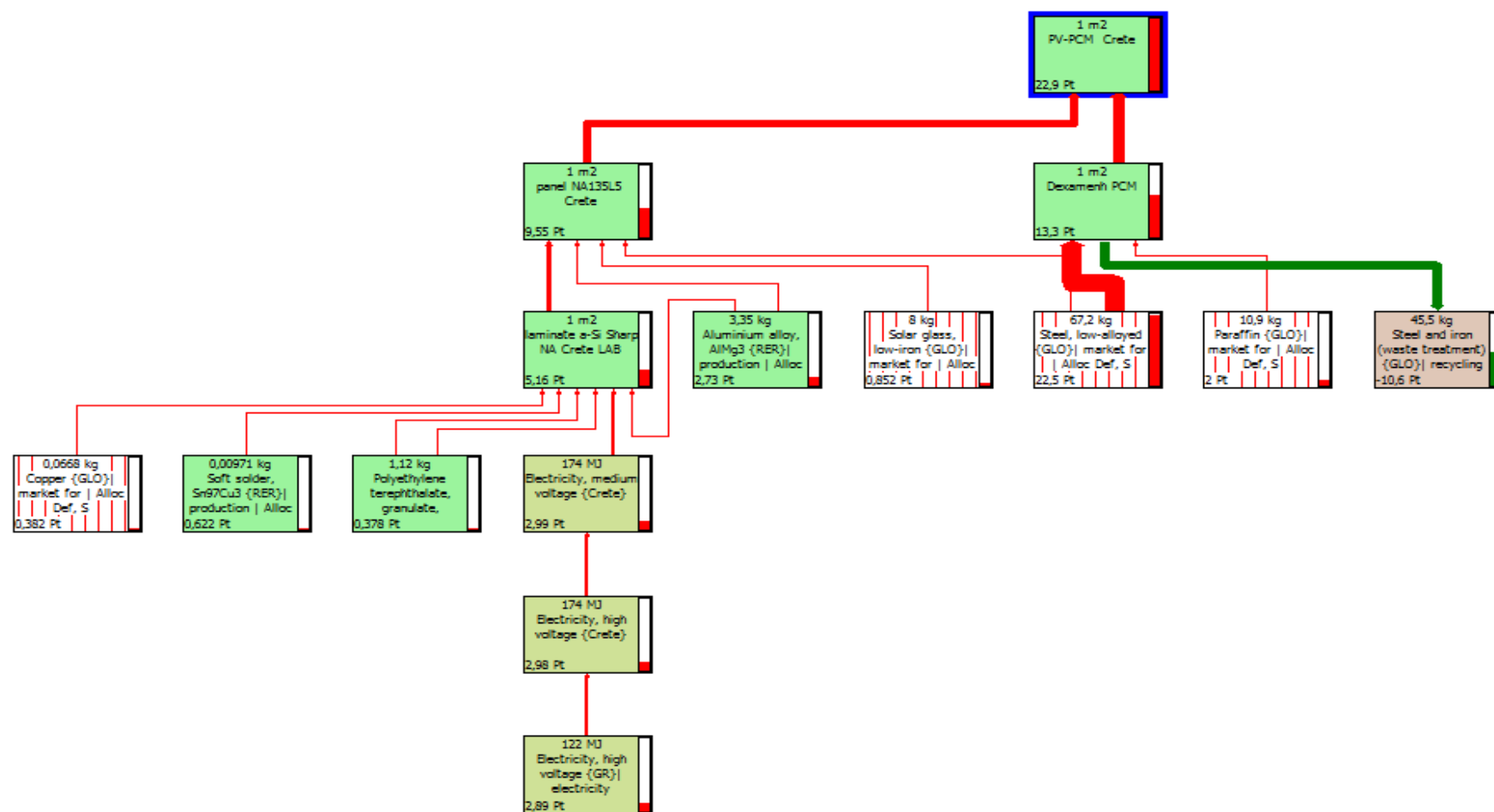
Πίνακας 4.5: Ποσά CO₂ του πλαισίου NA135L5 της Sharp για όλα τα σενάρια

Σενάρια	Κρήτη	Ηπειρωτική Ελλάδα	Γερμανία	Γαλλία	Ισπανία	Νορβηγία
ΦΒ NA135L5 (kg CO ₂ eq)	77,3	97,8	80,4	54,2	73,2	53,7

4.3.3 Φωτοβολταϊκό σύστημα ΦΒ-ΥΑΦ₁ με τη δεξαμενή του ΥΑΦ από χάλυβα

Παρακάτω θα δούμε τα διαγράμματα για το πρότυπο σύστημα ΦΒ-ΥΑΦ₁ όπου εμφανίζεται το 98,5% (cut-off=1,5%) από αυτά που επηρεάζεται. Για την εισαγωγή του ΦΒ-ΥΑΦ₁ στο SimaPro πήραμε το πλαίσιο της Sharp NA135L5 που μελετήσαμε στην προηγούμενη περίπτωση και προσθέσαμε τη δεξαμενή από χάλυβα με το ΥΑΦ όπως έγινε στο εργαστήριο.

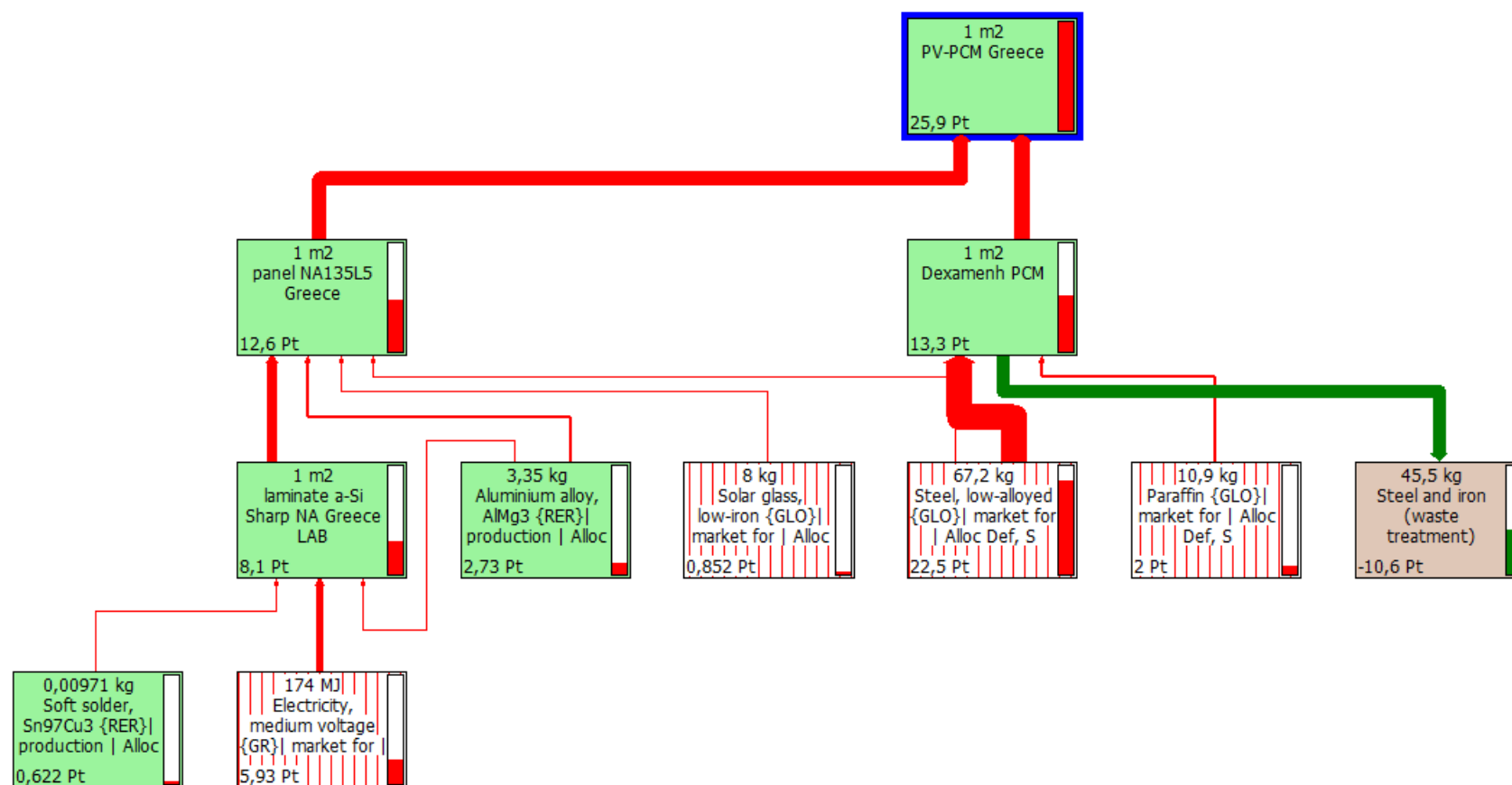
¹⁴Σενάριο 1^ο Συναρμολόγηση στην Κρήτη



Διάγραμμα 4.25: Διάγραμμα ροής περιβαλλοντικών φορτίων για συναρμολόγηση του ΦΒ-ΥΑΦ₁ στην Κρήτη

¹⁴ Όπου 1Pt ισούται με το 1/1000 του συνολικού ετήσιο περιβαλλοντικού φορτίου ενός μέσου Ευρωπαίου πολίτη

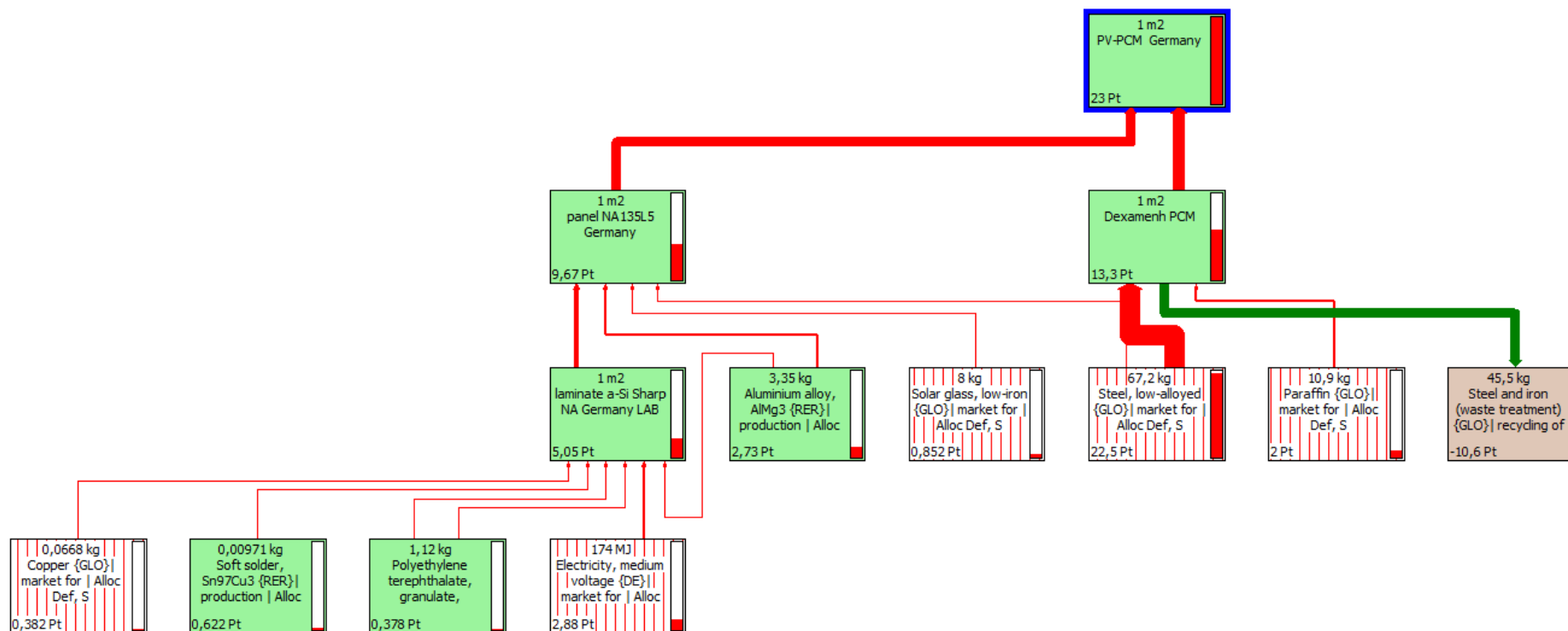
Σενάριο 2^ο : Συναρμολόγηση στην ηπειρωτική Ελλάδα



¹⁵Διάγραμμα 4.26: Διάγραμμα ροής περιβαλλοντικών φορτίων για συναρμολόγηση του ΦΒ-ΥΑΦ₁ στην ηπειρωτική Ελλάδα

¹⁵ Όπου 1Pt ισούται με το 1/1000 του συνολικού ετήσιο περιβαλλοντικού φορτίου ενός μέσου Ευρωπαίου πολίτη

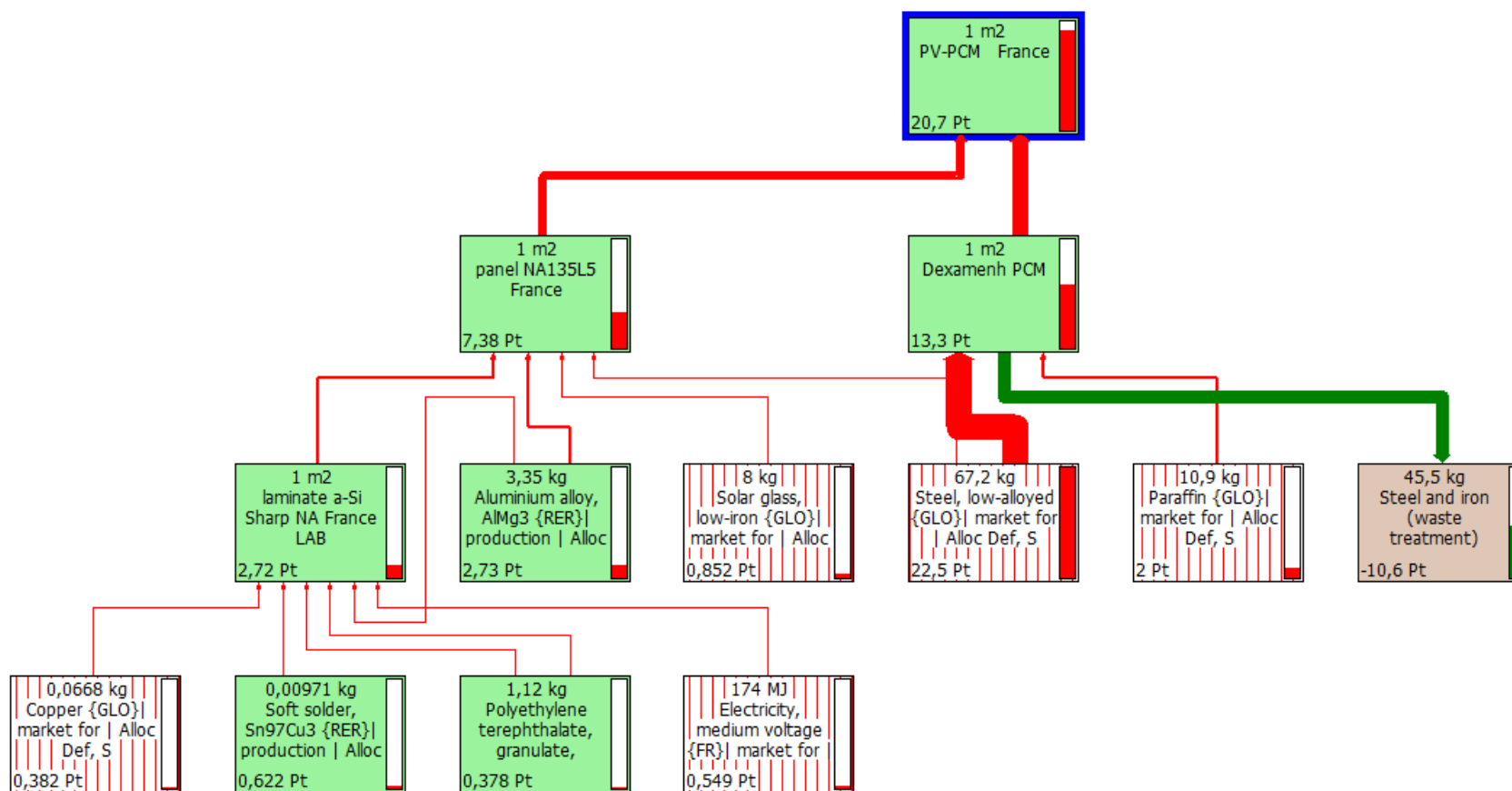
Σενάριο 3^ο Συναρμολόγηση στη Γερμανία



¹⁶Διάγραμμα 4.27: Διάγραμμα ροής περιβαλλοντικών φορτίων για συναρμολόγηση του ΦΒ-ΥΑΦ₁ στη Γερμανία

¹⁶ Όπου 1Pt ισούται με το 1/1000 του συνολικού ετήσιο περιβαλλοντικού φορτίου ενός μέσου Ευρωπαίου πολίτη

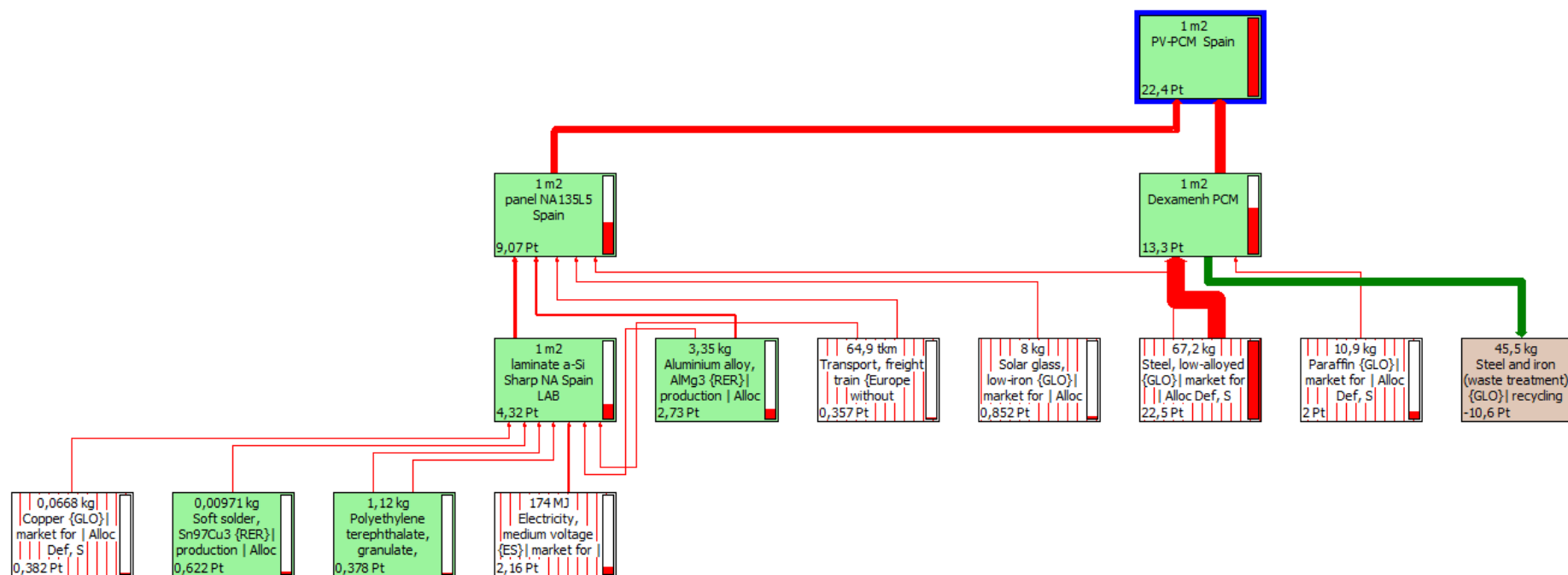
Σενάριο 4^ο Συναρμολόγηση στη Γαλλία



¹⁷Διάγραμμα 4.28: Διάγραμμα ροής περιβαλλοντικών φορτίων για συναρμολόγηση του ΦΒ-ΥΑΦ₁ στη Γαλλία

¹⁷ Όπου 1Pt ισούται με το 1/1000 του συνολικού ετήσιο περιβαλλοντικού φορτίου ενός μέσου Ευρωπαίου πολίτη

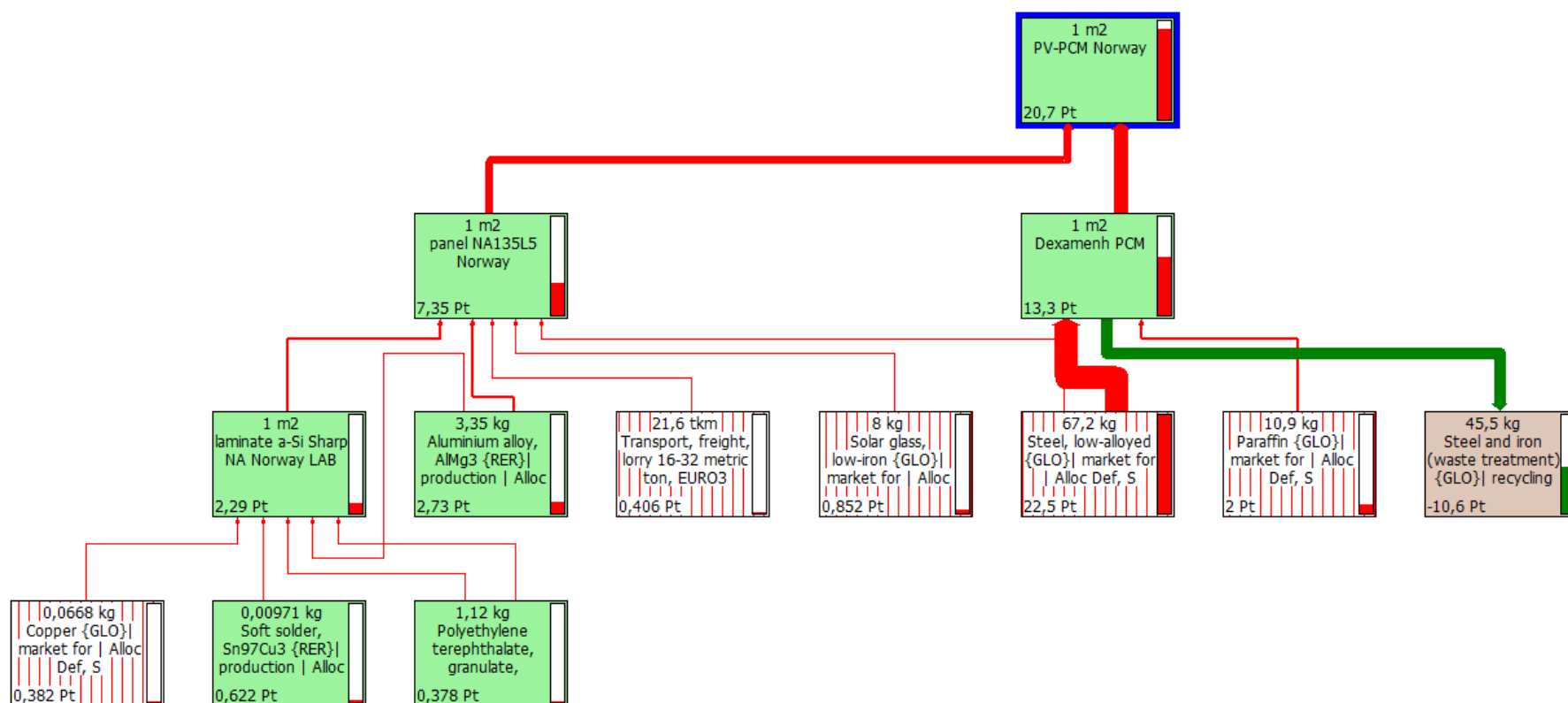
Σενάριο 5^ο Συναρμολόγηση στην Ισπανία



¹⁸Διάγραμμα 4.29: Διάγραμμα ροής περιβαλλοντικών φορτίων για συναρμολόγηση του ΦΒ-ΥΑΦ₁ στην Ισπανία

¹⁸ Όπου 1Pt ισούται με το 1/1000 του συνολικού ετήσιο περιβαλλοντικού φορτίου ενός μέσου Ευρωπαίου πολίτη

Σενάριο 6° Συναρμολόγηση στη Νορβηγία



¹⁹Διάγραμμα 4.30: Διάγραμμα ροής περιβαλλοντικών φορτίων για συναρμολόγηση του ΦΒ-ΥΑΦ στη Νορβηγία

¹⁹ Όπου 1Pt ισούται με το 1/1000 του συνολικού ετήσιο περιβαλλοντικού φορτίου ενός μέσου Ευρωπαίου πολίτη

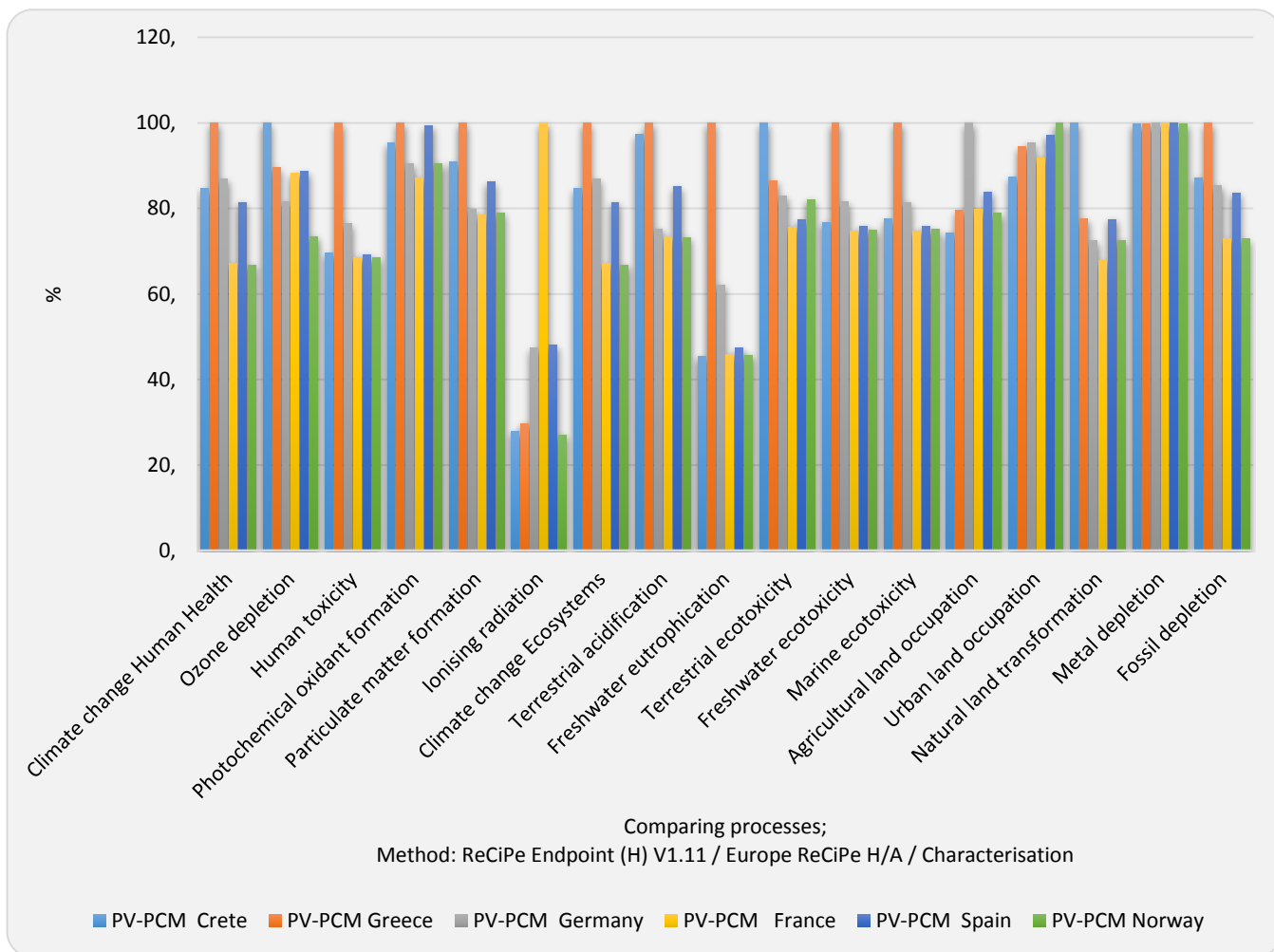
Παραπάνω βλέπουμε τα διαγράμματα ροής του πρότυπου συστήματος ΦΒ-ΥΑΦ₁ με τη δεξαμενή του ΥΑΦ να είναι φτιαγμένη από χάλυβα. Η περιβαλλοντική επιβάρυνση που μας επιφέρει το ΦΒ πλαισίου είναι η ίδια αφού δεν υπήρχε οποιαδήποτε αλλαγή. Παρατηρούμε ότι η δεξαμενή με το ΥΑΦ είναι το κύριο περιβαλλοντικό φορτίο του συστήματος όπου φτάνει τα 13,3 Pt όπως μπορούμε να δούμε και στα διαγράμματα. Για τη δεξαμενή του ΥΑΦ έχουμε λάβει υπόψη μια ανακύκλωση της τάξης του 70% για το χάλυβα που χρησιμοποιείται. Αυτό στο διάγραμμα μεταφράζεται με μια πράσινη γραμμή η οποία έχει αρνητικό φορτίο, δηλαδή περιβαλλοντικό κέρδος για το σύστημα. Παρατηρείτε ότι στο φύλλο πυριτίου δεν εμφανίζονται τα ίδια υλικά με τις δύο προηγούμενες περιπτώσεις. Αυτό συμβαίνει διότι σε αυτά τα διαγράμματα εμφανίζεται λιγότερο ποσοστό από τις άλλες δύο περιπτώσεις δηλαδή το 98,5% και έτσι τα υλικά που έχουν ποσοστό επίδρασης μικρότερο ή ίσο του 1,5% της συνολικής επιβάρυνσης δεν εμφανίζονται. Για τα σενάρια της Κρήτη, της Γερμανίας και της Ισπανίας τα υλικά που εμφανίζονται είναι όλα τα παρακάτω ενώ στα άλλα τρία σενάρια υπάρχουν μερικά από αυτά:

- 1) Χαλκός (Copper) με 0,382 Pt
- 2) Μαλακές συγκολλήσεις (soft solder) με 0,622 Pt
- 3) Πολυαιθυλένιο (polyethylene) με 0,378 Pt
- 4) Μέση τάση ηλεκτρικής ενέργειας

Η τιμή της μέση τάση της ηλεκτρικής ενέργειας και εδώ παραμένει στα ίδια επίπεδα επιβάρυνσης.

