

8^ο ΕΘΝΙΚΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ



ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

ΡΥΠΑΝΣΗ ΙΖΗΜΑΤΟΣ ΜΕ ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ ΣΤΗΝ ΑΠΟΣΤΡΑΓΓΙΣΤΙΚΗ-ΑΡΔΕΥΤΙΚΗ ΤΑΦΡΟ «ΑΣΜΑΚΙΟΥ», ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ, ΕΛΛΑΔΑ

Αυγουστίνος Αυγουστή¹, Σάββας Παπαδόπουλος², Ιωάννης Γράβαλος¹, Δημήτριος Κατέρης¹,
Αναστάσιος Γεωργιάδης¹, Ζήσης Τσιρόπουλος¹, Παναγιώτης Ξυραδάκης¹,

¹Τμήμα Μηχανικής Βιοσυστημάτων, Σχολή Τεχνολογίας Γεωπονίας, ΤΕΙ Λάρισας, 41100 Λάρισα
avgousti@teilar.gr

²ΠΕΓΕΑΛ Κεντρικής Ελλάδος Νομού Λάρισας, Ιωαννίνων και Αυλώνος 41334, Λάρισα

Στην εργασία αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων για τον προσδιορισμό πέντε βαρέων μετάλλων (Cd, Cr, Pb, Ni, Cu) και της οργανικής ουσίας στο ίζημα στο τροποποιημένο υδάτινο οικοσύστημα της κεντρικής αποστραγγιστικής - αρδευτικής τάφρου του «Ασμακίου» στην Θεσσαλία και σε παρακαμπτήριες τάφρους του (αποστραγγιστικές - αρδευτικές τάφροι 8T, 9T, 1T), κατά τα διάκεια δύο ετών (Ιούλιος 2011 και Ιούλιος 2012). Στην συνέχεια γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων με αντίστοιχες μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στο ίδιο χρονικό διάστημα τα έτη 2008 και 2009. Όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων στο 60% των περιπτώσεων παρουσιάστηκε μείωση των τιμών των βαρέων μετάλλων και στο 40% αύξηση. Από τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων διαπιστώνεται ότι τα επίπεδα των βαρέων μετάλλων στο ίζημα στην αναφερόμενη περιοχή μελέτης είναι αρκετά χαμηλότερα (εκτός του Cd στον σταθμό Σ1 και του Ni στους σταθμούς Σ6, Σ9 και Σ10) από αυτά που έχουν οριστεί από την Ευρωπαϊκή νομοθεσία για τα μέγιστα επιτρεπτά όρια χρησιμοποίησης της ιλύος στη γεωργία (Οδηγία 86/278/ΕΟΚ - επικυρώθηκε με την Κ.Υ.Α 80568/4225/1991

Λέξεις κλειδιά: Υγρότοπος, ρύπανση, βαρέα μέταλλα, ίζημα

SEDIMENT POLLUTION WITH HEAVY METALS IN DRAINAGE, IRRIGATION DITCH "ASMAKIOU", THESSALY, GREECE

Avgoustinos Avgoustis¹, Savvas Papadopoulos², Ioannis Gravalos¹, Dimitrios Kateris¹,
Anastasios Georgiadis¹, Zisis Tsiropoulos¹, Panagiotis Xyradakis¹

¹Department of Biosystems Engineering, School of Agricultural Technology, TEI of Larissa, Greece
avgousti@teilar.gr

²PEGEAL Central Greece Prefecture of Larisa, Ioanninon and Avlonos 41334, Larissa,

This paper presents the results of chemical analyzes to identify five heavy metals (Cd, Cr, Pb, Ni, Cu) and organic matter in the sediment in modified aquatic ecosystem of central a drainage - irrigation ditch "Asmakioiu" in Thessaly and Diversionary trench (drainage - irrigation ditches 8T, 9T, 1T) during the course of two years (July 2011 and July 2012). Then the results are compared with corresponding measurements made in the same period in 2008 and 2009. As shown by the results of chemical analyzes in 60% of cases presented lower prices of heavy metals and 40% growth. From the results of chemical analyzes found that the levels of heavy metals in the sediment in the reported study area is much lower (except for Cd in station S1 and Ni stations S6, S9 and S10) than those designated by the European legislation the maximum permissible limits use of sludge in agriculture (Directive 86/278/EEC - Common Minister Decision promulgated metin 80568/4225/1991.

Key words: wetland, pollution, heavy metals, sediment

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα βαρέα μέταλλα θεωρούνται από τους πιο επικίνδυνους ρύπους του περιβάλλοντος και οι ενώσεις τους, σε αντίθεση με τις οργανικές τοξικές ουσίες, δεν αποικοδομούνται αλλά παραμένουν στο περιβάλλον για μεγάλο χρονικό διάστημα. Μερικά από τα βαρέα μέταλλα όχι μόνο δεν είναι απαραίτητα για τη ζωή αλλά αντίθετα δρουν βλαβερά και επικίνδυνα στον άνθρωπο, στα ζώα και στα φυτά (Sawidis, 1997).

Ως κυριότερες πηγές ρύπανσης των υδάτων με βαρέα μέταλλα θεωρούνται τα βιομηχανικά απόβλητα, τα αστικά λύματα, οι γεωργικές δραστηριότητες, ενώ δεν αποκλείονται και οι

φυσικές πηγές όπως η διάβρωση πετρωμάτων. Η ρύπανση των υδάτων μπορεί να αξιολογηθεί με την μέτρηση των βαρέων μετάλλων στο ίζημα και τους υδρόβιους οργανισμούς.

Σκοπός της εργασίας είναι να διαπιστωθεί το μέγεθος της επιβάρυνσης με βαρέα μέταλλα στο ίζημα του τροποποιημένου υδάτινου οικοσύστημα της κεντρικής αποστραγγιστικής - αρδευτικής τάφρου του «Ασμακίου» (περιοχή Θεσσαλίας) και σε παρακαμπτήριες τάφρους του (αποστραγγιστικές-αρδευτικές τάφροι 8T, 9T, 1T), κατά τα διάκεια δύο ετών (Ιούλιος 2011 και Ιούλιος 2012). Γίνεται ακόμη σύγκριση των αποτελεσμάτων με αντίστοιχες μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν τα έτη 2008 και

2009, με στόχο να υποβληθούν προτάσεις στο κατά πόσο είναι δυνατό σε περίπτωση εξυγίανσης της, να χρησιμοποιηθεί η ιλύς για γεωργικούς σκοπούς.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

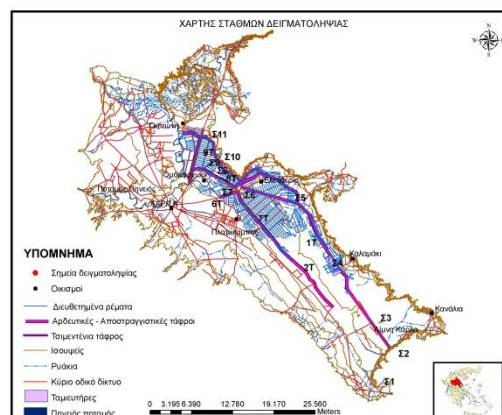
2.1 Περιοχή μελέτης

Η ευρύτερη περιοχή έρευνας εκτείνεται από την Βορειανατολική πλευρά της Λάρισας και φθάνει έως την λίμνη Κάρλα. Πρόκειται για πεδινή έκταση, στην οποία καλλιεργούνται ως επί το πλείστον μονοετείς καλλιέργειες (βαμβάκι 70%, αραβόσιτος 20% και διάφορες άλλες εποχιακές και δενδρώδεις καλλιέργειες 10% - Τ.Ο.Ε.Β. Πηνηϊού - προσωπική επικοινωνία).

Στην περιοχή υπάρχουν πολλές αποστραγγιστικές τάφροι και δύο τιμιεντένιες αρδευτικές διώρυγες. Η κεντρική τάφρος του Ασμακίου (8Τ), μήκους περίπου 15 Km, λειτουργεί από το 1967. Έως και το 2005 εξυπηρετούσε την άρδευση 140.000 περίπου στρεμμάτων (Εικόνα 1). Από τον Μάρτιο του 2009, το «Ασμάκι», χρησιμοποιείται και για την μεταφορά νερού στην ανασυσταθείσα λίμνη της Κάρλας.

Για τις ανάγκες αυτής της εργασίας επιλέχθηκαν συνολικά 11 δειγματοληπτικοί σταθμοί. Ένα σημείο

δειγματοληψίας (Σ1) βρίσκεται εκτός τους πεδίου έρευνας και πιο συγκεκριμένα Νοτιοδυτικά της λίμνης Κάρλας, πλησίον του εργοστασίου τιμιεντών «Ηρακλής». Οι σταθμοί δειγματοληψίας επιλέχθηκαν με βάση την τάξη του «αποστραγγιστικού – αρδευτικού δικτύου», την ύπαρξη σημειακών ή μη πηγών ρύπανσης και την ευκολία πρόσβασης. (Εικόνα 1, Πίνακας 1).



Εικόνα 1. Περιοχή έρευνα

Πίνακας 1. Οι σταθμοί δειγματοληψιών.

A/A	Σταθμοί	Θέση Σταθμού	Γεωγραφικό Πλάτος	Γεωγραφικό μήκος
1.	Σ1	Πλησίον εργοστασίου τιμιεντών Ηρακλής	39° 24' .085	22° 46' .951
2.	Σ2	Σήραγγα Κάρλας (1Τ)	39° 27' .044	22° 48' .608
3.	Σ3	Γέφυρα Στεφανοβικείου (1Τ)	39° 28' .825	22° 46' .816
4.	Σ4	Καλαμάκι (1Τ)	39° 33' .418	22° 43' .390
5.	Σ5	Πλασιά (Συμβολή 1Τ και 8Τ)	39° 38' .539	22° 39' .036
6.	Σ6	Γέφυρα Ελευθερίου (8Τ)	39° 39' .756	22° 32' .342
7.	Σ7	Πλησίον εργοστασίου ΟΙΝΟΠΝΕΥΜΑΤΟΣ «ΧΑΤΖΗΔΗΜΑΣ» (παρακαμπτήριος 8Τ)	39° 39' .627	22° 29' .709
8.	Σ8	Πλησίον «ΠΕΛΑΣΓΙΣ Α.Ε.Β.Ε – πλυντήριο, βαφείο Υφασμάτων (παρακαμπτήριος 9Τ)	39° 41' .103	22° 29' .424
9.	Σ9	Περιοχή βιομηχανίας "INTERCOM FOODS" (παρακαμπτήριος 9Τ)	39° 41' .814	22° 29' .905
10.	Σ10	Γεντίκι 9Τ	39° 42' .289	22° 29' .987
11.	Σ11	Πλησίον σφαγείου Γυρτώνης (9Τ)	39° 44' .288	22° 28' .226

2.2. Μεθοδολογία

Οι δειγματοληψίες για τον προσδιορισμό των βαρέων μετάλλων πραγματοποιήθηκαν δύο φορές κατά την διάρκεια δύο ετών (29/072011 – 29/072012). Από κάθε δειγματοληπτικό σταθμό λήφθηκαν συνολικά τρία υποδείγματα κατ' έτος τα οποία αναμείχθηκαν. Κατά την διάρκεια των δειγματοληψιών υπήρχε (σε αντίθεση με τα έτη 2008 και 2009) μεγάλη ροή νερού, ενώ σε πάρα πολλά σημεία υπήρχαν έντονα στοιχεία θερμικής διαστρωμάτωσης, αφού ως γνωστό το «Ασμάκι», έχει την ιδιαιτερότητα να αποτελεί ταυτόχρονα ποτάμιο και λιμναίο οικοσύστημα.

Για τον προσδιορισμό των βαρέων μετάλλων συλλέχθηκε ποσότητα 100 - 200 g επιφανειακού ιζήματος (μέχρι βάθους 5 cm) και επί τόπου

αφαιρέθηκαν οι μεγάλες πέτρες και τα ξένα σώματα. Ακολούθησε αεροξήρανση των δειγμάτων στο εργαστήριο με περιοδική ανακίνηση μέχρι σταθερού βάρους (48 περίπου ώρες) και τελικό ποσοστό υγρασίας 0 - 7%. Μετά την αεροξήρανση ακολούθησε ξήρανση σε κλίβανο στους 40 °C μέχρι σταθερού βάρους (Bates T., 1993). Στα ξηρά δείγματα ακολούθησε λειοτρίβηση και κοσκίνιση με κόσκινο βρογχίδας 2 mm². Προδιαγραφές προετοιμασίας δειγμάτων ιζήματος ορίζονται στο ASTM C 999 (1983). Τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε δοχεία πολυαιθυλενίου και φυλάσσονταν σε ξηραντήρα σε σκιερό μέρος.

Οι αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν στα εργαστήρια του Π.Ε.Γ.Ε.Α.Λ. (Περιφερειακό Εργαστήριο Γεωργικών Εφαρμογών και Αναλύσεως

Λιπασμάτων). Το εργαστήριο εφαρμόζει σύστημα ποιότητας κατά ISO 17025: Για τον προσδιορισμό των μετάλλων χρησιμοποιήθηκε μέθοδος η οποία βασίζεται στη κατεργασία του δείγματος με 4M HNO₃ (Sporito et al., 1982). Χρησιμοποιήθηκαν 2 g δείγματος ιλύος που τοποθετήθηκαν σε σωλήνες φυγοκέντρωσης των 50 ml με πώμα (τύπου falcon) και προστέθηκαν 12,5 ml HNO₃ 4M. Οι φιάλες πωματίστηκαν και ανακινήθηκαν ελαφρά. Στη συνέχεια οι σωλήνες τοποθετήθηκαν σε φούρνο για 16 ώρες σε θερμοκρασία 80 °C. Τα ολικά μέταλλα Cd, Cr, Pb, Ni και Cu, προσδιορίστηκαν στην ατομική απορρόφηση (VARIAN 220 FS). Προσδιορίστηκε ακόμη η οργανική ουσία με την μέθοδο Walkley & Black.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 2, οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων στο ίζημα ήταν σημαντικά

χαμηλότερες από τις οριακές τιμές για χρησιμοποίηση της ιλύος στη γεωργία, σύμφωνα με την οδηγία 86/278/EOK η οποία επικυρώθηκε με την Υ.Π. 80568/4225/7-8-91. Εξαιρέση αποτελούν οι συγκεντρώσεις του Cd και Ni. Οι τιμές του Cd παρουσιάστηκαν πιο αυξημένες στον σταθμό Σ1 και του Ni στους σταθμούς Σ6, Σ9, και Σ10. Η μικρή συγκέντρωση είναι σε πολύ μεγάλο βαθμό φυσιολογική δεδομένου ότι στην περιοχή δεν λειτουργούν μεγάλες βιομηχανίες των οποίων τα απόβλητα να περιέχουν σημαντικές συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων, κάτι που σημαίνει ότι η προέλευση τους είναι από το έδαφος (Φλωράς 1997). Σε ότι αφορά την σύγκριση των αποτελεσμάτων κατά τις δύο περιόδους (2011-2012 σε σύγκριση με την περίοδο 2008-2009), παρουσιάστηκε μείωση των τιμών σε ποσοστό 60% (Πίνακες 2 και 3).

Πίνακας 2. Μετρηθείσες τιμές πέντε βασικών βαρέων μετάλλων σε ίζημα, (mg/kg) (έτη 2011 και 2012).

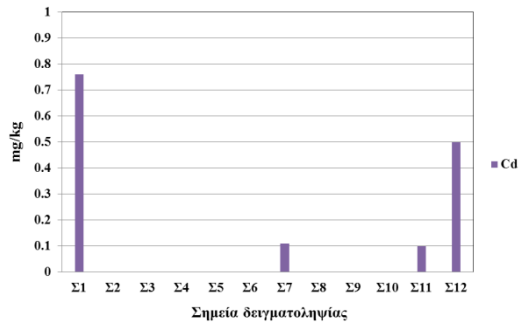
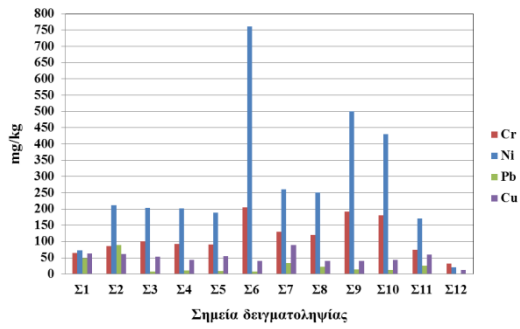
Σταθμοί	Cd/ έτος		Cr/ έτος		Pb/ έτος		Ni/ έτος		Cu/ έτος	
	2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012
Σ1	0,76+	0,78+	64,1	64,1	49,1+	48,1+	73,1	79,1	63,0+	60,0+
Σ2	0,00	0,00	85,8	85,8	9,1	9,2	211,4+	218,4+	62,0+	67,0+
Σ3	0,00	0,00	101,2	102,2	8,0	8,6	203,2+	203,2+	53,9+	54,9+
Σ4	0,00	0,00	92,9	92,9	10,4	11,6	201,8+	205,8+	43,1+	48,1+
Σ5	0,00	0,00	91,0+	95,0+	10,1	12,1	189,1	195,1	54,6+	50,6+
Σ6	0,00	0,00	204,8+	202,8+	7,4	7,4	760,8+	769,8+	40,3+	42,3+
Σ7	0,11	0,13	130,4+	135,4+	33,8	31,8	260,3+	271,3+	89,3	199,3
Σ8	0,00	0,00	120,4	122,4	22,3+	24,3+	250,3+	255,3+	40,9	42,9
Σ9	0,00	0,00	191,7+	193,7+	14,7+	12,7+	500,2+	505,2+	40,0	43,0
Σ10	0,00	0,00	180,1+	181,1+	12,1	12,1	430,4+	451,4+	43,0	45,0
Σ11	0,10	0,09	74,4	79,4	26,4+	29,4+	171,4	179,4	59,4+	57,4+

Πίνακας 3. Μετρηθείσες τιμές πέντε βασικών βαρέων μετάλλων σε ίζημα, (mg/kg) (έτη 2008 και 2009).

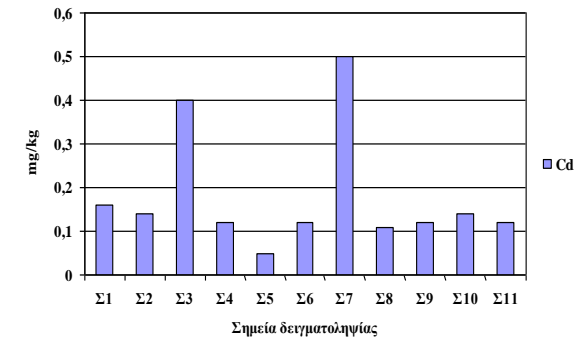
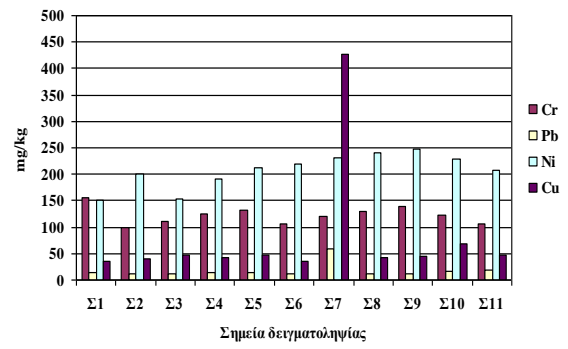
Σταθμοί	Cd/ Έτος		Cr/ Έτος		Pb/ Έτος		Ni/ Έτος		Cu/ Έτος	
	2008	2009	2008	2009	2008	2009	2008	2009	2008	2009
Σ1	0,16	0,18	155	158	14	14	150	152	35,0	36,0
Σ2	0,14	0,13	98	100	11	10	200	201	40,0	40,0
Σ3	0,4	0,5	111	120	12	13	153	158	46,0	46,0
Σ4	0,12	0,15	126	129	14	15	190	191	43,0	45,0
Σ5	0,05	0,05	131	131	14	14	213	219	47,0	48,0
Σ6	0,12	0,13	106	110	11	13	220	223	36,0	37,0
Σ7	0,50	0,54	120	124	58	69	230	232	426,0	430,0
Σ8	0,11	0,11	130	131	11	12	241	242	42,0	44,0
Σ9	0,12	0,11	140	141	12	14	247	249	45,0	47,0
Σ10	0,14	0,13	122	126	16	17	228	230	69,0	71,0
Σ11	0,12	0,18	106	158	18	14	207	152	47,0	36,0

Πίνακας 4. Η Οργανική ουσία (%) στους 11 δειγματοληπτικούς σταθμούς

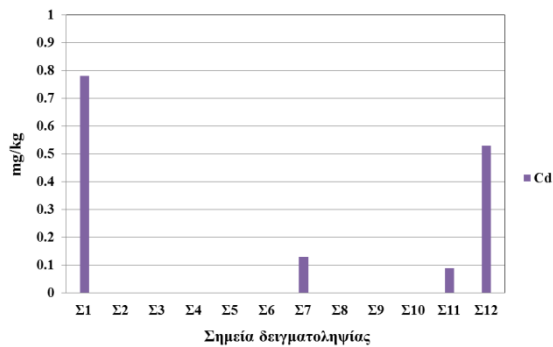
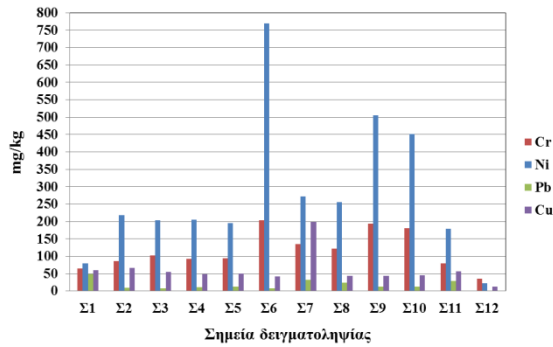
Σταθμοί	Οργανική ουσία (%) - έτος 2009	Οργανική ουσία (%) - έτος 2012	Διαφορά (%)
Σ1	0,8	4,5	+460%
Σ2	0,5	1,2	140%
Σ3	7,3	8,8	+20,5%
Σ4	1,1	1,3	+18%
Σ5	1,1	1,5	37%
Σ6	4,4	0,9	11,5%
Σ7	6,4	4,0	-37,5%
Σ8	1,1	3,4	+209%
Σ9	4,9	6,4	+31%
Σ10	8,0	6,8	-15%
Σ11	3,0	5,2	+73%



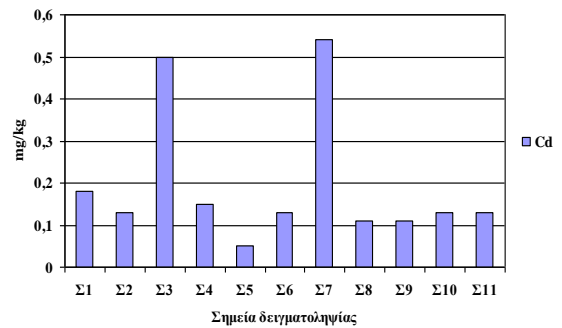
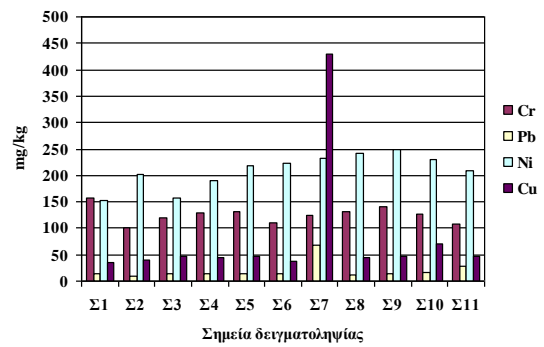
Γράφημα 1. Μετρηθείσες τιμές πέντε βασικών βαρέων μετάλλων σε ίζημα (mg/kg) (έτος 2011).



Γράφημα 3. Μετρηθείσες τιμές πέντε βασικών βαρέων μετάλλων σε ίζημα (mg/kg) (έτος 2008).



Γράφημα 2. Μετρηθείσες τιμές πέντε βασικών βαρέων μετάλλων σε ίζημα (mg/kg) (έτος 2012).



Γράφημα 4. Μετρηθείσες τιμές πέντε βασικών βαρέων μετάλλων σε ίζημα (mg/kg) (έτος 2009).

Πίνακας 5. Οριακές τιμές βαρέων μετάλλων σε ιλύ και έδαφος (Οδηγία 86/278/ΕΟΚ)

A/A	Παράμετρος	Οριακή τιμή ιλυσ που χρησιμοποιείται στη	Οριακή τιμή για έδαφος Ν.2950/01
1.	Χαλκός (Cu)	1000-1750	50-100
2.	Κάδμιο (Cd)	20-40	-
3.	Μόλυβδος (l)	750-1200	50-300
4.	Νικέλιο (Ni)	300-400	30-75
5.	Υδράργυρος (Hg)	16-25	-
6.	Αρσενικό (As)		-
7.	Ψευδάργυρος (Zn)	2500-4000	160-300

Παρατήρηση: Με την ΚΥΑ 80568/4225/91 ενσωματώθηκε στην Ελληνική νομοθεσία η Οδηγία 86/278/ΕΟΚ, χωρίς τροποποιήσεις. Έχει γίνει μόνο προσθήκη ορίων για το χρώμιο: 500 mg/kg ξηράς ουσίας για το Cr(III) και 10 mg/kg ξηρού για το Cr(VI).

Στο σταθμό Σ7 (πλησίον εργοστασίου παραγωγής οιοπνεύματος) παρατηρήθηκε πολύ μικρότερη συγκέντρωση Cu, κάτι που δικαιολογείται πλήρως, αφού εδώ και τρία χρόνια το εργοστάσιο έχει διακόψει την λειτουργία του. Η παρουσία Cu σχετίζεται με το πρόσθετο $CuSO_4 \cdot 5H_2O$, που χρησιμοποιείται για την παραγωγή οιοπνεύματος. Στο σταθμό αυτό σημειώθηκε σημαντική μείωση και της οργανικής ουσίας κατά 37,5%. Μικρή μείωση του ποσοστού οργανικής ουσίας παρουσιάσθηκε και στο σταθμό Σ10 (15%) (η οργανική ουσία είναι από τους κύριους παράγοντες ισχυρής συγκράτησης των στοιχείων στο έδαφος, επειδή σχηματίζει σταθερές διαλυτές και αδιάλυτες ενώσεις (Adriano, 1986). Η

αύξηση του ποσοστού της οργανικής ουσίας εκτιμάται ότι οφείλεται στην αυξημένη βροχόπτωση την χρονική περίοδο από τον Ιούλιο του 2009 έως και τον Ιούλιο του 2012, η οποία σύμφωνα με στοιχεία του Μετεωρολογικού σταθμού ΑΤΑ Λάρισας ήταν 1429 mm., σε σχέση με 897 mm. την αντίστοιχη χρονική περίοδο μεταξύ 2007 έως 2009. Ακόμα μπορεί να οφείλεται και στην αυξημένη ροή νερού.

Σημειώνεται πως η απευθείας εφαρμογή της ιλύος στο έδαφος υπόκειται στους περιορισμούς της ΚΥΑ 80568/4225/91. Απαραίτητη προϋπόθεση αποτελεί ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης των βαρέων μετάλλων στο έδαφος.

3.1. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Η Στατιστική Ανάλυση έγινε με τη χρήση του στατιστικού πακέτου Minitab (Κουτροβέλης 1999)

Πίνακας 6. Ανά έτος στο σύνολο των έντεκα σταθμών (cd)

Variable	Mean	StDev	Variance	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum	Range	IQR
2008	0,180	0,1381	0,0191	0,0500	0,12	0,1200	0,1600	0,5000	0,4500	0,0400
2009	0,1964	0,1633	0,0267	0,0500	0,11	0,1300	0,1800	0,5400	0,4900	0,0700
2011	0,0882	0,2268	0,0514	0,0000	0,00	0,0000	0,1000	0,7600	0,7600	0,1000
2012	0,0909	0,2329	0,0542	0,0000	0,00	0,0000	0,0900	0,7800	0,7800	0,0900

Η τιμή της τυπικής απόκλισης StDev είναι μικρή οπότε η μέση τιμή Mean αποτελεί αντιπροσωπευτικό στατιστικό μέτρο για την κατανομή της μεταβλητής .

Το 50% των παρατηρήσεων απέχει από την διάμεσο Median (+,-) IQR .

Το 25% των παρατηρήσεων είναι κάτω από Q1 .

Το 75% των παρατηρήσεων είναι κάτω από Q3 .

Πίνακας 7. Ανά έτος στο σύνολο των έντεκα σταθμών (cr)

Variable	Mean	StDev	Variance	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum	Range	IQR
2008	122,27	16,69	278,62	98,00	106,00	122,00	131,00	155,00	57,00	25,00
2009	125,27	16,12	259,82	100,00	110,00	126,00	131,00	158,00	58,00	21,00
2011	121,5	49,3	2432,9	64,1	85,8	101,2	180,1	204,8	140,7	94,3
2012	123,2	48,8	2377,3	64,1	85,8	102,2	181,1	202,8	138,7	95,3

Η τιμή της τυπικής απόκλισης StDev παρουσιάζει μεγάλες τιμές για τα έτη 2011 & 2012 καθώς παρατηρείται μεγάλο εύρος Range .

Το 50% των παρατηρήσεων απέχει από την διάμεσο Median (+,-) IQR .

Το 25% των παρατηρήσεων είναι κάτω από Q1 .

Το 75% των παρατηρήσεων είναι κάτω από Q3 .

Πίνακας 8. Ανά έτος στο σύνολο των έντεκα σταθμών (Pd)

Variable	Mean	StDev	Variance	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum	Range	IQR
2008	17,36	13,66	186,65	11,00	11,00	14,00	16,00	58,00	47,00	5,00
2009	20,00	16,99	288,60	10,00	13,00	14,00	17,00	69,00	59,00	4,00
2011	18,49	13,27	176,07	7,40	9,10	12,10	26,40	49,10	41,70	17,30
2012	18,85	12,94	167,51	7,40	9,20	12,10	29,40	48,10	40,70	20,20

Η τιμή της τυπικής απόκλισης StDev είναι μικρή οπότε η μέση τιμή Mean αποτελεί αντιπροσωπευτικό στατιστικό μέτρο για την κατανομή της μεταβλητής .

Το 50% των παρατηρήσεων απέχει από την διάμεσο Median (+,-) IQR .

Το 25% των παρατηρήσεων είναι κάτω από Q1 .

Το 75% των παρατηρήσεων είναι κάτω από Q3 .

Πίνακας 9. Ανά έτος στο σύνολο των έντεκα σταθμών (Ni)

Variable	Mean	StDev	Variance	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum	Range	IQR
2008	207,18	32,30	1043,36	150,00	190,00	213,00	230,00	247,00	97,00	40,00
2009	209,55	31,92	1019,07	152,00	191,00	219,00	232,00	249,00	97,00	41,00
2011	295,6	195,0	38044,1	73,1	189,1	211,4	430,4	760,8	687,7	241,3
2012	303,1	196,9	38770,5	79,1	195,1	218,4	451,4	769,8	690,7	256,3

Η τιμή της τυπικής απόκλισης StDev παρουσιάζει μεγάλες τιμές για τα έτη 2011 & 2012 καθώς παρατηρείται μεγάλο εύρος Range .

Το 50% των παρατηρήσεων απέχει από την διάμεσο Median (+,-) IQR .

Το 25% των παρατηρήσεων είναι κάτω από Q1 .

Το 75% των παρατηρήσεων είναι κάτω από Q3 .

Πίνακας 10. Ανά έτος στο σύνολο των έντεκα σταθμών (Cu)

Variable	Mean	StDev	Variance	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum	Range	IQR
2008	79,6	115,2	13276,9	35,0	40,0	45,0	47,0	426,0	391,0	7,0
2009	81,1	116,1	13476,7	36,0	40,0	46,0	48,0	430,0	394,0	8,0
2011	53,59	14,88	221,39	40,00	40,90	53,90	62,00	89,30	49,30	21,10
2012	64,6	45,4	2060,4	42,3	43,0	50,6	60,0	199,3	157,0	17,0

Η τιμή της τυπικής απόκλισης StDev παρουσιάζει μεγάλες τιμές και ειδικά για τα έτη 2008 & 2009 καθώς παρατηρείται μεγάλο εύρος Range .

Το 50% των παρατηρήσεων απέχει από την διάμεσο Median (+,-) IQR .

Το 25% των παρατηρήσεων είναι κάτω από Q1 .

Το 75% των παρατηρήσεων είναι κάτω από Q3 .

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Andriano, D. G., 1986. Trace Elements in Terrestrial Environments. Springer Verlag -New York, Berlin, Tokyo.

Bates, T., 1993. *Soil Hadling and Prepatation*, pp. 19-24.

Sawidis, T. (1997c). *Accumulation and effects of heavy metals in Liliun pollen* Proc. Int. Symp. on pollination. Acta Hort. 437: 153-157.

Spozito, G. L., Land J. and, Chang, A. C., 1982. *Trace metal Chemistry in acid-zone Field soils Amented with sewage studge. I. Gractionation of Ni, Cu, Zn, cd ahn Pd in solid phases*, Soil Sci. Soc. Am. J 46: 260-264.

Walkley A., Black I.A. (1934). An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science, 3, 29-37.

Welsh, P. and Denny, P., 1980. *Waterplants and recycling of heavy metals in an English lake, in*

D.D. Hemphill (Ed.), Trace substances in Environmental HealthX, Univ. Missouri, Columbia, p.p.217-223.

Κουτροβέλης Ι. (1999) Βασικά εργαλεία και μέθοδοι για τον έλεγχο της ποιότητας. Τόμος Α. Πιθανότητες και στατιστική Ι. Μεταπτυχιακό πρόγραμμα Διασφάλιση Ποιότητας, σελ. 147-161.

Φλωράς Σ., Σγούρας Ι., Πατέρας Δ., Ζέρβα-Καπετανάκη Γ., Μακρίδης Χ. (1997) Εδαφολογική μελέτη του Ν.Α. τμήματος Ζώνης 2 έργων εκτροπής του Αχελώου ποταμού (ευρύτερης περιοχής αποξηρανθείσας λίμνης Κάρλας). Εθνικό Ίδρυμα Αγροτικής Έρευνας (ΕΘ.Α.Γ.Ε.) Ινστιτούτο Χαρτογράφησης Εδαφών (Ι.Χ.Τ.Ε.Λ.), σελ. 108.

Οδηγία 86/278/ΕΟΚ

ISO 17025

ΚΥΑ 80568/4225/91 ενσωματώθηκε στην Ελληνική νομοθεσία η Οδηγία 86/278/ΕΟΚ,

**ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΜΕΙΩΣΗ ΑΕΡΙΩΝ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ
ΑΠΟ ΣΥΜΒΑΤΙΚΟΥΣ ΣΕ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΥΣ ΕΛΑΙΩΝΕΣ ΚΑΙ ΑΜΠΕΛΩΝΕΣ**

Αθανάσιος Μπαλαφούτης¹, Δημήτριος Μπριασούλης², Παναγιώτης Παναγάκης², Γεώργιος Παπαδάκης¹
¹Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργικής Μηχανικής, Ιερά Οδός 75, 11855, Αθήνα
² Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργικής Μηχανικής, Ιερά Οδός 75, 11855, Αθήνα
abalafoutis@aua.gr, briassou@aua.gr, ppap@aua.gr, gpap@aua.gr

Τα παραδοσιακά συστήματα καλλιέργειας, στοχεύοντας σε αποδεκτό εισόδημα για το γεωργό, βασίζονται στην επίτευξη υψηλής παραγωγής με χρήση πολλών εισροών. Σήμερα, η γεωργία αλλάζει κατεύθυνση προς την εφαρμογή ελάχιστων εισροών για μέγιστη δυνατή παραγωγή. Παράδειγμα γεωργικής πρακτικής βασισμένης σε αυτή τη λογική είναι η βιολογική γεωργία, η οποία οδηγεί σε χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας ανά μονάδα επιφάνειας γης, όμως επιφυλάσσει τον κίνδυνο σημαντικής ελάττωσης της συνολικής παγκόσμιας παραγωγής. Ως εκ τούτου, είναι πολύ σημαντικό να εξεταστεί η ενεργειακή αποδοτικότητα, δηλαδή η ελάχιστη κατανάλωση ενέργειας ανά μονάδα παραγόμενου προϊόντος. Οι ελαιώνες και οι αμπελώνες, είναι δύο σημαντικές πολυετείς καλλιέργειες για την ελληνική γεωργία. Στην παρούσα εργασία ένας ελαιώνας και ένας αμπελώνας στην περιοχή της Στερεάς Ελλάδας μελετήθηκαν όσον αφορά την ενεργειακή αποδοτικότητα και τις αντίστοιχες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, με σκοπό τη σύγκριση της παραδοσιακής καλλιέργειας με το εναλλακτικό βιολογικό σύστημα καλλιέργειας. Στην περίπτωση του ελαιώνα, η βιολογική γεωργία παρουσιάζεται να ελαττώνει την κατανάλωση ενέργειας κατά 13.9%, καθώς τα χημικά λιπάσματα και τα φυτοφάρμακα έχουν αντικατασταθεί από εισροές μικρότερης ενεργειακής απαίτησης για την παραγωγή τους, ενώ η αντίστοιχη τελική παραγωγή μειώνεται λιγότερο (5%). Όσον αφορά τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, μειώνονται κατά 37.8%. Στην περίπτωση του αμπελώνα, η βιολογική γεωργία ελάττωσε σημαντικά την παραγωγή (31%) και τελικά επηρέασε αρνητικά την ενεργειακή αποδοτικότητα κατά 0.4%. Οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου του αμπελώνα ελαττώθηκαν κατά 6.7%.

Λέξεις κλειδιά: ελαιώνας, αμπελώνας, ενέργεια, αέρια του θερμοκηπίου, ενεργειακή αποδοτικότητα

**ENERGY EFFICIENCY ENHANCEMENT AND GREENHOUSE GAS EMISSIONS REDUCTION FROM
TRADITIONAL TO ORGANIC OLIVE GROVE AND VINEYARD CULTIVATIONS**

Athanasios Balafoutis¹, Demetres Briassoulis², Panagiotis Panagakis², George Papadakis¹
¹Laboratory of Agricultural Mechanization, Agricultural University of Athens, Department of Natural Resources Management and Agricultural Engineering, Iera Odos 75, 11855, Athens
² Laboratory of Farm Structures, Agricultural University of Athens, Department of Natural Resources Management and Agricultural Engineering, Iera Odos 75, 11855, Athens
abalafoutis@aua.gr, briassou@aua.gr, ppap@aua.gr, gpap@aua.gr

Traditional farming systems are based on achieving high yields using high input aiming at an acceptable income for the farmer. Today, agriculture shifts towards applying the minimal needed inputs for acceptable production. Organic farming is an agricultural practice based on this mentality and results to lower energy consumption per unit of land. However, such systems hold the risk of a significant reduction of the total global production. Therefore, it is vital to consider the energy efficiency, namely the energy consumption per unit of product quantity. Olive groves and vineyards are two important perennial crops for Greek agriculture. In this paper an olive grove and a vineyard, both located in the Sterea Ellada region, were studied in terms of energy efficiency and associated greenhouse gases emissions (GHG), in order to compare traditional farming vs. organic farming. In the case of olive groves, organic farming reduces energy consumption by 13.9%, as chemical fertilizers and pesticides are replaced by less energy demanding inflows, while the final yield is reduced by 5%. GHG emissions are reduced by 37.8%. In the case of the vineyard, organic farming significantly reduced crop yield (31%) with a negative result on energy efficiency (0.4%). However, GHG are reduced by 6.7%.

Keywords: olive grove, vineyard, energy, greenhouse gases, energy efficiency

1. INTRODUCTION

Since green revolution in agriculture was established, farmers targeted high yields without considering the amount of inputs used during the cultivation period. Their only consideration was the impact of these inputs on the final profit of the farm.

However, this practice has been the subject of strong questioning the last two decades as the negative environmental and public health impacts of such farming systems are very high. Under the

consideration of these impacts, new farming systems have been adopted. Among them, integrated farming not associated with significant yield reduction, reduces input quantities to the lowest possible level. Also, organic farming, associated with lower yield and better quality, does not permit use of agrochemicals such as chemical fertilizers and pesticides.

Organic farming seems to be an ideal farming system on a land area basis (lower energy consumption per unit area of land), but this is not the case on a yield basis. In a global perspective it has

the risk of significant reduction of total agricultural production. Hence, as a key comparison term affecting the overall efficiency of crop farming systems, it is vital to consider energy efficiency, namely the energy consumption per unit of product.

Olive groves and vineyards are two important perennial crops for Greek agriculture. In general, these crops are cultivated using traditional methods. Organic farming is not widely applied yet as farmers believe that high chemical inputs ensure high yields and profits. However, there is a tendency for organic farming to increase as a result of higher product prices, especially for high quality exported certified olive-oil and wines, and environmental awareness. In addition, organic farming could help to conserve water in Greece, as in arid and semiarid areas (Altieri, 1992), and reduce GHG emissions (Dalgaard et al., 2001).

In this work the traditional farming of an olive grove and a vineyard located in the Sterea Ellada region was compared against the respective organic farming in terms of energy efficiency and respective GHG emissions.

2. MATERIALS & METHODS

2.1. System Boundaries

An olive grove and a vineyard are studied in terms of inputs regarding the production of the primary product of each crop (olives and grapes, respectively) up to the farm gate (Figure 1).

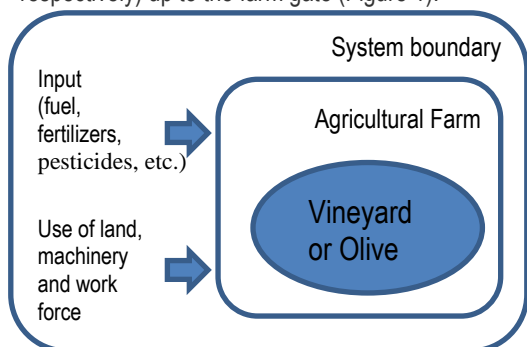


Figure 1: System boundary of energy and environmental assessments

2.2. Olive Grove

2.2.1. Traditional olive grove

The traditional olive grove data are taken from the diary of a farmer in Lamia, Sterea Ellada. The olive grove has a mean plant density of 250 plants/ha (6 x 6 m). The olive grove life time was assumed to be 100 years, with the first 15 years counting as installation period with low yield.

The olive grove installation is initiated with several operations for the soil preparation (deep ploughing, heavy cultivator, light cultivator), followed by a fertilization using 5.5 kg/ha/yr N, 7.5 kg/ha/yr P and 7.5 kg/ha/yr K. Soil is marked and holes are open for the olive trees. These operations are considered for the first year of installation.

The first 15 years, olive trees of the case under consideration are sprayed with insecticides (dimethoate or fenthion) 2-4 times/yr. Weed control is obtained using light cultivator 4 times/yr. Three to five

irrigation applications using drip irrigation systems are applied (total water quantity 120 m³/ha/yr). Fertilization is applied every second year using 11-15-15 fertilizer type. The quantity required is 0.2 kg/tree for every year of the tree growth.

During the regular period (next 85 years), olive grove cultivation techniques are mainly related to weed control, fertilisation, irrigation, pruning, crop protection against pests and diseases, and harvesting. The olive grove is sprayed with insecticides (dimethoate or fenthion) 2-4 times/yr. For weed control, 3 light cultivations per year are applied, without chemical applications. Three applications of fertilizer are executed in this particular case every second year (3 kg/tree). Every year, one to three irrigation applications using drip irrigation systems are applied (total water quantity 1800 m³/ha/yr).

Harvesting occurs from mid-November to late December (the first 15 years the mean yield is about 2.5 t/ha/yr, while during the regular production period it reaches 6.5 t/ha/yr). Plastic olive mats are used for olives harvesting. The olive mats' fabric is woven PP cloth (100 g/m²) with a minimum life span of 5 years. They are moved from tree to tree in order to collect the olives harvested from each tree. The average olive mat surface is 50 m², in order to cover a surface larger than the canopy area of the tree harvested.

2.2.2. Organic olive grove

The organic olive grove results in 29% fuel consumption increase (Genitsariotis et al., 2000; Kaltsas et al., 2007). In the organic system, manure is spread using a trailed manure spreader (20 t/ha every second year). Then, one cultivation application is applied, followed by the sowing process for the installation of legumes (green manure of *Trifolium sp.* or *Vicia sativa*). Sowing requires 135 kg seed/ha/yr. Finally, light cultivation is applied to incorporate the legumes at the end of their cycle (Kaltsas et al., 2007).

In addition, no chemical pesticides are applied, replaced by bait [Elcophon (plastic bottle)] or bait-pheromone [BIORYL (paper envelope)] and traps for the olive fruit fly (Genitsariotis et al., 2000; Kaltsas et al., 2007). The chemical fertilizers are substituted by sheep/goat manure that is spread in the olive grove using a manure spreader, as mentioned above. The rest of agricultural practices are the same as in the traditional system. The average yield is reduced by 35% mainly due to lower fertilizer inputs (Genitsariotis et al., 2000; Kaltsas et al., 2007; Guzman and Alonso, 2008).

2.3. Vineyard

2.3.1. Traditional vineyard

The traditional vineyard data set was given from a farmer in Lamia, Sterea Ellada. This basic scenario is a vineyard with mean plant density of 3000 plants/ha, planted at 2.7 x 1.2 m. The vineyard life time was assumed to be 20 years, with the first 4 years counting as installation period of low yield.

The vineyard installation is initiated with several operations for the soil preparation (deep ploughing, heavy cultivator, light cultivator), followed by a fertilization using 30 kg/ha N, 40 kg/ha P and 40 kg/ha K. The plot is marked and holes are opened for the vines. A system of metal poles is installed. These operations are considered for the first year of installation.

During the first period of vine trees growing, the vineyards are sprayed with *Bacillus thuringiensis*, sulphur, copper, Topsin M (thiophanate methyl 97% w/w), dithane M-45 (mancozeb 72% w/w), thiodan (endosulfan 47% w/w). For weed control, the soil is cultivated with light cultivator and sprayed with Glyphosate (36% v/v). Two irrigation applications using drip irrigation systems are applied (total water quantity 1600 m³/ha/yr). Fertilization (fertigation) is applied together with the irrigation with 30 kg/ha/yr N, 40 kg/ha/yr P and 40 kg/ha/yr K.

After the fourth year, the vineyard reaches the regular production. During the regular period vineyard cultivation techniques are mainly related with weed control, fertilisation, irrigation, pruning, thinning fruits, crop protection against pests and diseases, and harvesting. The vineyards are sprayed with *Bacillus thuringiensis*, sulphur, copper, Topsin M (thiophanate methyl 97% w/w), dithane M-45 (mancozeb 72% w/w), thiodan (endosulfan 47% w/w). For weed control, the soil is cultivated with light cultivator and sprayed with Glyphosate (36% v/v). Every year, one to two irrigation applications using drip irrigation systems are applied (total water quantity 800 m³/ha/yr). Fertilization is applied together with irrigation with approximately 55 kg/ha/yr N, 75 kg/ha/yr P and 75 kg/ha/yr K.

Harvest is executed by the end of September manually (during the first 4 years the mean yield of grapes is 4 t/ha/yr, while the next 15 years is 14.7 t/ha/yr).

2.3.2. Organic vineyard

Organic farming in the vineyard reduces fuel consumption by 20%, because several agricultural practices of the conventional farming are not applied (Kavargiris et al, 2009). No chemical pesticides are applied. Allowed fungicides (copper and sulfur) are applied, but 34% less than in the traditional farming system (Kavargiris et al, 2009). In addition, fertilizer application is reduced by 45.7% (Kavargiris et al, 2009). All the rest of the agricultural practices are the same as in the traditional system. The average yield is reduced by 31% due to lower inputs and higher disease and pest impact on the crop (Kavargiris et al, 2009).

2.4. Methodology

2.4.1. Inventory

A spreadsheet was prepared with an inventory of all the inputs in both the olive grove (Table 1) and the vineyard (Table 2).

Table 1. Inventory of the olive grove

Input	Unit	Period	
		(install)	(oper)
Plants		250	
Fertilizers (synthetic)			
Nitrogen	kg/ha/yr	23.5	41.7
Phosphorus	kg/ha/yr	32	55.6
Potassium	kg/ha/yr	32	55.6
Pesticides			
Herbicides	kg ai/ha/yr	3	4
Fungicides	kg ai/ha/yr	0	0
Insecticides	kg ai/ha/yr	2.5	3.5
Irrigation			
Electricity use	kWh/ha/yr	66	99
Field operations			
Diesel use	l/ha/yr	36	22.5
Olive mats	kg/ha/yr	2.75	2.75

It must be pointed out that installation period corresponds to the period after initial planting until the year of regular production yields (15 years for the olive grove and 4 years for the vineyard) and the operation period corresponds to the regular production period.