Η δεξαμενή του ΥΑΦ που είναι και το κύριο φορτίο έρχεται από το χάλυβα με συνολικό φορτίο 22,5 Pt. Το ΥΑΦ που είναι η παραφίνη μας δίνει φορτίο ίσο με 2 Pt ενώ η ανακύκλωση του 70% του χάλυβα δίνει αρνητικό φορτίο που φτάνει τα 10,6 Pt. Για τη δεξαμενή του ΥΑΦ η μεταφορά από το Ηράκλειο Κρήτης στα Χανιά κατέχει μικρό φορτίο παρόλο το βάρος της κατασκευής.

Στο διάγραμμα 4.31 του χαρακτηρισμού των δεδομένων παρατηρούμε μια γενική αύξηση σε όλες τις κατηγορίες επίδρασης σε σχέση με το απλό ΦΒ πλαίσιο NA135L5 πράγμα που είναι λογικό αφού στο υπάρχον πλαίσιο προσθέσαμε τη δεξαμενή με το ΥΑΦ. Οι τιμές φαίνονται πιο αναλυτικά στους πίνακες που βρίσκονται στο παράρτημα (Π-13, Π-14, Π-15) .

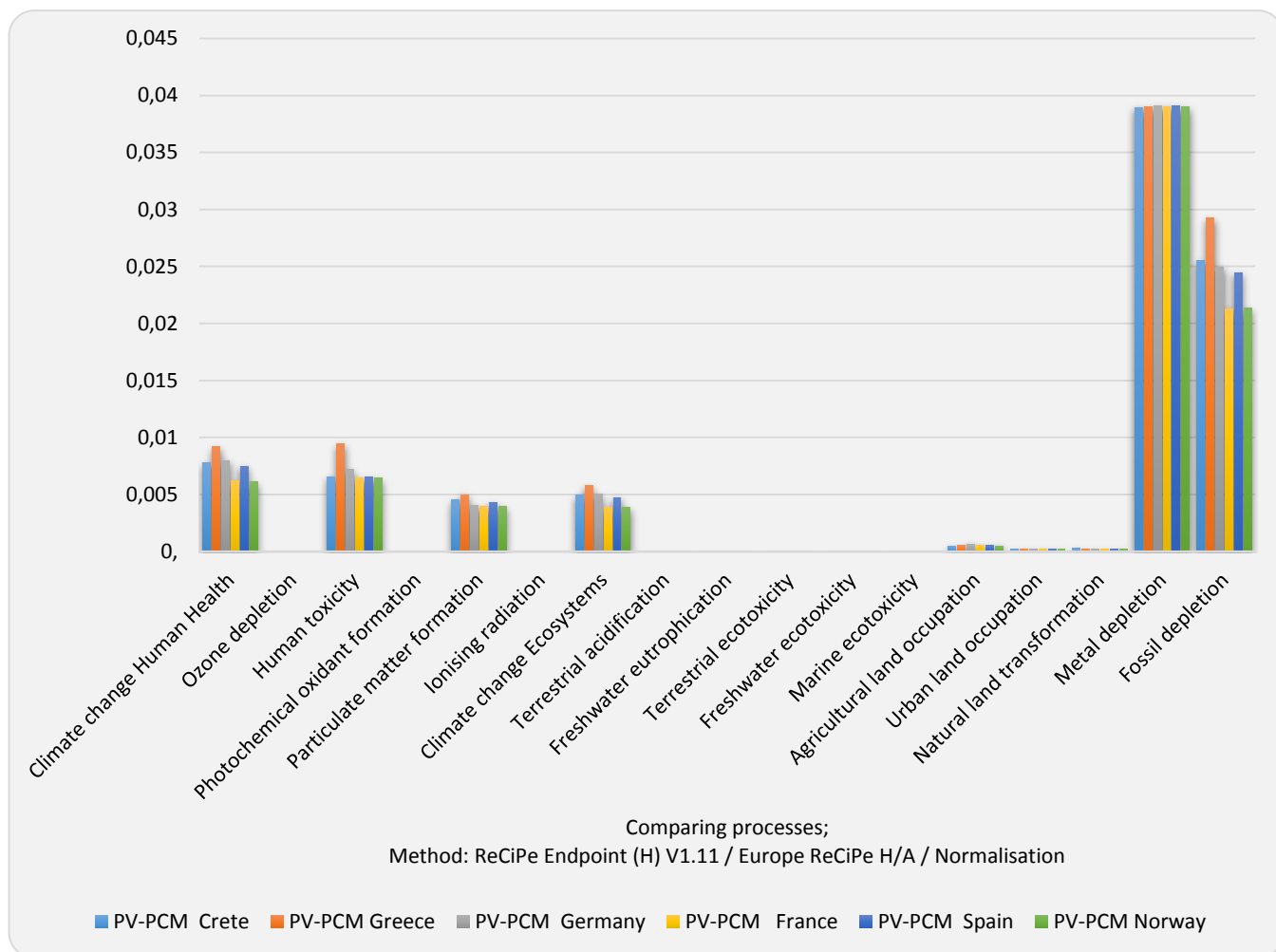


Διάγραμμα 4.31: Γράφημα χαρακτηρισμού

Από το διάγραμμα 4.32 της κανονικοποίησης μπορούμε να βγάλουμε πιο εύκολα κάποιο συμπέρασμα. Παρατηρούμε ότι οι κατηγορίες επίδρασης που δέχονται μεγάλο περιβαλλοντικό φορτίο είναι οι ίδιες μόνο που σε αυτή την περίπτωση οι τιμές είναι μεγαλύτερες και η κατηγορία της εξάντληση των πόρων φαίνεται να είναι η πιο επιβαρυνμένη απ' τις υπόλοιπες. Κατά σειρά οι κατηγορίες με την μεγαλύτερη επιβάρυνση είναι οι εξής:

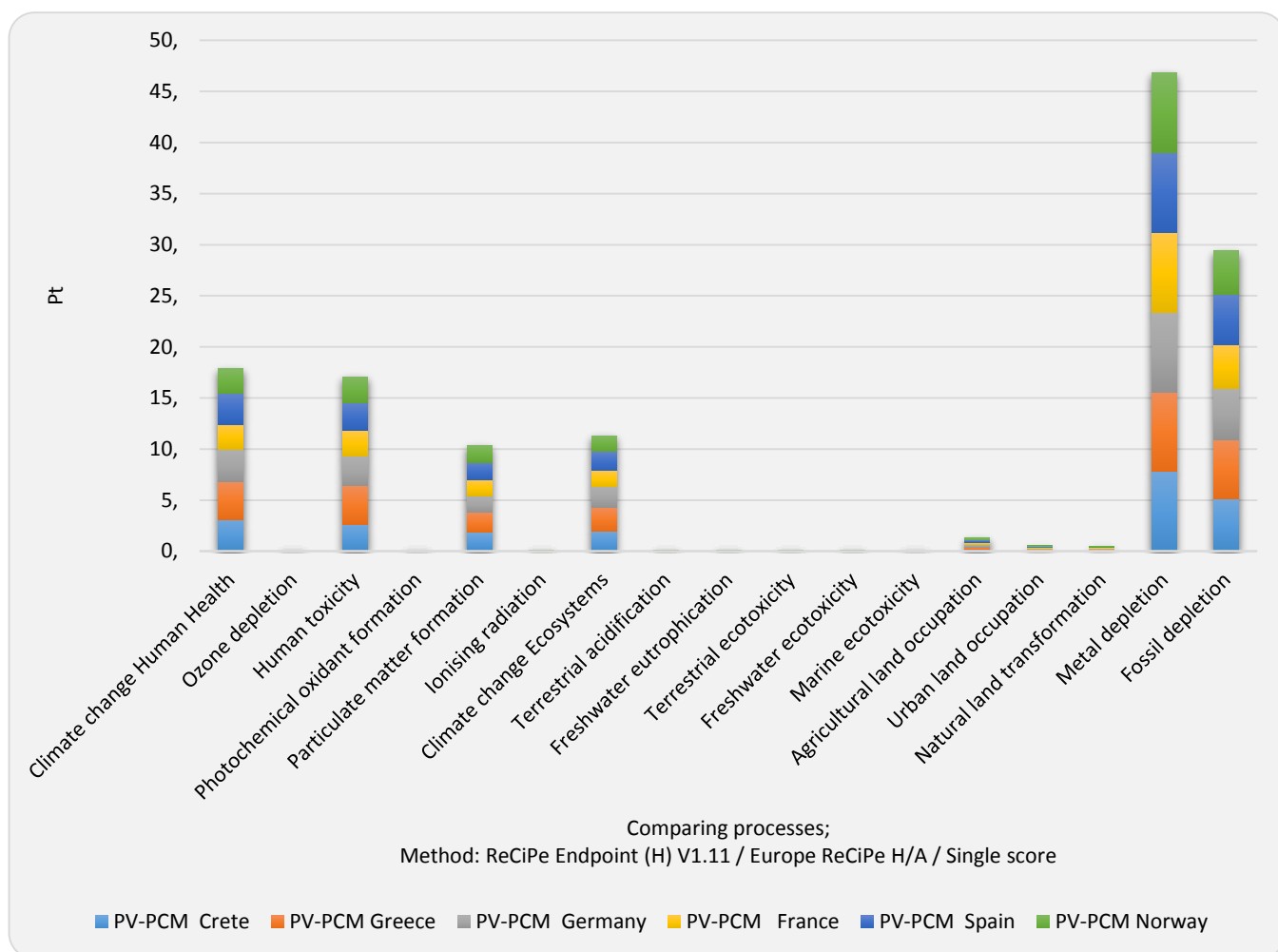
- η εξάντληση των πόρων (Metal depletion)
- η μείωση των καυσίμων (Fossil depletion)
- η κλιματική αλλαγή σε σχέση με την ανθρώπινη υγεία (Climate change Human Health)
- η ανθρώπινη τοξικότητα (Human toxicity)
- η κλιματική αλλαγή σε σχέση με τα οικοσυστήματα (Climate change ecosystems) και
- τα μικρά σωματίδια (Particulate matter formation)

Οι τιμές από τις υπόλοιπες κατηγορίες φαίνονται στον πίνακα του παραρτήματος Π-14 και κυμαίνονται σε χαμηλά επίπεδα γι' αυτό δεν εμφανίζονται και στο διάγραμμα παρακάτω.



Διάγραμμα 4.32: Κανονικοποίηση ανά κατηγορία επίδρασης

Ο χάλυβας της δεξαμενής του ΥΑΦ είναι αυτός που επιφέρει τη σημαντικότερη επίδραση στις περισσότερες κατηγορίες. Αντίθετα το ΥΑΦ μόνο σε δύο κατηγορίες έχει μια σημαντική επίδραση: 1) στη μείωση των καυσίμων και 2) στην κλιματική αλλαγή σε σχέση με τα οικοσυστήματα. Από το διάγραμμα 4.33 των συνολικών επιπτώσεων ανά κατηγορία αλλά και απ' τον πίνακα 4.9 που μας δείχνει τις κατηγορίες με τη μεγαλύτερη επίδραση παρατηρούμε ότι η μεγάλη αύξηση έγινε στην κατηγορία της εξάντλησης πόρων. Η επόμενη κατηγορία με μεγάλη αύξηση είναι η μείωση των ορυκτών καυσίμων και τέλος η ανθρώπινη τοξικότητα που κυμαίνονταν σε χαμηλά επίπεδα στις άλλες δύο περιπτώσεις.

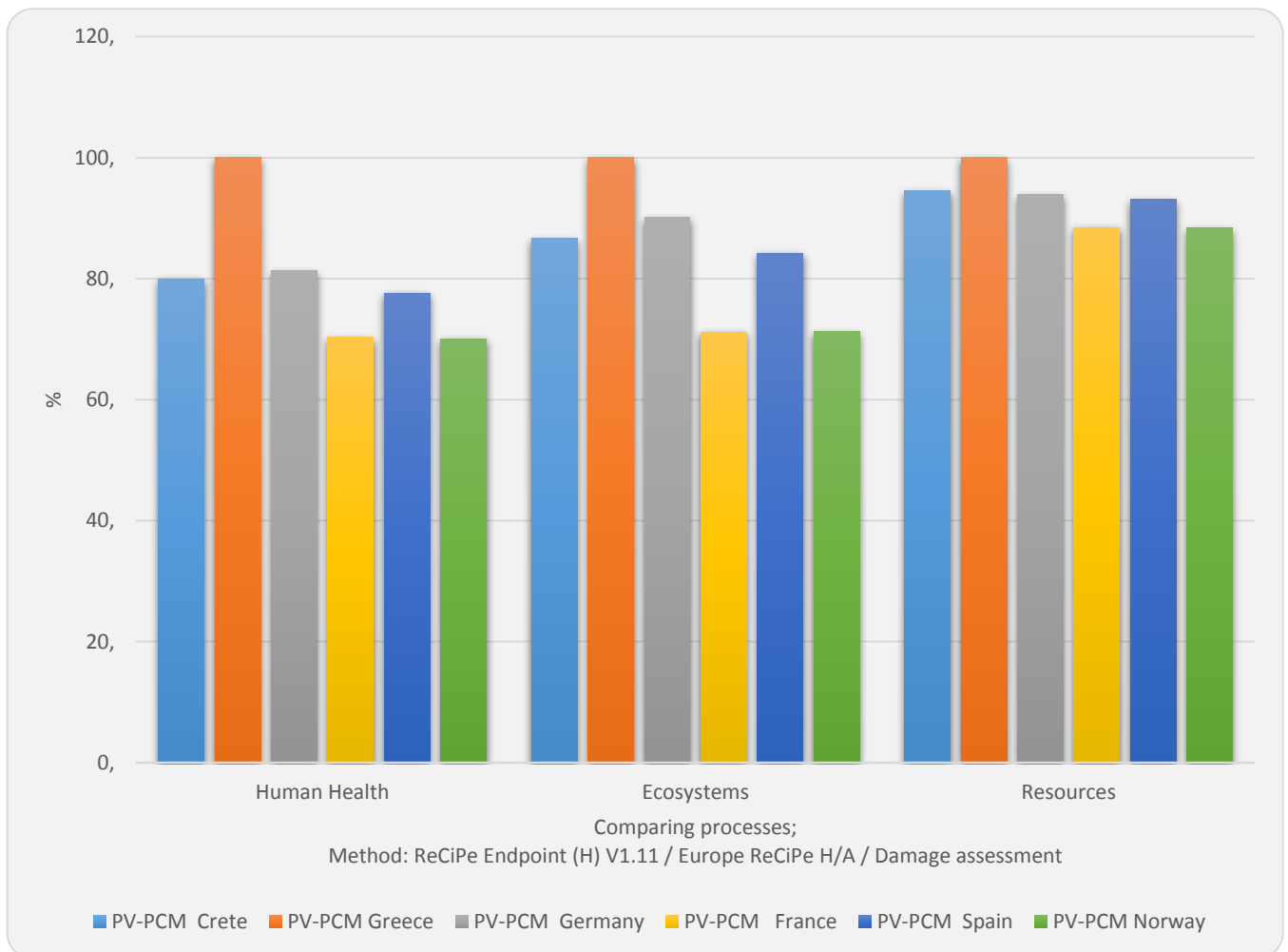


Διάγραμμα 4.33: Συνολικές επιπτώσεις ανά κατηγορία επίδρασης

Πίνακας 4.6: Αναλυτικά αποτελέσματα σε Pt από τις κατηγορίες με τη μεγαλύτερη επίδραση

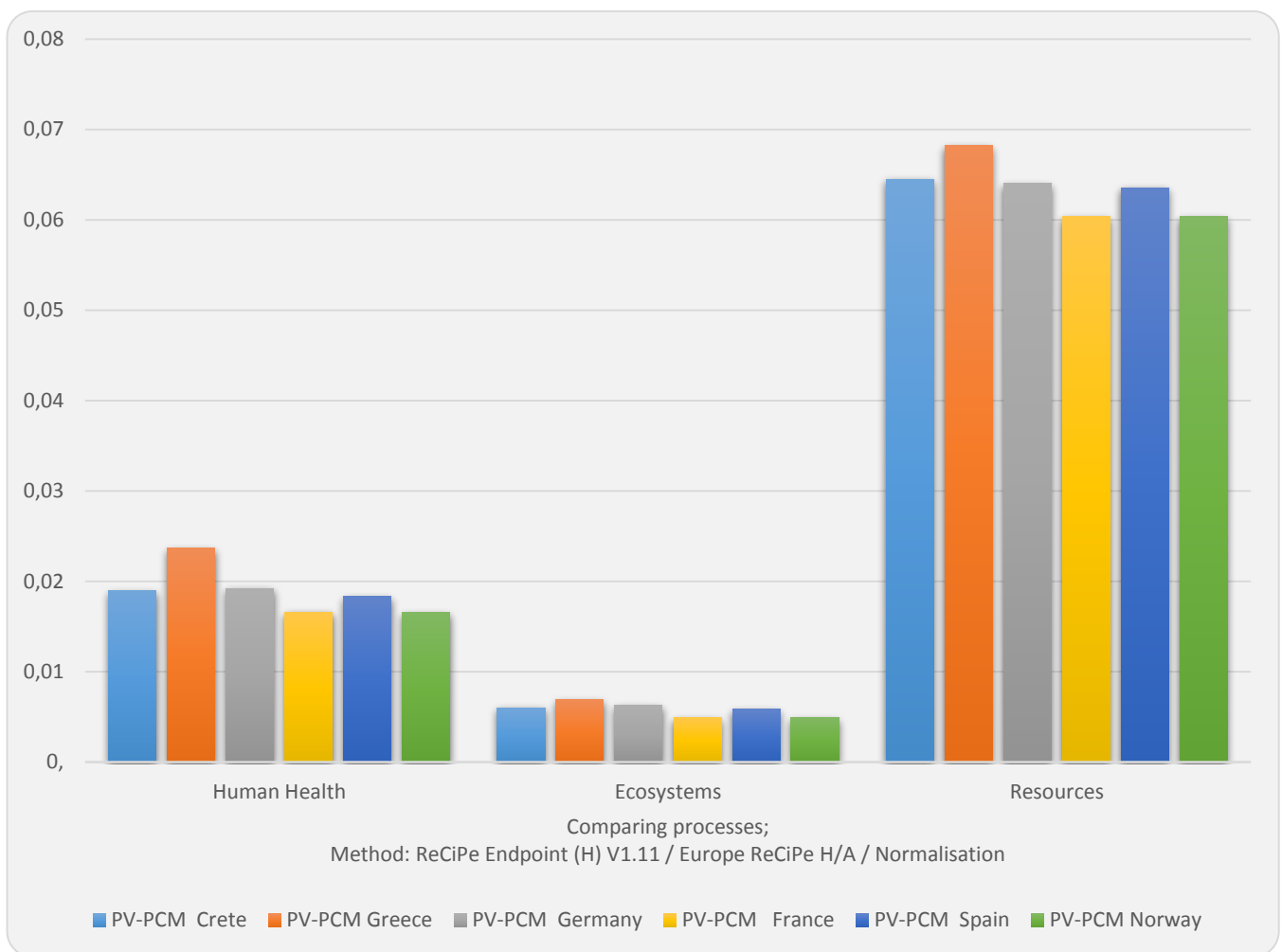
ΦΒ-ΥΑΦ χάλυβα	Climate change Human Health	Human toxicity	Particulate matter formation	Climate change Ecosystems	Metal depletion	Fossil depletion
Κρήτη	3,1093	2,624	1,8217	1,9674	7,792	5,1062
Ηπειρωτική Ελλάδα	3,6714	3,776	2,0041	2,323	7,7932	5,8555
Γερμανία	3,1883	2,887	1,6007	2,0173	7,8151	4,9927
Γαλλία	2,4672	2,5904	1,5722	1,561	7,8074	4,2642
Ισπανία	2,9909	2,6147	1,7275	1,8924	7,8104	4,8969
Νορβηγία	2,4522	2,5852	1,5844	1,5516	7,7989	4,2668

Στο διάγραμμα 4.34 της αξιολόγησης της βλάβης παρατηρούμε πολύ υψηλά ποσοστά που κυμαίνονται όλα από 75 μέχρι και 100%. Βλέπουμε μια αύξηση σε όλες τις κατηγορίες βλάβης και στα διαγράμματα της κανονικοποίησης και των συνολικών αποτελεσμάτων είναι πιο εμφανές.

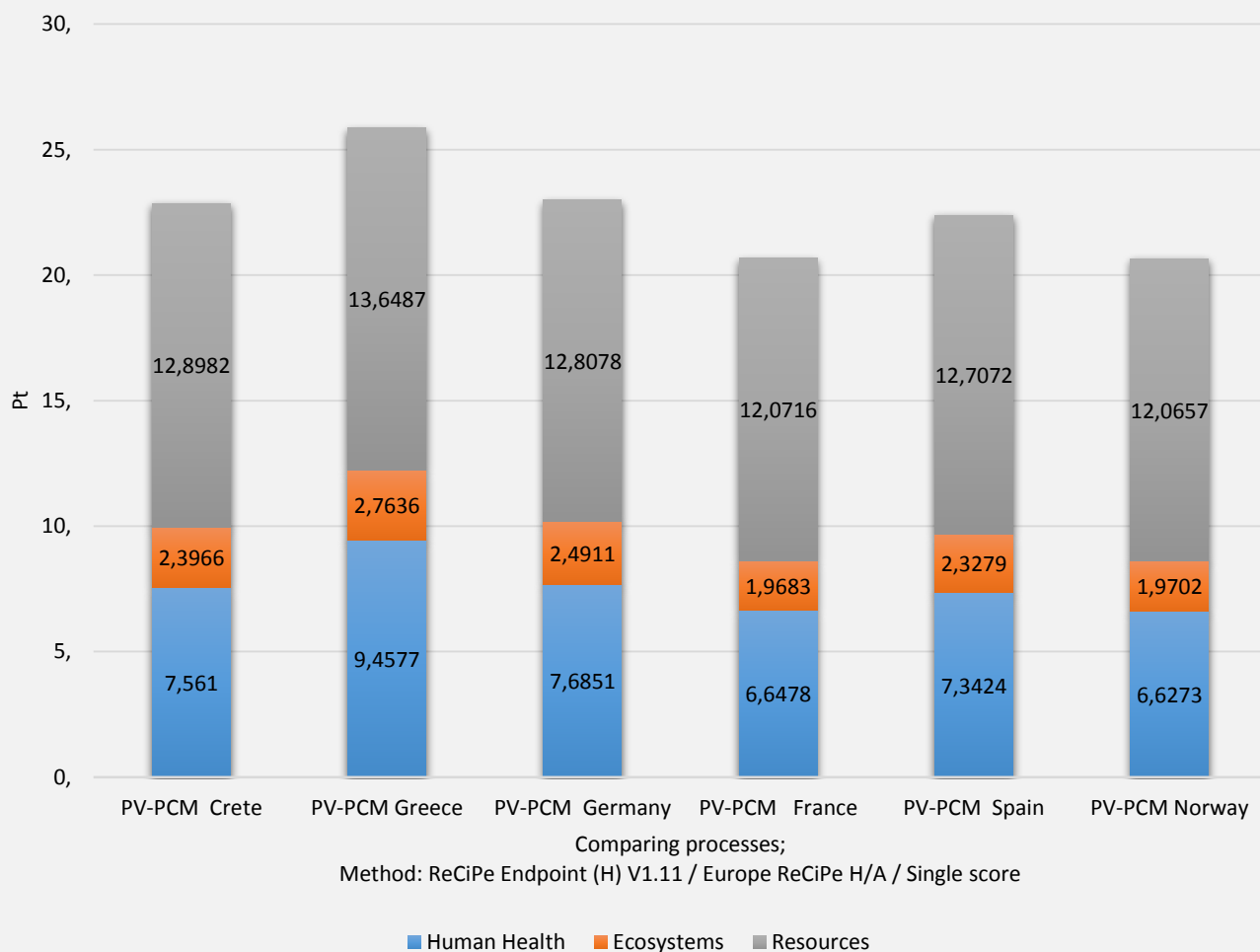


Διάγραμμα 4.34: Αξιολόγηση βλαβών ανά κατηγορία

Από το διάγραμμα παρακάτω παρατηρούμε ότι η κατηγορία των πόρων παραμένει η πιο επιβαρυνμένη ενώ στις άλλες δύο κατηγορίες δεν υπάρχουν μεγάλες διακυμάνσεις. Το ίδιο φαινόμενο παρατηρείται και στο διάγραμμα των συνολικών αποτελεσμάτων. Αυτό γίνεται διότι η δεξαμενή με το ΥΑΦ που είναι ίδια σε όλα τα σενάρια, επιβαρύνει κυρίως τους πόρους λόγω των αρκετών κιλών χάλυβα που απαιτεί.



Διάγραμμα 4.35: Κανονικοποίηση ανά κατηγορία βλαβών



Διάγραμμα 4.36: Τελικά αποτελέσματα ανά κατηγορία βλάβης

Τέλος στον πίνακα 4.7 εμφανίζονται τα kg CO₂ που εκλύονται για τη συναρμολόγηση αυτού του συστήματος. Οι διαφορές με το απλό ΦΒ πλαίσιο είναι αρκετά μεγάλες και φτάνουν περίπου τα 36 kg CO₂ eq όσα δηλαδή μας δίνει η δεξαμενή του ΥΑΦ. Αν παρατηρήσουμε τους δύο πίνακες με το απλό ΦΒ και το ΦΒ-ΥΑΦ βλέπουμε ότι ένα σύστημα ΦΒ-ΥΑΦ εκλύει λιγότερα kg CO₂ eq σε Γαλλία και Νορβηγία από ένα απλό ΦΒ της Sharp στην ηπειρωτική Ελλάδα.

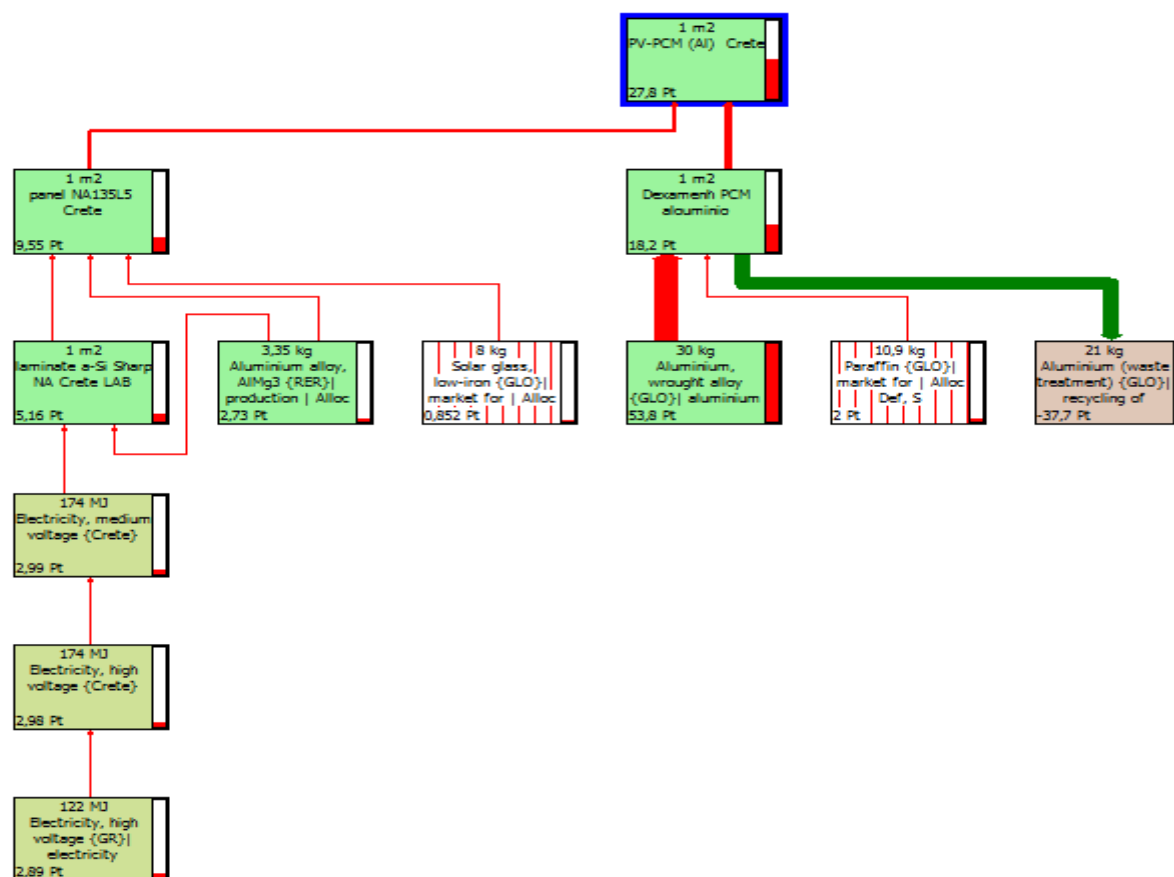
Πίνακας 4.7: Ποσά CO₂ του πλαισίου ΦΒ-ΥΑΦ₁ για όλα τα σενάρια

Σενάρια	Κρήτη	Ηπειρωτική Ελλάδα	Γερμανία	Γαλλία	Ισπανία	Νορβηγία
ΦΒ – ΥΑΦ ₁ (kg CO ₂ eq)	113	133	116	89,7	109	89,2

4.3.4 Φωτοβολταϊκό σύστημα ΦΒ-ΥΑΦ₂ με τη δεξαμενή του ΥΑΦ από αλουμίνιο

Τέλος, υποθέσαμε την αλλαγή υλικού κατασκευής της δεξαμενής του ΥΑΦ από χάλυβα σε αλουμίνιο. Παρακάτω θα δούμε τα διαγράμματα ροής του συστήματος ΦΒ-ΥΑΦ₂ όπου εμφανίζεται το 98,5% (cut-off=1,5%).

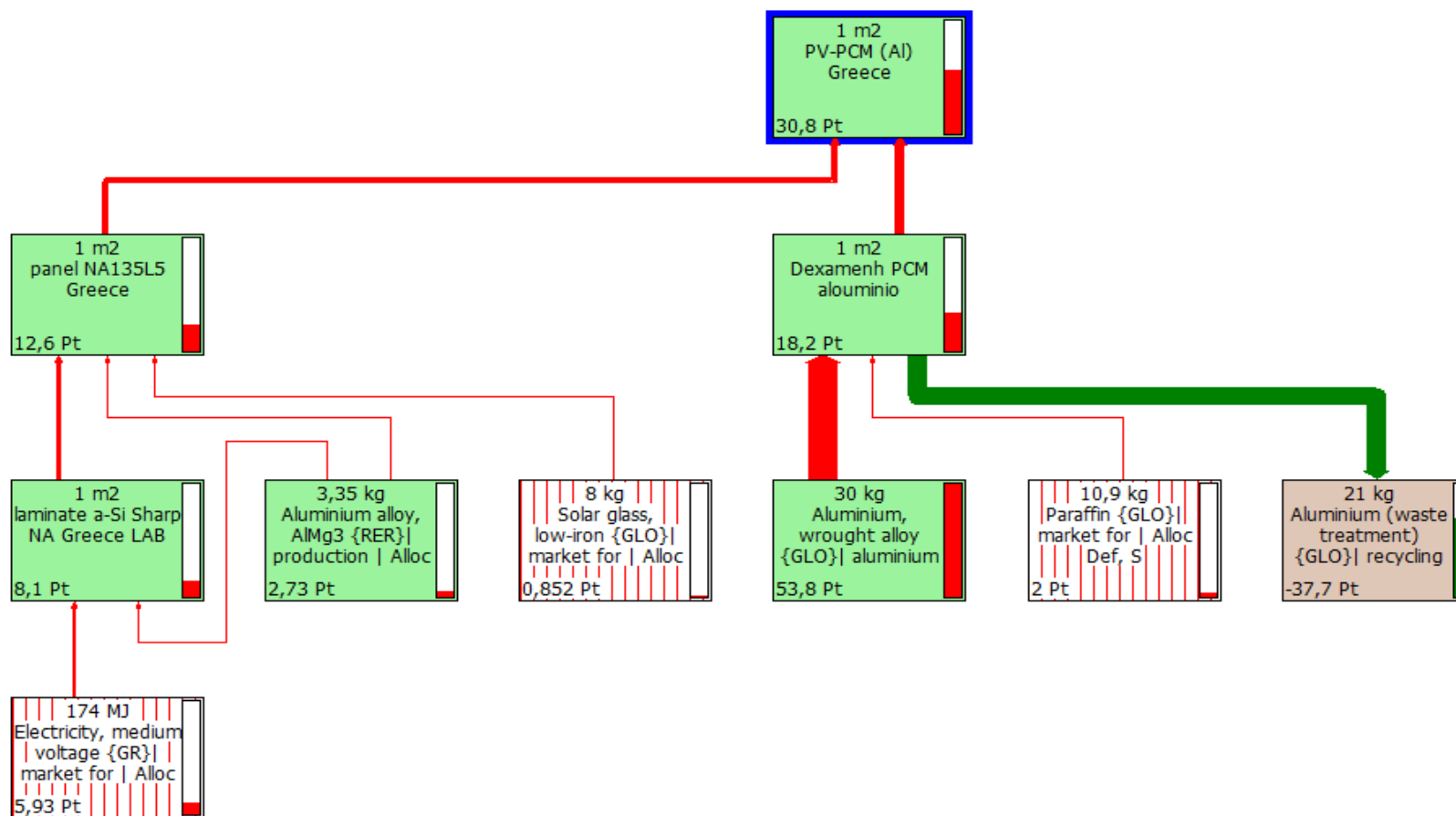
Σενάριο 1^ο Συναρμολόγηση στην Κρήτη



²⁰Διάγραμμα 4.37: Διάγραμμα ροής περιβαλλοντικών φορτίων για συναρμολόγηση του ΦΒ-ΥΑΦ₂ στην Κρήτη

²⁰ Όπου 1Pt ισούται με το 1/1000 του συνολικού ετήσιο περιβαλλοντικού φορτίου ενός μέσου Ευρωπαίου πολίτη

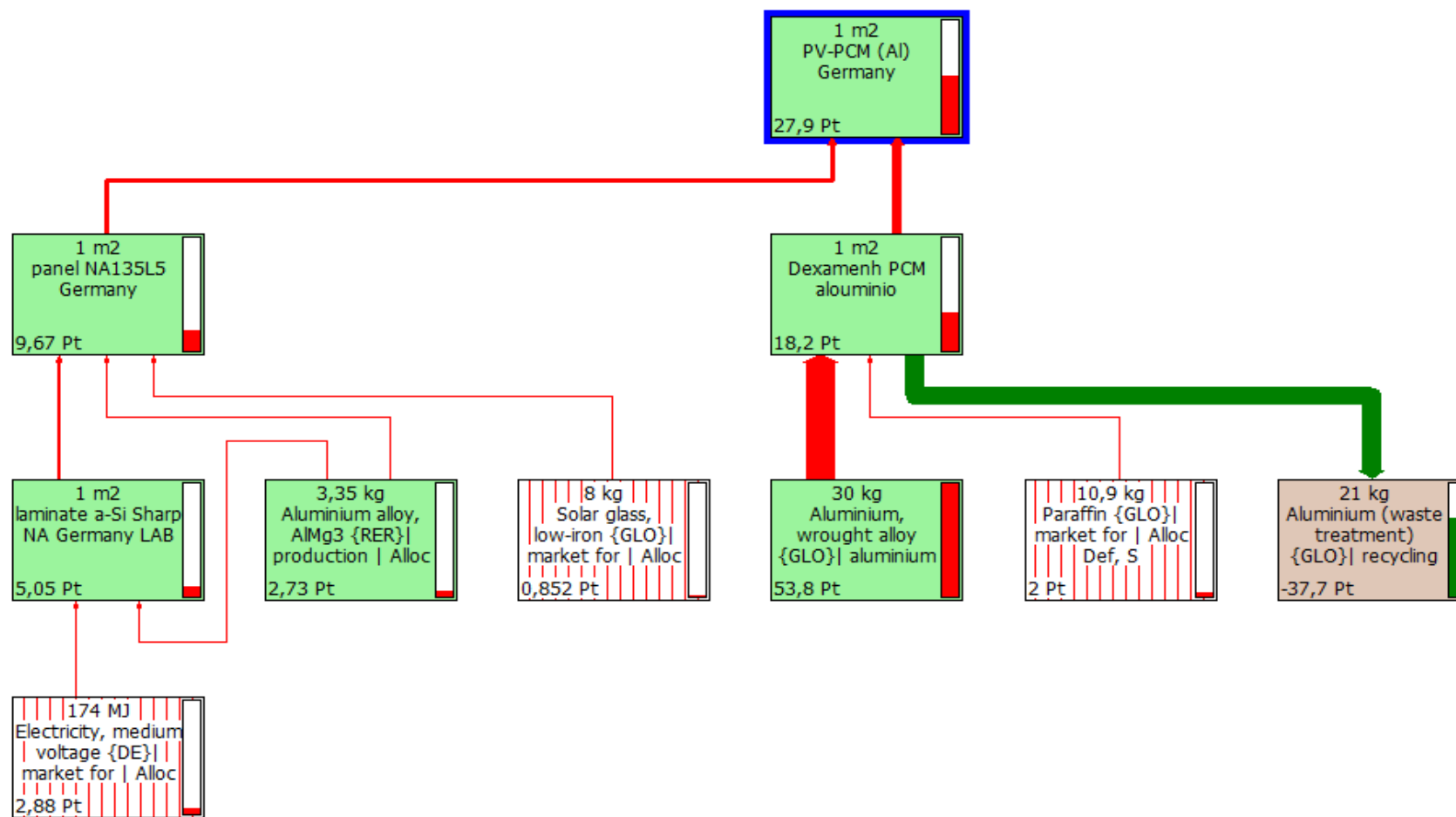
Σενάριο 2^ο : Συναρμολόγηση στην ηπειρωτική Ελλάδα



²¹Διάγραμμα 4.38: Διάγραμμα ροής περιβαλλοντικών φορτίων για συναρμολόγηση του ΦΒ-ΥΑΦ₂ στην ηπειρωτική Ελλάδα

²¹ Όπου 1Pt ισούται με το 1/1000 του συνολικού ετήσιο περιβαλλοντικού φορτίου ενός μέσου Ευρωπαίου πολίτη

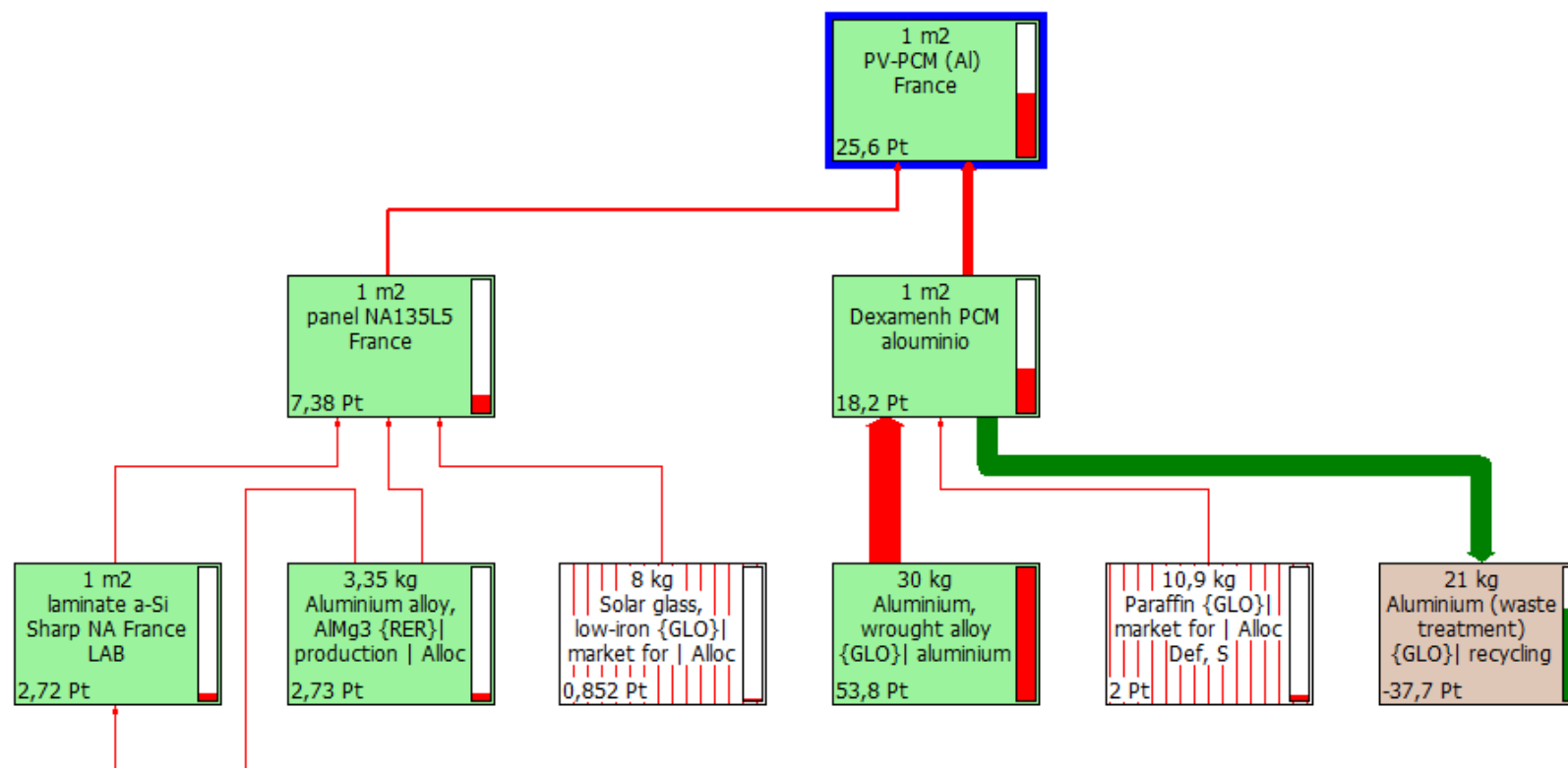
Σενάριο 3^ο : Συναρμολόγηση στην Γερμανία



²²Διάγραμμα 4.39: Διάγραμμα ροής περιβαλλοντικών φορτίων για συναρμολόγηση του ΦΒ-ΥΑΦ₂ στην Γερμανία

²² Όπου 1Pt ισούται με το 1/1000 του συνολικού ετήσιο περιβαλλοντικού φορτίου ενός μέσου Ευρωπαίου πολίτη

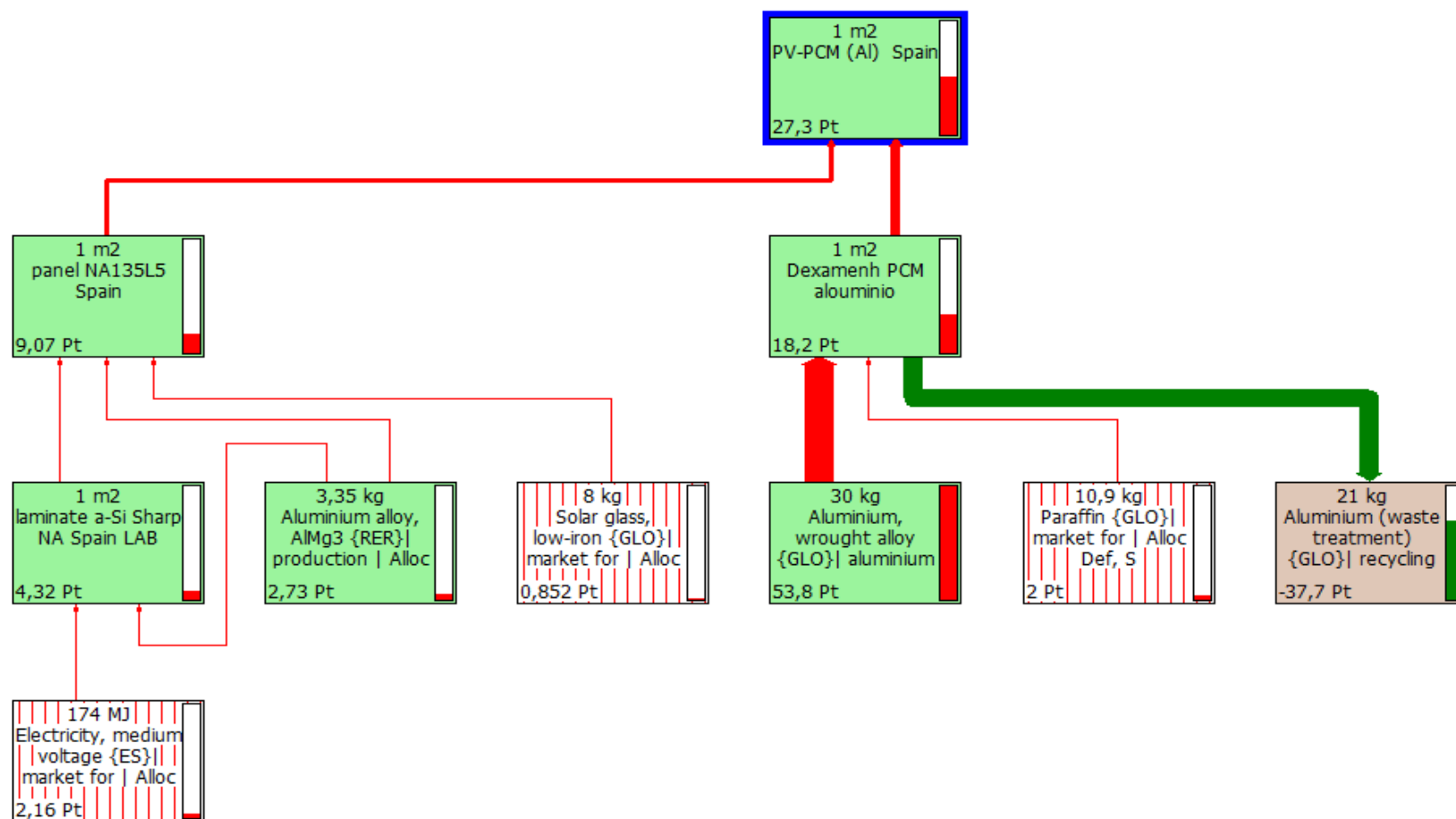
Σενάριο 4^ο : Συναρμολόγηση στην Γαλλία



²³Διάγραμμα 4.40: Διάγραμμα ροής περιβαλλοντικών φορτίων για συναρμολόγηση του ΦΒ-ΥΑΦ₂ στην Γαλλία

²³ Όπου 1Pt ισούται με το 1/1000 του συνολικού ετήσιο περιβαλλοντικού φορτίου ενός μέσου Ευρωπαίου πολίτη

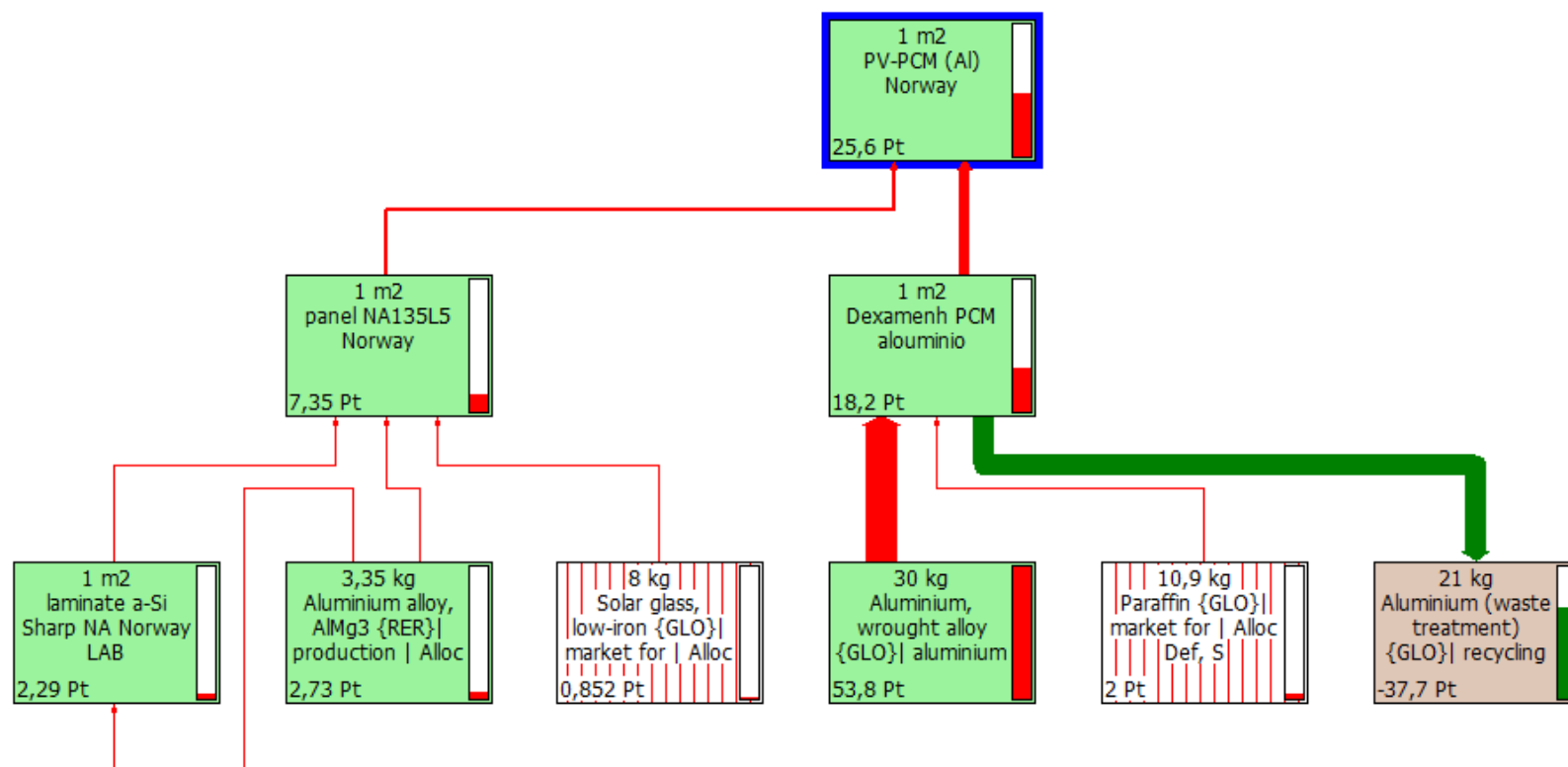
Σενάριο 5^ο : Συναρμολόγηση στην Ισπανία



²⁴Διάγραμμα 4.41: Διάγραμμα ροής περιβαλλοντικών φορτίων για συναρμολόγηση του ΦΒ-ΥΑΦ₂ στην Ισπανία

²⁴ Όπου 1Pt ισούται με το 1/1000 του συνολικού ετήσιο περιβαλλοντικού φορτίου ενός μέσου Ευρωπαίου πολίτη

Σενάριο 6° : Συναρμολόγηση στην Νορβηγία

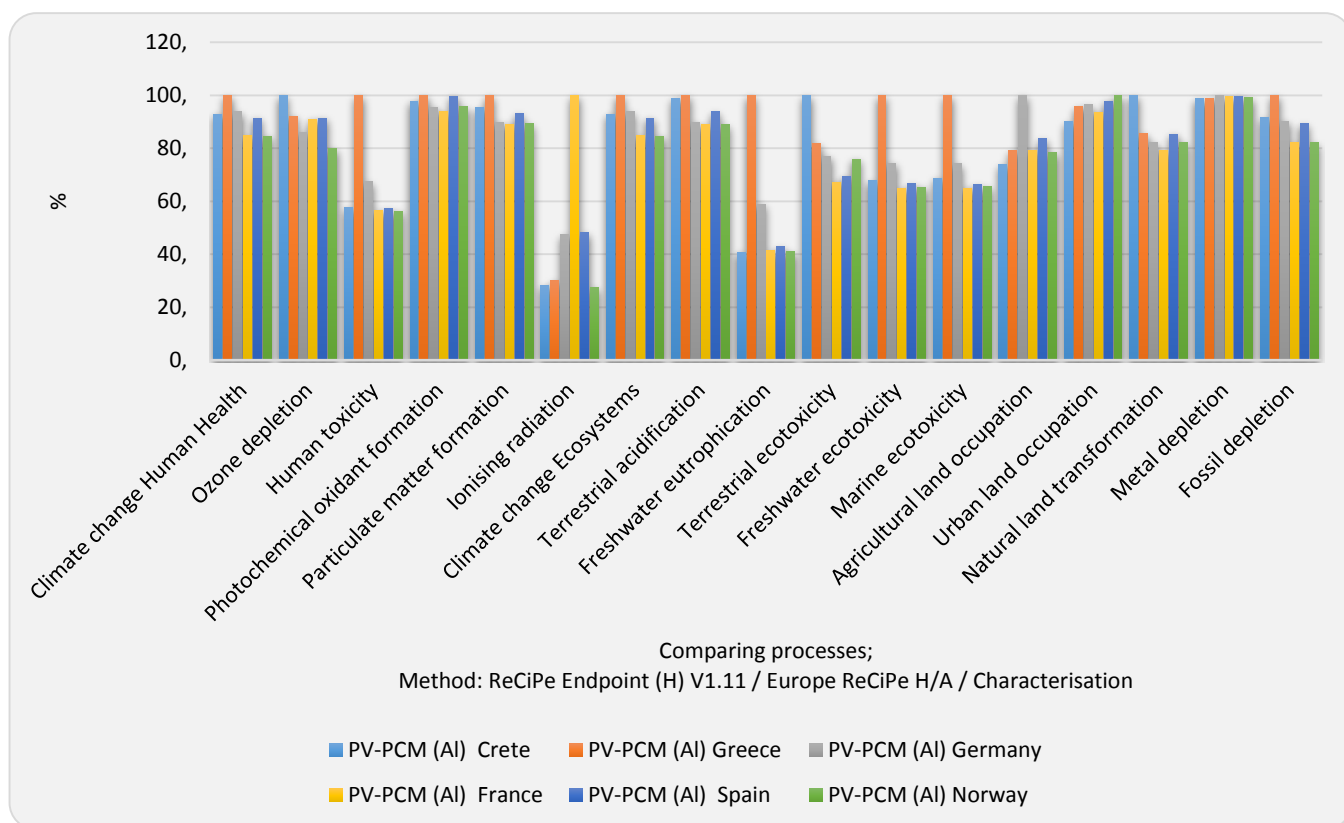


²⁵Διάγραμμα 4.42: Διάγραμμα ροής περιβαλλοντικών φορτίων για συναρμολόγηση του ΦΒ-ΥΑΦ₂ στη Νορβηγία

²⁵ Όπου 1Pt ισούται με το 1/1000 του συνολικού ετήσιο περιβαλλοντικού φορτίου ενός μέσου Ευρωπαίου πολίτη

Παραπάνω βλέπουμε τα διαγράμματα ροής του ΦΒ-ΥΑΦ₂ με τη δεξαμενή του ΥΑΦ να είναι φτιαγμένη από αλουμίνιο. Όπως ήταν αναμενόμενο το ΦΒ πλαίσιο μας δίνει την ίδια τιμή φορτίου ενώ αλλάζει αισθητά το περιβαλλοντικό φορτίο της δεξαμενής. Το συνολικό φορτίο της δεξαμενής σε αυτήν την περίπτωση ισούται με 18,2 Pt. Η τιμή αυτή προκύπτει λόγω του ότι κατά την παραγωγή του αλουμινίου απαιτούνται μεγαλύτερα ποσά ενέργειας απ' τον χάλυβα. Η ανακύκλωση του 70% του αλουμινίου που χρησιμοποιήθηκε είναι ίση με -37,7 Pt μια τιμή αρκετά μεγαλύτερη από αυτή του χάλυβα. Αυτό συμβαίνει διότι η ανακύκλωση του αλουμινίου είναι πιο σημαντική απ' αυτή του χάλυβα καθώς όπως είπαμε και παραπάνω απαιτείται περισσότερη ενέργεια κατά την παραγωγή του. Τελικά, παρατηρείτε ότι το συνολικό φορτίο του αλουμινίου της δεξαμενής είναι μεγαλύτερο από αυτό του χάλυβα κατά 32,1 Pt. Το φορτίο του αλουμινίου για τη δεξαμενή είναι 53,8 Pt σε αντίθεση με τα 21,7 Pt του χάλυβα ενώ το ΥΑΦ έχει πάλι φορτίο 2 Pt.