Table 2. Inventory of the vineyard

Input	Unit	Period	
		(install)	(oper)
Plants		3000	
Metal poles	kg/ha	550	
Fertilizers (synthetic)			
Nitrogen	kg/ha/yr	30	55
Phosphorus	kg/ha/yr	40	75
Potassium	kg/ha/yr	40	75
Pesticides			
Herbicides	kg ai/ha/yr	0	0
Fungicides	kg ai/ha/yr	3.36	6.89
Insecticides	kg ai/ha/yr	1.2	2.6
Irrigation			
Electricity use	kWh/ha/yr	880	440
Field operations			
Diesel use	l/ha/yr	36	34.6

The yields of both the olive grove and the vineyard are shown in Tables 3 and 4, respectively.

Table 3. Production yield of the olive grove

Output	Unit	Period	
		(install)	(oper)
Olives	ton/ha	2.25	6.50

As expected, the average yield during the first period is significantly lower than in the regular period.

Table 4. Production yield of the vineyard

Output	Unit	Period	
		(install)	(oper)

Grapes	ton/ha	4.00	14.70
---------------	--------	------	-------

2.4.2. Data sources and main assumptions

Table 5 shows the primary energy for the inputs.

Table 5. Primary energy of inputs

Input	Primary Energy	Unit Primary Energy
Plant ¹	2.61	MJ/plant
N fertilizer ¹	48.99	MJ/kg
P ₂ O ₅ Fertilizer ¹	15.23	MJ/kg
K ₂ O Fertilizer ¹	9.68	MJ/kg
Pesticide ¹	268.4	MJ/kg
Diesel Fuel ¹	49.99	MJ/kg
Electricity ²	4.53	MJpNR/MJ

¹Biograce V4 (2012), ²Ecoinvent (2007)

Table 6 shows the respective GHG emissions.

Table 6. GHG emissions of inputs

Input	Unit GHGs	Total GHG (kgCO ₂ eq)
Plant ¹	kg/plant	0.276
N fertilizer ¹	kg/kg N	5.88
P ₂ O ₅ Fertilizer ¹	kg/kg P ₂ O ₅	1.01
K ₂ O Fertilizer ¹	kg/kg K ₂ O	0.576
Pesticide ¹	kg/kg	10.97
Diesel Fuel ¹	kg/kg	3.64
Electricity ²	kg/MJ	2.086

¹Biograce V4 (2012), ²Ecoinvent (2007)

Pesticides require the highest energy and produce the most GHGs. Diesel fuel and nitrogen fertilizers follow with minor difference between them. The low pesticide quantity used in these plantations results in low energy and GHG contribution in the total agricultural system, whereas nitrogen fertilizers and diesel fuel contributes significantly.

Tables 5 and 6 clearly show that non-renewable energy required and GHG emissions for electricity production in Greece are very high. These figures are much higher than the EU average (Ecoinvent, 2007), as the electricity grid in Greece is mainly supported by units of coal and oil, with low efficiency, which results in high energy input and GHG emissions.

3. RESULTS & DISCUSSION

3.1. Olive Groves

3.1.1. Current Energy and GHG emissions profile

Figure 2 shows the energy and GHG emissions profile of the traditional olive grove.

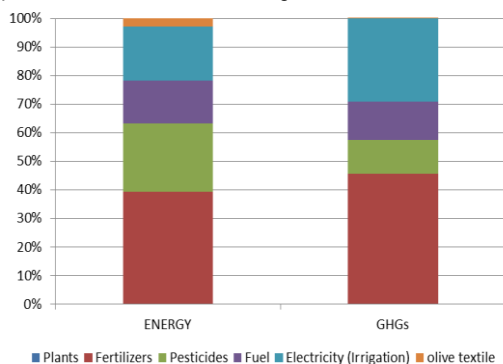


Figure 2. Energy and GHG emissions profile of the conventional olive grove

The highest energy consumer and GHG emission contributor are the fertilizers. The second most important energy consumer are the pesticides, followed by electricity and fuel. As for the contribution to GHG emissions, fertilizers are followed by electricity and pesticides, whereas fuel is on the same level.

3.1.2. Energy alteration using organic farming

Organic farming reduces energy consumption on a surface basis by 13.9%, as chemical fertilizers and pesticides are substituted by less energy demanding supplies, while the final yield is not reduced as much (5%) (Figure 3).

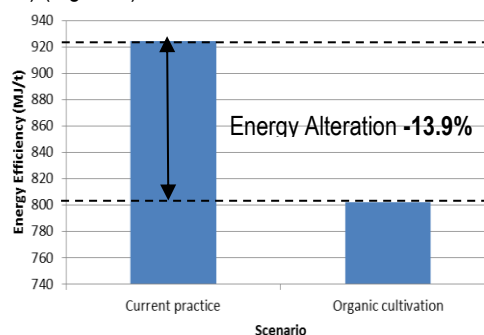


Figure 3. Energy efficiency alteration on a production basis from conventional to organic olive grove

3.1.3 GHG emissions alteration using organic farming

Figure 4 shows that organic farming reduces GHGs by 37.8%.

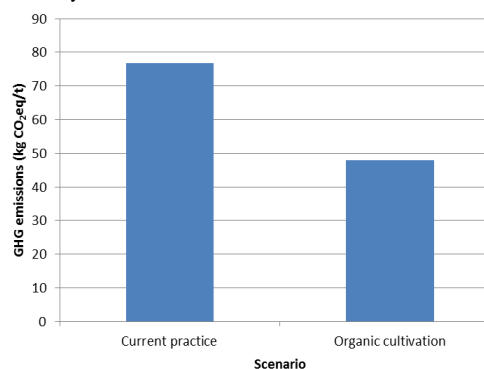


Figure 4. GHG emissions alteration on a production basis from conventional to organic olive grove

This reduction is significantly higher than the energy reduction, as the chemical fertilizers applied in the traditional farming system are substituted by manure in the organic farming system. Another reason is that chemical pesticides are substituted in the organic system by paper traps (bait pheromone) and baits associated with insignificant amounts of GHG emissions.

3.2 Vineyards

3.2.1. Current Energy and GHG emissions profile

Figure 5 shows the energy and GHG emissions profile of the traditional vineyard. The highest energy consumer and GHG emission source is the electricity

for irrigation. The second most important energy consumer are the fertilizers, followed by pesticides and fuel. As for GHG emissions, electricity is followed by fertilizers and pesticides, whereas fuel is on the same level.

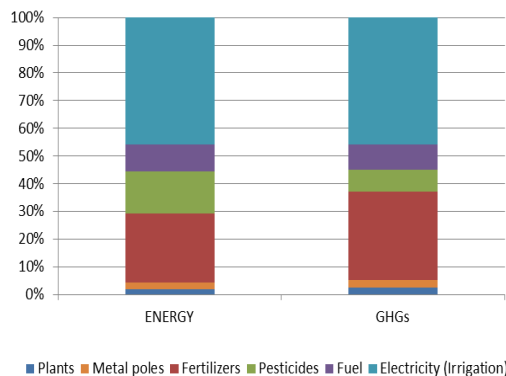


Figure 5. Energy profile and GHG emissions of the conventional vineyard

3.2.2. Energy

In the vineyard case, organic farming results in significantly lower grape yield (31%), which has a slightly negative impact on the final energy efficiency (by 0.4%) (Figure 6). The fact that no chemical fertilizers and pesticides are applied is not enough to cover the loss of grapes production.

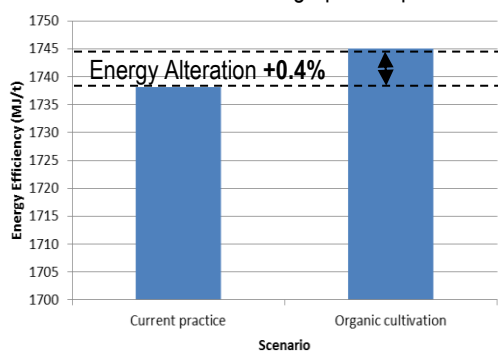


Figure 6. Energy efficiency alteration on a production basis from conventional to organic vineyard

3.2.2 Greenhouse Gas Emissions

Figure 7 shows that GHG emissions are reduced by 6.7%.

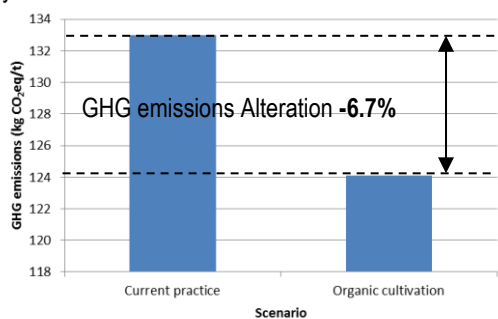


Figure 7. GHG emissions alteration on a production basis from conventional to organic vineyard

This is due to the fact that the pesticides and chemical fertilizers that are not applied are contributors (during the process of their production) to significant quantities of GHG emissions. At the

same time the chemical fertilizer substitute (manure) is not taken into account in the GHG emission calculations, as the manure is already left in piles to be composted even if it is not used in the vineyard.

5. CONCLUSIONS

A comparison, using real farm data, is presented between traditional and organic farming of an olive grove and a vineyard located in the Sterea Ellada region. It is based on the energy efficiency per unit product and the respective GHG emissions. Olive and grape production using organic farming gives positive results in terms of energy savings and reduced GHG emissions. In the case of olive groves, organic farming reduces energy consumption by 13.9%, as chemical fertilizers and pesticides are replaced by less energy demanding inflows, while the final yield is reduced by 5%. Greenhouse gas emissions are reduced by 37.8%. In the vineyard case, organic farming significantly reduced crop yield (31%) resulting in worse energy efficiency (0.4%). However, greenhouse gas emissions were reduced by 6.7%.

6. ACKNOWLEDGEMENTS

This work is supported by the European Commission through the Seventh Framework Programme, Project "Energy Efficiency in Agriculture: AGREE" (FP7-KBBE-2011-5-289139).



REFERENCES

- Altieri M.A., 1992. Agroecological foundations of alternative agriculture in California, *Agriculture Ecosystems and Environment*, 39, 23-53.
- Biograce, 2010. Intelligent Energy Europe, www.biograce.net
- Dalgaard T., Halberg N., Porter J.R., 2001. A model for fossil energy use in Danish agriculture used to compare organic and conventional farming, *Agriculture Ecosystems and Environment*, 87, 51-65.
- Ecoinvent v2 database, 2007. SimaPro 7
- Genitsariotis M., Chlioumis G., Tsarouhas B., Tsatsarelis K., Sfakiotakis E., 2000. Energy and nutrient input and output of a typical olive orchard in northern Greece, *Acta Horticulture*, 525, 455-458.
- Guzman G.I., Alonso A.M. (2008). A comparison of energy use in conventional and organic olive oil production in Spain, *Agricultural Systems*, 98, 167-176.
- Kaltsas A.M., Mamolos A.P., Tsatsarelis C.A., Nanos G.D., Kalburtji K.L., 2007. Energy budget in organic and conventional olive groves, *Agriculture Ecosystems and Environment*, 122, 243-251.
- Kavargiris S.E., Mamolos A.P., Tsatsarelis C.A., Nikolaidou A.E., Kalburtji K.I., 2009. Energy resources' utilization of organic and conventional vineyards: Energy flow, greenhouse gas emissions and biofuel production., *Biomass and Bioenergy*, 33, 1239-1250.

ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΑΠΟ ΤΥΡΟΓΑΛΑ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΕΝΟ ΜΕ ΕΚΧΥΛΙΣΜΑ ΗΜΙ-ΚΟΜΠΟΣΤΟΠΟΙΗΜΕΝΩΝ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΠΤΗΝΟΤΡΟΦΕΙΟΥ ΑΥΓΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Αγγελική Σπυρούδη¹, Δημήτρης Γεωργακάκης¹, Ματίλντα Θεοδωρή¹

¹Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργικής Μηχανικής, Τομέας Αγροτικών Κατασκευών και Γεωργικής Μηχανικής, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Ιερά Οδός 75, Βοτανικός, Αθήνα, Τ.Κ. 18500

Στην εργασία αυτή μελετήθηκε η παραγωγή βιοαερίου από τυρόγαλα με περιεκτικότητα 5,2% σε ολικά στερεά (Ο.Σ.), στο οποίο προστέθηκε αραιό υδατικό εκχύλισμα ημι-κομποστοποιημένων στερεών αποβλήτων πτηνοτροφείου αυγοπαραγωγής (1,6-3,2% Ο.Σ.). Το πείραμα διεξήχθη στις εγκαταστάσεις του Εργαστηρίου Γεωργικών Κατασκευών του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών (Γ.Π.Α.) για διάστημα περίπου επτά μηνών. Δοκιμάστηκαν διάφοροι υδραυλικοί χρόνοι παραμονής (ΥΧΠ) και λόγοι ανάμιξης πτητικών στερεών (ΛΠΣ) των α' υλών με σκοπό την αριστοποίηση της διαδικασίας, ως προς την σταθερότητά της και το ύψος παραγωγής βιοαερίου στην υπερ-μεσόφιλη περιοχή με εύρος θερμοκρασίας 38-44°C. Τα αποτελέσματα έδειξαν μια βέλτιστη μέση τιμή VBP 2,2 Nm³/m³_{χω-ημ} για μια μέση τιμή VOL 2,5 kg ΠΣ/m³_{χω-ημ}, ένα άριστο ΧΠ 24 ημερών και ένα μέσο ΛΠΣ = 1,43/1 και πως η παραγωγή βιοαερίου από μίγματα α' υλών χαμηλής περιεκτικότητας σε ΟΣ, όπως τα παραπάνω, μπορεί να αποβεί οικονομικά εφικτή. Σε πρακτικό επίπεδο, τα αποτελέσματα μπορούν να αξιοποιηθούν από τα τυροκομεία για την αντιμετώπιση του σημαντικού προβλήματος χειρισμού του τυρογάλακτος και παράλληλα να εξοικονομήσουν ζεστό νερό ή/και ηλεκτρική ενέργεια.

Λέξεις κλειδιά: βιοαέριο, αναερόβια χώνευση, τυρόγαλα, απόβλητα πτηνοτροφείου, εκχύλισμα

BIOGAS PRODUCTION FROM WHEY ENRICHED WITH LIQUID EXTRACT FROM SEMI-COMPOSTED POULTRY MANURE

Angeliki Spyroudi¹, Dimitris Georgakakis¹, Matilda Thodori¹

¹Laboratory of Agricultural Constructions, Department of Natural Resources Management and Agricultural Engineering, Division of Agricultural Constructions and Agricultural Engineering, Agricultural University of Athens (AUA), Iera Odos 75, Votanikos, GR-18500, Athens, Greece
aspyroudi@gmail.com, digeo@aua.gr, gwgwthodwrh@yahoo.com

In this work, the production of biogas from whey, with 5.2% total solids (TS) content and liquid extract, with 1.6 to 3.2% TS content from water diluted semi-composted solid poultry manure has been studied. The experiment took place at the Laboratory of Agricultural Constructions of the Agricultural University of Athens for a period of about seven months. Various hydraulic retention times (HRT) and raw materials volatile solids (VS) mixing ratios were tested in order to optimise process stability and biogas production rate in the upper-mesophilic range of 38-44°C. A volumetric biogas production rate (VBP) of 2,2 Nm³/m³_{R-d} was obtained at a volumetric organic load (VOL) of 2,5 kg VS_{in}/m³_{R-d}, an optimum HRT of 24 days and an average VS ratio of 1,43/1. The results have shown that biogas production from low - TS raw material mixtures, as the above, could be economically feasible. In practice, the results can be used from cheese factory owners to properly handle their whey, while saving hot water and / or electric power.

Key words: biogas, anaerobic digestion, whey, poultry manure, liquid extract

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η στενότητα των συμβατικών καυσίμων και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις διάφορων βιομηχανικών πρακτικών, έχουν στρέψει τη προσοχή στην αναζήτηση νέων πηγών ενέργειας που να είναι αποδοτικές και ταυτόχρονα φιλικές προς το περιβάλλον. Η αναερόβια χώνευση (ΑΧ) είναι μια βιολογική μέθοδος κατά την οποία, η οργανική ύλη μπορεί και μετατρέπεται σε βιοαέριο – μίγμα κυρίως διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) και μεθανίου (CH₄) – από εξειδικευμένα αναερόβια βακτήρια, γνωστά ως μεθανοβακτήρια, σε ουδέτερο προς αλκαλικό περιβάλλον. Ακόμα, σε απόβλητα οργανικής προέλευσης, μειώνει το οργανικό τους φορτίο και με αυτό τον τρόπο τα καθιστά κατάλληλα για την απόθεση τους στον περιβαλλοντικό αποδέκτη. Ως εκ

τούτου, η αναερόβια χώνευση, χρησιμοποιείται στην πράξη, αφενός για την διαχείριση και σταθεροποίηση οργανικών υγρών ή ημι-υγρών αποβλήτων (McCarty, 1964) και αφετέρου, για την παραγωγή βιοαερίου, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε σειρά εφαρμογών αξιοποίησής του (Walsh et al., 1989).

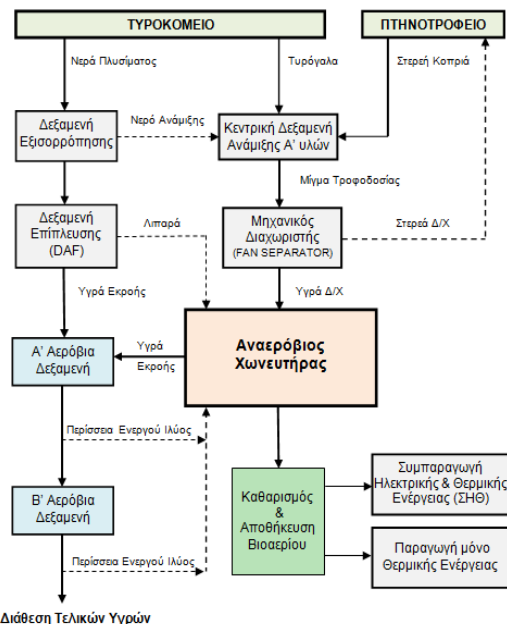
Η αναερόβια χώνευση είναι μια πολύπλοκη και δυναμική βιολογική διεργασία (Pind et al., 2003; Ryhiner et al., 1993) και αποτελείται από τέσσερις φάσεις: 1) υδρόλυση των πολυμερών προς υδροδιαλυτά μονομερή 2) οξογένεση, 3) οξικογένεση και 4) μεθανογένεση (Angelidaki et al., 2003; Batstone et al., 2002; Deublein and Steinhauser, 2008). Μεταξύ των παραπάνω φάσεων, η υδρόλυση πολύπλοκων οργανικών υλικών

θεωρείται ότι είναι ο επιβραδυντικός παράγοντας της όλης διεργασίας (Pavlostathis and Giraldo-Gomez, 1991). Τα κτηνοτροφικά απόβλητα περιέχουν σημαντικές ποσότητες χαμηλής αποδόμησης λιγνοκυτταρινούχων υλικών (Wen et al., 2004), τα οποία επιδρούν περιοριστικά στην υδρολυτική φάση (González-Fernández et al., 2008) και επιπλέον προκαλούν προβλήματα στον χειρισμό των αποβλήτων κατά την τροφοδοσία, την ανάδευση και την εξαγωγή τους από τους αναερόβιους βιοαντιδραστήρες (Lo et al., 1983). Τα κτηνοτροφικά απόβλητα, ιδιαίτερα εκείνα σε μορφή ιλύος, αποτελούν ένα σημαντικό περιβαλλοντικό πρόβλημα, λόγω της ρύπανσης επιφανειακών ή υπόγειων νερών από τυχόν ανεξέλεγκτες απορροές τους (Hjorth et al., 2010; Sandiford, 1984).

Ένας πρακτικός τρόπος για την μείωση της περιβαλλοντικής επίδρασης των ημίρρεστων κτηνοτροφικών αποβλήτων είναι ο μηχανικός διαχωρισμός τους σε στερεά και υγρά κλάσματα. Το στερεό κλάσμα αποτελεί ένα σχετικά ξηρό και πλούσιο σε ανόργανα στοιχεία υλικό, ενώ το υγρό περιέχει σημαντική ποσότητα βιο-αποδομήσιμης και υδροδιαλυτής οργανικής ύλης (Burton, 2007; Møller et al., 2002; Rico et al., 2007). Ο μηχανικός διαχωρισμός των αποβλήτων σε στερεά/υγρά κλάσματα μπορεί να θεωρηθεί ως μια μορφή προεπεξεργασίας, η οποία συνίσταται στην αφαίρεση των λιγότερο βιο-αποδομήσιμων μερών των αποβλήτων. Συγκεκριμένα, η λιγνινο-κυτταρινούχα ύλη διασπάται δύσκολα από τους αναερόβιους μικροοργανισμούς (Liao et al., 1984; Lo et al., 1983). Από τη στιγμή όμως που το στερεό κλάσμα των αποβλήτων μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εδαφοβελτιωτικό μετά την κομποστοποίησή του, θεωρείται προϊόν με προστιθέμενη αξία (Brito et al., 2008; Georgacakis et al. 1996; Lo et al., 1993). Το υγρό κλάσμα, απαλλαγμένο από λιγνινο-κυτταρινούχα υλικά, θα μπορούσε, στη συνέχεια, να αποτελέσει την πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοαερίου, παρουσιάζοντας μια σειρά από πλεονεκτήματα, όπως ο ευκολότερος χειρισμός του κατά την τροφοδοσία, την ανάδευση και την εξαγωγή του από τους αναερόβιους βιοαντιδραστήρες (Hill et al, 2000). Η αξιοποίηση του τυρογάλακτος στην παραγωγή βιοαερίου παρέχει επιπλέον την δυνατότητα αρμονικής ενσωμάτωσής του στο σύστημα διαχείρισης των αποβλήτων του τυροκομείου (Διάγραμμα 1), δίνοντας διέξοδο στο οξύ σημερινό περιβαλλοντικό πρόβλημα διάθεσής του.

Η πρωτοτυπία της εργασίας αυτής έγκειται στη χρήση ημι-κομποστοποιημένων άοσμων στερεών αποβλήτων πτηνοτροφείου, τα οποία μετά από αραίωσή τους με νερό, διαχωρίστηκαν με μηχανικό τρόπο σε αραιό εκχύλισμα και στερεό υπόλειμμα. Στη συνέχεια, το εκχύλισμα αναμίχθηκε με τυρόγαλα. Το μίγμα, που προέκυψε χρησιμοποιήθηκε ως α' ύλη για την παραγωγή βιοαερίου. Η πειραματική διαδικασία πραγματοποιήθηκε σε εργαστηριακή κλίμακα, κατά την οποία, προσδιορίστηκαν οι ακριβείς ποσότητες των υγρών στο μίγμα

τροφοδοσίας, που επιτρέπουν την μέγιστη παραγωγή βιοαερίου. Τα αποτελέσματά της εργασίας εφαρμόστηκαν στη δυναμικότητα της τυροκομικής μονάδας, από την οποία γινόταν η προμήθεια του τυρογάλακτος και επιχειρήθηκε μια πρώτη προσέγγιση οικονομικής αξιολόγησης της όλης διαδικασίας ως επενδυτικής πρότασης.



Διάγραμμα 1. Πρόταση ολοκληρωμένης διαχείρισης του τυρογάλακτος στα τυροκομεία, με παράλληλη αξιοποίησή του στην παραγωγή βιοαερίου για παραγωγή θερμικής ή/και ηλεκτρικής ενέργειας (Γεωργακάκης, 2011).

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Εργαστηριακοί αντιδραστήρες

Δύο εργαστηριακοί αναερόβιοι αντιδραστήρες, τύπου CSTR, ωφέλιμης χωρητικότητας 19L ο καθένας, χρησιμοποιήθηκαν για τη διεξαγωγή του πειράματος, συνολικής διάρκειας 7 μηνών περίπου. Ο ένας από τους αντιδραστήρες λειτουργούσε ως μάρτυρας. Το πείραμα διεξήχθη στην υπερ-μεσόφιλη περιοχή με θερμοκρασία 38-44°C. Δοκιμάστηκαν τρεις διαφορετικοί ΥΧΠ των αποβλήτων στους αντιδραστήρες, 16, 21 και 32 ημέρες, με διαφορετικές αναλογίες μιγμάτων τροφοδοσίας. Η τροφοδοσία των χωνευτήρων γινόταν ανά 48 ώρες.