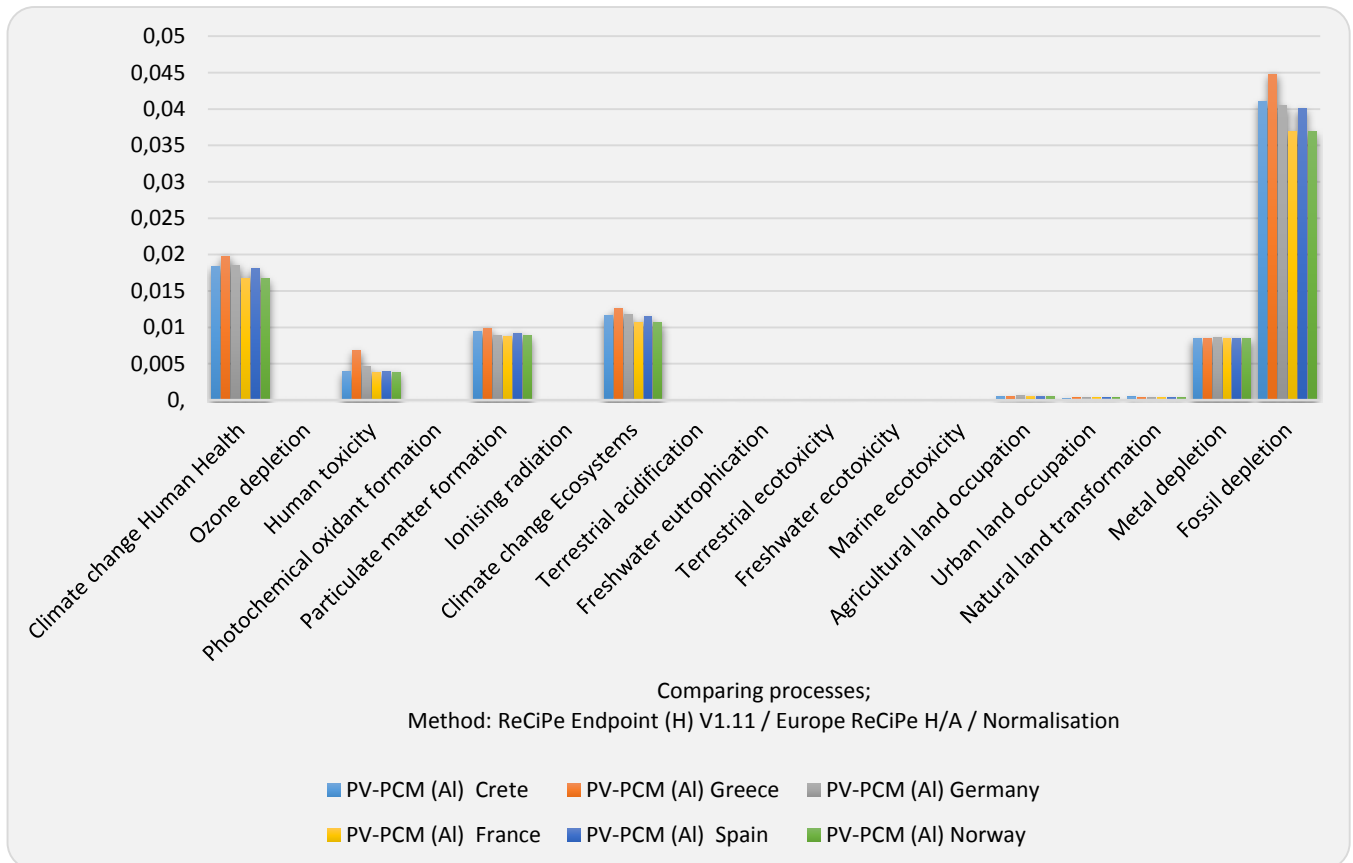
Στο διάγραμμα 4.42 του χαρακτηρισμού των δεδομένων παρατηρούμε αρκετά υψηλές τιμές παρόμοια με αυτές της περίπτωσης της δεξαμενής του χάλυβα.



Διάγραμμα 4.43: Γράφημα χαρακτηρισμού

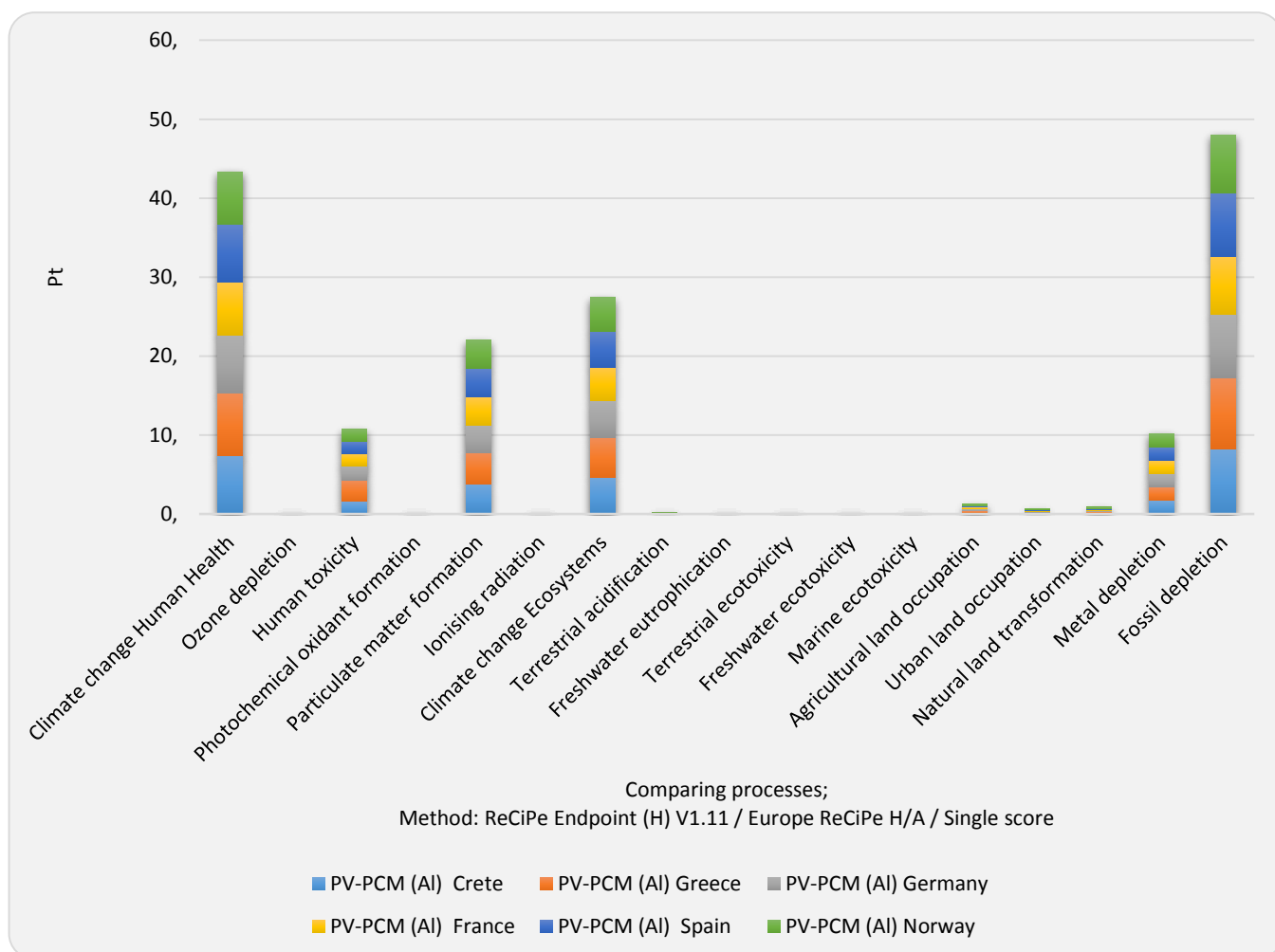
Ακολουθεί το διάγραμμα 4.44 της κανονικοποίησης όπου φαίνονται ξεκάθαρα ποιες είναι οι άμεσα επηρεαζόμενες κατηγορίες επίδρασης. Παρατηρείται ότι σε αυτή την περίπτωση η κατηγορία που επηρεάζεται περισσότερο είναι αυτή της εξάντλησης των πόρων. Κατά σειρά οι κατηγορίες με τη μεγαλύτερη επίδραση είναι:

- η μείωση των καυσίμων (Fossil depletion)
- η κλιματική αλλαγή σε σχέση με την ανθρώπινη υγεία (Climate change Human Health)
- η κλιματική αλλαγή σε σχέση με τα οικοσυστήματα (Climate change ecosystems)
- τα μικρά σωματίδια (Particulate matter formation)
- η εξάντληση των πόρων (Metal depletion) και
- η ανθρώπινη τοξικότητα (Human toxicity)



Διάγραμμα 4.44: Κανονικοποίηση ανά κατηγορία επίδρασης

Από το διάγραμμα 4.45 των συνολικών επιπτώσεων διαπιστώνετε ότι για το σύστημα ΦΒ-ΥΑΦ₂ οι κύριες κατηγορίες επίδρασης είναι αυτή της εξάντλησης των καυσίμων και η κλιματική αλλαγή σε σχέση με την ανθρώπινη υγεία. Πιο αναλυτικά τα αποτελέσματα των κύριων κατηγοριών βρίσκονται στον πίνακα 4.8.

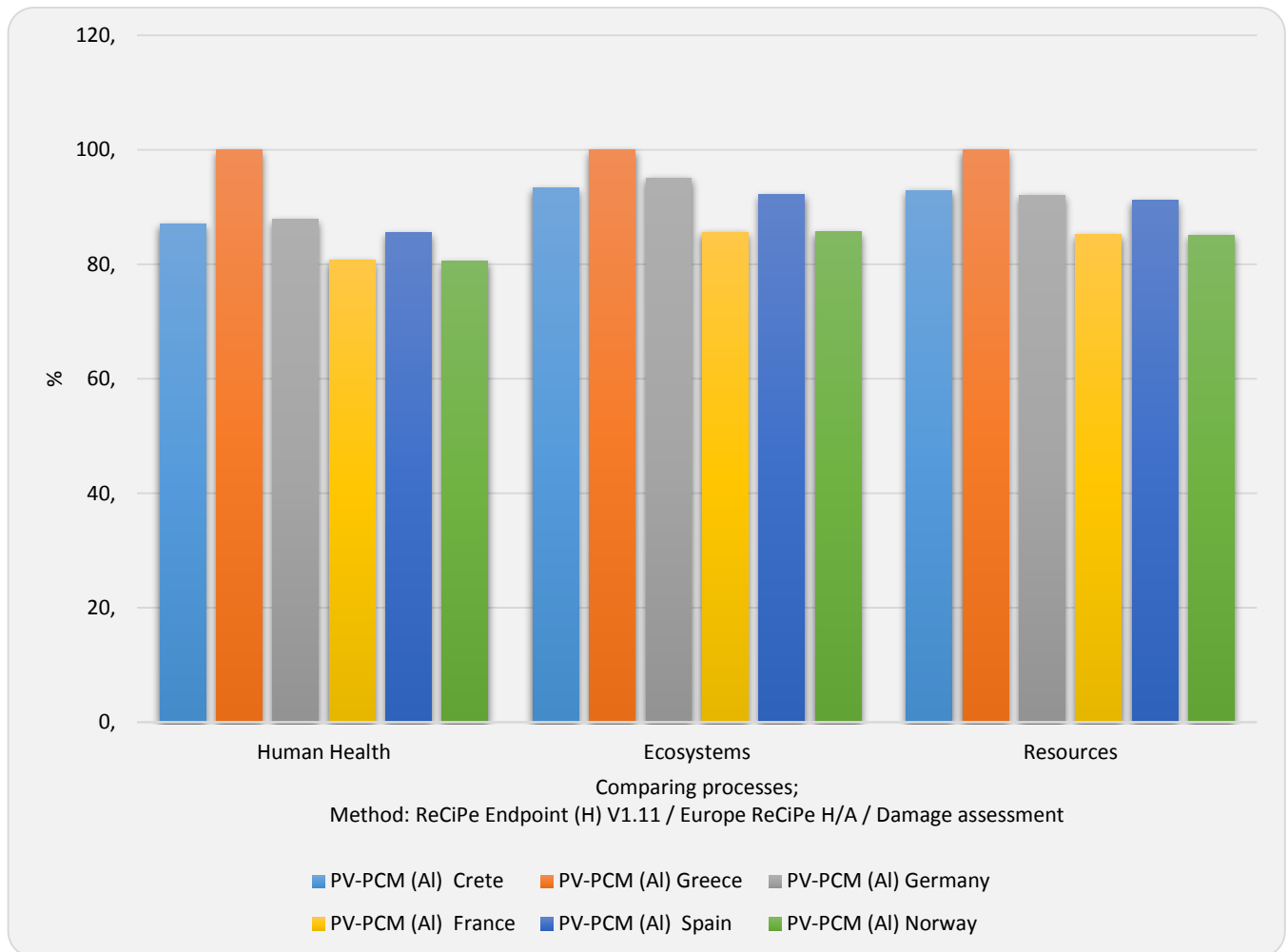


Διάγραμμα 4.45: Συνολικές επιπτώσεις ανά κατηγορία επίδρασης

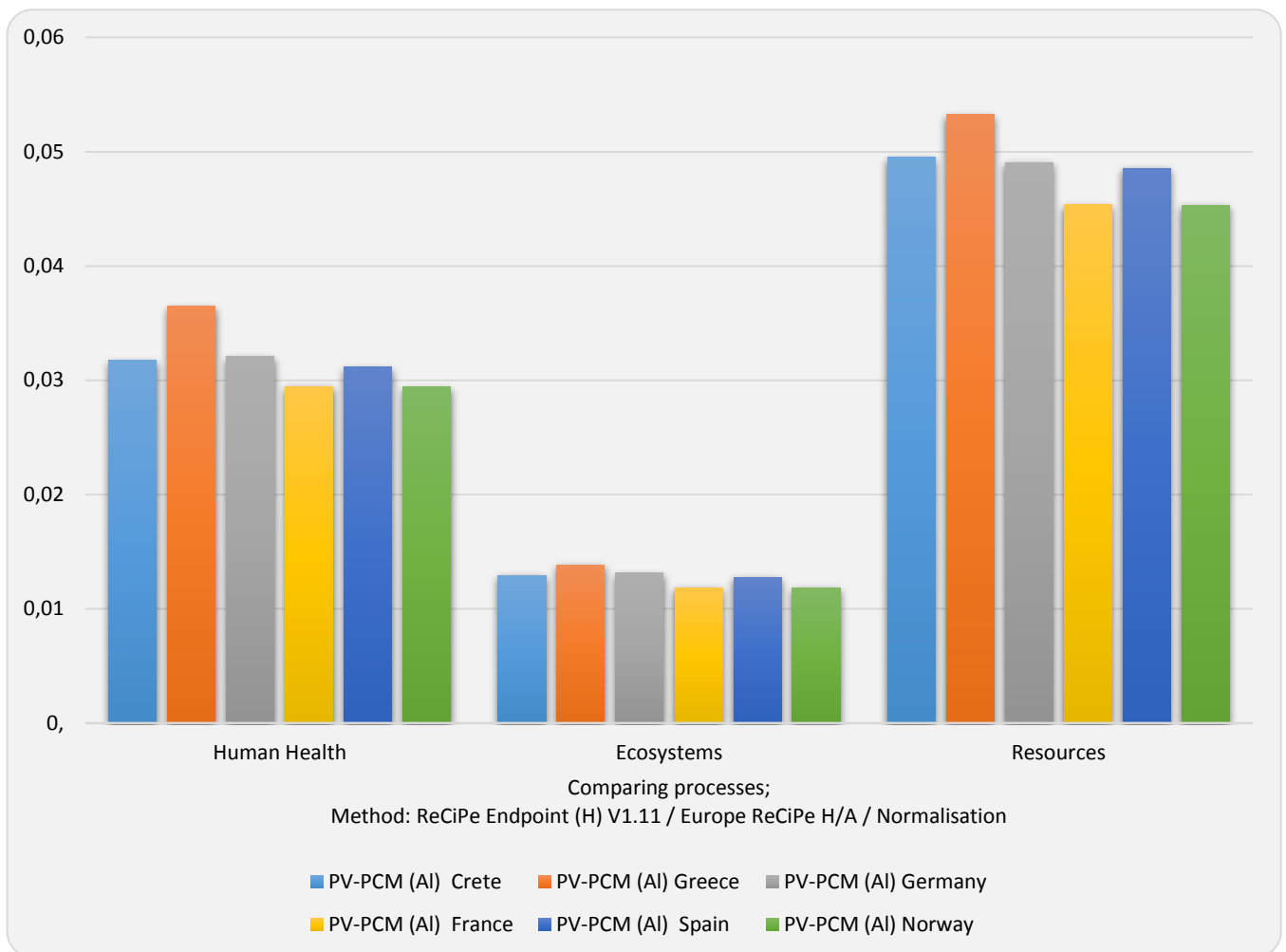
Πίνακας 4.8: Αναλυτικά αποτελέσματα σε Pt από τις κατηγορίες με τη μεγαλύτερη επίδραση

ΦΒ-ΥΑΦ αλουμινίου	Climate change Human Health	Human toxicity	Particulate matter formation	Climate change Ecosystems	Metal depletion	Fossil depletion
Κρήτη	7,3505	1,5663	3,7733	4,6512	1,6893	8,2119
Ηπειρωτική Ελλάδα	7,9126	2,7182	3,9557	5,0069	1,6905	8,9611
Γερμανία	7,4295	1,8293	3,5523	4,7012	1,7124	8,0984
Γαλλία	6,7084	1,5326	3,5238	4,2449	1,7047	7,3699
Ισπανία	7,2321	1,557	3,679	4,5763	1,7077	8,0025
Νορβηγία	6,6934	1,5274	3,536	4,2354	1,6963	7,3725

Στη συνέχεια παρατίθενται τα διαγράμματα του συστήματος ΦΒ-ΥΑΦ₂ στις τρεις κατηγορίες βλάβης.

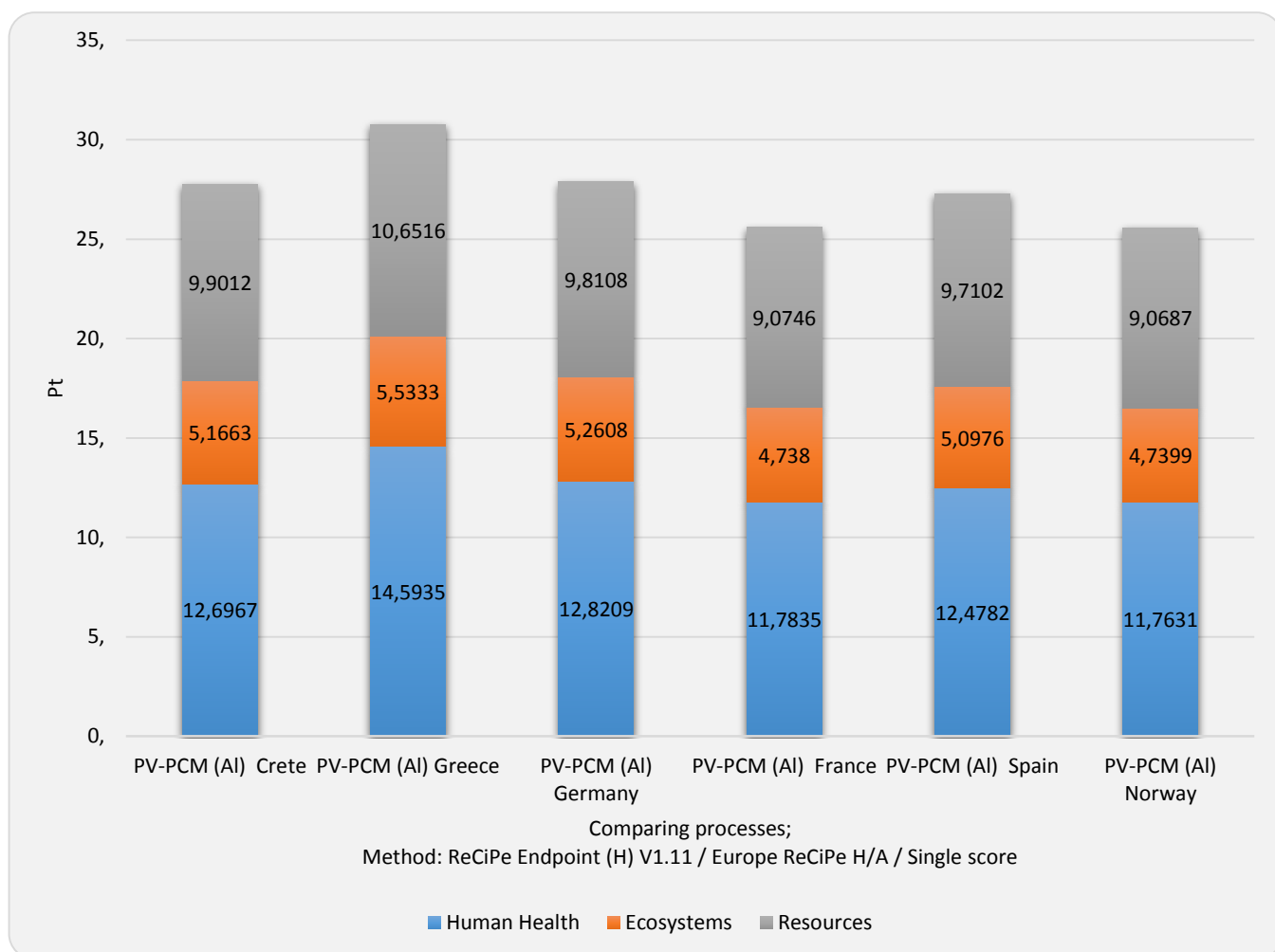


Διάγραμμα 4.46: Αξιολόγηση βλαβών ανά κατηγορία



Διάγραμμα 4.47: Κανονικοποίηση ανά κατηγορία βλαβών

Τέλος παρατηρούμε ότι τα τελικά αποτελέσματα ανά κατηγορία βλάβης μας δίνουν μεγαλύτερες τιμές σε σχέση με το σύστημα ΦΒ-ΥΑΦ₁.



Διάγραμμα 4.48: Τελικά αποτελέσματα ανά κατηγορία βλάβης

Με τη δεύτερη μέθοδο που χρησιμοποιήσαμε βρήκαμε τα ποσά του CO₂ που θα μας επιφέρει μια τέτοια κατασκευή.

Πίνακας 4.9: Ποσά CO₂ του πλαισίου ΦΒ-ΥΑΦ₂ για όλα τα σενάρια

Σενάρια	Κρήτη	Ηπειρωτική Ελλάδα	Γερμανία	Γαλλία	Ισπανία	Νορβηγία
ΦΒ – ΥΑΦ ₂ (kg CO ₂ eq)	267	288	270	244	263	243

4.3.4 Αξιολόγηση του ΦΒ-ΥΑΦ

Ο απώτερος στόχος της συγκεκριμένης μελέτης ήταν η αξιολόγηση του συστήματος ΦΒ-ΥΑΦ και η σύγκρισή του με ένα απλό ΦΒ πλαίσιο υπολογίζοντας και τη φάση λειτουργίας. Παρακάτω θα συγκρίνουμε τα τρία πλαίσια (απλό ΦΒ, ΦΒ-ΥΑΦ₁ και ΦΒ-ΥΑΦ₂) για δύο από τα σενάρια που είχαμε υποθέσει διότι οι αλλαγές μεταξύ τους είναι πολύ μικρές. Αυτό συμβαίνει γιατί κατά τη φάση λειτουργίας των πλαισίων δεν αλλάζει κάτι διότι έχουμε υποθέσει ότι η εγκατάσταση βρίσκεται στα Χανιά και συγκεκριμένα στο Πολυτεχνείο Κρήτης, έτσι για όλα τα σενάρια που μελετήσαμε η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται είναι η ίδια και διοχετεύεται στο δίκτυο της Κρήτης. Τελικά, επιλέξαμε της περιοχές της Κρήτης και της Γερμανίας.

Η μοναδική αλλαγή που έχουμε σε αυτή την περίπτωση είναι η θερμοκρασία στα συστήματα ΦΒ-ΥΑΦ. Οι διαφορές που υπήρχαν στη θερμοκρασία για τα δύο συστήματα ήταν σημαντικές για το διάστημα Μάιο έως Οκτώβριο.

Σύμφωνα με την πρόσφατη εργασία που πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο Ανανεώσιμων και Βιώσιμων Ενεργειακών Συστημάτων για το σύστημα ΦΒ-ΥΑΦ, η θερμοκρασία που υπήρχε κατά μέσο όρο στο πλαίσιο ήταν αρκετά κοντά στου κοντά 25 με 27 °C. Εμείς υποθέσαμε ότι το σύστημα λειτουργεί ιδανικά με μέση θερμοκρασία για το διάστημα Μάιο έως Οκτώβριο 25 °C. Στον παρακάτω πίνακα 4.10 φαίνονται οι θερμοκρασίες που έχουμε λάβει υπόψη και η μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία που πήραμε από μεταπτυχιακή εργασία που έχει υλοποιηθεί παλαιότερα στο εργαστήριο Ανανεώσιμων και Βιώσιμων Ενεργειακών Συστημάτων.