2.2. Υλικά τροφοδοσίας

Αρχικά, χρησιμοποιήθηκε ως υλικό τροφοδοσίας και στους δύο χωνευτήρες μόνο υδατικό εκχύλισμα κοπριάς πτηνοτροφείου, με δύο διαφορετικές τιμές ολικών στερεών 1,6%_{οκ.β.} και 3,2%_{οκ.β.}, μέχρι να σταθεροποιηθεί το pH και το παραγόμενο βιοαέριο. Για τη παρασκευή του εκχυλίσματος πτηνοτροφείου με νερό χρησιμοποιήθηκαν ημι-κομποστοποιημένα απόβλητα πτηνοτροφείου αραιωμένα με νερό σε αναλογία 1:1 κατά βάρος περίπου. Μετά την ανάμιξη των αποβλήτων με νερό, το μίγμα υφίστατο χειρονακτική συμπίεση περνώντας ανάμεσα από

δύο συρμάτινες σίτες με σπές διαμέτρου 1,00cm και 0,2cm αντίστοιχα σε υποκατάσταση του μηχανικού διαχωρισμού. Το παραγόμενο εκχύλισμα, καθώς και το τυρόγαλα, αποθηκεύονταν σε μικρά πλαστικά δοχεία των 3 και 5L στη κατάψυξη (-15°C). Μετά από κάθε τροφοδοσία των χωνευτήρων αφαιρούνταν από την κατάψυξη και παρέμενε για απόψυξη, η επόμενη δόση τροφοδοσίας.

2.3. Μετρήσεις

Ο λόγος των πηθικών στερεών τυρογάλακτος/ εκχυλίσματος κοπριάς για κάθε ΥΧΠ αυξάνονταν με σταδιακή προσθήκη τυρογάλακτος και παράλληλη αφαίρεση ισόποσου εκχυλίσματος, έτσι ώστε να διατηρείται κάθε φορά σταθερός ο συνολικός όγκος του μίγματος τροφοδοσίας. Κάθε 48 ώρες μαζί με τη τροφοδοσία γινόταν μέτρηση του pH και της θερμοκρασίας των εξερχόμενων υγρών, ενώ στο τέλος κάθε φάσης προσδιορίζονταν επιπλέον και οι τιμές των ΟΣ%_{κ.β.}, ΠΣ%_{ΟΣ} και ΠΣ%_{κ.β.} των πρώτων υλών και των εξερχόμενων υγρών με βάση τις standard methods (APHA 1992). Τέλος, μετριόταν και η περιεκτικότητα του βιοαερίου σε μεθάνιο (CH₄) ογκομετρικά με απορρόφηση του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) σε κορεσμένο διάλυμα υδροξειδίου του νατρίου (NaOH).

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

3.1. Χαρακτηριστικά α' υλών

Το τυρόγαλα προερχόταν από απόβλητα τυροκομικής μονάδας παραγωγής τυριού – φέτας – στην περιοχή της Αργολίδας. Τα απόβλητα πηνοτροφείου προμηθεύονταν σε ημι-κομποστοποιημένη αποξηραμένη μορφή από πηνοτροφείο αυγοπαραγωγής στη περιοχή της Κορίνθου. Η μέση περιεκτικότητα της κοπριάς σε ολικά και πηθικά στερεά προσδιορίστηκε σε 55,79% και 37,31% κατά βάρος, ενώ του τυρογάλακτος σε 5,16% και 4,42% αντίστοιχα. Το νερό και το τυρόγαλα λειτούργησαν ως διαλύτες για τα αποξηραμένα ημι-κομποστοποιημένα στερεά πηνοτροφικά απόβλητα (HSPt), δημιουργώντας ένα αραιό μίγμα κατάλληλο για εύκολη τροφοδοσία των χωνευτήρων και ανάδευση του μίγματος στο εσωτερικό τους. Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του υδατικού εκχυλίσματος των HSPt σε κάθε ΥΧΠ παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1: Περιεκτικότητα του εκχυλίσματος των HSPt σε ΟΣ και ΠΣ σε διάφορους ΥΧΠ και τιμές pH

Παράμετρος	ΥΧΠ = 16 ημ	ΥΧΠ = 21, 32 ημ
ΟΣ% (κ.β.)	1,64	3,23
ΠΣ% (ΟΣ)	69,36	67,48
ΠΣ% (κ.β.)	1,14	2,18
pH	9,47	9,26

Από τον Πίνακα 1 προκύπτει πως στο εκχύλισμα, τα ποσοστά των ΟΣ και ΠΣ κατά βάρος εμφανίζονται διπλάσια σχεδόν στους ΥΧΠ των 21 και 32 ημερών έναντι εκείνου των 16 ημερών. Η

διαφοροποίηση αυτή αποδόθηκε στο μεγάλο χρονικό διάστημα της πειραματικής διαδικασίας για τις 16 ημέρες (3 μήνες περίπου) σε σχέση με τις 21 και 32 ημέρες (επιπλέον 4 μήνες περίπου) και συνεπώς στα διαφορετικής σύστασης φορτία α' υλών και τους αναπόφευκτους διαφορετικούς χειρισμούς της στο Εργαστήριο. Όμως, το γεγονός αυτό αξιοποιήθηκε κατάλληλα παρέχοντας την δυνατότητα προσδιορισμού των λόγων ανάμιξης ΠΣ για 'ελάχιστη' και 'μέγιστη' παραγωγή βιοαερίου, όπως αναπτύσσεται πιο κάτω.

3.2. Παραγωγή βιοαερίου

Η τροφοδοσία του χωνευτήρα - μάρτυρα γινόταν μόνο με εκχύλισμα πηνοτροφείου με νερό, ενώ του άλλου, με εκχύλισμα πηνοτροφείου με νερό και τυρόγαλα, όπως προαναφέρθηκε. Για κάθε ΥΧΠ (16, 21 και 32 ημέρες), οι ακριβείς ημερήσιες ποσότητες των μιγμάτων τροφοδοσίας ήταν 1,2, 0,9 και 0,6L αντίστοιχα. Η περιεκτικότητα του βιοαερίου σε μεθάνιο (CH₄) προσδιορίστηκε κατά μέσο όρο στο 72% (3 μετρήσεις). Το τυρόγαλα έχει αυξημένη περιεκτικότητα σε υδατάνθρακες, η οποία ευνοεί την ανάπτυξη των οξεοτρόφων βακτηρίων, λόγω του έντονου ρυθμού παραγωγής οργανικών οξέων, αλλά, λόγω απουσίας επαρκούς αμμωνιακού αζώτου, παρουσιάζει χαμηλή ρυθμιστική ικανότητα (Hanson, 1982). Την έλλειψη αζώτου έρχεται να καλύψει η παρουσία του πλούσιου σε αμμωνία εκχυλίσματος HSPt.

Δεδομένου ότι η περιεκτικότητα σε ΠΣ του εκχυλίσματος αποβλήτων πηνοτροφείου με νερό που χρησιμοποιήθηκε στα μίγματα τροφοδοσίας ήταν διαφορετική ανάμεσα στους τρεις ΥΧΠ, έγινε προσαρμογή των αποτελεσμάτων. Συγκεκριμένα, ο ΛΠΣ των 16 ημερών εφαρμόστηκε και για τους ΥΧΠ 21 και 32 ημέρες και αντίστροφα, ο ΛΠΣ των ΥΧΠ 21 και 32 ημερών εφαρμόστηκε για τον ΥΧΠ 16 ημέρες.

Έτσι προέκυψαν δύο ενιαίοι ΛΠΣ για όλους τους ΥΧΠ, ένας min και ένας max, για τους οποίους προσδιορίστηκαν η 'ελάχιστη' και η 'μέγιστη' ογκομετρική παραγωγή βιοαερίου (VBP) και η ογκομετρική οργανική φόρτιση (VOL) αντίστοιχα, όπως φαίνεται χαρακτηριστικά στον Πίνακα 2, σε σχέση με τον μάρτυρα (ΛΠΣ = 0,0/1).

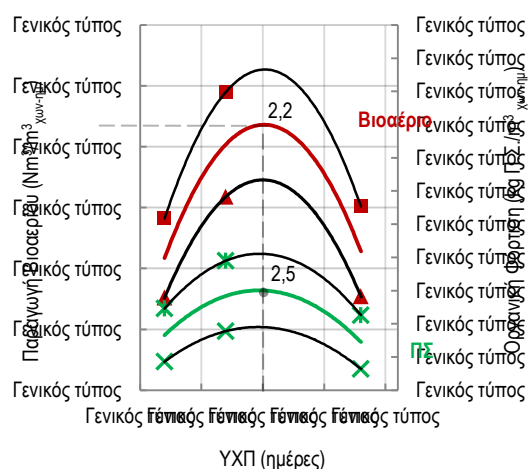
Πίνακας 2: 'Μέγιστη' και 'ελάχιστη' ογκομετρική παραγωγή βιοαερίου και οργανική φόρτιση.

		ΥΧΠ (ημέρες)	16	21	32
		Μίγμα Τροφοδοσίας (L/24h)	1,2	0,9	0,6
Λόγος ΠΣ (ΥΧΠ/ΠΣ (ΕΚΧ))	1,98/1	VBP max (Nm ³ /m ³ _{χων-ημ})	1,41	2,45	1,51
		VOL max (kgΠΣ/m ³ _{χων-ημ})	2,14	2,96	2,14
	0,87/1	VBP min (Nm ³ /m ³ _{χων-ημ})	0,76	1,59	0,77
		VOL min (kgΠΣ/m ³ _{χων-ημ})	1,35	1,89	1,32
	0,0/1	VBP (Nm ³ /m ³ _{χων-ημ})	0,31	0,92	0,19
		VOL (kgΠΣ/m ³ _{χων-ημ})	0,74	1,05	0,68

Για την διαμόρφωση του Πίνακα 2 λήφθηκε υπόψη και το γεγονός της γραμμικής αύξησης της παραγωγής βιοαερίου που παρατηρείται με την αύξηση της VOL, εντός ορίων, σε κάθε τιμή ΥΧΠ (Δρούγα κ.ά., 2011). Οι τιμές με **bold** προέκυψαν κατά την πειραματική διαδικασία, ενώ οι τιμές με *italics* από την προαναφερθείσα γραμμική αύξηση της παραγωγής βιοαερίου με την προσθήκη τυρογάλακτος (αύξηση του ΛΠΣ).

Από τα στοιχεία του Πίνακα 2 γίνεται εμφανές, πως η προσθήκη τυρογάλακτος σε αντικατάσταση αντίστοιχης ποσότητας εκχυλίσματος ΗΣΠτ, χωρίς να μεταβάλλεται η συνολική ημερήσια ποσότητα τροφδοσίας του αναερόβιου χωνευτήρα (σταθερός ΥΧΠ), μπορεί να επιφέρει πολλαπλάσια αύξηση στην παραγωγή βιοαερίου, συγκριτικά με τον χωνευτήρα - μάρτυρα (χωρίς τυρόγαλα), γεγονός που επιτρέπει θετικότερες οικονομικές αξιολογήσεις τέτοιων εγκαταστάσεων στα τυροκομεία.

Εκφράζοντας τις 'μέγιστες' και τις 'ελάχιστες' τιμές της ογκομετρικής παραγωγής βιοαερίου (VBP) σε $\text{Nm}^3/\text{m}^3_{\text{χων-ημ}}$ και τις αντίστοιχες τιμές ογκομετρικής οργανικής φόρτισης (VOL) σε $\text{kg ΠΣ}/\text{m}^3_{\text{χων-ημ}}$, προκύπτει ένας βέλτιστος υδραυλικός χρόνος παραμονής (ΥΧΠ) 24 ημερών (Διάγραμμα 1). Για την τιμή αυτή και ένα μέσο ΛΠΣ = 1,43/1 προκύπτει μια αντίστοιχη βέλτιστη μέση τιμή VBP = $2,2 \text{ Nm}^3/\text{m}^3_{\text{χων-ημ}}$ και VOL = $2,5 \text{ kgΠ.Σ.}/\text{m}^3_{\text{χων-ημ}}$, σύμφωνα με το ίδιο διάγραμμα.



Διάγραμμα 1: Παραγωγή βιοαερίου (VBP) και οργανική φόρτιση (VOL) σε σχέση με τον υδραυλικό χρόνο παραμονής (ΥΧΠ) του μίγματος α' υλών στον αναερόβιο χωνευτήρα

Η παραγωγή απλά και μόνο θερμικής ενέργειας από το βιοαέριο, που μπορεί να προκύψει από την αξιοποίηση του τυρογάλακτος στο τυροκομείο που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία, υπολογίστηκε σε $443 \text{ MWh}_{\text{th}}/\text{έτος}$, ισοδύναμης αξίας σε υγραέριο 50.958 ευρώ ($0,8\text{€/L}$). Στην περίπτωση της χρήσης του βιοαερίου για συμπαραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας (Σ.Η.Θ.), η ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να φτάσει τις $160 \text{ MWh}_{\text{e}}/\text{έτος}$, χρηματικής αξίας 40.540 ευρώ , με τιμή αγοράς της από τη Δ.Ε.Η. τα $253 \text{ €/MWh}_{\text{e}}$ και η

θερμική τις $252 \text{ MWh}_{\text{th}}/\text{έτος}$, ισοδύναμης αξίας με υγραέριο 28.027 ευρώ . Σε αμφοτέρως τις ως άνω περιπτώσεις, η περίσσεια θερμικής ενέργειας, μετά την αφαίρεση των αναγκών θέρμανσης του χωνευτήρα, προκύπτει πως μπορεί να καλύψει πλήρως τις ανάγκες παραγωγής ζεστού νερού/ατμού στο εν λόγω τυροκομείο, υποκαθιστώντας όλη την ποσότητα υγραερίου, που χρησιμοποιείται σήμερα ($24.200 \text{ L}/\text{έτος}$).

Εφαρμογή του μοντέλου οικονομικής αξιολόγησης M.B.E.E.Model (Georgakakis et al, 2003) έδειξε πως η επένδυση μπορεί να αποσβεστεί εντός δωδεκαετίας, από την έναρξη λειτουργίας της εγκατάστασης, ανεξάρτητα από το αν η χρηματοδότηση του έργου γίνει με ίδια κεφάλαια, είτε μέσω τραπεζικού δανεισμού (Spyroudi et al, 2013).

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η προσθήκη τυρογάλακτος στην τροφδοσία του αναερόβιου χωνευτήρα με εκχύλισμα ΗΣΠτ συνέβαλε θετικά στην αύξηση της παραγωγής βιοαερίου έως την βέλτιστη μέση τιμή των $2,2 \text{ Nm}^3/\text{m}^3_{\text{χων-ημ}}$ και την μέση τιμή οργανικής φόρτισης των $2,5 \text{ kgΠ.Σ.}/\text{m}^3_{\text{χων-ημ}}$ για ένα άριστο μέσο ΥΧΠ 24 ημερών. Η παραγωγή βιοαερίου/μεθανίου με τη χρήση εκχυλίσματος ΗΣΠτ ήταν τουλάχιστον διπλάσια σε σχέση με αυτή που έχει αναφερθεί στην βιβλιογραφία (Deublein and Steinhauser, 2008). Το εκχύλισμα των ΗΣΠτ μετά την προσθήκη τυρογάλακτος στο μίγμα τροφδοσίας, λειτούργησε ως ρυθμιστής, ώστε το σύστημα να παραμένει σε σταθερή ισορροπία. Οι τιμές του pH κυμάνθηκαν σε ικανοποιητικά επίπεδα (>7), διασφαλίζοντας τη σωστή λειτουργία του συστήματος. Μέσω της αναερόβιας χώνευσης, επιτεύχθηκε σημαντική μείωση του αρχικού οργανικού φορτίου στο μίγμα σε ποσοστό της τάξης του 70%ΠΣ. Το παραγόμενο βιοαέριο μπορεί να υπερκαλύψει τις ανάγκες του τυροκομείου σε θερμική ενέργεια, υποκαθιστώντας πλήρως το χρησιμοποιούμενο σήμερα υγραέριο. Η απόσβεση του επενδεδυμένου κεφαλαίου, μέσω χρηματοδότησης με ίδια κεφάλαια ή/και με τραπεζικό δανεισμό, είναι δυνατό να γίνει μέσα στα πρώτα 12 χρόνια λειτουργίας της εγκατάστασης, αφήνοντας αξιολογικά περιθώρια κέρδους.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Περιοδικά
 Angelidaki, I., Ellegaard, L., Ahring, B. 2003. Applications of the anaerobic digestion process. (Eds.) B. Ahring, B. Ahring, I. Angelidaki, J. Dolfing, L. Euegaard, H. Gavala, F. Haagenzen, A. Mogensen, G. Lyberatos, P. Pind, J. Schmidt, I. Skiadas, K. Stamatelatos. Biomethanation II, 82:1-33
 Batstone, D.J., Keller, K., Angelidaki, I., Kalyuzhnyi, S.V., Pavlostathis, S.G., Rozzi, A., Sanders, W.T.M., Siegrist, H., Vavilin, V.A., 2002. Anaerobic Digestion Model No. 1. Scientific and Technical Report. IWA Task Group for Mathematical Modelling of Anaerobic Digestion Processes, IWA Publishing, Cornwall, 13:65-73

- Brito, L.M., Coutinho, J., Smith, S.R., 2008. Methods to improve the composting process of the solid fraction of dairy cattle slurry. *Bioresour. Technol.*, 99:8955-8960
- Burton, C.H., 2007. The potential contribution of separation technologies to the management of livestock manure. *Livestock Science*, 112(3):208-216
- Georgakakis, D., Tsavdaris, A., Bakouli, J., Symeonidis, S., 1996. Composting solid swine manure and lignite mixtures with selected plant residues. *Bioresour. Technol.*, 56:195-200.
- Georgakakis, D., Christopoulou, N., Chatziathanassiou, Art., Venetis, Th., 2003. The development and use of an economic evaluation model to assess the establishment of local centralized biogas plants in Greece. *App. Biotech. and Biochem.*, 109(1-3):275-284.
- González-Fernández, C., León-Cofreces, C., García-Encina, P.A., 2008. Different pretreatments for increasing the anaerobic biodegradability in swine manure. *Bioresour. Technol.*, 99:8710-8714.
- Hanson, G., 1982. End product inhibition in methane fermentation: Effects of Carbon Dioxide on Fermentative and Acetogenic Bacteria. *European J Appl Microbiol Biotechnol*, 13:242-247.
- Hill, D.T. and Bolte, J. P., 2000. Methane production from low solid concentration liquid swine waste using conventional anaerobic fermentation. *Bioresour. Technol.*, 74:241-247.
- Hjorth, M., Christensen, K.V., Christensen, M.L., Sommer, S.G., 2010. Solid-liquid separation of animal slurry in theory and practice. A review. *Agron. Sustain. Dev.*, 30:153-180
- Liao P.H., Lo K.V., Chieng S.T., 1984. Effect of liquid-solids separation on biogas production from dairy manure. *Energy in Agriculture*, 3:61-69
- Lo, K.V., Bulley, N.R., Liao, P.H., Whitehead, A.J., 1983. The effect of solids-separation pretreatment on biogas production from dairy manure. *Agricultural Wastes*, 8:155-165
- Lo, K.V., Lau, A.K., Liao, P.H., 1993. Composting of Separated Solid Swine Wastes. *JAER*, 54(4):307-317
- McCarty, P., 1964. Anaerobic waste treatment fundamentals. *Public Works*, 95:107-112
- Møller, H.B., Sommer, S.G., Ahring, B.K., 2002. Separation efficiency and particle size distribution in relation to manure type and storage conditions. *Bioresour. Technol.*, 85:189-196
- Pavlostathis, S.G. and Giraldo-Gomez, E., 1991. Kinetics of anaerobic treatment. *CRC Crit. Rev. Environ. Contr.*, 21:411-490
- Pind, P., Angelidaki, I., Ahring, B., Stamatelatos, K., Lyberatos, G., 2003. Monitoring and Control of Anaerobic Reactors. (Eds.) B. Ahring, B. Ahring, I. Angelidaki, J. Dolfing, L. Euegaard, H. Gavala, F. Haagensen, A. Mogensen, G. Lyberatos, P. Pind, J. Schmidt, I. Skiadas, K. Stamatelatos. *Biomethanation II*, 82:135-182
- Rico, J.L., García, H., Rico, C., Tejero, I., 2007. Characterisation of solid and liquid fractions of dairy manure with regard to their component distribution and methane production. *Bioresour. Technol.*, 98:971-979
- Ryhiner, G.B., Heinzle, E., Dunn, I.J., 1993. Modeling and simulation of anaerobic wastewater treatment and its application to control design: Case whey. *Biotechnol. Prog.*, 9:332-343
- Sandiford, F., 1984. Controlling water pollution from animal wastes: A reconsideration of economic and legislative approaches. *Agric., Ecosyst. Environ.*, 11:15-27
- Walsh, J.L., Ross, C.C., Smith, M.S., Harper, S.R., 1989. Utilization of biogas. *Biomass*, 20:277-290
- Wen, Z., Liao, W., Chen, S., 2004. Hydrolysis of animal manure lignocellulosics for reducing sugar production. *Bioresour. Technol.*, 91:31-39
- Κεφάλαια βιβλίων**
- APHA, 1992. Standard methods for the examination of water and wastewater. Washington: American Public Health Association.
- Deublein Dieter and Steinhauser Angelika, 2008. *Biogas from Waste and Renewable Resources*. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, Germany
- Γεωργακάκης, Δ., 2011. Διαχείριση Αποβλήτων. Τεύχος 3^α, Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, Έκδοση Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, 110-111
- Πρακτικά Συνεδρίων**
- Δρούγα, Μ., Μάρκου, Γ., Γεωργακάκης, Δ., 2011. Μοντέλα παραγωγής μεθανίου για υγρά μηχανικού διαχωρισμού κτηνοτροφικών αποβλήτων και μπιγμάτων τους με τυρόγαλα. Πρακτικά 7^{ου} Συνεδρίου Εθνικού Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής, Τόμος πρακτικών: Ενότητα Βιοκαύσιμα, 24-27 Νοεμβρίου, Αθήνα.
- Spyroudi, A. and Georgakakis, D., 2013. Economic evaluation of a biogas production system co-digesting whey and liquid extract of diluted semi-composted poultry manure. *Proceedings of 4th International Conference on Environmental Management, Engineering, Planning and Economics (CEMEPE & SECOTOX)*, Mykonos Island, Greece, 24 - 28 of June 2013.

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ CO₂ ΠΡΟΕΡΧΟΜΕΝΩΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΩΝ

Μ. Λουφοπούλου¹, Ε.Ροδιάς², Δ. Μπόχτης³, Δ. Μόσχου¹

¹ Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Γεωπονική Σχολή Τομέας Εγγείων Βελτιώσεων, Εδαφολογίας και Γεωργικής Μηχανικής, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης Γεωπονική Σχολή Πανεπιστημιούπολη 54124 Θεσσαλονίκη,

² Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής, Ιερά Οδός 75, Αθήνα, 11855

³ University of Aarhus, Department of Engineering, Blichers Allé, Tjele, 8830, Denmark

Οι διάφορες δραστηριότητες της γεωργικής παραγωγής απαιτούν εισροές ενέργειας με σημαντική επίδραση στο περιβάλλον σύστημα. Η εισερχόμενη αυτή ενέργεια μπορεί να κατηγοριοποιηθεί σε α) άμεσες εισροές και β) έμμεσες εισροές. Η επίδραση των εισροών αυτών στο περιβάλλον μπορεί να αξιολογηθεί με διάφορους δείκτες ένας εκ των οποίων είναι οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) στην ατμόσφαιρα. Ο συγκεκριμένος δείκτης είναι από τους πλέον σημαντικούς λόγω του ότι το διοξείδιο του άνθρακα είναι ένα από τα βασικότερα αέρια του θερμοκηπίου με σοβαρές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Στο ενεργειακό ισοζύγιο των γεωργικών εκμεταλλεύσεων, και κατ' επέκταση στις εκπομπές CO₂, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα γεωργικά μηχανήματα όσον αφορά στην κατασκευή, στη μεταφορά, στη λειτουργία και συντήρηση τους και στη διαχείρισή τους. Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται η μέθοδος εκτίμησης των εκπομπών CO₂ από δραστηριότητες που σχετίζονται με τα γεωργικά μηχανήματα όσον αφορά στη παραγωγή καλαμποκίου.

Λέξεις κλειδιά: εισροές ενέργειας, διοξείδιο του άνθρακα, εκμηχάνιση, μεταβολή ενεργειακού ισοζυγίου.

ESTIMATION AND ANALYSIS OF CO₂ EMISSIONS FROM AGRICULTURAL VEHICLES

M.Loufopoulou¹, E.Rodias², D.Bochtis³, D. Moshou¹

¹ Aristotle University of Thessaloniki, Faculty of Agriculture, Land improvement, Edaphology and Agricultural engineering, University Campus 54124 Thessaloniki

² Agricultural University of Athens, Department of Natural Resources and Agricultural Engineering, Iera Odos 75, Athens, 11855

³ University of Aarhus, Department of Engineering, Blichers Allé, Tjele, 8830, Denmark, loufaki2011@hotmail.com, efthimisr@yahoo.gr, Dionysis.Bochtis@agrsci.dk, dmoshou@auth.gr

The primary sector of production is one of the most important area of the production, regardless of the produced goods. The proper management of rural activities it can contribute to the economic management of the farm reducing fertilizing, fuel, seed, pollutants and many other factors that increase the cost of production. Use of the machines in the field of work, during the production season, accompanied by waste materials. Those materials it can be lost seed, lost fertilizing and lost spraying, this effect it comes from mishandling farm control during the application process. As result of those waste materials is the flow of energy in the system (farm inputs), those farm inputs can be categorized on indirect inputs (from manufacturing, transportation, buildings, repair and maintenance), direct inputs (from field traffic, material transportation, machinery operational transportation) and all this translates as the energy balance change. This energy has implications to environment because of poor management field work, so it is very important to systematically approach the input. The effect of inputs on the environment can be assessed by several indicators, one of which is emissions of carbon dioxide (CO₂) in the atmosphere. The option of the index is based on the fact that carbon dioxide is one of the main greenhouse gases, with serious environmental consequences. In this study we are interested for corn production.

Keywords: farm inputs, carbon dioxide, mechanization, energy balance change

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο αραβόσιπος είναι ένα ανοιξιάτικο ετήσιο δημητριακό. Η επιλογή του σε αυτή τη εργασία έγινε με βάση το γεγονός ότι αποτελεί βασική πηγή διατροφής, η ραγδαία αύξηση της καλλιέργειας του και επιπλέον τα διάφορα μέρη του που έχουν βιομηχανική χρήση. Στην Ευρώπη σύμφωνα με τα στατιστικά στοιχεία του FAO (2011) η συγκομισθείσα έκταση υπολογίστηκε στα 16,451,157 ha δηλαδή 164 εκ στρέμματα με παραγωγή 108,571,262 tonnes. Στην Ελλάδα συγκεκριμένα υπολόγισε πώς η συγκομισθείσα

έκταση ανήλθε στα 181,800.00 ha περίπου 1.8 εκ. στρέμματα με παραγωγή 2,165,790 tonnes και απόδοση περίπου 1,191 kg ανά στρέμμα. Γνωρίζοντας πως ο αγροτικός τομέας έχει σαν στόχο την τροφοδότηση της αγοράς με προϊόντα απαραίτητα για την κάλυψη των ανθρωπίνων αναγκών. Η συνεχόμενη αύξηση της ζήτησης προϊόντων υψηλής ποιότητας και χαμηλού κόστους οδήγησε στην εκμηχάνιση της γεωργίας κατά την οποία τα γεωργικά μηχανήματα εκτελούν τις διάφορες αγροτικές εργασίες, αντιπροσωπευτικά είναι τα στατιστικά στοιχεία του FAO (2008) κατά τον

οποίο ο αριθμός των τρακτέρ και των άλλων μηχανημάτων στον τομέα της γεωργίας έχει αυξηθεί κατά τη διάρκεια του περασμένου αιώνα και ο αριθμός των ελκυστήρων παγκοσμίως έχει αυξηθεί από 11 εκατομμύρια το 1961, σε 28 εκατομμύρια το 2006. Αυτός ο αυξημένος βαθμός εκμηχάνιση οδήγησε στην μελέτη των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της εκμηχάνισης, καθώς η γεωργία φέρει μια σημαντική συμβολή στις ανθρωπογενείς εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (GHG), με μερίδιο που εκτιμάται σε 10-12% των παγκόσμιων εκπομπών (Smith et al., 2007). Έτσι δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στις διάφορες ενεργειακές σπατάλες στον τομέα των γεωργικών συστημάτων που έχουν άμεση σχέση με όλες τις εισροές που λαμβάνουν μέρος στην παραγωγική διαδικασία. Η εισερχόμενη αυτή ενέργεια μπορεί να κατηγοριοποιηθεί σε: α) άμεσες εισροές, β) έμμεσες εισροές. Η επίδραση των εισροών αυτών στο περιβάλλον μπορεί να αξιολογηθεί με διάφορους δείκτες ένας εκ των οποίων είναι οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) στην ατμόσφαιρα.

1. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 Ενεργειακές εισροές από τον πρωτογενή τομέα παραγωγής

2.1.1. Άμεσες εισροές ενέργειας

Λαμβάνονται από τα ορυκτά καύσιμα. Το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας που χρησιμοποιείται προέρχεται από τα καύσιμα ντίζελ, βενζίνη, υγραέριο, άνθρακα, και από την ηλεκτρική ενέργεια, η οποία μπορεί να παραχθεί από ορυκτά καύσιμα ή άλλες πηγές. Το καύσιμο ντίζελ είναι η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη από όλες τις άμεσες ενέργειες στον τομέα της γεωργίας με 60% -80% του συνόλου υγρών και αερίων καυσίμων πετρελαίου που χρησιμοποιούνται.

2.1.2. Έμμεσες εισροές ενέργειας

Η έμμεση χρήση αναφέρεται στην ενέργεια που χρησιμοποιείται για την παραγωγή του εξοπλισμού και των άλλων υλικών που χρησιμοποιούνται στο αγρόκτημα. Αυτού του είδους οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου που προκύπτουν από την παραγωγή των λιπασμάτων, φυτοφαρμάκων, από την καύση των καυσίμων και χρήση των μηχανημάτων για την εκμετάλλευση μπορούν να συμβάλουν όσο το μισό του συνολικού προϋπολογισμού GHG των γεωργικών καλλιεργειών Adviento-Borbe et al., (2007).

2.2 Παραγωγή σπόρων αραβόσιτου

Η σποροπαραγωγή σαν επιστήμη και σαν εργασία είναι ο συνδυασμός των δύο μεγάλων κλάδων της γεωργίας, της έρευνας και της εφαρμογής.

ΠΙΝΑΚΑΣ Εκπομπές CO₂ για την παραγωγή διάφορων σπόρων

Σπόρος	¹ Εκπομπές C kg C/kg σπόρου	² Εκπομπές CO ₂ kg CO ₂ /kg σπόρου
Αραβόσιτος	1.05	3.85

¹ T.O West et al.(2002), ² 1kg of CO₂ = 0.273 kg C

2.3 Γεωργικά μηχανήματα

Για την κατασκευή των διάφορων μηχανημάτων το ενεργειακό κόστος υπολογίζεται με βάση τους παρακάτω πίνακες.

Πίνακας 1 Ποσοστό εκπομπών CO₂ για την κατασκευή τρακτέρ και του αγροτικού εξοπλισμού (Kg CO₂/MJ)

Ελκυστήρας	0.09
Εξοπλισμός	0.1

M. Safa et al.(2011)

Πίνακας 2 Ενέργεια που απαιτείται από διαφορετικούς τύπους γεωργικών μηχανημάτων (MJ/kg)

Μηχάνημα/Εξοπλισμός	Ενέργεια (MJ/kg)
Ελκυστήρας	138
Άροτρο	180
Δισκοσβάρνα	149
Καλλιεργητής	133
Λιπαντήρας	129
Φρέζα	148
Μηχανή συγκομιδής	116

Bowers, W. 1992. Agricultural field equipment. Energy in farm production.

Από τον συνδυασμό του πίνακα 1 και πίνακα 2 παίρνουμε τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα για την κατασκευή των διάφορων μηχανημάτων ανά κιλό μηχανήματος.

Πίνακας 3 Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα για την κατασκευή των μηχανημάτων και εξοπλισμού (kg CO₂/kg)

Μηχάνημα/εξοπλισμός	Εκπομπές CO ₂ (kg CO ₂ /kg)
Ελκυστήρας	12.42
Άροτρο	18
Δισκοσβάρνα	14.9
Καλλιεργητής	13.3
Λιπαντήρας	12.9
Φρέζα	14.8
Μηχανή συγκομιδής	11.6

2.4 Καύσιμα

Τα καύσιμα είναι η πιο σημαντική κύρια πηγή εκπομπών CO₂.

Πίνακας 4 Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα ανά λίτρο καυσίμου

	¹ Ενέργεια MJ/L	² Εκπομπές Kg CO ₂ /MJ	Εκπομπές Kg CO ₂ /L
Ντίζελ	47.8	0.0687	3.28386

¹Saunders et al.(2006), ² Baines (1993)

Με βάση τον **πίνακα 4** υπολογίζονται για κάθε καλλιεργητική εργασία οι εκπομπές του CO₂ στην ιδανική περίπτωση όπου τα μηχανήματα ολοκληρώνουν την εργασία για την παραγωγή αραβόσιτου με μια μόνο μετακίνηση στον αγρό.

Πίνακας 5

Εργασίες & μηχανήματα	¹ Δαπάνες καυσίμων L/ha	Εκπομπές CO ₂ Kg CO ₂ /L	Εκπομπές CO ₂ Kg CO ₂ /ha
Όργωμα	27	3.28386	88.66
Δισκοσβάρνα	7	3.28386	22.98
Καλλιεργητής	8	3.28386	26.27
Λίπανση	2	3.28386	6.56
Ισοπέδωση	4	3.28386	13.13
Σπορά	5,5	3.28386	18.06
Σκάλισμα	2	3.28386	6.56
Ψεκάσματα	1,5	3.28386	4.92
Συγκομιδή	18	3.28386	59.10
ΣΥΝΟΛΟ			246.28

¹Kitani (1999)

Με βάση τις αναφορές του M. Safa et al (2011) για τη κίνηση στο δρόμο ντίζελ μέσου ξοδεύονται 0.079 L/tonne-km, άρα οι εκπομπές CO₂ ανά τόνο μηχανήματος-χιλιομέτρων θα είναι:

$$0.079 * 3.28386 = 0.25942 \text{ Kg CO}_2/\text{tonne-km}$$

2.5 Λιπάσματα

Με βάση τα στατιστικά στοιχεία του FAO 2008 η παγκόσμια χρήση των γεωργικών λιπασμάτων αυξήθηκαν από 30,5 εκατ. τόνους το 1961, σε 102 εκατομμύρια τόνους, το 2002. Το Καλαμπόκι λόγω της μεγάλης ποσότητας βιομάζας που παράγει, απορροφά μεγάλες ποσότητες θρεπτικών στοιχείων, έτσι για την παραγωγή 1000kg καρπού καλαμποκιού ανά στρέμμα με βάση το Ινστιτούτο Σιτηρών Θεσσαλονίκης τα αποτελέσματα που έδωσαν ήταν: 19.4 kg αζώτου, 2.7 kg φωσφόρου, 13.8kg καλίου.

Πίνακας 6 Εκπομπές CO₂ για την παράγωγη-συσσκευασία-αποθήκευση-διανομή λιπασμάτων

Λίπασμα	¹ Ενέργεια MJ/kg	² Εκπομπές kg CO ₂ /MJ	Εκπομπές Kg CO ₂ / kg λιπάσματος
N	78,1	0.05	3.9
P ₂ O ₅	17,4	0.06	1.0
K ₂ O	13,7	0.06	8.2

¹ Kitani, ² Saunders et.al (2006)

Πίνακας 7 Εκπομπές CO₂ παραγωγή 1kg σπόρου

Λίπασμα	Εκπομπές Kg CO ₂ / kg λιπάσματος	Kg λιπάσματος /στρέμμα	Kg CO ₂ / στρέμμα
N	3.9	19.4	0.07
P ₂ O ₅	1.0	2.7	0.002
K ₂ O	8.2	13.8	0.11

2.6 Αγροτικές κατασκευές

Για τα αγροτικά κτίρια με βάση τον Wells (2001) ο οποίος υποθέτει μια ενεργειακή απαίτηση της τάξεως των 590 MJ/m² με τον συντελεστής εκπομπής να είναι 0,1 kg CO₂/ MJ.

Πίνακας 8

	Ενεργειακές απαιτήσεις MJ/m ²	Συντελεστ. Εκπομπής	kg CO ₂ /m ²
Κτίριο	590	0.1	59

2.7 Φυτοφάρμακα

Ως φυτοφάρμακα αναφέρονται μια σειρά από φάρμακα- χημικές ουσίες που δημιουργούνται με στόχο την αποτελεσματική καταπολέμηση των εχθρών των φυτών.

Πίνακας 9 Εκπομπές CO₂ από την παραγωγή, τη μεταφορά, την αποθήκευση

Φυτοφάρμακα	¹ Ενέργεια MJ/kg	² Εκπομπές CO ₂ /MJ	kg CO ₂ /kg
Ζιζανιοκτόνο	310	0.06	18.6
Εντομοκτόνο	315	0.06	18.9

^{1,2} Saunders et al.,(2006)

2.8 Συστήματα άρδευσης

Η άρδευση είναι σημαντική για την επίτευξη υψηλών αποδόσεων σε άνυδρες περιοχές. Σε παγκόσμια κλίμακα, το 17% των αρδευόμενων καλλιεργειών οδηγεί σε 40% της συνολικής παραγωγής (Lal, 2004). Οι West and Marland (2002) εκτιμούν ότι οι εκπομπές από την άρδευση κυμαίνονται από 125-285 kg CE / ha / έτος. Υπολογίζοντας μια μέση τιμή των 205 kg CE / ha / έτος εκφρασμένη σε ισοδύναμα άνθρακα. Οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα προερχόμενες από την άρδευση των καλλιεργειών υπολογίζονται ως εξής : 1kg CO₂= 0.273 kg C οπότε τα 205 kg C αντιστοιχούν σε 750 kg CO₂ /ha/έτος

2.9 Ανθρώπινη εργασία

Σύμφωνα με διάφορες αναφορές όπως του Kitani (1999), η ανθρώπινη εργασία είναι ο μόχθος των εργαζομένων από τις γεωργικές διαδικασίες που διεξάγονται, η τιμή που αντιστοιχεί στην βιοχημική ενέργεια και για τα αρσενικά έχει υπολογίσει 1,96 MJ / h και για τα θηλυκά 0,8 MJ / h.

3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Με βάση τα παραπάνω στοιχεία για την παραγωγή 1 kg σπόρου καλαμποκιού εκπέμπονται 3.85 Kg CO₂. Για το στάδιο την σποράς στην καλλιεργούμενη έκταση χρειαζόμαστε περίπου 3 κιλά σπόρο/ στρέμμα δηλαδή (150kg σπόρο στα 5ha) εκπέμπονται 11.55 Kg CO₂/στρέμμα =115.5 Kg CO₂/ha. Έτσι σε μια έκταση των 5 εκτάρια (1 στρέμμα = 10ha) οι εκπομπές θα είναι 577.5 Kg CO₂. Για να βελτιώσουμε την παραγωγή και να έχουμε απόδοση 1000kg σπόρου αραβόσιτου ανά στρέμμα κάνουμε χρήση λιπασμάτων. Οι εκπομπές από την χρήση των λιπασμάτων με βάση τα στοιχεία του Πίνακα 7 και για τα 5 εκτάρια θα είναι:

$$N : 0.7 \text{ Kg CO}_2/\text{ha} * 5 \text{ ha} = 3,5 \text{ Kg CO}_2$$

$$P_2O_5 : 0.02 \text{ Kg CO}_2/\text{ha} * 5 \text{ ha} = 0.1 \text{ Kg CO}_2$$

$$K_2O : 1.1 \text{ Kg CO}_2/\text{ha} * 5 \text{ ha} = 5.5 \text{ Kg CO}_2$$

Αν για την αποθήκευση των 1000kg σπόρου που παράγει ο αγρότης χρησιμοποιεί κτίριο 10 m² οι κτιριακές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα ανέρχονται σε 590kg CO₂. Η επιλογή του κατάλληλου φυτοφαρμάκου εξαρτάται από το καλλιεργούμενο προϊόν και το βαθμό του προβλήματος που πρέπει να αντιμετωπιστεί. Τα 300 γραμμάρια φυτοφαρμάκου ανά στρέμμα αρκούν γιατί ανάμεσα στις γραμμές μπορούμε να επέμβουμε με μηχανικά σκαλιστήρια. Έτσι οι εκπομπές CO₂ από την παραγωγή, τη μεταφορά, την αποθήκευση των 0.3 kg στο στρέμμα (δηλαδή 15 kg στα 5 ha) θα είναι 18.6 kg CO₂/kg * 15 kg = 279 kg CO₂.

Οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα για τα 5 ha που μελετάμε θα είναι 3,750.0 kg CO₂ το έτος.

Η συμμετοχή της μετακίνησης των μηχανημάτων από όσα προηγήθηκαν στις συνολικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα για την περάτωση των διάφορων εργασιών εντός του αγρού, με βάση τον Πίνακα 5 για τα 5 ha οι εκπομπές θα είναι:

246.28 Kg CO₂/ha * 5 ha = 1,231.4 kg CO₂

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Όλες οι πηγές άνθρακα είναι δυνατόν να ομαδοποιηθούν σε πρωτογενή, δευτερογενή και τριτογενή πηγές (Gifford, 1984). Όπου οι πρωτογενείς πηγές εκπομπών άνθρακα είναι είτε λόγω της κινητής λειτουργίας ή σταθερές (π.χ., όργανο άντληση νερού). Οι δευτερογενείς πηγές περιλαμβάνουν παρασκευή, συσκευασία και αποθήκευση των λιπασμάτων/ φυτοφαρμάκων και οι τριτοβάθμιες πηγές που περιλαμβάνουν την απόκτηση των πρώτων υλών και την κατασκευή του εξοπλισμού και των κτιρίων της εκμετάλλευσης. Σε αυτό το σημείο είναι ορθό να γίνει αναφορά στα διάφορα συστήματα κατεργασίας του εδάφους καθώς η εναλλαγή τους μπορεί να συμβάλει στην μείωση των εισροών. Τα συστήματα κατεργασίας είναι τα εξής: Μειωμένη κατεργασία (RT) κατά αυτή τη μέθοδο γίνεται μερική κατεργασία του εδάφους η οποία αφήνει στο έδαφος το 40% των φυτικών υπολειμμάτων. Μη άροση (NT) κατά αυτό διενεργείται κατευθείαν η σπορά με ειδικές σπартικές μηχανές. Ελεγχόμενη γεωργία Κυκλοφορίας (CTF) όπως ορίζεται από τον Yule (1998) είναι ένα σύστημα καλλιέργειας που βασίζεται σε μόνιμα ίχνη των τροχών με στόχο τη διαχείριση της απορροής. Σε σύγκριση με την ελεγχόμενη γεωργία CT, η συνολική εξοικονόμηση ενέργειας είναι 10% με την RT και το 32% με το NT (Borin et al., 1997).

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι λιγότερο εντατικές μέθοδοι καλλιέργειας οδηγούν στην μείωση της κατανάλωσης καυσίμου, αυτό επιτυγχάνεται με καλό σχεδιασμό της παραγωγής για τη μείωση των ταξιδιών. Σε ότι αφορά τα αγροτοχημικά προϊόντα η βελτίωση της αποτελεσματικότητας της χρήσης τους και η εξεύρεση εναλλακτικών λύσεων οδηγούν στη μείωση των εκπομπών CO₂. Κατά την κατασκευή των

γεωργικών μηχανημάτων ο πράσινο κινητήρας και νοείται ο κινητήρας που καταναλώνει λιγότερα καύσιμα, κατασκευή γεωργικών τρακτέρ με αυξημένη χρήση ανακυκλωμένου χάλυβα και η σωστή συντήρηση των φορτηγών, τρακτέρ, και ρυμουλκούμενα συμβάλουν στην μείωση των εκπομπών. Καταλήγοντας φαίνεται ότι η διαχείριση των γεωργικών εκμεταλλεύσεων είναι ο βασικότερος παράγοντας για τα προγράμματα μείωσης των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Η αναποτελεσματική διαχείριση και η έλλειψη εμπειρίας μπορεί και αποδίδει σημαντικές εισροών που συνδέονται με την ρύπανση των υδάτων, του αέρα και γενικότερα του περιβάλλοντος.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Περιοδικά

- Adviento-Borbe, M.A.A., Haddix, M.L., Binder, D.L., Walters, D.T., Dobermann, A., 2007. Soil greenhouse gas fluxes and global warming potential in four highyielding maize systems. *Glob. Change Biol.* 13:1972–1988.
- Borin, M., Menini, C., Sartori, L., 1997. Effects of tillage systems on energy and carbon balance in northeastern Italy. *Soil Tillage Res.* 40:209– 26.
- Lal, R., 2004. Carbon emission from farm operations. *Environment International*, 30:981-990.
- Safa, M., Samarasinghe, S., Mohssen, M., 2011. A field study of energy consumption in wheat production in Canterbury, New Zealand, Elsevier, *Energy Conversion and Management Journal*, 52(7): 2526-2532
- Saunders, C., Barber, A. and Taylor, G., 2006. Food Miles – Comparative Energy/Emissions Performance of New Zealand's Agriculture Industry, *Agribusiness and Economics Research Unit, Research Report 285.*
- Tullberg, J., 2010. Tillage, traffic and sustainability-A challenge for ISTRO. *Soil and Tillage Research*, 111(1):26-32
- Wells, C., 2001. Total energy indicators of agricultural sustainability: dairy farming case study. Technical paper 2001/3. Ministry of Agriculture and Forestry, Wellington, New Zealand.
- West, T.O., Marland, G., 2002. A synthesis of carbon sequestration, carbon emissions, and net carbon flux in agriculture: comparing tillage practices in the United States. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 91(1-3):217-232

Κεφάλαια βιβλίων

- Baines, J.T. 1993. *New Zealand Energy Information Handbook*. Taylor Baines and Associates: Christchurch.
- Bowers, W., 1992. *Agricultural field equipment*. In: Fluck, R.C.(Ed.), *Energy in World Agriculture*, Vol. 6. Elsevier, New York
- Gifford R.M., 1984. *Energy in different agricultural systems: renewable and nonrenewable sources*. In: Stanhill G, editor. *Energy and agriculture*.

- Kitani O., 1999. CIGR Handbook of Agricultural Engineering. Vol, V, Energy and Biomass. Engineering. ASAE publication, ST Joseph, MI.
- Li, Y., 2001. Traffic and tillage effects on trial and cropping systems – a field and simulation study. PhD Thesis, University of Queensland
- Smith, P., Martino, D., Cai, Z., Gwary, D., Janzen, H. Kumar, P., McCarl, B., Ogle, S. O'Mara, F., Rice, C., Scholes, B., Sirotenko, O., 2007. Agriculture. In: B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave and L.A. Meyer (Editors), Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Πρακτικά Συνεδρίων

- Yule, D.F., 1998. Controlled traffic farming-the future. Paper presented at the Proceedings of Second National Controlled Traffic Conference, Gatton, Australia

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΥΡΩΠΑΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΩΝ ΑΓΡΟΧΗΜΙΚΩΝ - ΠΙΛΟΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Δημήτριος Μπριασούλης, Μιλτιάδης Χισκάκης, Χρήστος Μπριασούλης

Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής, Ιερά Οδός 75, 11855, Αθήνα
briassou@aua.gr, hiskm@aua.gr, chribri@aua.gr

Η κακοδιαχείριση των αποβλήτων πλαστικών συσκευασιών των αγροχημικών (ΑΠΣΑ) αποτελεί μια από τις βασικές αιτίες ρύπανσης του εδάφους, του αέρα και των υδάτινων πόρων και θέτει σε κίνδυνο όχι μόνο το περιβάλλον αλλά και την ασφάλεια των προϊόντων και τη δημόσια υγεία. Μέθοδοι για τη διαχείριση των ΑΠΣΑ έχουν καθιερωθεί σε κάποιες Ευρωπαϊκές χώρες τα τελευταία χρόνια. Τα εφαρμοζόμενα διαχειριστικά σχέδια για τα ΑΠΣΑ είναι όμως ασύμβατα ενώ οι συνθήκες λειτουργίας τους και τα κριτήρια θα μπορούσαν να βελτιωθούν. Σε πολλές άλλες χώρες το πρόβλημα της διαχείρισης των ΑΠΣΑ δεν έχει αντιμετωπιστεί, με αρνητικές συνέπειες για το περιβάλλον και τη δημόσια υγεία. Ανταποκρινόμενο σε αυτά τα προβλήματα το Ευρωπαϊκό πρόγραμμα *AgroChePack* ανέπτυξε ένα καινοτόμο, αποτελεσματικό, φιλικό προς το περιβάλλον και οικονομικά βιώσιμο Ευρωπαϊκό διαχειριστικό σύστημα αποβλήτων πλαστικών συσκευασιών αγροχημικών μέσω μεταφοράς τεχνογνωσίας και εμπειρίας από τα υπάρχοντα συστήματα και αξιολόγησής του μέσω πιλοτικών δοκιμών σε πέντε χώρες. Η παρούσα εργασία παρουσιάζει τις βασικές αρχές σχεδιασμού του συστήματος διαχείρισης ΑΠΣΑ που αναπτύχθηκαν στα πλαίσια του έργου *AgroChePack* μέσω του προσδιορισμού προβλημάτων και δυσλειτουργιών που αντιμετωπίζουν τα υπάρχοντα σήμερα συστήματα στην Ευρώπη, της ανάπτυξης του ολοκληρωμένου συστήματος διαχείρισης ΑΠΣΑ, και της πιλοτικής εφαρμογής του, καθώς και της αξιολόγησης και βελτιστοποίησης του με πιλοτικές δοκιμές στην Ελλάδα.