Πίνακας 4.10: Μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο ίσο με 30° H(30) και μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες [Σαββάκης, 2014]

Μήνες	$H_{(30)}$ kWh/m ² /day	T _m (°C) ΦΒ	T _m (°C) ΦΒ-ΥΑΦ
Ιανουάριος	3,66	19,8	19,8
Φεβρουάριος	4,32	18,5	18,5
Μάρτιος	6,01	20,8	20,8
Απρίλιος	6,62	23,2	23,2
Μάιος	7,06	28,9	25
Ιούνιος	7,59	34,6	25
Ιούλιος	7,7	38,3	25
Αύγουστος	7,73	37,4	25
Σεπτέμβριος	6,82	35,0	25
Οκτώβριος	5,43	26,4	25
Νοέμβριος	4,21	20,3	20,3
Δεκέμβριος	3,18	21,1	21,1

Στη συνέχεια με τη βοήθεια των παρακάτω τύπων βρέθηκε αρχικά η απόδοση του κάθε πλαισίου με βάση τη θερμοκρασία λειτουργίας του (τύπος 4.1) και έπειτα η μέση μηνιαία ενέργεια σε kWh που θα μας επιφέρουν τα δύο συστήματα (τύπος

4.2). Ακόμα έγινε αναγωγή σε μηνιαία ηλεκτρική ενέργεια και στη συνέχεια υπολογίσαμε μια μέση ετήσια ηλεκτρική ενέργεια. Τέλος βρέθηκε και η ηλεκτρική ενέργεια σε βάθος 30 χρόνων που είναι η μέση ζωή ενός ΦΒ πλαισίου.

$$n_T = \begin{cases} 1 + \beta_{PMPP} + (T_m - T_{STC}) & \text{Αν } T_m > T_{STC} \\ 1, & \text{Αν } T_m \leq T_{STC} \end{cases} \quad (4.1)$$

[Savvakis and Tsoutsos, 2015]

Όπου $\beta_{PMPP} = -0,0024$

$T_{STC} = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$

$n = 0,096$

$A = 1\text{m}^2$

$$E = n * n_T * A * H_{(30)} \quad (4.2)$$

[Savvakis and Tsoutsos, 2015]

Όπου $n = 0,096$

n_T από τύπο 4.1

$A = 1\text{m}^2$

$H_{(30)}$ από πίνακα 4.11

Πίνακας 4.11: Απόδοση πλαισίου και υπολογισμός ενέργειας

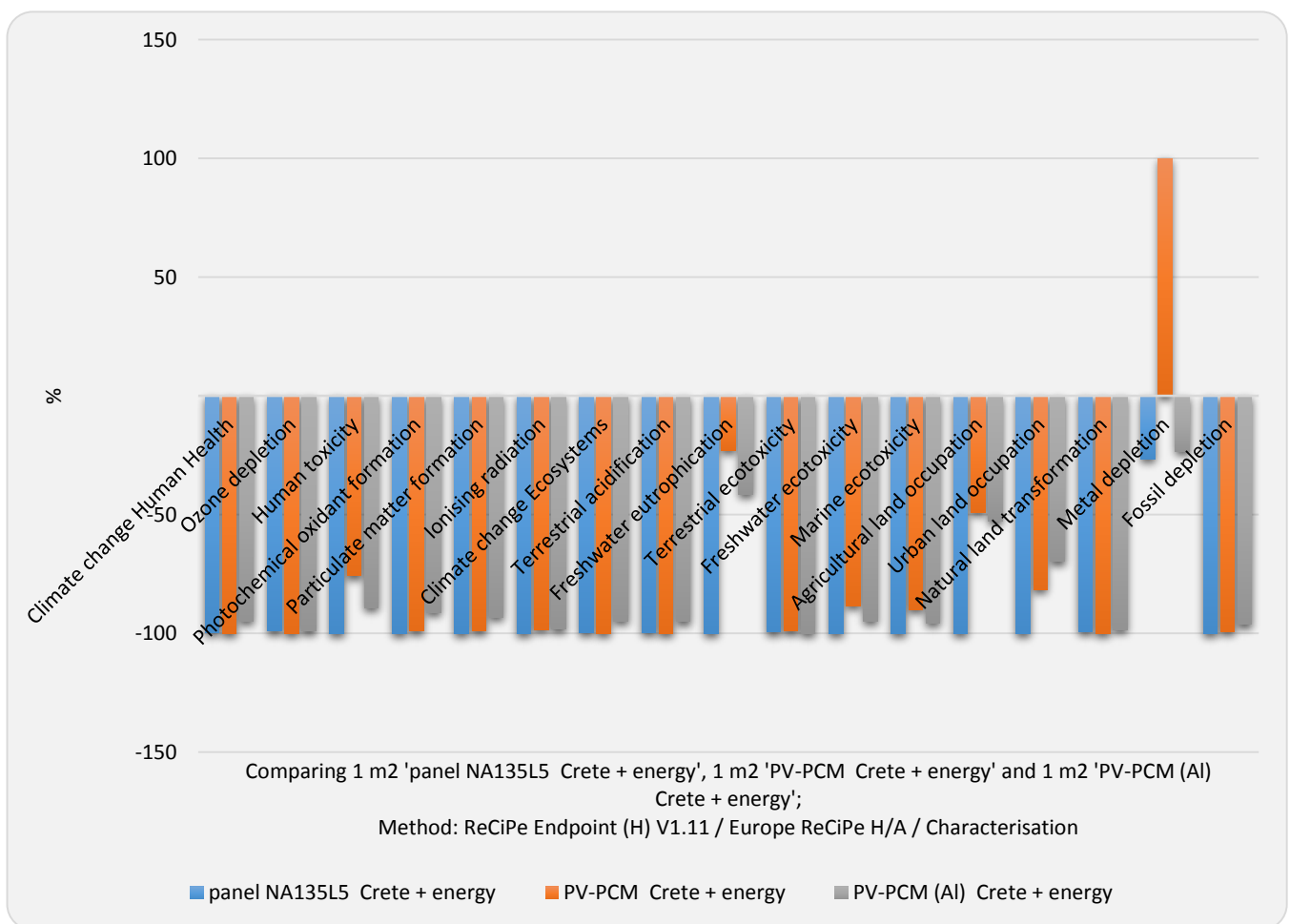
Μήνες	n_T ΦΒ	n_T ΦΒ-ΥΑΦ	Μέση ημερήσια ηλεκτρική ενέργεια (kWh) ΦΒ	Μέση ημερήσια ηλεκτρική ενέργεια (kWh) ΦΒ- ΥΑΦ	Μέση μηνιαία ηλεκτρική ενέργεια (kWh) ΦΒ	Μέση μηνιαία ηλεκτρική ενέργεια (kWh) ΦΒ- ΥΑΦ
Ιανουάριος	1,000	1,000	0,263	0,263	8,154	8,154
Φεβρουάριος	1,000	1,000	0,276	0,276	7,741	7,741
Μάρτιος	1,000	1,000	0,382	0,382	11,844	11,844
Απρίλιος	1,000	1,000	0,491	0,491	14,717	14,717
Μάιος	0,991	1,000	0,581	0,587	18,013	18,183
Ιούνιος	0,977	1,000	0,627	0,642	19,451	19,909
Ιούλιος	0,968	1,000	0,659	0,681	20,426	21,100
Αύγουστος	0,970	1,000	0,622	0,641	19,288	19,880
Σεπτέμβριος	0,976	1,000	0,539	0,552	16,163	16,560
Οκτώβριος	0,997	1,000	0,367	0,369	11,389	11,428
Νοέμβριος	1,000	1,000	0,231	0,231	6,941	6,941
Δεκέμβριος	1,000	1,000	0,272	0,272	8,422	8,422
Ετήσια τιμή σε kWh					162,550	164,880

Άρα η συνολική ενέργεια σε βάθος 30 χρόνων του απλού ΦΒ πλαισίου της Sharp είναι 4.876,504 kWh ενώ για το ΦΒ-ΥΑΦ σύστημα είναι 4.946,400 kWh. Βλέπουμε ότι το σύστημα ΦΒ-ΥΑΦ μας δίνει περίπου 70 kWh περισσότερες από το απλό ΦΒ πλαίσιο σε βάθος 30 χρόνων.

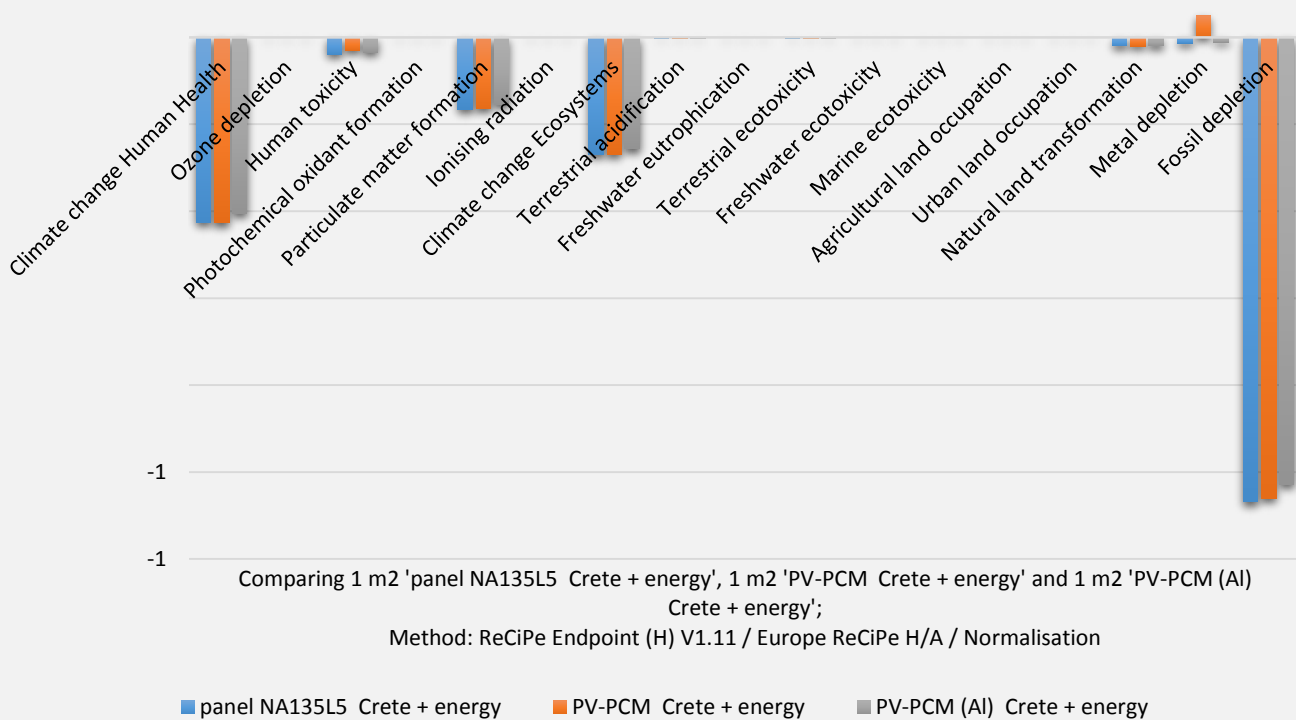
Στη συνέχεια αφού περάσαμε τα αποτελέσματα στα πλαίσια που είχαμε φτιάξει στο SimaPro πήραμε τα παρακάτω αποτελέσματα.

1^ο Σενάριο: Συναρμολόγηση και λειτουργία στην περιοχή της Κρήτης

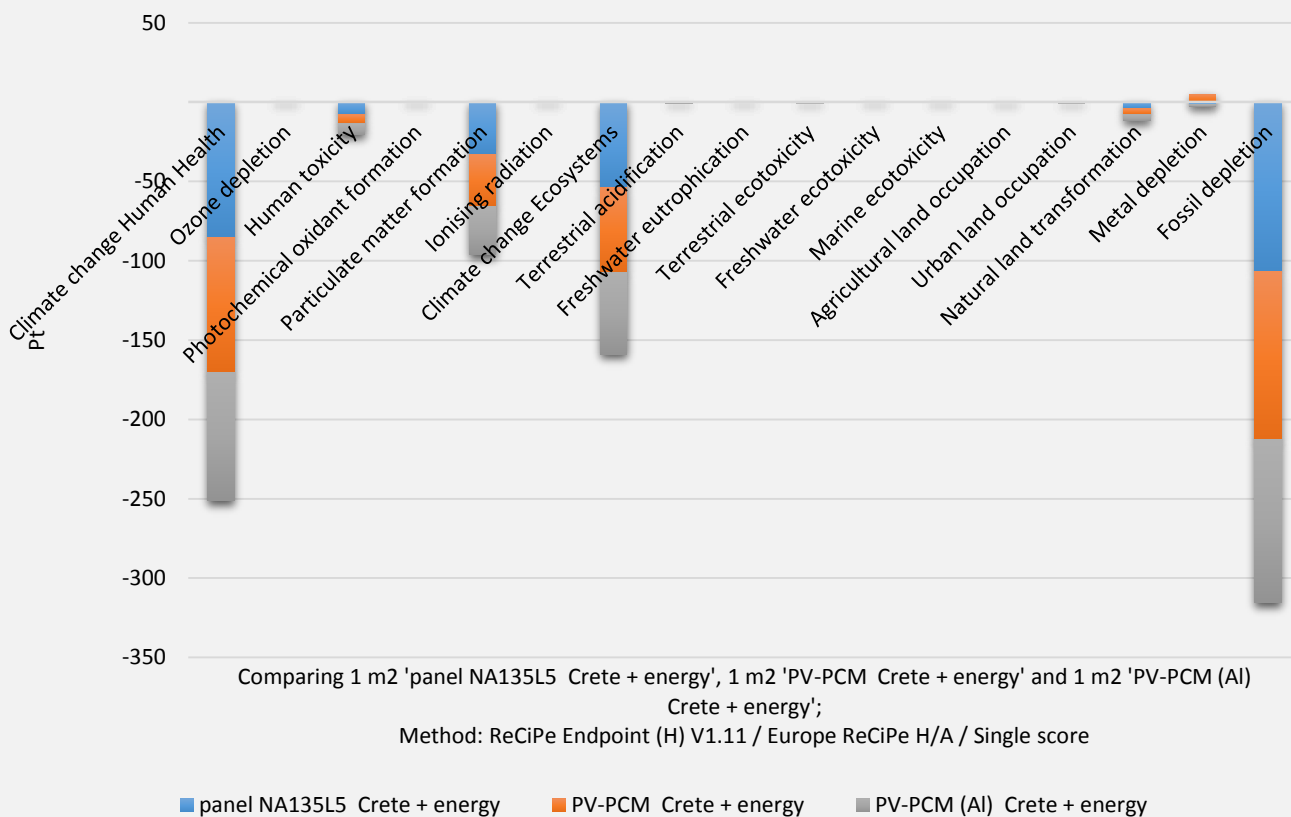
Ακολουθεί το διάγραμμα του χαρακτηρισμού για τα τρία πλαίσια. Το απλό πλαίσιο και το σύστημα ΦΒ-ΥΑΦ₂ έχουν αρνητικές τιμές σε όλες τις κατηγορίες ενώ στο σύστημα ΦΒ-ΥΑΦ₁ παρατηρείται θετικό ποσοστό στην κατηγορία της εξάντληση των πόρων.



Διάγραμμα 4.49: Γράφημα χαρακτηρισμού

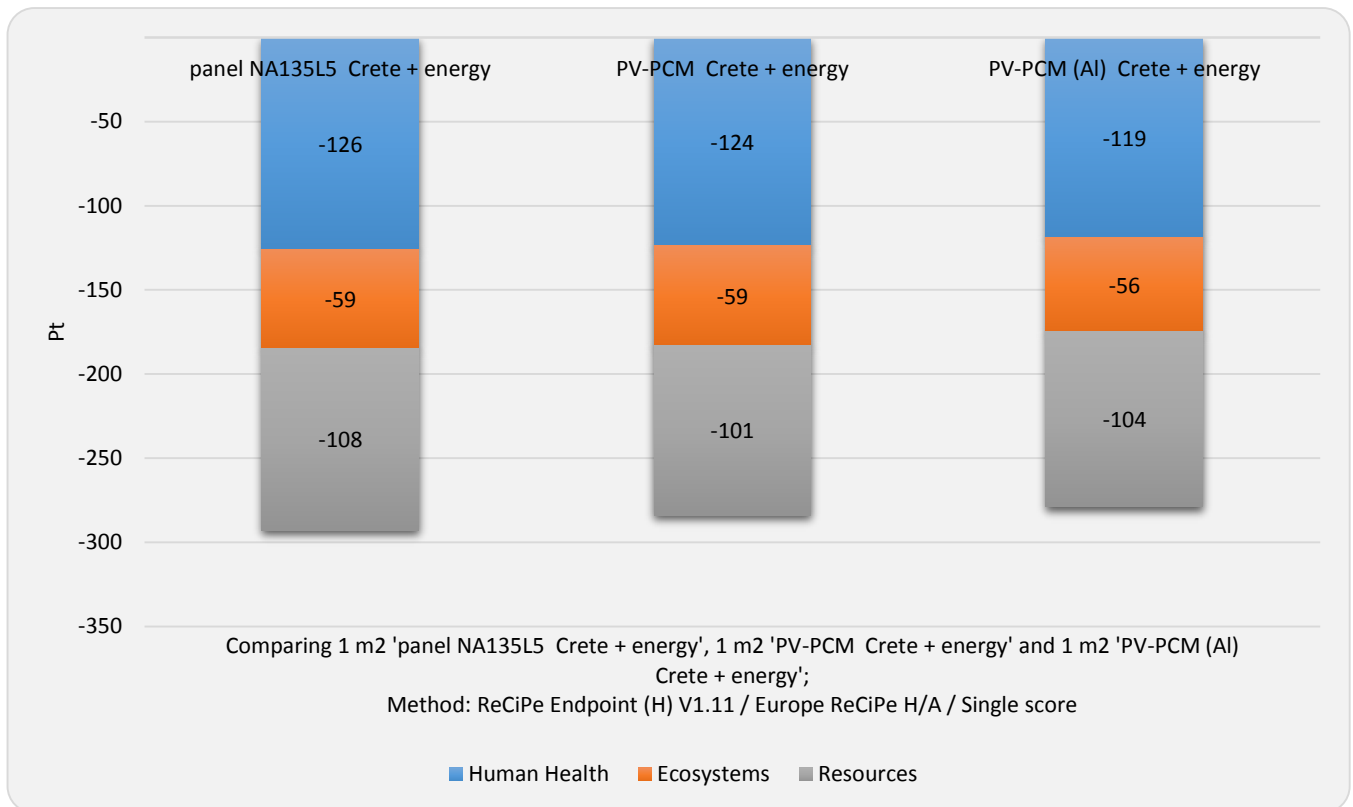


Διάγραμμα 4.50: Κανονικοποίηση ανά κατηγορία επίδρασης



Διάγραμμα 4.51: Συνολικές επιπτώσεις ανά κατηγορία επίδρασης

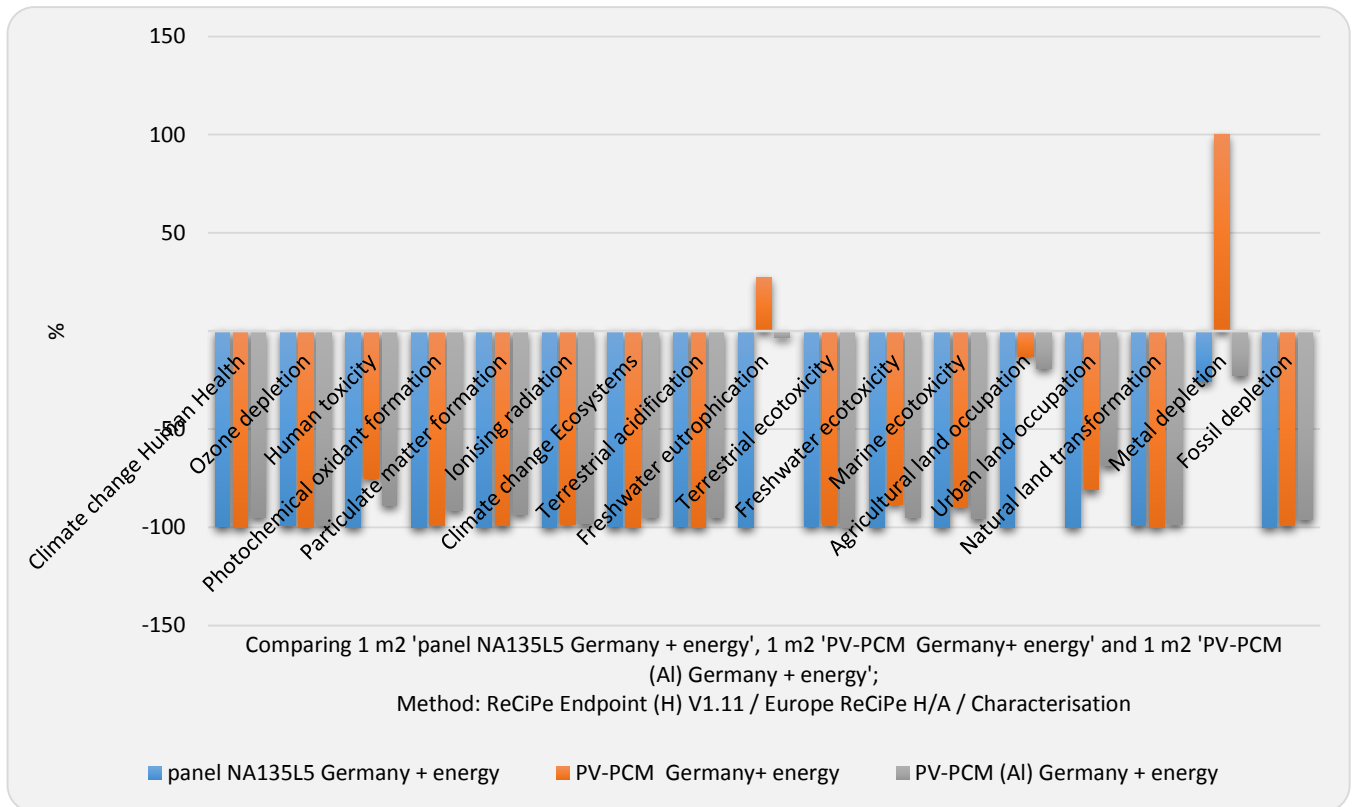
Στο συνολικό διάγραμμα ανά κατηγορία βλάβης βλέπουμε ότι καλύτερα αποτελέσματα έρχονται από το απλό ΦΒ πλαίσιο με την συνολική τιμή για όλες τις κατηγορίες βλάβης να είναι -293 Pt. Το σύστημα ΦΒ-ΥΑΦ₁ μας δίνει τιμή -284 Pt ενώ το ΦΒ-ΥΑΦ₂ δίνει τιμή ίση με -279 Pt. Στο παρακάτω διάγραμμα μπορούμε να παρατηρήσουμε και τη διαφορά των πλαισίων στις διάφορες κατηγορίες βλάβης.



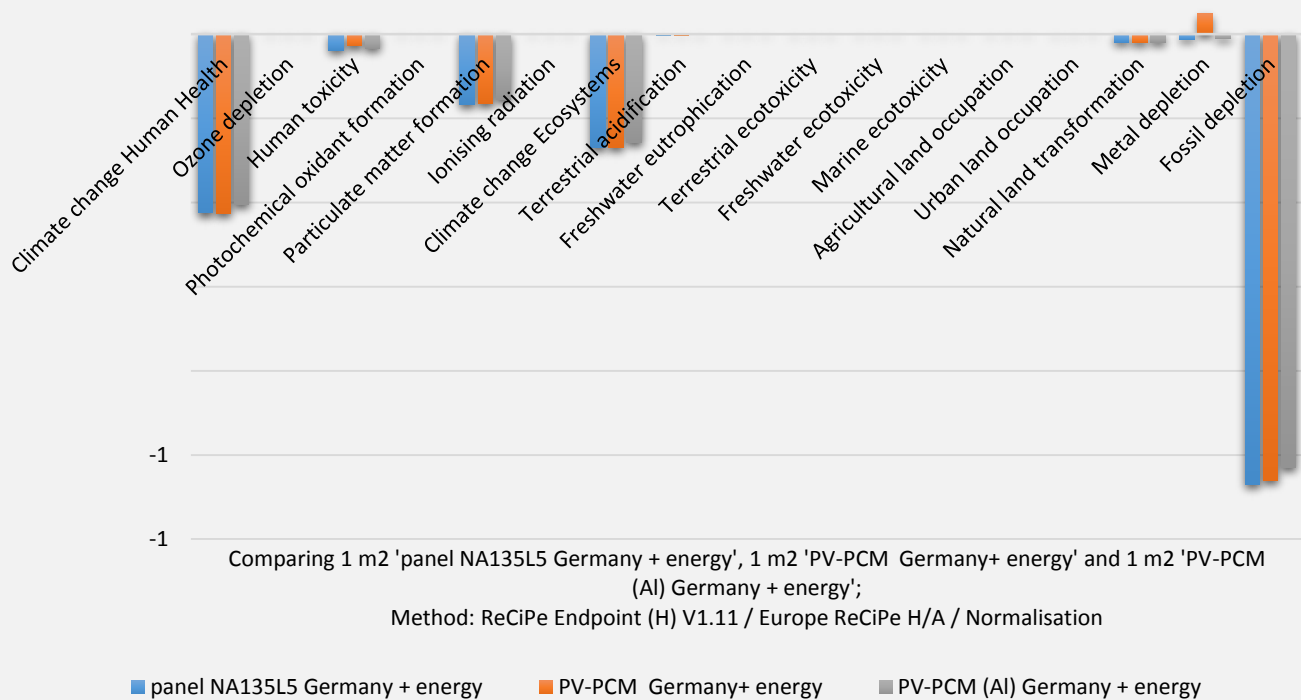
Διάγραμμα 4.52: Τελικά αποτελέσματα ανά κατηγορία βλάβης

2° Σενάριο: Συναρμολόγηση στη Γερμανία και λειτουργία στην περιοχή της Κρήτης

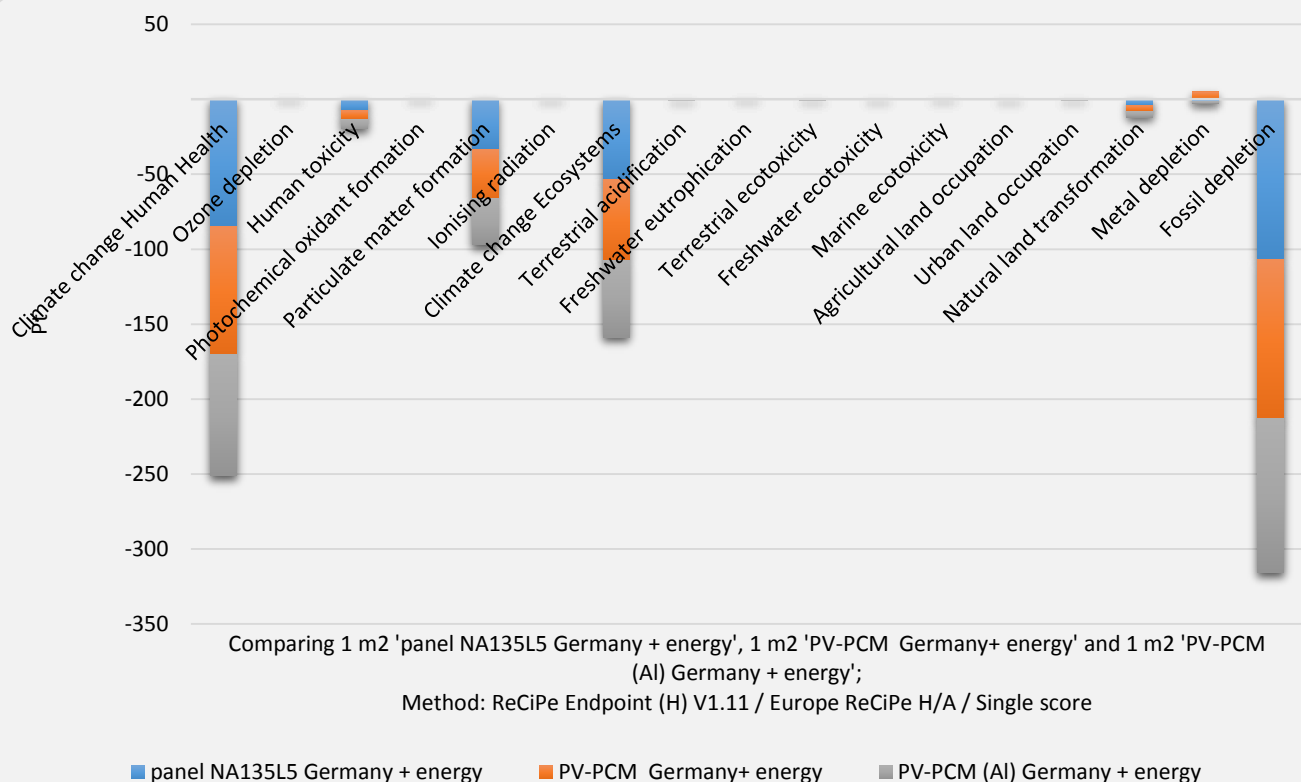
Παρόμοια αποτελέσματα με αυτά του προηγούμενου σεναρίου έχουμε και σε αυτήν την περίπτωση και οι διαφορές δεν διακρίνονται από τα διαγράμματα όπως μπορούμε να δούμε.