Λέξεις κλειδιά: αγροχημικά, συσκευασίες, επικίνδυνα απόβλητα, ανακύκλωση

DESIGN OF A EUROPEAN AGROCHEMICAL PLASTIC PACKAGING WASTE MANAGEMENT SCHEME – PILOT IMPLEMENTATION IN GREECE

Demetres Briassoulis, Miltiadis Hiskakis, Christos Briassoulis

Laboratory of Farm Structures, Agricultural University of Athens, Department of Natural Resources Management and Agricultural Engineering, Iera Odos 75, 11855, Athens
briassou@aua.gr, hiskm@aua.gr, chribri@aua.gr

Mismanagement of Agrochemicals Plastic Packaging Waste (APPW) constitutes a major environmental problem, resulting in the pollution of soil, air and water resources and compromising the agricultural products safety, the protection of the environment and the public health. Systems for the management of APPW have been established in some European countries and they are operational for several years now. However these schemes are incompatible while their operational conditions and technical criteria could be improved. In many countries no schemes exist yet for the management of APPW with serious negative consequences for the environment and public health. In response to these problems the European project *AgroChePack* has developed an environmental friendly, economically viable European APPW management scheme by transferring know-how from existing schemes, designing a new integrated APPW management scheme and testing it through pilot trials in five countries. This work presents the basic design principles established by *AgroChePack* by identifying problems and bottlenecks faced by existing schemes in Europe, by developing an integrated APPW scheme and by implementing, evaluating and optimising this scheme through pilot trials in Greece.

Keywords: agrochemicals, packaging, hazardous, waste, recycling

1. INTRODUCTION

Mismanagement of Agrochemicals Plastic Packaging Waste (APPW) constitutes a major environmental problem, resulting in pollution of soil, air and water resources and compromising the agricultural products safety, the protection of the environment and public health. Some schemes for the management of APPW have been established in a few European countries, as in Germany (*Pamira*), France (*Adivalor*), Spain (*Sigfito*). However, these schemes are incompatible with each other while they are not combined in a synergic way with the management of other Agricultural Plastic Waste

(APW) categories to optimise use of resources, increase efficiency, and reduce cost. In many countries (e.g. Greece, Italy, Cyprus) no schemes exist for the management of APPW with serious negative consequences for the environment and public health.

This work presents the basic design principles established by the *AgroChePack* project (*AgroChePack*) aiming at the environmental friendly and economically viable APPW management scheme in Europe. The five participating Mediterranean European countries (Greece, Italy, Cyprus, Spain and France) are among the major European consumers

of agrochemicals, with large agricultural areas. They consumed 20.6 kg/ha of agrochemicals in 2003 (Eurostat, 2007) while during the last years this amount increases steadily. According to Eurostat (Eurostat, 2007), France, Spain and Italy are the major consumers of plant protection product (PPP) in EU (nearly 75% of the total of 220.000 t of PPP used in EU-25). As a result a high volume of packaging is used that should be valorised through recycling or energy recovery if not recyclable.

AgroChePack (*AgroChePack*) aimed to develop an integrated, efficient, environmentally friendly and economically viable APPW management system in Europe by transferring know-how from existing schemes and by promoting synergy with the *LabelAgriWaste* (*LabelAgriWaste*) project (APW). This new integrated APPW management scheme was designed piloted in five EU countries.

In this article the design principles of the *AgroChePack* APPW management scheme and its pilot implementation in Greece are presented.

2. THE AGROCHEPACK SCHEME

2.1. Design principles of the *AgroChePack* APPW management scheme

The basic design principles established by *AgroChePack* (*AgroChePack*) in terms of safety, efficiency & cost include:

- a. Decontamination: Development of a protocol for rinsing and decontaminating APPW in order to characterize them as non-hazardous waste.
- b. Control: Development of a secure mechanism to assure effectiveness of the rinsing method.
- c. Sorting: Sorting and separation of cleaned APPW to homogenous materials categories.

The *AgroChePack* system integrates several key technical procedures developed in support of the basic design principles as follows:

- a) Decontamination of the APPW and control:
 - Definition and application of a reliable, scientifically justified, decontamination methodology that ensures meeting the relevant EU legislation criteria for non-hazardous waste
 - Design and implementation of a simple, reliable traceability scheme
 - Establishment of a quality assurance scheme (guidelines, check points, sampling and testing)
- b) Sorting the decontaminated APPW at the source to homogeneous material piles:
 - Identification of recyclability criteria and definition of sorting categories
 - Grouping of non-recyclable APPW that comply with ASF for energy recovery specs

The aim of the design principles is to achieve the best exploitation of the collected APPW by:

- Enhancement of recyclability of collected APPW
- Minimisation of non-recyclable APPW

The development of the *AgroChePack* scheme followed three steps at regional level:

- Quantified analysis of the APPW generation
- Design of the APPW management logistics and infrastructure

- Pilot implementation, evaluation, optimization

2.2. Mapping of APPW generation

To design the scheme for a specific region, it is important to know the waste generation map including the temporal-spatial distribution of APPW generation. *AgroChePack* starts with the dominant cultivations for the area. Then, the key parameters needed to estimate the APPW generation are quantified: type/dosage of main agrochemicals used per cultivation, application time, material and size of package for each agrochemical. The final outcome is the quantified temporal-spatial APPW generation (weight and volume per material category per month).

2.3. Design - Decontamination of APPW

2.3.1. Decontamination methodology

In May 2008, the FAO/WHO published "*Guidelines on Management Options for Empty Pesticide Containers*" (FAO/WHO, 2008) recommending properly rinsed containers that have been inspected as non hazardous. In the United States, the federal Resource Conservation and Recovery Act (RCRA) of 1976 makes it illegal to dispose of any pesticide or pesticide-related waste by burning, dumping, or well injection (EPA, 1976). Any container with unused pesticide, including residue, is considered to be hazardous waste which may harm humans, animals or the environment. However, properly rinsed containers are not considered hazardous waste and can go to an approved recovery/recycling centre or to landfill.

In Europe, threshold concentrations have been set for the different categories of active ingredient. The limits depend on the hazardous nature of the active ingredient concerned. Waste consignments containing active ingredient concentrations below these limits are classified as non hazardous. The concentration of the active ingredient is expressed as a percentage of the total weight of the waste consignment. There is a wide range of threshold limits with the lowest European limit being 0.1% w/w for 'Very Toxic' active ingredients (CropLife International, 2010). The European Waste Catalogue (EWC) (EPA, 2002) links the classification of certain hazardous waste categories to the concentrations of dangerous substances within the waste. The two lowest threshold EWC limits are (ECPA, 2007):

- "one or more substances classified as very toxic at a total concentration $\geq 0.1\%$ "
- "one or more substances classified as toxic at a total concentration $\geq 3.0\%$ "

A weakness of the existing APPW management schemes is that in some, the tripled rinsed APPW are classified as hazardous whereas in others as non-hazardous (EPA, 2002). The cost for managing hazardous waste is prohibitive.

According to ECPA (ECPA, 2007), effective rinsing of packs is achieved either by manual triple rinsing or mechanical integrated pressure rinsing (equipment is present in modern pack and sprayer designs (ECPA, 2005)). The quantity of dangerous

substances that remains in the container, either as residue after rinsing or migrated into the plastic, determines the classification of the empty container based on the EWC limits.

It has been scientifically proven that the triple rinsing methodology can decontaminate effectively APPW (CropLife International, 2004, 2010). The results of another study by ECPA (ECPA, 2007) indicated that the total amount of active ingredient in correctly rinsed containers remains well under the threshold for very toxic substances of 0.1% w/w set by the EWC. According to CropLife (CropLife International, 2004), triple rinsing removes more than 99.99% of contaminating residue when applied to containers made of appropriate material (such as High Density Polyethylene). A key point in the success of *AgroChePack* is to ensure that the APPW is properly triple rinsed. According to *AgroChePack*: Firstly, the triple rinsing procedure must start immediately after the application of the agrochemical to avoid solidification of the agrochemical. Secondly, the person who will apply the rinsing must be appropriately trained on the methodology of triple rinsing. Only trained farmers are accepted to the *AgroChePack* APPW management scheme.

2.3.2 Quality assurance - Traceability

Quality assurance with respect to decontamination is ensured in *AgroChePack* through sampling and hazardousness analysis of the collected sample. The proper implementation of hazardousness analysis requires the development of the sampling methodology. The scope of the sampling methodology is to define where and how and which sample quantity to collect, to assure the sample represents the APPW pile.

The traceability scheme consists of: The registration of the farmers who participate to the *AgroChePack* scheme and their training, and the recordkeeping of the data of the triple rinsed agrochemical packages used, and were accepted to the scheme. A database of the participating farmers is generated and appropriate managers assume responsibility for the recordkeeping. It is expected that the traceability scheme will eliminate illegal agrochemicals or mismanagement of agrochemical packages as the relevant legislation will be enforced. The traceability scheme will also allow transparency through quantification of the collected and recycled APPW, to justify funding of the scheme by the relevant national recycling agency.

2.4. Design - Sorting of decontaminated APPW

2.4.1 Recyclability of APPW

The aim of the *AgroChePack* scheme was to achieve the best exploitation of the collected APPW by enhancement of the percentage and quality of the decontaminated APPW in terms of recyclability. *AgroChePack* sorts the containers according to their composition into 2-3 main categories. The sorting depends on the range of the most common packages used in the specific region where the scheme is

applied (e.g. "HDPE" (High Density Polyethylene), "COEX" (Coextruded), "CAPS" (caps of containers) and the category "Others". The last one includes packaging materials not belonging to the first two main categories. The majority of APPW materials collected and decontaminated belongs to categories HDPE/ COEX.

In cases of packaging of unknown composition commonly used in a specific region, the safest way is to conduct an ATR-FTIR on both surfaces of containers (often a thin interior coating of a different material than the bulk material is used as barrier) and identify the main components from these spectra. In the cases of COEX containers, usually in the form of PE/EV (polyethylene/ethylene vinyl) and PE/PA (polyethylene/polyamide), a relatively high proportion of the secondary component (EV and PA in this case) in the matrix could compromise the recyclability of the container. The criteria for the COEX packages that can be recycled follow the corresponding specs of the *LabelAgriWaste* project (*LabelAgriWaste*, Briassoulis et al., 2013). If needed, a DSC (differential scanning calorimetry) analysis of the container could provide a good estimation of the recyclability of APWW containers.

2.4.2 Energy recovery criteria concerning APPW

The decontaminated packages that do not fulfil the criteria for recycling (category "Other") can be directed to industry for energy recovery. Industries, especially cement kilns that have high temperature kilns and have obtained license for using these plastics as alternative solid fuels can use the decontaminated APPW that cannot be recycled, as alternative fuel. The priority of the *AgroChePack* scheme is mechanical recycling. Energy recovery is considered an option only for non-recyclable APPW.

2.5. Design of the scheme's infrastructure

The implementation of the APPW management scheme is based on the particularities of the region. In cases of small farms with use of small capacity sprayers, the farmers are obliged to apply the triple rinsing by their own at the farm without any supervision and deliver the triple rinsed containers to the managers at designated collection stations. The managers are responsible for bringing the collected clean APPW to a regional central collection station. The whole chain is controlled through the established traceability system. In other cases, farmers use large capacity sprayers mounted on large size tractors destined for fields of arable crops. In each geographical region, the *AgroChePack* design of the infrastructure is based on the temporal and spatial distribution of the APPW generated in the region.

2.6. Pilot implementation of the APPW scheme

In the framework of *AgroChePack*, alternative pilot schemes of the system that meet regional particularities were designed. The pilot schemes were tested in five countries (*AgroChePack*). In Greece, the *AgroChePack* scheme was pilot

implemented in the arable land of the municipality of Visaltia (*AgroChePack*).

3. AGROCHEPACK PILOT TRIALS IN GREECE

3.1. Mapping and analysis of APPW generation

A major difficulty encountered during the mapping of the APPW in the case of Visaltia was the lack of official and reliable statistic data. The needed information was obtained through interviews and information provided by local agronomists or retailers. The data collected were cross checked to provide a good quantitative estimate of the current situation.

Temporal - spatial quantities distribution of APPW were calculated per agrochemical type and agrochemical package material expressed in terms of containers volume and weight to be disposed at specific time (month) and specific location. Figure presents an example of the temporal - spatial distribution of the generated APPW materials in the case of the Municipal Department of Flabouro.

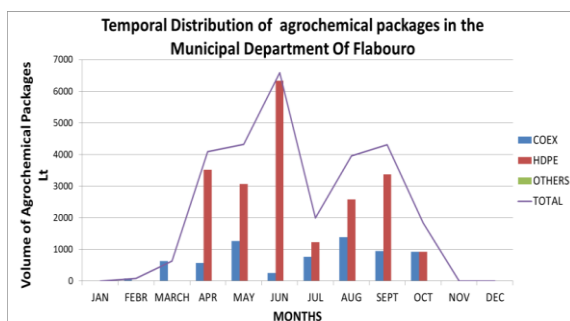


Figure 1: Temporal distribution of APPW volume generation in the municipal department of Flabouro

3.2. Design of the pilot *AgroChePack* scheme's infrastructure in Greece

In the case of the municipality of Visaltia, the majority of the farmers use large capacity sprayers mounted on large size tractors. They fill their sprayers with the agrochemicals in specific water supply points constructed for that purpose. Based on the mapping and quantified analysis of APPW generation in the region, two water supply points (in the municipal departments of Flabouro and Patrikio) were selected to serve for the decontamination and temporal storage of the empty packages and the first level quality control and traceability of the system. The selected water supply points were transformed into *AgroChePack* pilot local collection stations of the municipality of Visaltia (Figure). The local stations were designed and constructed to facilitate movements of large tractors with sprayers and improve the ergonomics of the infrastructure of the water supply for triple rinsing and they are fenced. The *AgroChePack* local collection stations include a small protected storage facility specially designed for the sorting, recording and the temporal storage of the collected APPW. The pilot stations were in operation for eight months for data collection, monitoring and optimisation of the system. A central APPW consolidation station was designed and constructed at the location of the consolidation station of the recyclable municipal waste (Figure 2).

3.3. Sorting, Labelling & Storage

According to the proposed APPW management scheme the package material was the key element used to sort the collected decontaminated APPW into four categories. The bags of the fertilizers formed a separate homogeneous pile. The collected APPW of each material category were placed in labelled designated plastic bags inside the storage area of the local collection stations. Information about the period of APPW collection, the code of the station and the material category of APPW was recorded on each bag for traceability purposes. These data were also kept in the files of the station.



Figure 2: The *AgroChePack* pilot local collection station of Patrikio and the central consolidation station (Mun. of Visaltia)

3.4. Operational protocol of the stations

Systematic dissemination and training is required for the correct operation of the stations. The local collection stations collect agrochemical containers that are triple rinsed on site and containers decontaminated by the registered - trained farmers on their own responsibility. The decontaminated containers are placed in designated bags according to their composition under the guidelines of the supervisor. The supervisor provides the farmer with a certificate of compliance. When the volume of the stored decontaminated agrochemical packages in the local collection station reaches a predefined level, they are transported to the central consolidation station where they are recorded and stored, once again sorted in the four homogenous categories. From the central consolidation station the APPW are delivered to the final disposers for recycling ("*HDPE*", "*COEX*", "*CAP*") or for energy recovery ("*Other*"), when the collected APPW reaches a certain quantity.

3.5. Decontamination of the collected APPW

The efficiency of APPW decontamination through the pilot trials was evaluated by implementing

alternative sampling and analysis methodologies. Lab tests were conducted independently by the *AgroChePack* teams of the University of Lleida and the Agricultural University of Athens, in collaboration with Benaki Phytopathological Institute (BPI), to verify the reliability of the triple rinsing methodology applied through the pilot trials. The results of the tests confirm that the triple rinsing method is easy to apply by trained farmers (under supervision) and that when applied correctly it meets the relevant thresholds set by the European Waste Catalogue.

The existing analysis methodologies of decontaminated APPW to characterise them as non-hazardous waste according to the EU hazardous waste provisions were also evaluated. The inter-laboratory tests aimed at the scientific verification of characterizing appropriately triple-rinsed APPW as non-hazardous waste, according to EWC provisions.

3.6. Sampling methodology

In the absence of pilot data and based on the scarce literature data a sampling methodology was established based on the analysis of the samples collected at the pilot stations. It consists of the sampling of APPW stored at the consolidation station: all plastic bags to be inspected visually for contamination; the ones with possible contaminated products to be opened and sample from it the ones that appear to be the most contaminated; a minimum of 3 containers to be taken from bags coming from each local station and sent for analysis.

At least one out of five bags arriving at the consolidation station, are to be rolled and visually inspected to contain homogeneous material.

3.7. Hazardousness laboratory analyses of APPW

Experimental laboratory hazardousness analysis was conducted at the facilities of BPI to define the details of the triple rinsing procedure that will effectively decontaminate any container and agrochemical substance and test the analytical laboratory methods used to detect accurately the hazardousness of the triple rinsed container.

The most difficult to rinse agrochemicals were chosen from the list of the most commonly used ones in the area of interest (Visaltia) in order to assure the efficiency and universality of the procedure. For this reason viscous components and solid dispersions in oils (OD) and solid suspensions (SC) as well as solid powders were selected (Briassoulis et al., 2012). The triple rinsing procedure was tested by rinsing the emptied container three times with water using the protocol established by *AgroChePack*. The analysis of the empty containers, done by BPI in collaboration with AUA, proved that the detected active ingredient remains are several orders of magnitude below the hazardousness threshold limits defined by EEEC regulations. The remains in all cases were found to be even below the strictest threshold of 0.1% w/w, applicable to very toxic agrochemicals. Possible absorption of agrochemicals in the plastic matrix of the container was also investigated to ensure that

such a possibility cannot influence the hazardousness analysis results. This was investigated by scraping the interior surface of the containers already rinsed by the solvent. The scrapings were rinsed with solvent to detect and quantify the presence of active ingredients. The analysis of the scrapings confirmed that in all cases the quantities absorbed by the most affected thin internal layer of the plastic matrix remain below the strictest threshold of 0.1% w/w applicable to very toxic agrochemicals. When these quantities are normalised to the total APPW quantity the absorption effect of the remains appears to be insignificant.

During the pilot trials, at the consolidation station, twenty of the most visually contaminated containers were sampled in duplicate. Emphasis was put on sampling also the most toxic products (lower threshold limit 0.1 % w/w). From each pair, one of the containers was sent for analysis to the University of Lleida while the other was analysed by BPI. BPI analysed the interior surface of the bottle and after scrapping, the interior surface scrapings for absorbed active ingredient remains. At University of Lleida they analysed the interior surface remains and then they pulverised the entire container and extracted any remains absorbed by the plastic. The remains in all containers were analysed by the University of Lleida (20 containers with 22 different substances) below the threshold limit. Table 1 presents the results of the first 14 containers analysed by BPI (the analysis of the remaining containers is in progress). The most contaminated container was found to be a specific container with *propargite* at 0.64% w/w (threshold limit for this agrochemical is 1.0% w/w; Table 1). The remains in another container with the same substance *propargite* were found at 0.01%. The traceability system revealed that the first one was tripled rinsed outside the pilot station and no ID number was found on the container. A second contaminated container with the substance *Fluometuron* at 1.51% w/w (threshold limit for this agrochemical is 10% w/w). Even though no container was found with remains exceeding the hazardousness threshold limits, these two cases suggest that:

1. Containers rinsed without supervision should at least be inspected by the supervisor before been accepted to the system
2. Containers without farmers' traceability code on them should be rejected; if identified, the farmer should be issued a strong warning.

4. CONCLUSIONS

The design principles of an optimized integrated waste management system (*AgroChePack*) for the APPW chain in Europe are presented. The APPW management system, covering all the steps after the usage of the agrochemical until the final receiver, aims to channel the majority of the decontaminated APPW to recycling and the non-recyclable to industry

for energy recovery as alternative solid fuel. The pilot implementation of the *AgroChePack* system in Greece has been used to investigate the performance of the APPW management protocols, including decontamination and traceability. The hazardousness analysis of the triple rinsed containers collected from the pilot trials confirmed the laboratory experiments results suggesting that the appropriate application of the triple rinsed technique of the containers by trained farmers, ensures their decontamination and their characterisation as non-hazardous waste according to the EWC provisions.

Table 1: Hazardousness analysis results of containers sampled from the pilot trials

Commercial Name /Formulation	Active Ingredient	Remaining ingredients		Classification R-phrases (E/C, 2002) Hazardous Waste Threshold Limits (% w/w)
		rinsed APPW (% w/w APPW)	rinsed APPW wall scrapings (% w/w scrapings)	
Sulcotrek SC	Terbutylazine 32.7% β/o	0.0366	0.0010	R43, R63, R50/53, N, Xn (1%)
Stomp aqua CS	Sulcotriane 17.3% β/o	0.0049	0.0450	R50/53, N (25%)
Jaguar 5 EC	Quizalofop-p-ethyl 5% β/o	0.0014	0.0010	R10, R20/21, R36/38, R03, R51/53, R41, R22, R37, R50/53, Xn, N (25%)
Propargite Farma Chem 57 EC	Propargite 57%β/o	0.6407	0.0320	R23, R38, R40, R41, R50, R53 Xn, N (1%)
Oligor 40 EC	Dimethoate 40% β/o	0.0057	0.0057	R10, R20, R21, R25, R36/37/38, R04, R06, R011/13/15, Xn, Xi (3%)
Assist 10 EC	Cypermethrin 10% β/o	0.0200	0.0144	R22, R38, R41, R67, R65, R50/53, N, Xn (10%)
Record 8/8 EC	phenmedipham 8% β/o	0.0005	0.0003	R20, R22, R36/37, R40, R50/53, N, Xn (1%)
Dorian 50 SC	terbutylazine 50% β/o	0.0156	0.0019	R22, R50/53, Xn, N (25%)
Harness 84 EC	acetochlor 84% β/o	0.0034	0.0224	R20/22, R37/38, R40, R43, R48/22, R03, R50/53, Xn, N (1%)
Cottonex 50 SC	fluometuron 50% β/v	1.5093	0.0008	R22, R50/53, N (25%)
Lufenuron Farma Chem 5 EC	lufenuron 5% β/o	0.0066	0.0033	R10, R20, R41, R43, R65, R03, R50/53, Xn N (1%)
Nicogan 4 SC	nicosulfuron 4% β/o	0.0054	0.0021	R38, R50/53, Xi, N (20%)
Bauman 57 EC	propargite 57% β/o	0.0240	0.0056	T, R10, R21, R23, R38, R40, R41, Xn, Xi (1%)
Cyperkill 10 EC	cypermethrin 10% β/o	0.0115	0.0161	R10, R22, R36/37/38, R65, R67, R50/53, Xn, N (20%)

Acknowledgements: This work has been done in the framework of the project: AGROCHEPACK 2 G-MED09-15, co-financed by the European Regional Development Fund and National Funds. Thanks are due to Mr. D. Giannopoulos for the technical support. Special thanks are due to Ms. H.Karasali of BPI, in charge of the analysis of the agrochemicals remains



REFERENCES

Books

ECPA, Crop Protection Plastic Containers, The case for a non-hazardous waste classification, 2007, ECPA, 1160 Brussels - Belgium

EUROSTAT Statistical Books: The use of plant protection products in the European Union Data 1992-2003, European Commission, Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2007

Conference Papers

D. Briassoulis, M. Hiskakis, E. Babou, 'Technical Specifications for Mechanical Recycling of Agricultural Plastic Waste', Waste Management, 32 (2013) 1075–1090

D.Briassoulis, M.Hiskakis, C.Briassoulis, C-0296 Design of a common European Agricultural Plastic Packaging Waste Management System in Europe. Proceedings of the CIGR-AgEng 2012: International Conference of Agricultural Engineering, Valencia from 8 to 12 July

Brochures

CropLife International, Clean Farms: Sustainable packaging - The case for rinsing used pesticide containers, March 2010, CropLife International, 1050 Brussels, Belgium

CropLife International, Container Management – Safe and effective disposal of empty crop protection product containers, October 2004, CropLife International, 1050 Brussels, Belgium

Legislation & Regulations

FAO/WHO, "Guidelines on Management Options for Empty Pesticide Containers", International Code of Conduct on the Distribution and Use of Pesticides, FAO/WHO, Rome, May 2008

ECPA, Container Management Guidelines, Building effective and integrated strategies for packaging reduction, design, rinsing and recovery, 2005, ECPA 1160 Brussels - Belgium

EPA, Resource Conservation and Recovery Act, P.L. 94-580, 90 Stat. 2795, 42 U.S.C. § 6901 et seq., October 21, 1976. RCRA

Environmental Protection Agency, European Waste Catalogue and Hazardous Waste List, Published by the Environmental Protection Agency, Ireland, 2002, ISBN: 1-84095-083-8

Projects

Agrochepack, www.agrochepack.aua.gr
LabelAgriWaste, <http://labelagriwaste.aua.gr>

Institutions

Benaki Phytopathological Institute, www.bpi.gr/
APPW management systems
Pamira, <http://www.pamira.de/>
Adivalor, <http://www.adivalor.fr/>
Sigfito, <http://www.sigfito.es/>

ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑ ΜΙΑΣ ΑΝΤΛΙΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Δ. Αναστασίου και Γρ. Λαμπρινός

Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργικής Μηχανικής
Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Ιερά Οδός 75, Τ.Κ. 11855 Email: refrigenergy@aua.gr

Στην εργασία αυτή επιχειρείται μια προσπάθεια ποσοτικοποίησης και σύγκρισης του περιβαλλοντικού αποτυπώματος μιας αντλίας θερμότητας (ΑΘ) κύκλου συμπίεσης ατμών αέρα-αέρα, περιγράφοντας έτσι τον άμεσο αλλά και τον έμμεσο τρόπο συμβολής της στην ενίσχυση του Φαινομένου του Θερμοκηπίου, αναλόγως του εκάστοτε εργαζόμενου ρευστού που αυτή χρησιμοποιεί κατά τα στάδια λειτουργίας (χρήσης) & παροπλισμού της. Η συγκεκριμένη ΑΘ χρησιμοποιείται για την κάλυψη των αναγκών σε θέρμανση και δροσισμό σε ένα χοιροστάσιο-αναφορά βιομηχανικού τύπου με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά σε τρεις διαφορετικές, όσον αφορά τα κλιματικά δεδομένα, περιοχές της Ελλάδας (Φλώρινα, Χαλκίδα & Ιεράπετρα). Όσον αφορά τα ψυκτικά ρευστά, τα οποία στην ουσία αποτελούν τις τεχνολογίες σύγκρισης, αυτά επιλέχθηκαν έτσι ώστε να εκπροσωπείται σχεδόν κάθε κατηγορία συνθετικών αλογονανθράκων (R12, R22, R134a, R410A, R1234yf), ενώ τα φυσικά ψυκτικά ρευστά εκπροσωπούνται από την αμμωνία (R717). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι για τα R1234yf & R134a οι συντελεστές θερμικής συμπεριφοράς (COP_{θ}) κυμαίνονται από 1.7 (Φλώρινα) έως 3.2 (Ιεράπετρα), ενώ οι συντελεστές ψυκτικής συμπεριφοράς (COP_{ψ}) από 5.1 (Ιεράπετρα) έως 5.8 (Φλώρινα). Στο θέμα διαστασιολόγησης της μονάδας (μέγεθος συμπιεστή), καλύτερη επιλογή για τη Φλώρινα και τη Χαλκίδα αποτελεί το R1234yf ακολουθούμενο από το R134a, ενώ στην Ιεράπετρα συμβαίνει το αντίστροφο. Τέλος, όσον αφορά την ετήσια τιμή του TEWI ($TEWI_{\lambda}$), το R1234yf αποτελεί την καλύτερη επιλογή, ακολουθούμενο από το R134a.

Λέξεις κλειδιά: άμεσο, έμμεσο, ψυκτικό ρευστό, θέρμανση, δροσισμός, χοιροστάσιο, κλίμα, απόδοση

THE ENVIRONMENTAL FOOTPRINT OF A HEAT PUMP

D. Anastasiou and Gr. Lambrinos

Laboratory of Agricultural Engineering, Department of Natural Resources Management & Agricultural Engineering,
Agricultural University of Athens, 75 Iera Odos Street, GR-11855, Athens, Greece Email: refrigenergy@aua.gr

In this study is an attempt to quantify and compare the environmental footprint of an 'air-to-air' (& 'air-to-water' exclusively for ammonia) vapor compression cycle heat pump (HP), the measure of which is expressed by the environmental index TEWI, describing the direct and indirect contributing to Global Warming, depending on each individual working fluid (refrigerant) in 'use phase' & decommissioning throughout heat pump's life cycle. The analysed HP operates in (for heating/cooling) an industrial type standard swine farm of specific characteristics. The examined swine farm is considered to be located in three Greek regions corresponding to different climatic zones which are Florina, Chalkida and Ierapetra. Regarding refrigerants, which are essentially the technologies comparison, were chosen so as to be represented nearly every class of synthetic refrigerants (halocarbons) (R12, R22, R134a, R410A, R1234yf), while natural refrigerants are represented by ammonia (R717). From the conducted analysis was found that for refrigerants R1234yf & R134a the coefficients of heating performance (COP_H) rank from 1.7 (Florina) up to 3.2 (Ierapetra), while coefficients of cooling performance (COP_C) rank from 5.1 (Ierapetra) up to 5.8 (Florina). On the issue of dimensioning unit (compressor's size), R1234yf is the best choice for Florina and Halkida followed by R134a, while in Ierapetra vice versa. Finally, about the annual value of TEWI ($TEWI_{\lambda}$), R1234yf is the best choice followed by R134a.

Key words: direct, indirect, refrigerant, heating, cooling, swine farm, climate, efficiency

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες, με κυρίαρχες εκείνες τις διεργασίες που λαμβάνουν χώρα για την παραγωγή (ηλεκτρικής κυρίως) ενέργειας μέσω της καύσης ορυκτών καυσίμων προκειμένου ο άνθρωπος να καλύψει τις ανάγκες του, καθώς και η χρήση ουσιών όπως οι CFCs και οι HCFCs, έχουν ως αποτέλεσμα τόσο την εξάντληση των ορυκτών πόρων όσο και τη ρύπανση της ατμόσφαιρας. Η ατμοσφαιρική ρύπανση συνοδεύεται και από την εμφάνιση μεγάλων περιβαλλοντικών προβλημάτων, δύο εκ των οποίων είναι η Τρύπα του Οζοντος και η ενίσχυση του Φαινομένου του Θερμοκηπίου.

Αυτό που πρέπει λοιπόν να ενδιαφέρει την ανθρωπότητα δεν είναι μόνο η εξοικονόμηση

ενέργειας, η οποία βοηθά τόσο στη διατήρηση του ορυκτού πλούτου όσο και στη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που ανακύπτουν κατά τη χρήση συμβατικών τρόπων για την παραγωγή της, αλλά και η ταυτόχρονη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που δημιουργούνται από την κατανάλωση αυτής της ενέργειας στις διάφορες μηχανολογικές εφαρμογές, χωρίς αυτό να επηρεάζει την απόδοσή τους.

Πιο συγκεκριμένα, στον τομέα της θέρμανσης και του δροσισμού κλειστών χώρων, η αντλία θερμότητας (ΑΘ) με συμπίεση ατμών ψυκτικού ρευστού, που αποτελεί το πλέον χρησιμοποιούμενο είδος αντλίας θερμότητας, για να λειτουργήσει καταναλώνει ηλεκτρική ενέργεια, ενώ είναι άκρως

ψυκτικό αυτό ρευστό. Όταν το μέσο μεταφοράς θερμότητας είναι ο αέρας, τότε θεωρείται ότι για να γίνει αποτελεσματικά η μεταφορά θα πρέπει να υπάρχει μια θερμοκρασιακή διαφορά περίπου 10°C μεταξύ ρευστού και μέσου (αέρα) στον εναλλάκτη, ενώ όταν είναι υγρό (νερό), αυτή θα πρέπει να κυμαίνεται γύρω στους 7°C. Άρα, η θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ του εσωτερικού περιβάλλοντος και εξατμιστή ή συμπυκνωτή, ανάλογα με την εποχή, θα φτάνει τους 17°C περίπου στην περίπτωση της αμμωνίας (R717).

2.1.3. Ψυκτικά ρευστά

Όσον αφορά τα ψυκτικά ρευστά, τα οποία στην ουσία αποτελούν τις τεχνολογίες σύγκρισης, αυτά έχουν επιλεγεί κατάλληλα ώστε να εκπροσωπείται κάθε κατηγορία συνθετικών αλογονανθράκων και τα φυσικά ψυκτικά ρευστά που χρησιμοποιούνται στις μονάδες κλιματισμού, ειδικά στις ΑΘ. Έτσι, οι CFCs εκπροσωπούνται από το R12, οι HCFCs από το R22, οι κορεσμένοι HFCs από τα R134a και R410A, οι ακόρεστοι HFCs (HFOs) από το R1234yf, ενώ τα φυσικά ψυκτικά ρευστά (Εργαζόμενα ρευστά σταθερής κατάστασης) εκπροσωπούνται από την αμμωνία (R717). Για τις μονάδες κλιματισμού, το R410A αποτελεί σήμερα το κυρίαρχο ψυκτικό ρευστό, ως αντικαταστάτης του R22 (UNEP, 2012a), ενώ το R1234yf βρίσκεται στο τελικό στάδιο δοκιμών, προτού καταστεί κι αυτό εμπορικά διαθέσιμο (UNEP, 2012b). Θα πρέπει να αναφερθεί ότι το R12 έχει καταργηθεί, ενώ το R22 έχει μπει, βάσει διεθνών συνθηκών, σε καθεστώς σταδιακής κατάργησης και χρησιμοποιείται (όπου αυτό πλέον επιτρέπεται) μόνο σε ήδη υπάρχουσες εγκαταστάσεις (Ανώνυμος, 2013a). Γι' αυτό το λόγο στην παρούσα διατριβή εξετάζονται για λόγους σύγκρισης. Παρόλα αυτά, σύμφωνα με νέες πληροφορίες (UNEP, 2012a), το 2012 το 75% (κατά προσέγγιση) του πληθυσμού μονάδων κλιματισμού χρησιμοποιούσε ακόμη το R22, με την παγκόσμια ζήτηση για HFCs να αντιπροσωπεύεται με ένα ποσοστό της τάξης του 20% σε σχέση με τη συνολική ζήτηση. Επίσης, τα υπόλοιπα υπό εξέταση ψυκτικά ρευστά προορίζονται αποκλειστικά και μόνο για νέες εγκαταστάσεις (UNEP, 2012b).

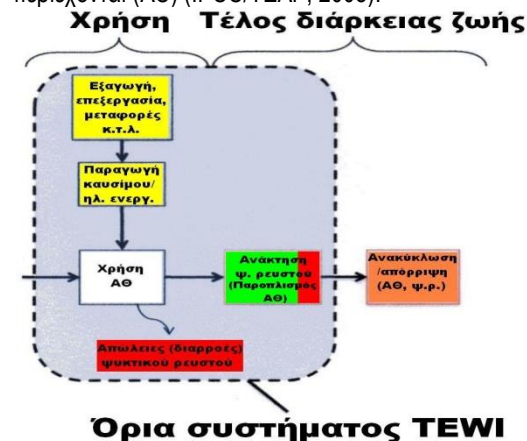
2.1.4. Λογισμικό H/Y

Για την εκπόνηση της παρούσας εργασίας χρησιμοποιήθηκαν τα λογισμικά/υπολογιστικά πακέτα MS Excel 2003, CoolPack ver. 1.5 (2012) και REFPROP ver. 9.0 (2010).

2.1.5. Αναλυτικοί περιβαλλοντικοί υπολογισμοί

Για την περίπτωση της αντλίας θερμότητας που μελετάται, ο δείκτης TEWI είναι η καταλληλότερη επιλογή για τον υπολογισμό του περιβαλλοντικού της αποτυπώματος. Κι αυτό διότι τα όρια του προς μελέτη συστήματος καλύπτονται πλήρως από τις επιδράσεις που αυτός εξετάζει ανταποκρινόμενος στο αντικείμενο διερεύνησης της παρούσας εργασίας. Στην Εικόνα 3 απεικονίζονται τα όρια του συστήματος μέσα στα οποία δρα ο δείκτης TEWI. Έτσι, κατά το στάδιο της χρήσης στο χοιροστάσιο, η έμμεση συμβολή (κίτρινα πλαίσια) προέρχεται από

τις εκπομπές CO₂ που προκλήθηκαν κατά την παραγωγή της ηλεκτρ. ενέργειας (περιλαμβάνοντας και αυτές κατά την πιθανή εξαγωγή-επεξεργασία-μεταφορά των πρώτων υλών) και οι οποίες εκφράζονται από το συντελεστή εκπομπών. Στη συνέχεια η ενέργεια αυτή καταναλώνεται, απορροφούμενη από το συμπιεστή της ΑΘ, κατά το χρονικό διάστημα που αυτή λειτουργεί. Από την άλλη πλευρά, η άμεση συμβολή (κόκκινα πλαίσια) προέρχεται από τις διαρροές ψυκτικού ρευστού κατά τη διάρκεια που η ΑΘ βρίσκεται στο χοιροστάσιο και χρησιμοποιείται, καθώς και τις απώλειες κατά το τέλος της χρήσιμης διάρκειας ζωής της (παροπλισμός), όπου το ψυκτικό ρευστό εξάγεται από αυτή (ανάκτηση), προκειμένου να αφαιρεθεί η ΑΘ από το χοιροστάσιο. Από τη στιγμή που αυτή είναι η ίδια και για τις τρεις περιοχές, οι οποιεσδήποτε είδους έμμεσες εκπομπές κατά την κατασκευή της, τη μεταφορά της, την εγκατάσταση της στο χοιροστάσιο και την απομάκρυνσή της από αυτό, εκτός από το ότι είναι πολύ μικρές σε σχέση με αυτές κατά τη χρήση, είναι ακριβώς οι ίδιες. Αντίστοιχα, όσον αφορά τα ψυκτικά ρευστά, τα ίδια ισχύουν και για τις οποιεσδήποτε άμεσες και έμμεσες εκπομπές πέρα από αυτές που εξετάζει ο δείκτης TEWI. Ειδικά για τις διαφορές των εκπομπών παρασκευής μεταξύ διαφορετικών ρευστών αυτές είναι αρκετά μικρές, γεγονός που τις ωθεί να θεωρηθούν αμελητέες, από τη στιγμή που οι εκπομπές των ρευστών είναι πάρα πολύ μικρές κατά την παρασκευή τους, σε σχέση με αυτές που παράγονται όταν αυτά χρησιμοποιούνται ή ανακτώνται από τον εξοπλισμό μέσα στον οποίο περιέχονται (ΑΘ) (IPCC/TEAP, 2005).



Εικόνα 3. Οι περιβαλλοντικές επιδράσεις της ΑΘ που εξετάζει ο δείκτης TEWI (Πηγή : SEPAMO, 2011)

Οι εξισώσεις υπολογισμού του δείκτη TEWI για την ΑΘ (συνολικά και ετήσια) έχουν ως εξής (Fischer et al., 1991; IPCC/TEAP, 2005):

$$TEWI = DE + IE = (OR + DR) + (IE_X + IE_\theta) \Rightarrow$$

$$TEWI = [(m_R GWP_R O_{LR} t) + (m_R GWP_R DL)] + [(t_{1X} t_{2X} EF t \dot{W}_\theta) + (t_{1\theta} t_{2\theta} EF t \dot{W}_\psi)] \Rightarrow$$

$$TEWI = [(m_R GWP_R O_{LR} t) + (m_R GWP_R DL)] + [(t_{1X} t_{2X} EF t \dot{Q}_\theta / COP_{\theta^{real}}) + (t_{1\theta} t_{2\theta} EF t \dot{Q}_\psi / COP_{\psi^{real}})]$$

(kgCO₂) (1)

$$TEWI_A = DE_A + IE_A = (OR_A + DR_A) + (IE_{AX} + IE_{A\theta}) = [OR_A + (DR/t)] + [IE_{AX} + IE_{A\theta}] \Rightarrow TEWI_A = [(m_R GWP_R O_{LR}) + (m_R GWP_R DL / t)] + [(t_{1X} t_{2X} EF \dot{W}_\theta) + (t_{1\theta} t_{2\theta} EF \dot{W}_\psi)] \Rightarrow TEWI_A = [(m_R GWP_R O_{LR}) + (m_R GWP_R DL / t)] + [(t_{1X} t_{2X} EF \dot{Q}_\theta / COP_{\theta}^{real}) + (t_{1\theta} t_{2\theta} EF \dot{Q}_\psi / COP_{\psi}^{real})] \text{ (kgCO}_2\text{/yr) (2)}$$

όπου:

DE, IE: η άμεση συμβολή (Direct Effect) και η έμμεση συμβολή (Indirect Effect) (kgCO₂-eq & kgCO₂ αντίστοιχα),

OR: οι ισοδύναμες άμεσες εκπομπές CO₂ κατά τη χρήση (Operational Releases) (kgCO₂-eq),

DR: οι ισοδύναμες άμεσες εκπομπές CO₂ κατά τον παροπλισμό (Decommissioning Releases) (kgCO₂-eq),

IE_X, IE_θ: η έμμεση συμβολή κατά το στάδιο χρήσης το χειμώνα και το θέρος αντίστοιχα (kgCO₂),

(Τα μεγέθη με δείκτη κεφαλαίο Α εκφράζουν τις ετήσιες τιμές των παραπάνω μεγεθών)

m_R: η μάζα του ψυκτικού ρευστού που περιέχεται στον εξοπλισμό (kg),

GWP_R: το δυναμικό παγκόσμιας υπερθέρμανσης του ψυκτ. ρευστού (kgCO₂-eq/kg),

O_{LR}: οι ετήσιες απώλειες ψυκτ. ρευστού σε ποσοστό επί τοις εκατό (Operational Loss Rate) (%/yr),

t: η συνολική διάρκεια του σταδίου χρήσης του εξοπλισμού (δηλ. της Αθ) σε έτη (yr),

DL: οι απώλειες ψυκτικού ρευστού κατά τον παροπλισμό της Αθ σε ποσοστό επί τοις εκατό (Decommissioning Losses) (%),

t_{1X}, t_{1θ}: οι ώρες λειτουργίας της Αθ ημερησίως το χειμώνα και το θέρος αντίστοιχα (h/day),

t_{2X}, t_{2θ}: οι ημέρες λειτουργίας της Αθ το χειμώνα και το θέρος αντίστοιχα κατά τη διάρκεια του έτους (days/yr),

EF: ο συντελεστής εκπομπών CO₂ για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (Emission Factor) (kgCO₂/ kWh),

W_θ, W_ψ: η ισχύς που απορροφά ο συμπιεστής για τη λειτουργία του το χειμώνα (για θέρμανση) και το θέρος (για δροσισμό) αντίστοιχα (kW),

Q_θ, Q_ψ: η θερμική-ψυκτική ισχύς της Αθ (kW) και COP_θ^{real}, COP_ψ^{real}: οι πραγματικοί συντελεστές θερμικής-ψυκτικής συμπεριφοράς.

2.2. Μεθοδολογία

Η μέθοδος που ακολουθείται για τον υπολογισμό του TEWI της εγκατεστημένης Αθ στο χοιροστάσιο αναφοράς περιλαμβάνει τρία βασικά στάδια :

1. Διερεύνηση κλιματικών συνθηκών/δεδομένων μικροπεριβάλλοντος: προσδιορίζονται οι μέσες μηνιαίες ελάχιστες/μέγιστες θερμοκρασίες χειμώνα/θέρους αντίστοιχα (δυσμενέστερες συνθήκες εξωτερικού περιβάλλοντος), καθώς και οι μέσες θερμοκρασίες που απαιτούνται για τη θερμική άνεση των χοιριδίων το χειμώνα (για θέρμανση) και το θέρος (για δροσισμό) στο εσωτερικό περιβάλλον (μικροπεριβάλλον), δηλαδή τους θαλάμους του

χοιροστασίου, με βάση την οργάνωση αλλά και τις ανάγκες του.

2. Ενεργειακοί υπολογισμοί : ποσοτικοποιούνται όλα εκείνα τα μεγέθη που οδηγούν στον υπολογισμό των πραγματικών συντελεστών θερμικής-ψυκτικής συμπεριφοράς (COP_θ^{real}, COP_ψ^{real}), καθώς και των αντίστοιχων θεωρητικών παροχών όγκου στην αναρρόφηση του συμπιεστή, η οποία βοηθά στη διαστασιολόγησή του, για κάθε περιοχή και για κάθε υποψήφιο ψυκτικό ρευστό.

3. Περιβαλλοντικοί υπολογισμοί : Λαμβάνοντας υπόψη τις απαραίτητες παραδοχές-υποθέσεις (Αναστασίου, 2012), υπολογίζονται η άμεση και η έμμεση συμβολή. Από το συνδυασμένο άθροισμά τους προκύπτει η τιμή του TEWI, η οποία μπορεί να είναι η συνολική ή η ετήσια, ανά ψυκτικό ρευστό και περιοχή.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ & ΣΧΟΛΙΑ

3.1. Εσωτερικό-Εξωτερικό περιβάλλον

Στους Πίνακες 1 και 2 δίνονται οι θερμοκρασίες εξωτερικού-εσωτερικού περιβάλλοντος (θ_{out}, θ_{in}), καθώς και οι θερμοκρασίες εξάτμισης-συμπύκνωσης (θ_e, θ_c) για κάθε περιοχή και εποχή (ανάγκες δηλαδή σε θέρμανση/δροσισμό).