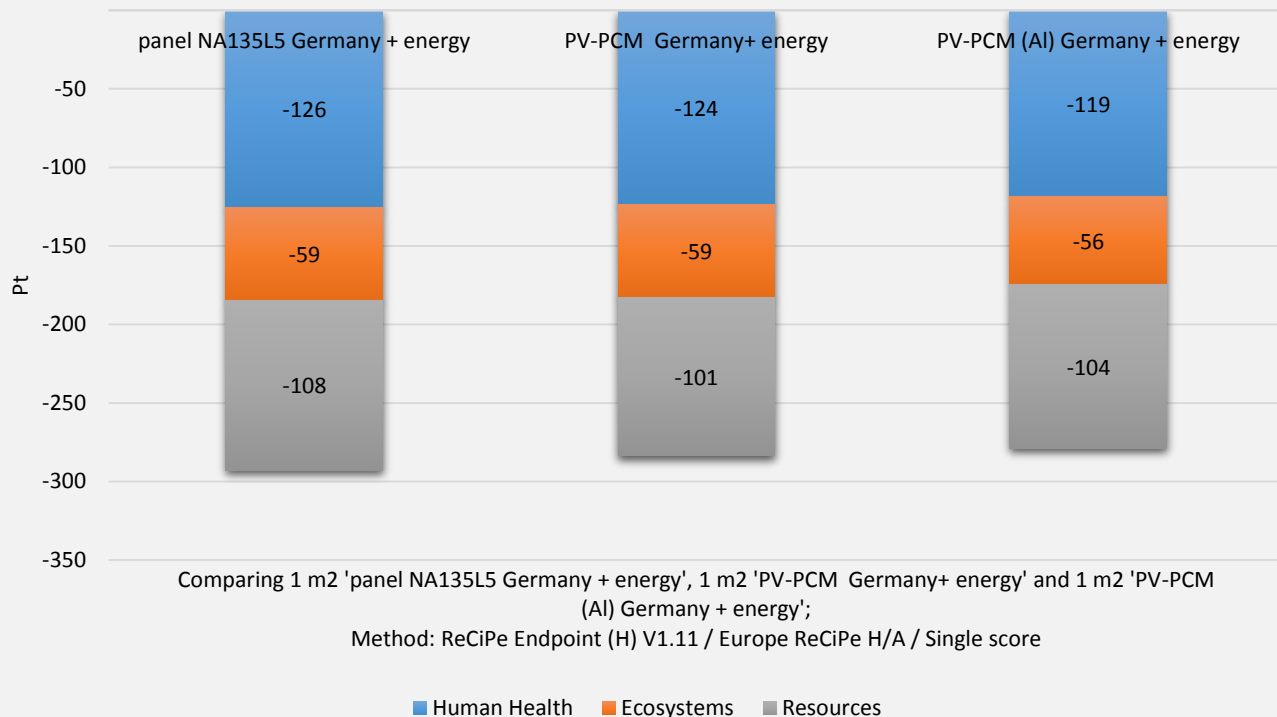
Διάγραμμα 4.53: Γράφημα χαρακτηρισμού



Διάγραμμα 4.54: Κανονικοποίηση ανά κατηγορία επίδρασης



Διάγραμμα 4.55: Συνολικές επιπτώσεις ανά κατηγορία επίδρασης



Διάγραμμα 4.56: Τελικά αποτελέσματα ανά κατηγορία βλάβης

Κεφάλαιο 5 : ΣΥΖΗΤΗΣΗ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ένα πρώτο συμπέρασμα είναι ότι το σενάριο της ηπειρωτικής Ελλάδας διαθέτει τη μεγαλύτερη περιβαλλοντική επιβάρυνση από τα υπόλοιπα. Αυτό παρατηρείται εύκολα από τα διαγράμματα αλλά και από τους συνολικούς πίνακες παρακάτω, αφού διαθέτει τα μεγαλύτερα ποσοστά στις περισσότερες κατηγορίες. Γενικά για την ηπειρωτική Ελλάδα, την Κρήτη και την Γερμανία το κύριο περιβαλλοντικό φορτίο στη συναρμολόγηση των απλών ΦΒ πλασίων οφείλεται στο ενεργειακό μείγμα που διαθέτουν, ενώ για τα υπόλοιπα σενάρια είναι το αλουμίνιο (πίνακας 5.1,5.2).

Στο ενεργειακό μείγμα που διαθέτει η ηπειρωτική Ελλάδα κυριαρχούν με περίπου 50% της ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιείται οι θερμοηλεκτρικοί σταθμοί λιγνίτη, όπου επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό τις κατηγορίες της ανθρώπινης υγείας και των πόρων. Στην Κρήτη παραπάνω από το 70% της ηλεκτρικής ενέργειας προέρχεται από ορυκτά καύσιμα (μαζούτ και ντίζελ) και το υπόλοιπο από ΑΠΕ. Για τη Γερμανία το 24% παράγεται από θερμοηλεκτρικά εργοστάσια λιγνίτη ενώ επόμενος είναι ο λιθάνθρακας με 19%. Ακόμα ένα σεβαστό ποσοστό κατέχουν οι ΑΠΕ με στόχο περαιτέρω βελτίωσης. Σύμφωνα με πρόσφατα στοιχεία για το έτος 2014 στη Γερμανία τη πρωτιά στο ενεργειακό μείγμα είχαν οι ΑΠΕ όμως οι τιμές που υπήρχαν στη βάση δεδομένων του λογισμικού ήταν για το έτος 2013. Στην Ισπανία περίπου το 40 % της ηλεκτρικής ενέργειας προέρχεται από φυσικό αέριο και ένα 15% διαθέτουν οι λιθάνθρακες. Αντίθετα πολύ μικρά ποσοστά στο ενεργειακό τους μείγμα έχουμε από τη Γαλλία και κυρίως τη Νορβηγία που χρησιμοποιούν πυρηνική και υδροηλεκτρική ενέργεια σε ποσοστά 76% και 95% αντίστοιχα. Η πυρηνική ενέργεια στη Γαλλία μεταφράζεται σε μεγάλες τιμές στα διαγράμματα του χαρακτηρισμού στην κατηγορία ιοντίζουσα ακτινοβολία (ionizing radiation). Επίσης μπορεί η πυρηνική ενέργεια να μην είναι τόσο ρυπογόνα αλλά είναι αρκετά επικίνδυνη και παράγει πολλά πυρηνικά απόβλητα τα οποία δεν είναι εύκολα διαχειρίσιμα. Οι διαφορές που παρατηρήθηκαν για τα δύο απλά ΦΒ πλαίσια της United solar και της Sharp δεν είναι ιδιαίτερα μεγάλες όπως διακρίνεται και στους πίνακες 5.1 και 5.2.

Πίνακας 5.1: Κύριες περιβαλλοντικές ροές για το ΦΒ πλαίσιο ASR-128

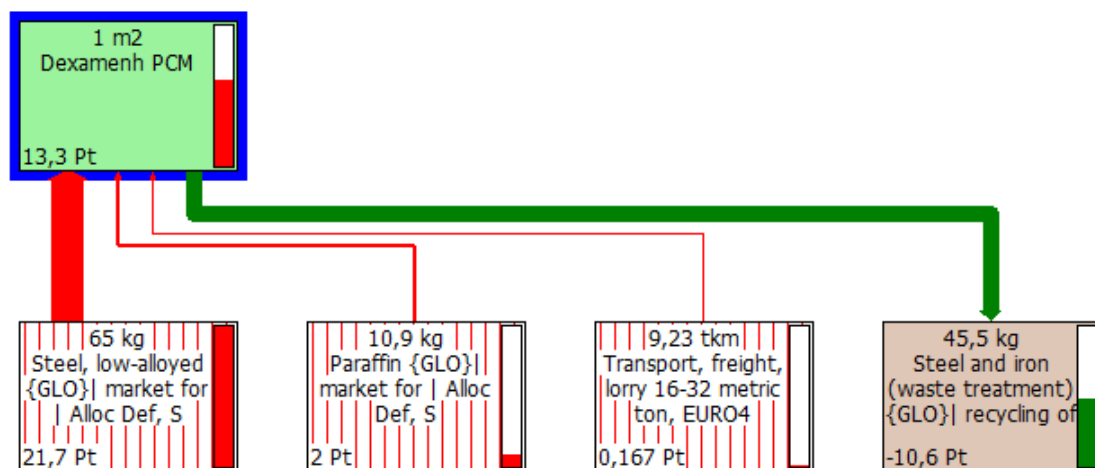
Σενάρια	Κρήτη	Ηπειρωτική Ελλάδα	Γερμανία	Γαλλία	Ισπανία	Νορβηγία
ΦΒ ASR-128	8,96 Pt	12 Pt	8,97 Pt	6,65 Pt	8,29 Pt	6,41 Pt
Laminate εκτός ενέργειας	27,3 %	20,5 %	27,3 %	36,85 %	29,5 %	38,16 %
Ενέργεια	33,2 %	49,6 %	32,2 %	8,25 %	26 %	1,84 %
Κράμα Αλουμινίου	30,5 %	22,8 %	30,4 %	41 %	32,9 %	42,6 %
Σύνολο	91 %	92,9 %	89,9 %	86,1 %	88,5 %	82,6 %

Πίνακας 5.2: Κύριες περιβαλλοντικές επιβαρύνσεις για το ΦΒ πλαίσιο NA135L5

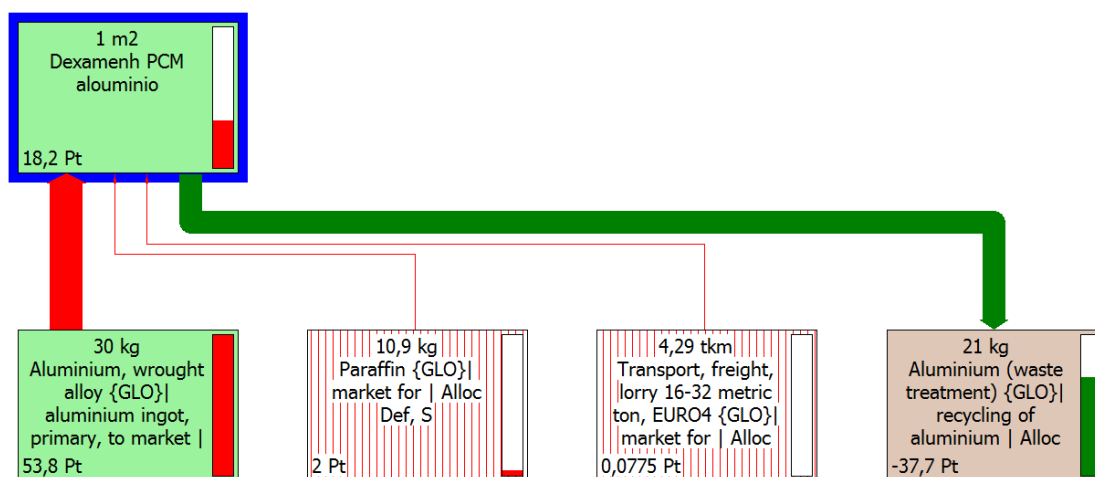
Σενάρια	Κρήτη	Ηπειρωτική Ελλάδα	Γερμανία	Γαλλία	Ισπανία	Νορβηγία
NA135L5	9,55 Pt	12,6 Pt	9,67 Pt	7,38 Pt	9,07 Pt	7,35 Pt
Laminate εκτός ενέργειας	22,7 %	17,3 %	22,4 %	29,36 %	23,9 %	29,49 %
Ενέργεια	31,3 %	47,2 %	29,8 %	7,44 %	23,8 %	1,61 %
Χρόνος	28,6 %	21,7 %	28,2 %	37 %	30,1 %	37,1 %
Γαλάζιο	8,92 %	6,78 %	8,8 %	11,5 %	9,39 %	11,6 %
Σύνολο	91,52%	92,98%	89,20%	85,30%	87,19%	79,80%

Για το σύστημα ΦΒ-ΥΑΦ₁ παρατηρείται ότι το κύριο περιβαλλοντικό φορτίο έρχεται από τη δεξαμενή του ΥΑΦ όπου είναι μεγαλύτερο και από αυτό του ΦΒ πλαισίου. Παρόλο την ανακύκλωση του 70% του χάλυβα που χρησιμοποιήθηκε τα αποτελέσματα ήταν αρνητικά. Αυτό συμβαίνει διότι για την κατασκευή του πρότυπου συστήματος ΦΒ-ΥΑΦ₁ χρησιμοποιήθηκε σαν υλικό κατασκευής της δεξαμενής ο χάλυβας ο οποίος επιφέρει μεγάλο περιβαλλοντικό κόστος το οποίο δεν κερδίζεται από την ανακύκλωσή του. Επίσης, ο χάλυβας έχει μεγάλο ειδικό βάρος ίσο με 8,1 kg/m² και γι' αυτό το λόγο η κατασκευή ήταν αρκετά βαριά, που την κάνει δύσκολα διαχειρίσιμη και βάζει περιορισμούς στην εγκατάστασή της (π.χ. οροφή κτιρίων).

Η τροποποίηση που έγινε στο ΦΒ-ΥΑΦ₂ ήταν στο υλικό της δεξαμενής, όπου επιλέχθηκε το αλουμίνιο, το οποίο έχει μικρότερο ειδικό βάρος ίσο με 2,7 kg/m² και έτσι η δεξαμενή θα ήταν ελαφρύτερη κατά 35 kg περίπου. Όπως φαίνεται τα αποτελέσματα του ΦΒ-ΥΑΦ₂ δεν είναι καλύτερα από αυτά του συστήματος ΦΒ-ΥΑΦ₁ με τη δεξαμενή του χάλυβα. Αυτό συμβαίνει διότι το αλουμίνιο χρειάζεται περισσότερη ενέργεια κατά την παραγωγή του. Έτσι, μας δίνει αρκετά μεγαλύτερο περιβαλλοντικό φορτίο απ' αυτό του χάλυβα. Η διαφορά που εμφανίζεται στην ανακύκλωση των δύο υλικών προκύπτει από την ενέργεια που απαιτείται για την παραγωγή τους, η οποία στην περίπτωση του αλουμινίου είναι μεγαλύτερη. Η διαφορά των δύο δεξαμενών φαίνεται και σχηματικά στην εικόνα 5.1 και 5.2.



Εικόνα 5.1: Διάγραμμα ροής δεξαμενής χάλυβα



Εικόνα 5.2: Διάγραμμα ροής δεξαμενής αλουμινίου

Συμπεραίνουμε ότι ένα κρίσιμο σημείο των συστημάτων ΦΒ-ΥΑΦ είναι η κατ' αρχήν η δεξαμενή του ΥΑΦ όπως και η ανακύκλωση του υλικού της δεξαμενής. Στους παρακάτω πίνακες παρατίθενται τα αποτελέσματα από τα δύο συστήματα ΦΒ-ΥΑΦ.

Πίνακας 5.3: Οι κύριες περιβαλλοντικές επιβαρύνσεις για το σύστημα ΦΒ-ΥΑΦ₁

Σενάρια	Κρήτη	Ηπειρωτική Ελλάδα	Γερμανία	Γαλλία	Ισπανία	Νορβηγία
ΦΒ-ΥΑΦ₁	22,9 Pt	25,9 Pt	23 Pt	20,7 Pt	22,4 Pt	20,7 Pt
ΦΒ πλαίσιο	41,8%	48,6%	42,1%	35,7%	40,5%	35,6%
Δεξαμενή ΥΑΦ από χάλυβα	58,2%	51,4%	57,9%	64,3%	59,5%	64,4%

Πίνακας 5.4: Οι κύριες περιβαλλοντικές επιβαρύνσεις για το σύστημα ΦΒ-ΥΑΦ₂

Σενάρια	Κρήτη	Ηπειρωτική Ελλάδα	Γερμανία	Γαλλία	Ισπανία	Νορβηγία
ΦΒ-ΥΑΦ₂	27,8 Pt	30,8 Pt	27,9 Pt	25,6 Pt	27,3 Pt	25,6 Pt
ΦΒ πλαίσιο	34,4%	40,8%	34,7%	28,8%	33,2%	28,8%
Δεξαμενή ΥΑΦ από αλουμίνιο	65,6%	59,2%	65,3%	71,2%	66,8%	71,2%

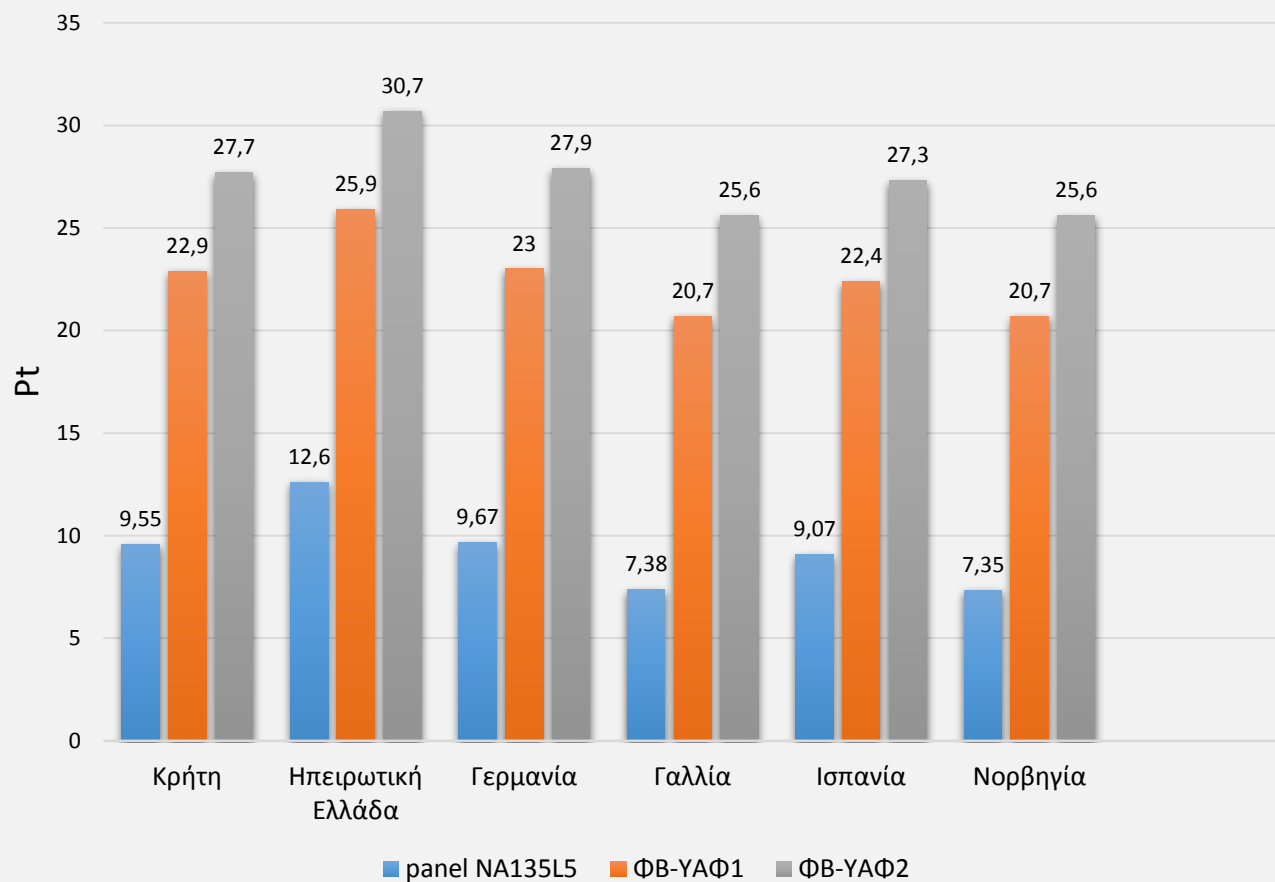
Συλλέχθηκαν όλα τα παραπάνω αποτελέσματα σε ένα πίνακα ώστε να συγκριθούν τα τρία συστήματα, το απλό ΦΒ, το ΦΒ-ΥΑΦ₁ και το ΦΒ-ΥΑΦ₂. Εκεί έχει προστεθεί ένας πίνακας και ένα διάγραμμα που δείχνει τα ποσά CO₂ eq σε kg που θα παραχθούν κατά τη συναρμολόγηση των διάφορων ΦΒ πλαισίων.

Πίνακας 5.5 Σύγκριση των τριών ΦΒ πλαισίων με βάση το φορτίο τους σε Pt

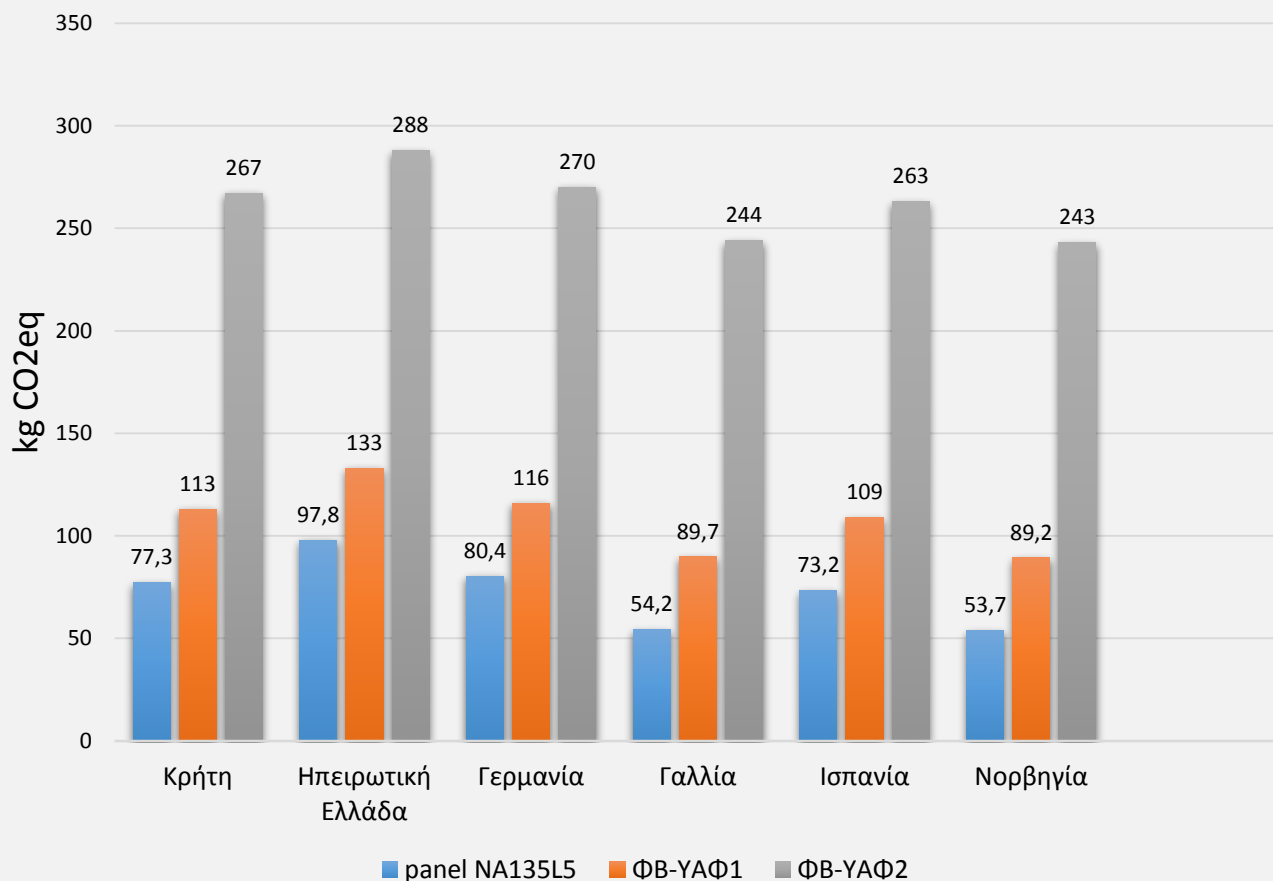
Σενάρια	Κρήτη	Ηπειρωτική Ελλάδα	Γερμανία	Γαλλία	Ισπανία	Νορβηγία
NA135L5	9,55 Pt	12,6 Pt	9,67 Pt	7,38 Pt	9,07 Pt	7,35 Pt
ΦΒ-ΥΑΦ₁	22,9 Pt	25,9 Pt	23 Pt	20,7 Pt	22,4 Pt	20,7 Pt
ΦΒ-ΥΑΦ₂	27,8 Pt	30,8 Pt	27,9 Pt	25,6 Pt	27,3 Pt	25,6 Pt

Πίνακας 5.6: Σύγκριση των τριών ΦΒ πλαισίων με βάση τα kg CO₂ eq που εκλύουν κατά τη συναρμολόγηση

ΦΒ πλαίσια	Κρήτη	Ηπειρωτική Ελλάδα	Γερμανία	Γαλλία	Ισπανία	Νορβηγία
NA135L5 (kg CO₂ eq)	77,3	97,8	80,4	54,2	73,2	53,7
ΦΒ-ΥΑΦ₁ (kg CO₂ eq)	113	133	116	89,7	109	89,2
ΦΒ-ΥΑΦ₂ (kg CO₂ eq)	267	288	270	244	263	243



Διάγραμμα 5.1: Σύγκριση των τριών ΦΒ πλαισίων με βάση τα συνολικά Pt



Διάγραμμα 5.2: Σύγκριση των τριών ΦΒ πλαισίων με βάση τα kg CO₂ eq

Τέλος, τα τρία πλαίσια συγκρίθηκαν και με βάση την ηλεκτρική ενέργεια που παράγουν κατά τη φάση λειτουργίας τους. Παρατηρήθηκε ότι η διαφορά μεταξύ του συστήματος ΦΒ-ΥΑΦ και του απλού ΦΒ σε βάθος 30 χρόνων είναι περίπου 70 kWh. Με βάση αυτό πήραμε τα παρακάτω αποτελέσματα. Μεταξύ των σεναρίων δεν είχαμε ιδιαίτερες διαφορές γι' αυτό και δεν μελετήθηκαν περισσότερα σενάρια στην συγκεκριμένη περίπτωση. Παρατηρήθηκε ότι τα καλύτερα αποτελέσματα έρχονται από το απλό ΦΒ πλαίσιο και όχι από το σύστημα ΦΒ-ΥΑΦ. Ακόμα, στον πίνακα 5.9 γίνεται σύγκριση ανάλογα με τα kg CO₂ που εκλύονται στο κύκλο ζωής των τριών πλαισίων.

Πίνακας 5.7: Αποτελέσματα της ΑΚΖ των τριών ΦΒ πλαισίων με φορτίο σε Pt

Σενάρια	NA135L5	ΦΒ-ΥΑΦ ₁	ΦΒ-ΥΑΦ ₂
Κρήτη	-293 Pt	-284 Pt	-279 Pt
Γερμανία	-293 Pt	-284 Pt	-279 Pt

Πίνακας 5.8: Αποτελέσματα της ΑΚΖ των τριών ΦΒ πλαισίων με βάση τα kg CO₂ eq

Σενάρια	NA135L5 (kg CO ₂ eq)	ΦΒ-ΥΑΦ ₁ (kg CO ₂ eq)	ΦΒ-ΥΑΦ ₂ (kg CO ₂ eq)
Κρήτη	- 3060	- 3070	- 2920
Γερμανία	- 3060	- 3070	- 2920

Για περαιτέρω έρευνα προτείνεται να μελετηθεί το σύστημα ΦΒ-ΥΑΦ λεπτομερώς καθ' όλη τη διάρκεια ενός έτους και όχι με τις μέσες τιμές που έγινε στην συγκεκριμένη μελέτη διότι το ΥΑΦ μας βοηθάει στις στιγμιαίες ακραίες τιμές που πιάνει το ΦΒ πλαίσιο. Έτσι η διαφορά των δύο συστημάτων απλού ΦΒ και ΦΒ-ΥΑΦ να είναι μεγαλύτερη σε θέματα ηλεκτρικής ενέργειας. Τέλος, πιστεύω ότι εκεί που πρέπει να επικεντρωθεί το ενδιαφέρον είναι στη μείωση του βάρους της κατασκευής είτε με αλλαγή του υλικού κατασκευής της δεξαμενής είτε με αλλαγή του ΥΑΦ έτσι ώστε να χρειάζεται λιγότερη ποσότητα για να πετύχουμε τις επιθυμητές θερμοκρασίες.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Azzopardi, B., & Mutale, J. (2010). Life cycle analysis for future photovoltaic systems using hybrid solar cells. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, pp. 1130-1134.
2. Browne, M., Norton, B., & McCormack, S. (2015). Phase change materials for photovoltaic thermal management. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, pp. 762-782.
3. ECN. (2010). *Wafer-based silicon PV technology Status, innovations and outlook*.
4. EPIA. (2014). *Global Market Outlook for Photovoltaics 2013-2017*.
5. F.Meillaud, M.Boccard, G.Bugno, M.Despeisse, S.Hanni, F.J.Haug, . . . C.Ballif. (2015). Recent advances and remaining challenges in thin-film silicon photovoltaic technology. *Ecole Polytechnique Federale Lausanne (EPFL)*.
6. Fthenakis, V. (2011). *Life Cycle Analysis of PV*. Center of Life Cycle Analysis Earth & Environmental Engineering Department Columbia University and Brookhaven National Laboratory.
7. Fthenakis, V., & Kim, H. (2011). Solar Energy. *Photovoltaics: Life-cycle analyses*, pp. 1609-1628.
8. Hasan, A., McCormack, S. J., Huan, M. J., & B. N. (2014). Energy and Cost Saving of a Photovoltaic-Phase Change Materials (PV-PCM) System through Temperature Regulation and Performance Enhancement of Photovoltaics. *Energies 2014*, pp. 1318-1331.
9. IEA, & AGENCY, I. E. (2015). *Life Cycle Inventories and Life Cycle Assessments of Photovoltaic Systems*. IEA PVPS Task 12, Subtask 2.0, LCA Report IEA-PVPS 12-04:2015.
10. IEA, & ENERGY, A. I. (2014). *Characterisation of Performance of Thin-film Photovoltaic Technologies*. EA PVPS Task 13, Subtask 3.1 Final Report IEA-PVPS.
11. Jungbluth, N., Stucki, M., Flury, K., Frischknecht, R., Büsser, S., & Ltd., E.-s. (2012). *Life Cycle Inventories of Photovoltaics*.
12. Kim, H., & Fthenakis, V. (2011). Comparative life-cycle energy payback analysis of multi-junction a-SiGe and nanocrystalline/a-Si modules. *PROGRESS IN PHOTOVOLTAICS*, pp. 228-239.
13. Kittner, N., Gheewala, S. H., & Kamens, R. M. (2013). An environmental life cycle comparison of single-crystalline and amorphous-silicon thin-film photovoltaic systems in Thailand. *Energy for Sustainable Development*, pp. 605-614.
14. Lab, M. T. (n.d.). *Life cycle analysis of semiconductor recycling in thin film photovoltaic manufacturing methods*.

15. Ling, Z., Zhang, Z., Shi, G., Fang, X., Wang, L., & Gao, X. (2014). Review on thermal management systems using phase change materials for electronic components, Li-ion batteries and photovoltaic modules. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, pp. 427-438.
16. Ma, T., Yang, H., Zhang, Y., Lu, L., & Wang, X. (2015). Using phase change materials in photovoltaic systems for thermal regulation and electrical efficiency improvement: A review and outlook. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, pp. 1273-1284.
17. Memon, S. A. (2014). Phase change materials integrated in building walls: A state of the art review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, pp. 870-906.
18. Mohr, N. J., Meijer, A., Huijbregts, M. A., & Reijnders, L. (2013). Environmental life cycle assessment of roof-integrated flexible amorphous silicon/nanocrystalline silicon solar cell laminate. *PROGRESS IN PHOTOVOLTAICS*, pp. 802-815.
19. Pacca, S., Sivaraman, D., & Keoleian, G. A. (2007). Parameters affecting the life cycle performance of PV technologies and systems. *Energy Policy* , pp. 3316-3326.
20. Park, J., Kim, T., & Leigh, S.-B. (2014). Application of a phase-change material to improve the electrical performance of vertical-building-added photovoltaics considering the annual weather conditions. *Solar Energy*, pp. 561-574.
21. Peng, J., Lu, L., & Yang, H. (2013). Review on life cycle assessment of energy payback and greenhouse gas emission of solar photovoltaic systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, pp. 255-274.
22. PRé, & authors, v. (2014). *SimaPro Database Manual Methods library*.
23. PRé, M. G., Oele, M., Leijting, J., Ponsioen, T., & Meijer, E. (2013). *Introduction to LCA with SimaPro*.
24. PRé, Ponsioen, T., & Oele, M. (2014). *SimaPro 8 Update Instructions*.
25. Rubitherm Technologies GmbH, RUBITHERM® RT, Phase Change Material based on n-Paraffins and Waxes.
26. SolarWorld. (n.d.). Από την άμμο στο Φωτοβολταϊκό πλαίσιο.
27. Sharp Energy Solution. Datasheet Sharp zonnepaneel NA-F121(G5) 121 .
28. UNEP. (2011). *Global Guidance Principles for life cycle assessment databases*.
29. Γιδαράκος, Ε. (2005). *Επικίνδυνα Απόβλητα Διαχείριση και Διάθεση*. Ζηγός.
30. Ζαφειρίου, Λ., & Αποστόλου, Α. (2010). *Μέθοδοι βελτίωσης του βαθμού απόδοσης των φωτοβολταϊκών στοιχείων. Μέτρηση του βαθμού απόδοσης των φωτοβολταϊκών στοιχείων συναρτήσει της θερμοκρασίας*. ΑΠΘ.
31. Κοκκάλη Μελά, Π. (2015). *Πειραματική μελέτη απόδοσης φωτοβολταϊκού με χρήση υλικών αλλαγής φάσης*. Χανιά: Πολυτεχνείο Κρήτης.
32. Κορνελάκη, Ε. (2009). *Ανάλυση Κύκλου Ζωής φωτοβολταϊκού συστήματος στην περιοχή της Κρήτης*. Χανιά: Πολυτεχνείο Κρήτης.

33. Κορωναίος, Χ. (2001). *Ανάλυση Κύκλου Ζωής: Η ολοκληρωμένη Περιβαλλοντική Προσέγγιση στην ολοκληρωμένη Ανάπτυξη*. ΕΜΠ.
34. Μπιρμπουτσούκης, Γ. (2014). *Περιβάλλον και Δόμηση*. Econ.
35. Πανταζή, Ε. (2014). *Συγκριτική μελέτη μεθόδων εκτίμησης επιπτώσεων κύκλου ζωής*. Χανιά: Πολυτεχνείο Κρήτης.
36. *Περιβάλλον και Δόμηση*. (2014).
37. Σαββάκης, Ν. (2014). *Αξιολόγηση της ενεργειακής συμπεριφοράς πρότυπης Φωτοβολταϊκής εγκατάστασης του Πολυτεχνείου Κρήτης*. Χανιά: Πολυτεχνείο Κρήτης.
38. Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών. (2013). *Φωτοβολταϊκά*.
39. Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών. (2015). *Στατιστικά στοιχεία αγοράς φωτοβολταϊκών για το 2014*.
40. Τσούτσος, Θ., & Κανάκης, Ι. (2013). *Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας Τεχνολογία και Περιβάλλον*. Παπασωτηρίου.
41. Φραγκιαδάκης, Ι.Ε (2009). *Φωτοβολταϊκά Συστήματα*. ΖΗΤΗ.
42. Φραντζεσκάκη, Ν., Γκέκας, Β., & Τσούτσο, Θ. (2011). *ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΗΛΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΜΙΑ ΑΕΙΦΟΡΟ ΠΡΟΟΠΤΙΚΗ*.

INTERNET SITES

1. http://www.posharp.com/asr-128-solar-panel-from-united-solar-ovonic_p1865878045d.aspx [11/2015]
2. <http://www.hamcontact.com/unisolar/roof.html> [11/2015]
3. <http://www.esu-services.ch/projects/pv/> [10/2015]
4. <https://www.pre-sustainability.com/simapro> [11/2015]
5. <http://www.deddie.gr/el/miniaia-deltia-ape-kai-thermiki-paragwgi-sta-mi-diasundemeni-nisia/2015> [12/2015]
6. <http://www.sharp.de/de> [5/2015]
7. http://www.econ3.gr/readmore.php?article_id=51771295788153 [5/2015]
8. <http://www.nrel.gov/> [6/2015]
9. <http://www.rubitherm.eu/> [5/2015]

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Παράρτημα 1: Πίνακας συντελεστών χαρακτηρισμού για τις κατηγορίες επιδράσεων

Industrial designation or common name	Chemical formula	GWP for 100-year time horizon	
		Second Assessment Report (SAR)	Fifth Assessment Report (AR5)
Carbon dioxide	CO ₂	1	1
Methane	CH ₄	21	28
Nitrous oxide	N ₂ O	310	265
Substances controlled by the Montreal Protocol			
CFC-11	CCl ₃ F	3,800	4,660
CFC-12	CCl ₂ F ₂	8,100	10,200
CFC-13	CClF ₃		13,900
CFC-113	CCl ₂ FCClF ₂	4,800	5,820
CFC-114	CClF ₂ CClF ₂		8,590
CFC-115	CClF ₂ CF ₃		7,670
Halon-1301	CBrF ₃	5,400	6,290
Halon-1211	CBrClF ₂		1,750
Halon-2402	CBrF ₂ CBrF ₂		1,470
Carbon tetrachloride	CCl ₄	1,400	1,730
Methyl bromide	CH ₃ Br		2
Methyl chloroform	CH ₃ CCl ₃	100	160

Industrial designation or common name	Chemical formula	GWP for 100-year time horizon	
		Second assessment report (SAR)	4 th assessment report (AR4)
HFCF-21	CHCl ₂ F		148
HCFC-22	CHClF ₂	1,500	1,760
HCFC-123	CHCl ₂ CF ₃	90	79
HCFC-124	CHClFCF ₃	470	527
HCFC-141b	CH ₃ CCl ₂ F	600	782
HCFC-142b	CH ₃ CClF ₂	1,800	1,980
HCFC-225ca	CHCl ₂ CF ₂ CF ₃		127
HCFC-225cb	CHClFCF ₂ CClF ₂		525
Hydrofluorocarbons			
HFC-23	CHF ₃	11,700	12,400
HFC-32	CH ₂ F ₂	650	677
HFC-41	CH ₃ F ₂	150	116
HFC-125	CHF ₂ CF ₃	2,800	3,170
HFC-134	CHF ₂ CHF ₂	1000	1,120
HFC-134a	CH ₂ FCF ₃	1,300	1,300
HFC-143	CH ₂ FCHF ₂	300	328
HFC-143a	CH ₃ CF ₃	3,800	4,800
HFC-152	CH ₂ FCH ₂ F		16
HFC-152a	CH ₃ CHF ₂	140	138
HFC-161	CH ₃ CH ₂ F		4
HFC-227ea	CF ₃ CHFCF ₃	2,900	3,350
HFC-236cb	CH ₂ FCF ₂ CF ₃		1,210
HFC-236ea	CHF ₂ CHFCF ₃		1,330
HFC-236fa	CF ₃ CH ₂ CF ₃	6,300	8,060
HFC-245ca	CH ₂ FCF ₂ CHF ₂	560	716
HFC-245fa	CHF ₂ CH ₂ CF ₃		858
HFC-365mfc	CH ₃ CF ₂ CH ₂ CF ₃		804
HFC-43-10mee	CF ₃ CHFCF ₂ CF ₃	1,300	1,650

Industrial designation or common name	Chemical formula	GWP for 100-year time horizon	
		Second assessment report (SAR)	4 th assessment report (AR4)

Perfluorinated compounds

Sulfur hexafluoride	SF ₆	23,900	23,500
Nitrogen trifluoride	NF ₃		16,100
PFC-14	CF ₄	6,500	6,630
PFC-116	C ₂ F ₆	9,200	11,100
PFC-218	C ₃ F ₈	7,000	8,900
PFC-318	c-C ₄ F ₈	8,700	9,540
PFC-31-10	C ₄ F ₁₀	7,000	9,200
PFC-41-12	C ₅ F ₁₂	7,500	8,550
PFC-51-14	C ₆ F ₁₄	7,400	7,910
PCF-91-18	C ₁₀ F ₁₈		7,190
Trifluoromethyl sulfur pentafluoride	SF ₅ CF ₃		17,400
Perfluorocyclopropane	c-C ₃ F ₆		9,200

Fluorinated ethers

HFE-125	CHF ₂ OCF ₃		12,400
HFE-134	CHF ₂ OCHF ₂		5,560
HFE-143a	CH ₃ OCF ₃		523
HCFE-235da2	CHF ₂ OCHClCF ₃		491
HFE-245cb2	CH ₃ OCF ₂ CF ₃		654
HFE-245fa2	CHF ₂ OCH ₂ CF ₃		812
HFE-347mcc3	CH ₃ OCF ₂ CF ₂ CF ₃		530
HFE-347pcf2	CHF ₂ CF ₂ OCH ₂ CF ₃		889
HFE-356pcc3	CH ₃ OCF ₂ CF ₂ CHF ₂		413
HFE-449sl (HFE-7100)	C ₄ F ₉ OCH ₃		421
HFE-569sf2 (HFE-7200)	C ₄ F ₉ OC ₂ H ₅		57
HFE-43-10pccc124 (H-Galden 1040x)	CHF ₂ OCF ₂ OC ₂ F ₄ OCHF ₂		2,820
HFE-236ca12 (HG-10)	CHF ₂ OCF ₂ OCHF ₂		5,350

Industrial designation or common name	Chemical formula	GWP for 100-year time horizon	
		Second assessment report (SAR)	4 th assessment report (AR4)
HFE-338pcc13 (HG-01)	CHF ₂ OCF ₂ CF ₂ OCHF ₂		2,910
HFE-227ea	CF ₃ CHFOCF ₃		6,450
HFE-236ea2	CHF ₂ OCHF ₂ CF ₃		1,790
HFE-236fa	CF ₃ CH ₂ OCF ₃		979
HFE-245fa1	CHF ₂ CH ₂ OCF ₃		828
HFE 263fb2	CF ₃ CH ₂ OCH ₃		1
HFE-329mcc2	CHF ₂ CF ₂ OCF ₂ CF ₃		3,070
HFE-338mcf2	CF ₃ CH ₂ OCF ₂ CF ₃		929
HFE-347mcf2	CHF ₂ CH ₂ OCF ₂ CF ₃		854
HFE-356mec3	CH ₃ OCF ₂ CHF ₂ CF ₃		387
HFE-356pcf2	CHF ₂ CH ₂ OCF ₂ CHF ₂		719
HFE-356pcf3	CHF ₂ OCH ₂ CF ₂ CHF ₂		446
HFE 365mcf3	CF ₃ CF ₂ CH ₂ OCH ₃		<1
HFE-374pc2	CHF ₂ CF ₂ OCH ₂ CH ₃		627

Perfluoropolyethers

PFPME	CF ₃ OCF(CF ₃)CF ₂ OCF ₂ OCF ₃		9,710
-------	--	--	-------

Hydrocarbons and other compounds-direct effects

Chloroform	CHCl ₃	4	16
Methylene chloride	CH ₂ Cl ₂	9	9
Methyl chloride	CH ₃ Cl		12
Halon-1201	CHBrF ₂		376

Παράρτημα 2: Πίνακες αποτελεσμάτων από SimaPro

1^ο Φωτοβολταϊκό πλαίσιο United Solar ASR-128

Impact category /	Unit	panel a-Si ASR-128 Crete	panel a-Si ASR-128 Greece	panel a-Si ASR-128 Germany	panel a-Si ASR-128 France	panel a-Si ASR-128 Spain	panel a-Si ASR-128 Norway
Climate change Human Health	DALY	9,73E-5	0,000125	9,98E-5	6,3E-5	8,88E-5	5,96E-5
Ozone depletion	DALY	3,28E-8	2,82E-8	2,45E-8	2,73E-8	2,73E-8	2E-8
Human toxicity	DALY	3,09E-5	8,9E-5	4,39E-5	2,89E-5	3E-5	2,81E-5
Photochemical oxidant formation	DALY	1,02E-8	1,1E-8	8,77E-9	8,04E-9	1,02E-8	8,12E-9
Particulate matter formation	DALY	4,79E-5	5,69E-5	3,58E-5	3,42E-5	4,17E-5	3,35E-5
Ionising radiation	DALY	1,23E-7	1,39E-7	2,84E-7	7,32E-7	2,87E-7	1,08E-7
Climate change Ecosystems	species.yr	5,51E-7	7,1E-7	5,65E-7	3,57E-7	5,03E-7	3,37E-7
Terrestrial acidification	species.yr	2,91E-9	3,04E-9	1,75E-9	1,64E-9	2,22E-9	1,58E-9
Freshwater eutrophication	species.yr	1,17E-9	6,51E-9	2,78E-9	1,2E-9	1,34E-9	1,17E-9
Terrestrial ecotoxicity	species.yr	2,44E-9	1,73E-9	1,57E-9	1,2E-9	1,28E-9	1,32E-9
Freshwater ecotoxicity	species.yr	1,46E-9	3,17E-9	1,8E-9	1,3E-9	1,39E-9	1,31E-9
Marine ecotoxicity	species.yr	2,95E-10	6,18E-10	3,5E-10	2,53E-10	2,68E-10	2,55E-10
Agricultural land occupation	species.yr	4,45E-8	5,05E-8	7,38E-8	5,01E-8	5,47E-8	4,88E-8
Urban land occupation	species.yr	1,53E-8	1,81E-8	1,78E-8	1,6E-8	1,8E-8	1,75E-8
Natural land transformation	species.yr	3,42E-8	2,32E-8	2,03E-8	1,8E-8	2,24E-8	1,9E-8
Metal depletion	\$	2,44	2,44	2,46	2,45	2,45	2,43
Fossil depletion	\$	3,78	4,92	3,55	2,41	3,37	2,3

Πίνακας Π-1: Χαρακτηρισμός δεδομένων

Impact category /	Unit	panel a-Si ASR-128 Crete	panel a-Si ASR-128 Greece	panel a-Si ASR-128 Germany	panel a-Si ASR-128 France	panel a-Si ASR-128 Spain	panel a-Si ASR-128 Norway
Climate change Human Health		0,00482	0,00621	0,00494	0,00312	0,0044	0,00295
Ozone depletion		1,62E-6	1,4E-6	1,21E-6	1,35E-6	1,35E-6	9,9E-7
Human toxicity		0,00153	0,0044	0,00217	0,00143	0,00148	0,00139
Photochemical oxidant formation		5,04E-7	5,43E-7	4,34E-7	3,98E-7	5,07E-7	4,02E-7
Particulate matter formation		0,00237	0,00282	0,00177	0,00169	0,00207	0,00166
Ionising radiation		6,11E-6	6,88E-6	1,41E-5	3,62E-5	1,42E-5	5,35E-6
Climate change Ecosystems		0,00305	0,00393	0,00312	0,00197	0,00278	0,00187
Terrestrial acidification		1,61E-5	1,68E-5	9,67E-6	9,08E-6	1,23E-5	8,71E-6
Freshwater eutrophication		6,47E-6	3,6E-5	1,54E-5	6,61E-6	7,39E-6	6,46E-6
Terrestrial ecotoxicity		1,35E-5	9,57E-6	8,7E-6	6,65E-6	7,1E-6	7,28E-6
Freshwater ecotoxicity		8,08E-6	1,75E-5	9,96E-6	7,18E-6	7,68E-6	7,24E-6
Marine ecotoxicity		1,63E-6	3,42E-6	1,94E-6	1,4E-6	1,48E-6	1,41E-6
Agricultural land occupation		0,000246	0,000279	0,000408	0,000277	0,000302	0,00027
Urban land occupation		8,47E-5	9,98E-5	9,82E-5	8,88E-5	9,93E-5	9,67E-5
Natural land transformation		0,000189	0,000128	0,000112	9,95E-5	0,000124	0,000105
Metal depletion		0,00789	0,00789	0,00797	0,00793	0,00793	0,00787
Fossil depletion		0,0122	0,0159	0,0115	0,00782	0,0109	0,00746

Πίνακας Π-2: Κανονικοποίηση ανά κατηγορία επίδρασης

Impact category /	Unit	panel a-Si ASR-128 Crete	panel a-Si ASR-128 Greece	panel a-Si ASR-128 Germany	panel a-Si ASR-128 France	panel a-Si ASR-128 Spain	panel a-Si ASR-128 Norway
Total	Pt	8,96	12	8,97	6,65	8,29	6,41
Climate change Human Health	Pt	1,93	2,48	1,98	1,25	1,76	1,18
Ozone depletion	Pt	0,000649	0,000558	0,000485	0,00054	0,00054	0,000396
Human toxicity	Pt	0,611	1,76	0,869	0,572	0,594	0,555
Photochemical oxidant formation	Pt	0,000202	0,000217	0,000174	0,000159	0,000203	0,000161
Particulate matter formation	Pt	0,949	1,13	0,71	0,678	0,826	0,662
Ionising radiation	Pt	0,00245	0,00275	0,00563	0,0145	0,00569	0,00214
Climate change Ecosystems	Pt	1,22	1,57	1,25	0,79	1,11	0,746
Terrestrial acidification	Pt	0,00643	0,00672	0,00387	0,00363	0,00492	0,00348
Freshwater eutrophication	Pt	0,00259	0,0144	0,00616	0,00265	0,00296	0,00258
Terrestrial ecotoxicity	Pt	0,00539	0,00383	0,00348	0,00266	0,00284	0,00291
Freshwater ecotoxicity	Pt	0,00323	0,007	0,00398	0,00287	0,00307	0,0029
Marine ecotoxicity	Pt	0,000653	0,00137	0,000774	0,000559	0,000593	0,000564
Agricultural land occupation	Pt	0,0984	0,112	0,163	0,111	0,121	0,108
Urban land occupation	Pt	0,0339	0,0399	0,0393	0,0355	0,0397	0,0387
Natural land transformation	Pt	0,0756	0,0512	0,045	0,0398	0,0496	0,0421
Metal depletion	Pt	1,58	1,58	1,59	1,59	1,59	1,57
Fossil depletion	Pt	2,45	3,19	2,3	1,56	2,18	1,49

Πίνακας Π-3: Συνολικές επιπτώσεις ανά κατηγορία επίδρασης

Damage category /	Unit	panel a-Si ASR-128 Crete	panel a-Si ASR-128 Greece	panel a-Si ASR-128 Germany	panel a-Si ASR-128 France	panel a-Si ASR-128 Spain	panel a-Si ASR-128 Norway
Human Health	DALY	0,000176	0,000272	0,00018	0,000127	0,000161	0,000121
Ecosystems	species.yr	6,54E-7	8,17E-7	6,85E-7	4,47E-7	6,05E-7	4,28E-7
Resources	\$	6,21	7,36	6,01	4,86	5,82	4,73

Πίνακας Π-4: Αξιολόγηση βλαβών ανά κατηγορία

Damage category /	Unit	panel a-Si ASR-128 Crete	panel a-Si ASR-128 Greece	panel a-Si ASR-128 Germany	panel a-Si ASR-128 France	panel a-Si ASR-128 Spain	panel a-Si ASR-128 Norway
Human Health		0,00872	0,0134	0,0089	0,00628	0,00796	0,006
Ecosystems		0,00361	0,00452	0,00379	0,00247	0,00334	0,00237
Resources		0,0201	0,0238	0,0195	0,0157	0,0188	0,0153

Πίνακας Π-5: Κανονικοποίηση ανά κατηγορία βλαβών

Damage category /	Unit	panel a-Si ASR-128 Crete	panel a-Si ASR-128 Greece	panel a-Si ASR-128 Germany	panel a-Si ASR-128 France	panel a-Si ASR-128 Spain	panel a-Si ASR-128 Norway
Total	Pt	8,96	12	8,97	6,65	8,29	6,41
Human Health	Pt	3,49	5,38	3,56	2,51	3,19	2,4
Ecosystems	Pt	1,45	1,81	1,52	0,988	1,34	0,948
Resources	Pt	4,03	4,77	3,89	3,15	3,77	3,07

Πίνακας Π-6: Συνολικά αποτελέσματα ανά κατηγορία βλάβης

2° Φωτοβολταϊκό πλαίσιο Sharp NA135L5

Impact category /	Unit	panel NA135L5 Crete	panel NA135L5 Greece	panel NA135L5 Germany	panel NA135L5 France	panel NA135L5 Spain	panel NA135L5 Norway
Climate change Human Health	DALY	0,000108	0,000136	0,000112	7,51E-5	0,000102	7,44E-5
Ozone depletion	DALY	3,48E-8	3,04E-8	2,7E-8	2,98E-8	3E-8	2,35E-8
Human toxicity	DALY	3,12E-5	8,94E-5	4,45E-5	2,95E-5	3,07E-5	2,92E-5
Photochemical oxidant formation	DALY	1,17E-8	1,26E-8	1,08E-8	1,01E-8	1,25E-8	1,08E-8
Particulate matter formation	DALY	5,25E-5	6,17E-5	4,13E-5	3,99E-5	4,77E-5	4,05E-5
Ionising radiation	DALY	1,33E-7	1,48E-7	2,99E-7	7,48E-7	3,05E-7	1,26E-7
Climate change Ecosystems	species.yr	6,09E-7	7,7E-7	6,32E-7	4,26E-7	5,75E-7	4,21E-7
Terrestrial acidification	species.yr	3,31E-9	3,45E-9	2,2E-9	2,1E-9	2,7E-9	2,09E-9
Freshwater eutrophication	species.yr	1,16E-9	6,5E-9	2,79E-9	1,21E-9	1,35E-9	1,18E-9
Terrestrial ecotoxicity	species.yr	2,55E-9	1,87E-9	1,7E-9	1,33E-9	1,41E-9	1,65E-9
Freshwater ecotoxicity	species.yr	1,47E-9	3,17E-9	1,81E-9	1,31E-9	1,41E-9	1,34E-9
Marine ecotoxicity	species.yr	2,96E-10	6,19E-10	3,52E-10	2,55E-10	2,71E-10	2,61E-10
Agricultural land occupation	species.yr	4,83E-8	5,43E-8	7,82E-8	5,45E-8	5,94E-8	5,35E-8
Urban land occupation	species.yr	1,67E-8	1,97E-8	2,01E-8	1,86E-8	2,09E-8	2,21E-8
Natural land transformation	species.yr	3,7E-8	2,62E-8	2,37E-8	2,15E-8	2,61E-8	2,37E-8
Metal depletion	\$	2,3	2,31	2,34	2,33	2,33	2,32
Fossil depletion	\$	4,12	5,28	3,95	2,82	3,8	2,83

Πίνακας Π-7: Χαρακτηρισμός δεδομένων

Impact category /	Unit	panel NA135L5 Crete	panel NA135L5 Greece	panel NA135L5 Germany	panel NA135L5 France	panel NA135L5 Spain	panel NA135L5 Norway
Climate change Human Health		0,00532	0,00673	0,00552	0,00372	0,00503	0,00368
Ozone depletion		1,72E-6	1,5E-6	1,33E-6	1,48E-6	1,48E-6	1,16E-6
Human toxicity		0,00154	0,00442	0,0022	0,00146	0,00152	0,00145
Photochemical oxidant formation		5,8E-7	6,25E-7	5,33E-7	5,01E-7	6,18E-7	5,34E-7
Particulate matter formation		0,0026	0,00305	0,00205	0,00197	0,00236	0,002
Ionising radiation		6,56E-6	7,35E-6	1,48E-5	3,7E-5	1,51E-5	6,26E-6
Climate change Ecosystems		0,00337	0,00426	0,00349	0,00235	0,00318	0,00233
Terrestrial acidification		1,83E-5	1,91E-5	1,21E-5	1,16E-5	1,49E-5	1,16E-5
Freshwater eutrophication		6,42E-6	3,59E-5	1,54E-5	6,67E-6	7,49E-6	6,55E-6
Terrestrial ecotoxicity		1,41E-5	1,04E-5	9,38E-6	7,34E-6	7,82E-6	9,14E-6
Freshwater ecotoxicity		8,1E-6	1,75E-5	1E-5	7,25E-6	7,78E-6	7,38E-6
Marine ecotoxicity		1,63E-6	3,42E-6	1,95E-6	1,41E-6	1,5E-6	1,44E-6
Agricultural land occupation		0,000267	0,0003	0,000432	0,000302	0,000328	0,000296
Urban land occupation		9,21E-5	0,000109	0,000111	0,000103	0,000116	0,000122
Natural land transformation		0,000205	0,000145	0,000131	0,000119	0,000144	0,000131
Metal depletion		0,00747	0,00747	0,00758	0,00754	0,00756	0,0075
Fossil depletion		0,0134	0,0171	0,0128	0,00914	0,0123	0,00915

Πίνακας Π-8: Κανονικοποίηση ανά κατηγορία επίδρασης

Impact category /	Unit	panel NA135L5 Crete	panel NA135L5 Greece	panel NA135L5 Germany	panel NA135L5 France	panel NA135L5 Spain	panel NA135L5 Norway
Total	Pt	9,55	12,6	9,67	7,38	9,07	7,35
Climate change Human Health	Pt	2,13	2,69	2,21	1,49	2,01	1,47
Ozone depletion	Pt	0,00069	0,000602	0,000534	0,00059	0,000594	0,000465
Human toxicity	Pt	0,618	1,77	0,881	0,584	0,608	0,579
Photochemical oxidant formation	Pt	0,000232	0,00025	0,000213	0,0002	0,000247	0,000214
Particulate matter formation	Pt	1,04	1,22	0,818	0,79	0,945	0,802
Ionising radiation	Pt	0,00262	0,00294	0,00592	0,0148	0,00604	0,0025
Climate change Ecosystems	Pt	1,35	1,7	1,4	0,941	1,27	0,932
Terrestrial acidification	Pt	0,00732	0,00763	0,00486	0,00464	0,00596	0,00462
Freshwater eutrophication	Pt	0,00257	0,0144	0,00618	0,00267	0,003	0,00262
Terrestrial ecotoxicity	Pt	0,00565	0,00414	0,00375	0,00293	0,00313	0,00365
Freshwater ecotoxicity	Pt	0,00324	0,00701	0,00401	0,0029	0,00311	0,00295
Marine ecotoxicity	Pt	0,000654	0,00137	0,000778	0,000564	0,000599	0,000577
Agricultural land occupation	Pt	0,107	0,12	0,173	0,121	0,131	0,118
Urban land occupation	Pt	0,0369	0,0437	0,0445	0,0412	0,0462	0,049
Natural land transformation	Pt	0,0819	0,0579	0,0525	0,0475	0,0578	0,0525
Metal depletion	Pt	1,49	1,49	1,52	1,51	1,51	1,5
Fossil depletion	Pt	2,67	3,42	2,56	1,83	2,46	1,83

Πίνακας Π-9: Συνολικές επιπτώσεις ανά κατηγορία επίδρασης

Damage category /	Unit	panel NA135L5 Crete	panel NA135L5 Greece	panel NA135L5 Germany	panel NA135L5 France	panel NA135L5 Spain	panel NA135L5 Norway
Human Health	DALY	0,000191	0,000287	0,000198	0,000145	0,00018	0,000144
Ecosystems	species.yr	7,2E-7	8,86E-7	7,63E-7	5,26E-7	6,89E-7	5,27E-7
Resources	\$	6,43	7,58	6,29	5,15	6,13	5,14

Πίνακας Π-10: Αξιολόγησης βλαβών ανά κατηγορία

Damage category /	Unit	panel NA135L5 Crete	panel NA135L5 Greece	panel NA135L5 Germany	panel NA135L5 France	panel NA135L5 Spain	panel NA135L5 Norway
Human Health		0,00948	0,0142	0,00979	0,00719	0,00893	0,00714
Ecosystems		0,00398	0,0049	0,00422	0,00291	0,00381	0,00292
Resources		0,0208	0,0246	0,0204	0,0167	0,0199	0,0167

Πίνακας Π-11: Κανονικοποίησης ανά κατηγορία βλάβης

Damage category /	Unit	panel NA135L5 Crete	panel NA135L5 Greece	panel NA135L5 Germany	panel NA135L5 France	panel NA135L5 Spain	panel NA135L5 Norway
Total	Pt	9,55	12,6	9,67	7,38	9,07	7,35
Human Health	Pt	3,79	5,69	3,91	2,88	3,57	2,86
Ecosystems	Pt	1,59	1,96	1,69	1,16	1,52	1,17
Resources	Pt	4,16	4,91	4,07	3,34	3,97	3,33

Πίνακας Π-12: Συνολικά αποτελέσματα ανά κατηγορία βλάβης

3ο Φωτοβολταϊκό σύστημα ΦΒ-ΥΑΦ με δεξαμενή ΥΑΦ από χάλυβα

Impact category /	Unit	PV-PCM Crete	PV-PCM Greece	PV-PCM Germany	PV-PCM France	PV-PCM Spain	PV-PCM Norway
Climate change Human Health	DALY	0,000157	0,000185	0,000161	0,000125	0,000151	0,000124
Ozone depletion	DALY	4,29E-8	3,84E-8	3,5E-8	3,78E-8	3,8E-8	3,15E-8
Human toxicity	DALY	0,000133	0,000191	0,000146	0,000131	0,000132	0,000131
Photochemical oxidant formation	DALY	1,85E-8	1,94E-8	1,75E-8	1,69E-8	1,92E-8	1,76E-8
Particulate matter formation	DALY	9,2E-5	0,000101	8,08E-5	7,94E-5	8,72E-5	8E-5
Ionising radiation	DALY	2,37E-7	2,53E-7	4,04E-7	8,52E-7	4,09E-7	2,31E-7
Climate change Ecosystems	species.yr	8,89E-7	1,05E-6	9,12E-7	7,06E-7	8,56E-7	7,01E-7
Terrestrial acidification	species.yr	4,93E-9	5,07E-9	3,81E-9	3,72E-9	4,32E-9	3,71E-9
Freshwater eutrophication	species.yr	4,44E-9	9,78E-9	6,08E-9	4,49E-9	4,64E-9	4,47E-9
Terrestrial ecotoxicity	species.yr	5,04E-9	4,36E-9	4,18E-9	3,81E-9	3,9E-9	4,14E-9
Freshwater ecotoxicity	species.yr	5,62E-9	7,33E-9	5,97E-9	5,47E-9	5,56E-9	5,49E-9
Marine ecotoxicity	species.yr	1,12E-9	1,44E-9	1,17E-9	1,08E-9	1,09E-9	1,08E-9
Agricultural land occupation	species.yr	8,67E-8	9,28E-8	1,17E-7	9,3E-8	9,78E-8	9,2E-8
Urban land occupation	species.yr	3,78E-8	4,09E-8	4,13E-8	3,98E-8	4,21E-8	4,33E-8
Natural land transformation	species.yr	4,84E-8	3,75E-8	3,51E-8	3,28E-8	3,75E-8	3,51E-8
Metal depletion	\$	12	12	12,1	12	12,1	12
Fossil depletion	\$	7,88	9,04	7,7	6,58	7,56	6,58

Πίνακας Π-13: Χαρακτηρισμός δεδομένων

Impact category /	Unit	PV-PCM Crete	PV-PCM Greece	PV-PCM Germany	PV-PCM France	PV-PCM Spain	PV-PCM Norway
Climate change Human Health		0,00777	0,00918	0,00797	0,00617	0,00748	0,00613
Ozone depletion		2,12E-6	1,9E-6	1,73E-6	1,87E-6	1,88E-6	1,56E-6
Human toxicity		0,00656	0,00944	0,00722	0,00648	0,00654	0,00646
Photochemical oxidant formation		9,15E-7	9,59E-7	8,68E-7	8,36E-7	9,53E-7	8,69E-7
Particulate matter formation		0,00455	0,00501	0,004	0,00393	0,00432	0,00396
Ionising radiation		1,17E-5	1,25E-5	2E-5	4,22E-5	2,03E-5	1,14E-5
Climate change Ecosystems		0,00492	0,00581	0,00504	0,0039	0,00473	0,00388
Terrestrial acidification		2,73E-5	2,8E-5	2,11E-5	2,06E-5	2,39E-5	2,05E-5
Freshwater eutrophication		2,46E-5	5,41E-5	3,36E-5	2,48E-5	2,57E-5	2,47E-5
Terrestrial ecotoxicity		2,79E-5	2,41E-5	2,31E-5	2,11E-5	2,15E-5	2,29E-5
Freshwater ecotoxicity		3,11E-5	4,05E-5	3,3E-5	3,02E-5	3,08E-5	3,04E-5
Marine ecotoxicity		6,18E-6	7,97E-6	6,49E-6	5,95E-6	6,04E-6	5,99E-6
Agricultural land occupation		0,00048	0,000513	0,000645	0,000514	0,000541	0,000509
Urban land occupation		0,000209	0,000226	0,000228	0,00022	0,000233	0,00024
Natural land transformation		0,000267	0,000207	0,000194	0,000181	0,000207	0,000194
Metal depletion		0,039	0,039	0,0391	0,039	0,0391	0,039
Fossil depletion		0,0255	0,0293	0,025	0,0213	0,0245	0,0213

Πίνακας Π-14: Κανονικοποίηση ανά κατηγορία επίδρασης

Impact category /	Unit	PV-PCM Crete	PV-PCM Greece	PV-PCM Germany	PV-PCM France	PV-PCM Spain	PV-PCM Norway
Total	Pt	22,9	25,9	23	20,7	22,4	20,7
Climate change Human Health	Pt	3,11	3,67	3,19	2,47	2,99	2,45
Ozone depletion	Pt	0,000849	0,00076	0,000693	0,000749	0,000752	0,000624
Human toxicity	Pt	2,62	3,78	2,89	2,59	2,61	2,59
Photochemical oxidant formation	Pt	0,000366	0,000384	0,000347	0,000334	0,000381	0,000348
Particulate matter formation	Pt	1,82	2	1,6	1,57	1,73	1,58
Ionising radiation	Pt	0,00469	0,00501	0,00799	0,0169	0,00811	0,00457
Climate change Ecosystems	Pt	1,97	2,32	2,02	1,56	1,89	1,55
Terrestrial acidification	Pt	0,0109	0,0112	0,00844	0,00822	0,00955	0,0082
Freshwater eutrophication	Pt	0,00983	0,0216	0,0134	0,00994	0,0103	0,00989
Terrestrial ecotoxicity	Pt	0,0111	0,00964	0,00924	0,00843	0,00862	0,00915
Freshwater ecotoxicity	Pt	0,0124	0,0162	0,0132	0,0121	0,0123	0,0121
Marine ecotoxicity	Pt	0,00247	0,00319	0,0026	0,00238	0,00242	0,00239
Agricultural land occupation	Pt	0,192	0,205	0,258	0,206	0,216	0,203
Urban land occupation	Pt	0,0837	0,0905	0,0914	0,088	0,0931	0,0958
Natural land transformation	Pt	0,107	0,0829	0,0775	0,0726	0,0828	0,0776
Metal depletion	Pt	7,79	7,79	7,82	7,81	7,81	7,8
Fossil depletion	Pt	5,11	5,86	4,99	4,26	4,9	4,27

Πίνακας Π-15: Συνολικές επιπτώσεις ανά κατηγορία επίδρασης

Damage category /	Unit	PV-PCM Crete	PV-PCM Greece	PV-PCM Germany	PV-PCM France	PV-PCM Spain	PV-PCM Norway
Human Health	DALY	0,000382	0,000478	0,000388	0,000336	0,000371	0,000335
Ecosystems	species.yr	1,08E-6	1,25E-6	1,13E-6	8,9E-7	1,05E-6	8,91E-7
Resources	\$	19,9	21,1	19,8	18,6	19,6	18,6

Πίνακας Π-16: Αξιολόγησης βλαβών ανά κατηγορία

Damage category /	Unit	PV-PCM Crete	PV-PCM Greece	PV-PCM Germany	PV-PCM France	PV-PCM Spain	PV-PCM Norway
Human Health		0,0189	0,0236	0,0192	0,0166	0,0184	0,0166
Ecosystems		0,00599	0,00691	0,00623	0,00492	0,00582	0,00493
Resources		0,0645	0,0682	0,064	0,0604	0,0635	0,0603

Πίνακας Π-17: Κανονικοποίησης ανά κατηγορία βλάβης

Damage category /	Unit	PV-PCM Crete	PV-PCM Greece	PV-PCM Germany	PV-PCM France	PV-PCM Spain	PV-PCM Norway
Total	Pt	22,9	25,9	23	20,7	22,4	20,7
Human Health	Pt	7,56	9,46	7,69	6,65	7,34	6,63
Ecosystems	Pt	2,4	2,76	2,49	1,97	2,33	1,97
Resources	Pt	12,9	13,6	12,8	12,1	12,7	12,1

Πίνακας Π-18: Συνολικά αποτελέσματα ανά κατηγορία βλάβης

4^ο Φωτοβολταϊκό σύστημα ΦΒ-ΥΑΦ₂

Impact category /	Unit	PV-PCM (Al) Crete	PV-PCM (Al) Greece	PV-PCM (Al) Germany	PV-PCM (Al) France	PV-PCM (Al) Spain	PV-PCM (Al) Norway
Climate change Human Health	DALY	0,000371	0,0004	0,000375	0,000339	0,000365	0,000338
Ozone depletion	DALY	5,66E-8	5,21E-8	4,87E-8	5,16E-8	5,17E-8	4,52E-8
Human toxicity	DALY	7,91E-5	0,000137	9,24E-5	7,74E-5	7,86E-5	7,71E-5
Photochemical oxidant formation	DALY	4,07E-8	4,16E-8	3,97E-8	3,91E-8	4,15E-8	3,98E-8
Particulate matter formation	DALY	0,000191	0,0002	0,000179	0,000178	0,000186	0,000179
Ionising radiation	DALY	2,4E-7	2,56E-7	4,07E-7	8,55E-7	4,13E-7	2,34E-7
Climate change Ecosystems	species.yr	2,1E-6	2,26E-6	2,13E-6	1,92E-6	2,07E-6	1,91E-6
Terrestrial acidification	species.yr	1,2E-8	1,22E-8	1,09E-8	1,08E-8	1,14E-8	1,08E-8
Freshwater eutrophication	species.yr	3,68E-9	9,02E-9	5,31E-9	3,72E-9	3,87E-9	3,7E-9
Terrestrial ecotoxicity	species.yr	3,74E-9	3,06E-9	2,88E-9	2,52E-9	2,6E-9	2,84E-9
Freshwater ecotoxicity	species.yr	3,58E-9	5,29E-9	3,93E-9	3,43E-9	3,52E-9	3,45E-9
Marine ecotoxicity	species.yr	7,13E-10	1,04E-9	7,69E-10	6,72E-10	6,88E-10	6,78E-10
Agricultural land occupation	species.yr	8,41E-8	9,02E-8	1,14E-7	9,04E-8	9,52E-8	8,94E-8
Urban land occupation	species.yr	5,04E-8	5,35E-8	5,39E-8	5,24E-8	5,47E-8	5,59E-8
Natural land transformation	species.yr	7,46E-8	6,37E-8	6,13E-8	5,9E-8	6,37E-8	6,13E-8
Metal depletion	\$	2,61	2,61	2,64	2,63	2,64	2,62
Fossil depletion	\$	12,7	13,8	12,5	11,4	12,3	11,4

Πίνακας Π-19: Χαρακτηρισμός δεδομένων

Impact category /	Unit	PV-PCM (Al) Crete	PV-PCM (Al) Greece	PV-PCM (Al) Germany	PV-PCM (Al) France	PV-PCM (Al) Spain	PV-PCM (Al) Norway
Climate change Human Health		0,0184	0,0198	0,0186	0,0168	0,0181	0,0167
Ozone depletion		2,8E-6	2,58E-6	2,41E-6	2,55E-6	2,56E-6	2,24E-6
Human toxicity		0,00392	0,0068	0,00457	0,00383	0,00389	0,00382
Photochemical oxidant formation		2,01E-6	2,06E-6	1,97E-6	1,94E-6	2,05E-6	1,97E-6
Particulate matter formation		0,00943	0,00989	0,00888	0,00881	0,0092	0,00884
Ionising radiation		1,19E-5	1,27E-5	2,01E-5	4,23E-5	2,04E-5	1,16E-5
Climate change Ecosystems		0,0116	0,0125	0,0118	0,0106	0,0114	0,0106
Terrestrial acidification		6,65E-5	6,72E-5	6,03E-5	5,97E-5	6,31E-5	5,97E-5
Freshwater eutrophication		2,03E-5	4,99E-5	2,93E-5	2,06E-5	2,14E-5	2,05E-5
Terrestrial ecotoxicity		2,07E-5	1,69E-5	1,6E-5	1,39E-5	1,44E-5	1,57E-5
Freshwater ecotoxicity		1,98E-5	2,92E-5	2,17E-5	1,9E-5	1,95E-5	1,91E-5
Marine ecotoxicity		3,94E-6	5,73E-6	4,25E-6	3,72E-6	3,8E-6	3,75E-6
Agricultural land occupation		0,000465	0,000499	0,000631	0,0005	0,000527	0,000494
Urban land occupation		0,000279	0,000296	0,000298	0,00029	0,000302	0,000309
Natural land transformation		0,000412	0,000352	0,000339	0,000326	0,000352	0,000339
Metal depletion		0,00845	0,00845	0,00856	0,00852	0,00854	0,00848
Fossil depletion		0,0411	0,0448	0,0405	0,0368	0,04	0,0369

Πίνακας Π-20: Κανονικοποίηση ανά κατηγορία επίδρασης

Impact category /	Unit	PV-PCM (Al) Crete	PV-PCM (Al) Greece	PV-PCM (Al) Germany	PV-PCM (Al) France	PV-PCM (Al) Spain	PV-PCM (Al) Norway
Total	Pt	27,8	30,8	27,9	25,6	27,3	25,6
Climate change Human Health	Pt	7,35	7,91	7,43	6,71	7,23	6,69
Ozone depletion	Pt	0,00112	0,00103	0,000965	0,00102	0,00102	0,000896
Human toxicity	Pt	1,57	2,72	1,83	1,53	1,56	1,53
Photochemical oxidant formation	Pt	0,000806	0,000824	0,000787	0,000774	0,000821	0,000787
Particulate matter formation	Pt	3,77	3,96	3,55	3,52	3,68	3,54
Ionising radiation	Pt	0,00476	0,00507	0,00806	0,0169	0,00817	0,00464
Climate change Ecosystems	Pt	4,65	5,01	4,7	4,24	4,58	4,24
Terrestrial acidification	Pt	0,0266	0,0269	0,0241	0,0239	0,0252	0,0239
Freshwater eutrophication	Pt	0,00813	0,0199	0,0117	0,00823	0,00856	0,00818
Terrestrial ecotoxicity	Pt	0,00828	0,00677	0,00638	0,00556	0,00576	0,00628
Freshwater ecotoxicity	Pt	0,00792	0,0117	0,0087	0,00758	0,00779	0,00764
Marine ecotoxicity	Pt	0,00158	0,00229	0,0017	0,00149	0,00152	0,0015
Agricultural land occupation	Pt	0,186	0,199	0,252	0,2	0,211	0,198
Urban land occupation	Pt	0,112	0,118	0,119	0,116	0,121	0,124
Natural land transformation	Pt	0,165	0,141	0,136	0,131	0,141	0,136
Metal depletion	Pt	1,69	1,69	1,71	1,7	1,71	1,7
Fossil depletion	Pt	8,21	8,96	8,1	7,37	8	7,37

Πίνακας Π-21: Συνολικές επιπτώσεις ανά κατηγορία επίδρασης

Damage category /	Unit	PV-PCM (Al) Crete	PV-PCM (Al) Greece	PV-PCM (Al) Germany	PV-PCM (Al) France	PV-PCM (Al) Spain	PV-PCM (Al) Norway
Human Health	DALY	0,000641	0,000737	0,000648	0,000595	0,00063	0,000594
Ecosystems	species.yr	2,34E-6	2,5E-6	2,38E-6	2,14E-6	2,3E-6	2,14E-6
Resources	\$	15,3	16,4	15,1	14	15	14

Πίνακας Π-22: Αξιολόγησης βλαβών ανά κατηγορία

Damage category /	Unit	PV-PCM (Al) Crete	PV-PCM (Al) Greece	PV-PCM (Al) Germany	PV-PCM (Al) France	PV-PCM (Al) Spain	PV-PCM (Al) Norway
Human Health		0,0317	0,0365	0,0321	0,0295	0,0312	0,0294
Ecosystems		0,0129	0,0138	0,0132	0,0118	0,0127	0,0118
Resources		0,0495	0,0533	0,0491	0,0454	0,0486	0,0453

Πίνακας Π-23: Κανονικοποίησης ανά κατηγορία βλάβης

Damage category /	Unit	PV-PCM (Al) Crete	PV-PCM (Al) Greece	PV-PCM (Al) Germany	PV-PCM (Al) France	PV-PCM (Al) Spain	PV-PCM (Al) Norway
Total	Pt	27,8	30,8	27,9	25,6	27,3	25,6
Human Health	Pt	12,7	14,6	12,8	11,8	12,5	11,8
Ecosystems	Pt	5,17	5,53	5,26	4,74	5,1	4,74
Resources	Pt	9,9	10,7	9,81	9,07	9,71	9,07

Πίνακας Π-24: Συνολικά αποτελέσματα ανά κατηγορία βλάβης

Αξιολόγηση του ΦΒ-ΥΑΦ

1^ο Σενάριο

Impact category /	Unit	panel NA135L5 Crete + energy	PV-PCM Crete + energy	PV-PCM (Al) Crete + energy
Climate change Human Health	DALY	-0,00429	-0,00431	-0,00409
Ozone depletion	DALY	-1,4E-6	-1,42E-6	-1,4E-6
Human toxicity	DALY	-0,000393	-0,000298	-0,000351
Photochemical oxidant formation	DALY	-2,82E-7	-2,79E-7	-2,57E-7
Particulate matter formation	DALY	-0,00167	-0,00165	-0,00155
Ionising radiation	DALY	-3,43E-6	-3,37E-6	-3,37E-6
Climate change Ecosystems	species.yr	-2,43E-5	-2,44E-5	-2,32E-5
Terrestrial acidification	species.yr	-1,43E-7	-1,44E-7	-1,37E-7
Freshwater eutrophication	species.yr	-4,16E-9	-9,5E-10	-1,72E-9
Terrestrial ecotoxicity	species.yr	-1,34E-7	-1,34E-7	-1,35E-7
Freshwater ecotoxicity	species.yr	-3,17E-8	-2,8E-8	-3,01E-8
Marine ecotoxicity	species.yr	-7,16E-9	-6,45E-9	-6,85E-9
Agricultural land occupation	species.yr	-7,2E-8	-3,53E-8	-3,79E-8
Urban land occupation	species.yr	-1,06E-7	-8,63E-8	-7,37E-8
Natural land transformation	species.yr	-1,77E-6	-1,79E-6	-1,76E-6
Metal depletion	\$	-2,02	7,63	-1,78
Fossil depletion	\$	-165	-164	-159

Πίνακας Π-19: Χαρακτηρισμός δεδομένων

Impact category /	Unit	panel NA135L5 Crete + energy	PV-PCM Crete + energy	PV-PCM (Al) Crete + energy
Climate change Human Health		-0,212	-0,213	-0,203
Ozone depletion		-6,95E-5	-7,02E-5	-6,95E-5
Human toxicity		-0,0195	-0,0147	-0,0174
Photochemical oxidant formation		-1,39E-5	-1,38E-5	-1,27E-5
Particulate matter formation		-0,0825	-0,0817	-0,0769
Ionising radiation		-0,00017	-0,000167	-0,000167
Climate change Ecosystems		-0,134	-0,135	-0,128
Terrestrial acidification		-0,000792	-0,000795	-0,000755
Freshwater eutrophication		-2,3E-5	-5,25E-6	-9,51E-6
Terrestrial ecotoxicity		-0,000743	-0,00074	-0,000747
Freshwater ecotoxicity		-0,000175	-0,000155	-0,000166
Marine ecotoxicity		-3,96E-5	-3,56E-5	-3,79E-5
Agricultural land occupation		-0,000398	-0,000195	-0,000209
Urban land occupation		-0,000585	-0,000477	-0,000408
Natural land transformation		-0,0098	-0,00988	-0,00974
Metal depletion		-0,00656	0,0247	-0,00578
Fossil depletion		-0,534	-0,53	-0,514

Πίνακας Π-20: Κανονικοποίηση ανά κατηγορία επίδρασης

Impact category /	Unit	panel NA135L5 Crete + energy	PV-PCM Crete + energy	PV-PCM (Al) Crete + energy
Total	Pt	-293	-284	-279
Climate change Human Health	Pt	-85	-85,2	-81
Ozone depletion	Pt	-0,0278	-0,0281	-0,0278
Human toxicity	Pt	-7,79	-5,9	-6,96
Photochemical oxidant formation	Pt	-0,00558	-0,00553	-0,00509
Particulate matter formation	Pt	-33	-32,7	-30,7
Ionising radiation	Pt	-0,0678	-0,0668	-0,0667
Climate change Ecosystems	Pt	-53,8	-53,9	-51,3
Terrestrial acidification	Pt	-0,317	-0,318	-0,302
Freshwater eutrophication	Pt	-0,0092	-0,0021	-0,0038
Terrestrial ecotoxicity	Pt	-0,297	-0,296	-0,299
Freshwater ecotoxicity	Pt	-0,0702	-0,062	-0,0665
Marine ecotoxicity	Pt	-0,0158	-0,0143	-0,0152
Agricultural land occupation	Pt	-0,159	-0,0781	-0,0838
Urban land occupation	Pt	-0,234	-0,191	-0,163
Natural land transformation	Pt	-3,92	-3,95	-3,9
Metal depletion	Pt	-1,31	4,95	-1,16
Fossil depletion	Pt	-107	-106	-103

Πίνακας Π-21: Συνολικές επιπτώσεις ανά κατηγορία επίδρασης

Damage category /	Unit	panel NA135L5 Crete + energy	PV-PCM Crete + energy	PV-PCM (AI) Crete + energy
Total	Pt	-293	-284	-279
Human Health	Pt	-126	-124	-119
Ecosystems	Pt	-58,8	-58,9	-56,1
Resources	Pt	-108	-101	-104

Πίνακας Π-24: Συνολικά αποτελέσματα ανά κατηγορία βλάβης

2^ο Σενάριο

Impact category /	Unit	panel NA135L5 Germany + energy	PV-PCM Germany+ energy	PV-PCM (AI) Germany + energy
Climate change Human Health	DALY	-0,00429	-0,0043	-0,00409
Ozone depletion	DALY	-1,41E-6	-1,43E-6	-1,41E-6
Human toxicity	DALY	-0,00038	-0,000285	-0,000338
Photochemical oxidant formation	DALY	-2,83E-7	-2,8E-7	-2,58E-7
Particulate matter formation	DALY	-0,00168	-0,00166	-0,00156
Ionising radiation	DALY	-3,26E-6	-3,21E-6	-3,2E-6
Climate change Ecosystems	species.yr	-2,43E-5	-2,44E-5	-2,31E-5
Terrestrial acidification	species.yr	-1,44E-7	-1,45E-7	-1,38E-7
Freshwater eutrophication	species.yr	-2,53E-9	6,82E-10	-8,75E-11
Terrestrial ecotoxicity	species.yr	-1,35E-7	-1,35E-7	-1,36E-7
Freshwater ecotoxicity	species.yr	-3,14E-8	-2,77E-8	-2,97E-8
Marine ecotoxicity	species.yr	-7,1E-9	-6,39E-9	-6,79E-9
Agricultural land occupation	species.yr	-4,21E-8	-5,41E-9	-7,98E-9
Urban land occupation	species.yr	-1,02E-7	-8,28E-8	-7,02E-8
Natural land transformation	species.yr	-1,79E-6	-1,8E-6	-1,77E-6
Metal depletion	\$	-1,99	7,67	-1,75
Fossil depletion	\$	-165	-164	-159

Πίνακας Π-19: Χαρακτηρισμός δεδομένων

Impact category /	Unit	panel NA135L5 Germany + energy	PV-PCM Germany+ energy	PV-PCM (AI) Germany + energy
Climate change Human Health		-0,212	-0,213	-0,202
Ozone depletion		-6,99E-5	-7,05E-5	-6,99E-5
Human toxicity		-0,0188	-0,0141	-0,0167
Photochemical oxidant formation		-1,4E-5	-1,39E-5	-1,28E-5
Particulate matter formation		-0,083	-0,0823	-0,0774
Ionising radiation		-0,000161	-0,000159	-0,000159
Climate change Ecosystems		-0,134	-0,135	-0,128
Terrestrial acidification		-0,000798	-0,000801	-0,000762
Freshwater eutrophication		-1,4E-5	3,77E-6	-4,84E-7
Terrestrial ecotoxicity		-0,000748	-0,000745	-0,000752
Freshwater ecotoxicity		-0,000173	-0,000153	-0,000164
Marine ecotoxicity		-3,93E-5	-3,53E-5	-3,76E-5
Agricultural land occupation		-0,000233	-2,99E-5	-4,41E-5
Urban land occupation		-0,000565	-0,000458	-0,000388
Natural land transformation		-0,00988	-0,00996	-0,00981
Metal depletion		-0,00644	0,0248	-0,00567
Fossil depletion		-0,535	-0,53	-0,515

Πίνακας Π-20: Κανονικοποίηση ανά κατηγορία επίδρασης

Impact category /	Unit	panel NA135L5 Germany + energy	PV-PCM Germany+ energy	PV-PCM (AI) Germany + energy
Total	Pt	-293	-284	-279
Climate change Human Health	Pt	-84,9	-85,2	-80,9
Ozone depletion	Pt	-0,028	-0,0282	-0,0279
Human toxicity	Pt	-7,52	-5,64	-6,69
Photochemical oxidant formation	Pt	-0,0056	-0,00555	-0,00511
Particulate matter formation	Pt	-33,2	-32,9	-31
Ionising radiation	Pt	-0,0645	-0,0635	-0,0634
Climate change Ecosystems	Pt	-53,7	-53,9	-51,2
Terrestrial acidification	Pt	-0,319	-0,32	-0,305
Freshwater eutrophication	Pt	-0,00559	0,00151	-0,000193
Terrestrial ecotoxicity	Pt	-0,299	-0,298	-0,301
Freshwater ecotoxicity	Pt	-0,0694	-0,0612	-0,0658
Marine ecotoxicity	Pt	-0,0157	-0,0141	-0,015
Agricultural land occupation	Pt	-0,0932	-0,012	-0,0177
Urban land occupation	Pt	-0,226	-0,183	-0,155
Natural land transformation	Pt	-3,95	-3,98	-3,92
Metal depletion	Pt	-1,29	4,97	-1,13
Fossil depletion	Pt	-107	-106	-103

Πίνακας Π-21: Συνολικές επιπτώσεις ανά κατηγορία επίδρασης

Damage category /	Unit	panel NA135L5 Germany + energy	PV-PCM Germany+ energy	PV-PCM (AI) Germany + energy
Total	Pt	-293	-284	-279
Human Health	Pt	-126	-124	-119
Ecosystems	Pt	-58,7	-58,8	-56
Resources	Pt	-108	-101	-104

Πίνακας Π-24: Συνολικά αποτελέσματα ανά κατηγορία βλάβης