Πίνακας 1. Θερμοκρασίες θ_{out}, θ_{in} και ανάλογες θερμοκρασίες θ_e, θ_c (σε °C) για κάθε περιοχή το χειμώνα (θέρμανση)

ΧΕΙΜΩΝΑΣ	θ _{out}	θ _e	θ _c	θ _{in}
Φλώρινα (RX)	-3.5	-13.5	43	33
Φλώρινα (R717)	-3.5	-13.5	50	33
Χαλκίδα (RX)	5.1	-4.9	43	33
Χαλκίδα (R717)	5.1	-4.9	50	33
Ιεράπετρα (RX)	8.5	-1.5	43	33
Ιεράπετρα (R717)	8.5	-1.5	50	33

Πίνακας 2. Θερμοκρασίες θ_{in}, θ_{out} και ανάλογες θερμοκρασίες θ_e, θ_c (σε °C) για κάθε περιοχή το θέρος (δροσισμός)

ΘΕΡΟΣ	θ _{in}	θ _e	θ _c	θ _{out}
Φλώρινα (RX)	24	14	39	29
Φλώρινα (R717)	24	7	39	29
Χαλκίδα (RX)	24	14	41	31
Χαλκίδα (R717)	24	7	41	31
Ιεράπετρα (RX)	24	14	42	32
Ιεράπετρα (R717)	24	7	42	32

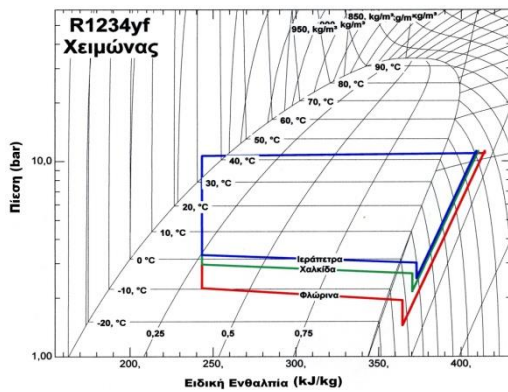
Από τις θερμοκρασίες εξωτερικού περιβάλλοντος (θ_{out}) παρατηρείται ότι η εκλογή των περιοχών, καλύπτει και δίνει μια γενική εικόνα για το εύρος θερμοκρασιών που μπορεί να απαντηθεί στην επικράτεια. Από την άλλη πλευρά, λαμβάνοντας υπόψη και την κρισιμότητα που έχει το στάδιο α' ανάπτυξης (στο οποίο τα χοιρίδια χαρακτηρίζονται από μεγάλη ευπάθεια λόγω του νεαρού της ηλικίας τους), οι επιλεχθείσες θερμοκρασίες εσωτερικού περιβάλλοντος (θ_{in}) είναι αυτές που θα προσφέρουν την απαραίτητη θερμική άνεση, ώστε να μην επηρεάζεται αρνητικά τόσο η παραγωγικότητα όσο και η ευζωία τους. Τα προβλήματα που εμφανίζονται πιο συχνά στα νεαρά χοιρίδια κατά το χειμώνα στον Ελλαδικό χώρο, και κυρίως η θνησιμότητα, οφείλονται στις χαμηλές θερμοκρασίες, στα ρεύματα

αέρα και στις μεγάλες ημερήσιες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος. Για τις θερινές συνθήκες της χώρας, τα νεαρά χοιρίδια εμφανίζουν έντονα προβλήματα θερμικής καταπόνησης, με αποτέλεσμα την ελαττωμένη κατανάλωση τροφής και το μικρότερο ρυθμό ανάπτυξης (Παπαγεωργίου, 2010; Παναγάκης, 2010). Η προσεκτική ρύθμιση της θερμοκρασίας είναι καθοριστική και με τη χρήση μιας ΑΘ μπορεί και γίνεται πραγματοποιήσιμη στα επιθυμητά κάθε φορά επίπεδα.

3.2. Ενεργειακοί υπολογισμοί

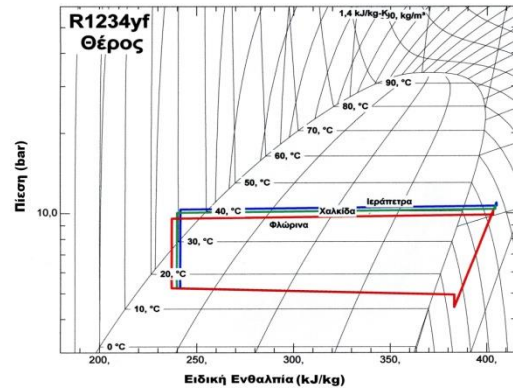
Σύμφωνα με πρόσφατες εκτιμήσεις (UNEP, 2012b), στον τομέα ψύξης και κλιματισμού ο κύκλος συμπιέσης ατμών ψυκτικού ρευστού είναι αυτός που θα κυριαρχεί και τις επόμενες δεκαετίες, αφού οι άλλου είδους τεχνολογίες παρουσιάζουν μέτρια προς καλή απόδοση (μαγνητική ψύξη, συστήματα ψύξης αποξηραντικού μέσου) ή φτωχή απόδοση (κύκλοι ρόφησης, θερμοηλεκτρική και θερμοακουστική ψύξη), σε σχέση με αυτόν. Γι' αυτό άλλωστε η ΑΘ που μελετάται ανήκει σε αυτή την κατηγορία ψυκτικών μηχανών που λειτουργούν ως συστήματα/μονάδες κλιματισμού.

Στις Εικόνες 4 και 5 απεικονίζονται οι κύκλοι του ψυκτικού ρευστού R1234yf ανά εποχή και περιοχή, στο αντίστοιχο για το R1234yf διάγραμμα P-h, ενώ ανάλογη διαδικασία ακολουθήθηκε και για τα υπόλοιπα ψυκτικά ρευστά (Refrgor, 2010).



Εικόνα 4. Ψυκτικός κύκλος σε διάγραμμα P-h του R1234yf για τις τρεις περιοχές κατά το χειμώνα

Μέσω των ψυκτικών κύκλων βρέθηκαν τα απαραίτητα θερμοδυναμικά μεγέθη ώστε να γίνουν οι απαιτούμενοι ενεργειακοί υπολογισμοί για όλα τα ψυκτικά ρευστά, μεταξύ των οποίων υπολογίστηκαν η θεωρητική παροχή όγκου στο συμπιεστή (χειμώνας- $\dot{V}_{th\chi}$, θέρος- $\dot{V}_{th\theta}$) για κάθε περιοχή και ψυκτικό ρευστό, καθώς και οι συντελεστές θερμικής και ψυκτικής συμπεριφοράς (COP_{θ}^{real} , COP_{ψ}^{real} αντίστοιχα). Οι τιμές των τελευταίων συζητούνται στην επόμενη υποενοότητα, προκειμένου να είναι οπτικά ευκολότερος ο συσχετισμός τους με τον περιβαλλοντικό δείκτη TEWI και τις συνιστώσες του.



Εικόνα 5. Ψυκτικός κύκλος σε διάγραμμα P-h του R1234yf για τις τρεις περιοχές κατά το θέρος

Όσον αφορά δε τις κρίσιμες θερμοκρασίες (Refrgor, 2010) και τη σχέση τους με τη μέγιστη θερμοκρασία του κύκλου που καλείται να εργαστεί το κάθε ψυκτικό ρευστό (θερμοκρασία στο σημείο 2 του διαγράμματος P-h), αυτή απεικονίζεται χαρακτηριστικά από το λόγο θ_2/θ_{cr} των δύο θερμοκρασιών, δηλ. της θερμοκρασίας κατάθλιψης θ_2 και της κρίσιμης θερμοκρασίας του ρευστού θ_{cr} στον Πίνακα 3. Ανεπιθύμητη είναι η κατάσταση στην οποία ο λόγος αυτός πλησιάζει σημαντικά ή και υπερβαίνει την τιμή 0.90 (Λεβέντη & Λαμπρινός, 2009).

Πίνακας 3. Λόγος θ_2/θ_{cr} για κάθε ψυκτικό ρευστό ανά περιοχή και εποχή

Ψυκτικό Ρευστό	Περιοχή	Χειμώνας	Θέρος
R12	Φλώρινα	0.76	0.55
	Χαλκίδα	0.69	0.57
	Ιεράπετρα	0.67	0.58
R22	Φλώρινα	1.08	0.71
	Χαλκίδα	0.96	0.74
	Ιεράπετρα	0.92	0.76
R134a	Φλώρινα	0.78	0.58
	Χαλκίδα	0.71	0.60
	Ιεράπετρα	0.69	0.61
R410A	Φλώρινα	1.35	0.94
	Χαλκίδα	1.24	0.98
	Ιεράπετρα	1.20	1.01
R1234yf	Φλώρινα	0.69	0.56
	Χαλκίδα	0.66	0.59
	Ιεράπετρα	0.65	0.60
R717	Φλώρινα	1.62	0.86
	Χαλκίδα	1.37	0.90
	Ιεράπετρα	1.27	0.92

Έτσι, οι χειρότερες περιπτώσεις απαντώνται και στις τρεις περιοχές, τόσο για το χειμώνα όσο και για το θέρος, κατά σειρά για τα R717, R410A και R22 με τις περιπτώσεις των R717, R410A ειδικά να ξεπερνούν κατά πολύ τη μονάδα το χειμώνα.

Η θεωρητική παροχή όγκου είναι ένα μέγεθος σημαντικό, αφού καθορίζει το μέγεθος του συμπιεστή και, περαιτέρω, της διάταξης (Πίνακας 4). Για κάθε περίπτωση, η διαστασιολόγηση γίνεται με την επιλογή της μεγαλύτερης τιμής μεταξύ χειμώνα και θέρους, έτσι ώστε να καλύπτεται και η μικρότερη.

Πίνακας 4. Διαστασιολόγηση συμπιεστή για κάθε ψυκτικό ρευστό και περιοχή

Περιοχή	Ψυκτικό Ρευστό	\dot{V}_{thX}	$\dot{V}_{th\theta}$	Διαστασιολόγηση συμπίεστη με βάση το
Φλώρινα	R12	0.100	0.033	Χειμώνα
	R22	0.051	0.020	Χειμώνα
	R134a	0.123	0.031	Χειμώνα
	R410A	0.031	0.013	Χειμώνα
	R1234yf	0.108	0.031	Χειμώνα
Χαλκίδα	R717	0.071	0.025	Χειμώνα
	R12	0.034	0.038	Θέρος
	R22	0.019	0.023	Θέρος
	R134a	0.037	0.036	Χειμώνα
	R410A	0.012	0.015	Θέρος
Ιεράπετρα	R1234yf	0.035	0.036	Θέρος
	R717	0.021	0.029	Θέρος
	R12	0.024	0.041	Θέρος
	R22	0.014	0.025	Θέρος
	R134a	0.025	0.038	Θέρος
Ιεράπετρα	R410A	0.009	0.016	Θέρος
	R1234yf	0.025	0.039	Θέρος
	R717	0.015	0.031	Θέρος

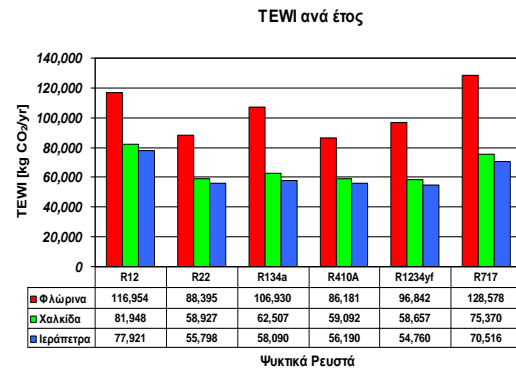
Από τη σύγκριση προκύπτει ότι η καλύτερη επιλογή είναι το R410A και για τις τρεις περιοχές, καθώς η χειρότερη για τη Φλώρινα είναι το R134a ενώ για τη Χαλκίδα και την Ιεράπετρα είναι το R12. Όμως, από τη στιγμή που λόγω κρίσιμων συνθηκών (Πίνακας 3) δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί, καθώς και τα R22, R12 & R717, καλύτερη επιλογή αποτελούν τα R1234yf & R134a.

Αν και η αμμωνία παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα (Cengel & Boles, 2003; Λεβέντη & Λαμπρινός, 2009), τα δυο μεγάλα της μειονεκτήματα, κυρίως η τοξικότητα αλλά και η διαβρωτικότητα, αναγκάζουν τη χρήση της σε εφαρμογές όπως το χοιροστάσιο-αναφορά, μόνο μέσω κυκλώματος έμμεσης ψύξης το οποίο μειώνει σημαντικά την απόδοσή της, καθιστώντας την έτσι εφαρμόσιμη μόνο για μεγάλες εγκαταστάσεις, σε βιομηχανικές περιοχές, και, εν πάσει περιπτώσει, εκτός κατοικημένων περιοχών.

3.3. Περιβαλλοντικοί υπολογισμοί

Οι υπολογισμοί που έγιναν αφορούν τις ετήσιες τιμές της άμεσης συμβολής (DE_A), της έμμεσης συμβολής (IE_A) και, επομένως του ετήσιου TEWI ($TEWI_A$). Αυτό γίνεται αφενός μεν για να υπάρχει μια πιο σαφής και συγκρίσιμη εικόνα, πράγμα που δεν απεικονίζεται ξεκάθαρα υπολογίζοντας τα αντίστοιχα μεγέθη κατά τη συνολική διάρκεια λειτουργίας (χρήσης) της ΑΘ, αφετέρου δε είναι καλύτερο να είναι γνωστές οι ετήσιες τιμές, αφού αρκετοί λόγοι μπορούν να διαφοροποιήσουν τη συνολική τιμή TEWI, όπως είναι π.χ. η αντικατάσταση της ΑΘ λόγω ζημιών ή λόγω της ύπαρξης μιας άλλης, ανταγωνιστικότερης, τεχνολογίας κατά τη διάρκεια του υποτιθέμενου σταδίου λειτουργίας, η διαφαινόμενη αλλαγή των κλιματικών συνθηκών κατά την πάροδο αυτών των ετών, η μείωση της θερμομονωτικής ικανότητας των υλικών κατασκευής του χοιροστασίου, η πτώση της ποιότητας των ψυκτικών ρευστών εάν δεν γίνονται συχνές, τουλάχιστον ετήσιες, επιθεωρήσεις και επισκευές, κ.τ.λ. Άλλωστε, εάν υπάρχει ανάγκη για τον υπολογισμό των μεγεθών αυτών για τη συνολική διάρκεια λειτουργίας ή για οποιαδήποτε άλλη χρονική περίοδο μέσα σε αυτή, αυτός προκύπτει εύκολα από το γινόμενο των ετήσιων τιμών με την

εκάστοτε επιλεγμένη χρονική περίοδο. Στην Εικόνα 6 συγκρίνεται η τιμή του TEWI ανά έτος ($TEWI_A$) ανά ψυκτικό ρευστό και περιοχή. Σε αυτή φαίνεται ότι η τιμή του είναι μεγαλύτερη στα ψυχρότερα κλίματα, ενώ μειώνεται αισθητά κατά τη μετάβαση σε θερμότερα κλίματα, γεγονός που ισχύει για όλα τα ψυκτικά ρευστά. Παρόλο που το R22 και ο αντικαταστάτης του, το R410A, αποτελούν την καλύτερη επιλογή, έχουν ήδη αποκλειστεί από την εφαρμογή τους στο χοιροστάσιο, λόγω κρίσιμων συνθηκών.



Εικόνα 6. Ετήσια τιμή TEWI ($TEWI_A$)

Στον Πίνακα 5 δίνονται τα συγκεντρωτικά ετήσια αποτελέσματα των περιβαλλοντικών υπολογισμών αλλά και των συντελεστών COP_{θ} , COP_{ψ} (ο εκθέτης γ αποτελεί συντόμηση της λέξης real), που προέκυψαν από τους ενεργειακούς υπολογισμούς ανά περιοχή, εποχή και ψυκτικό ρευστό, όπου :

DE_A : η άμεση ετήσια συμβολή ($kgCO_2/yr$),
 IE_{AX} : η έμμ. ετήσια συμβολή το χειμώνα ($kgCO_2/yr$),
 $IE_{A\theta}$: η έμμ. ετήσια συμβολή το θέρος ($kgCO_2/yr$),
 IE_A : η συνολική έμμεση ετήσια συμβολή ($kgCO_2/yr$),
 $TEWI_A$: η ετήσια τιμή του δείκτη TEWI ($kgCO_2/yr$).

Πίνακας 5. Αποτελέσματα ενεργειακών και περιβαλλοντικών υπολογισμών ανά περιοχή, εποχή και ψυκτικό ρευστό.

Ψ.Ρ.	Περιοχή	DE_A	IE_{AX}	$IE_{A\theta}$	IE_A	$TEWI_A$	COP_{θ}^{\dagger}	COP_{ψ}^{\ddagger}
R12	Φλώρινα	23,780	67,773	25,402	93,175	116,955	1.99	5.76
	Χαλκίδα	23,780	26,930	31,237	58,167	81,947	2.87	5.34
	Ιεράπετρα	23,471	20,122	34,328	54,450	77,921	3.28	5.12
R22	Φλώρινα	3,692	60,479	24,224	84,703	88,395	2.23	6.04
	Χαλκίδα	3,692	25,341	29,894	55,235	58,927	3.05	5.58
	Ιεράπετρα	3,692	19,130	32,975	52,105	55,797	3.45	5.33
R134a	Φλώρινα	2,877	78,870	25,183	104,053	106,930	1.71	5.81
	Χαλκίδα	2,877	28,626	31,005	59,631	62,508	2.70	5.38
	Ιεράπετρα	2,877	21,019	34,194	55,213	58,090	3.14	5.14
R410A	Φλώρινα	4,023	58,132	24,025	82,157	86,180	2.32	6.09
	Χαλκίδα	4,023	25,176	29,894	55,070	59,093	3.07	5.58
	Ιεράπετρα	4,023	19,130	33,037	52,167	56,190	3.45	5.32
R1234yf	Φλώρινα	7	71,738	25,097	96,835	96,842	1.88	5.83
	Χαλκίδα	7	27,702	30,947	58,649	58,656	2.79	5.39
	Ιεράπετρα	7	20,625	34,128	54,753	54,760	3.20	5.15
R717	Φλώρινα	0	94,313	34,266	128,579	128,579	1.43	4.27
	Χαλκίδα	0	33,459	41,911	75,370	75,370	2.31	3.98
	Ιεράπετρα	0	24,626	45,890	70,516	70,516	2.68	3.83

Αυτό που παρατηρείται πρωτίστως, είναι ότι σε γενικές γραμμές η έμμεση συμβολή είναι κατά πολύ μεγαλύτερη από την άμεση (>6 φορές κατά μέσο

όρο, όταν αυτή υπάρχει), εκτός και αν το ψυκτικό ρευστό διαθέτει πολύ μεγάλη τιμή GWP (όπως, π.χ., το R12 με $GWP = 10,900$), οπότε η άμεση θα συμμετέχει με αρκετά μεγαλύτερο ποσοστό στην τιμή του TEWI. Όσο μεγαλύτεροι είναι οι COP, τόσο μικρότερη είναι η ισχύς λειτουργίας του συμπιεστή, με αποτέλεσμα να είναι μικρότερη η έμμεση συμβολή, που συνεπάγεται και μικρότερη τιμή TEWI. Επίσης, ο ρόλος της άμεσης συμβολής φαίνεται από την τιμή του TEWI_A για τις περιπτώσεις του R1234yf στη Χαλκίδα και την Ιεράπετρα, όπου, λόγω της πολύ μικρής τιμής GWP που παρουσιάζει, καταφέρνει να υπερτερεί του κυρίαρχου R410A, το οποίο παρουσιάζει τους καλύτερους COP (σε αντίθεση με την αμμωνία που, αν και είναι σαν ουσία το φιλικότερο προς το περιβάλλον συγκρινόμενο ψυκτικό ρευστό με μηδενικό ODP και GWP, παρουσιάζει τους χειρότερους, λόγω του κυκλώματος έμμεσης ψύξης δίνοντας τελικώς πολύ μεγάλες τιμές TEWI_A). Για τον ίδιο λόγο (διαφορετική τιμή GWP), το R22 παρουσιάζεται να έχει μικρότερη άμεση συμβολή από το R410A, ενώ στην περίπτωση του R12 στην Ιεράπετρα, η άμεση συμβολή υπερτερεί της έμμεσης κατά το χειμώνα. Όσον αφορά την έμμεση συμβολή το χειμώνα, αυτή είναι μεγαλύτερη στα πιο ψυχρά κλίματα, ενώ η έμμεση συμβολή το θέρος υπερτερεί, αντίστοιχα, στα πιο θερμά κλίματα. Όμως, από τη στιγμή που το R410A δουλεύει σε υπερκρίσιμες συνθήκες, ενώ το R22 τις προσεγγίζει αρκετά και παράλληλα έχει μη μηδενική τιμή ODP (τελώντας υπό καθεστώς σταδιακής κατάργησης), η καταλληλότερη επιλογή τελικά είναι το R1234yf, ακολουθούμενο από το R134a.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

4.1 Ενεργειακοί υπολογισμοί

Τα ψυκτικά ρευστά R717 και R410A (τα R12 & R22 συμμετέχουν μόνο για σύγκριση) αποκλείονται από τη συγκεκριμένη εφαρμογή, διότι η αντλία θερμότητας λειτουργεί το χειμώνα σε υπερκρίσιμες συνθήκες. Τα ψυκτικά ρευστά R1234yf και R134a παρουσιάζουν COP_θ από 1.7 (Φλώρινα) έως 3.2 (Ιεράπετρα) και COP_ψ από 5.1 (Ιεράπετρα) έως 5.8 (Φλώρινα). Όσον αφορά τη θεωρητική παροχή όγκου \dot{V}_{th} (μέγεθος συμπιεστή), βάσει της οποίας γίνεται η διαστασιολόγησή του, ισχύουν για την κάθε περιοχή τα εξής : στη Φλώρινα η διαστασιολόγηση γίνεται με βάση τη θεωρητική παροχή όγκου του χειμώνα για όλα τα ψυκτικά ρευστά. Στη Χαλκίδα η διαστασιολόγηση γίνεται με βάση τη θεωρητική παροχή όγκου του θέρους για όλα τα ψυκτικά ρευστά εκτός από το R134a, του οποίου αυτή του χειμώνα είναι ελάχιστα μεγαλύτερη από αυτή του θέρους. Και στις δυο περιοχές το R1234yf αποτελεί την καλύτερη επιλογή, ενώ ακολουθεί το R134a. Στην Ιεράπετρα η διαστασιολόγηση γίνεται με βάση τη θεωρητική παροχή όγκου του θέρους για όλα τα ψυκτικά ρευστά. Το R134a αποτελεί την καλύτερη επιλογή, ενώ ακολουθεί το R1234yf. Το μέγεθος του συμπιεστή μεταξύ Φλώρινας και Ιεράπετρας μπορεί να είναι υπερτριπλάσιο.

4.2 Περιβαλλοντικοί υπολογισμοί

Όσον αφορά και την άμεση ετήσια συμβολή (DE_A) και την έμμεση ετήσια συμβολή (IE_A), δηλαδή την ετήσια τιμή του TEWI (TEWI_A), η καλύτερη επιλογή είναι το R1234yf, ακολουθούμενο από το R134a. Η έμμεση συμβολή στην καταστροφή του περιβάλλοντος είναι 6 και πλέον φορές μεγαλύτερη από την άμεση (όταν αυτή υπάρχει), ενώ στη Φλώρινα είναι σχεδόν διπλάσια απ' ότι στην Ιεράπετρα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Cengel, Y.A. and Boles, M.A., 2003. *Θερμοδυναμική για Μηχανικούς, 3^η Έκδοση, Τόμος Β* (Π.Ε. Τσιακάρας, Μπφρ.). Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, σ. 673.
- CoolPack, 2012 : Skovrup M.J., Jakobsen A., Rasmussen, B.D. and Andersen, S.E. *CoolPack~Version 1,50*. Technical University of Denmark, Department of Energy Engineering, Building 402, DK-2800 Lyngby.
- Fischer, S.K., Hughes, P.J., Fairchild, P.D. (Oak Ridge National Laboratory), Kusik, C.L., Dieckmann, J.T., McMahon, E.M. and Hobday, N. (Arthur D. Little, Inc.), 1991. *Energy and Global Warming Impacts of CFC Alternative Technologies*. Sponsored by : Alternative Fluorocarbons Environmental Acceptability Study (AFEAS) & U.S. Department of Energy (DOE), Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee, USA, 520 p.
- IPCC/TEAP, 2005 : Metz, B., Kuijpers, L., Solomon, S., Andersen, S.O., Davidson, O., Pons, J., Jager, D., Kestin, T., Manning, M. and Meyer, L., (Eds). *Safeguarding the Ozone Layer and the Global Climate System : Issues Related to Hydrofluorocarbons and Perfluorocarbons*. Cambridge University Press, UK, 478 p.
- Refprop, 2010 : Lemmon, E.W., Huber, M.L. and McLinden, M.O. *NIST Standard Reference Database 23 : Reference Fluid Thermodynamic and Transport Properties-REFPROP, Version 9.0*. National Institute of Standards and Technology, Standard Reference Data Program, Gaithersburg, USA, 2010.
- SEPEMO, 2011 : SEasonal PErformance factor and MOonitoring for heat pump systems in the building sector (SEPEMO-build). Zottl, A., Lindahl, M., Nordman, R., Riviere, P. and Miara, M. *Evaluation method for comparison of heat pump systems with conventional heating systems-D4.3 Concept for evaluation of CO₂-reduction potential*. Supported by the 'Intelligent Energy-Europe' (IEE) Programme, European Commission, 21 p.
- UNEP, 2012a. *May 2012 Report of the Technology and Economic Assessment Panel (TEAP), Volume 1 : Progress Report*. United Nations Environment Programme (UNEP), Ozone Secretariat, Nairobi, Kenya, 222 p.
- UNEP, 2012b. *May 2012 Report of the Technology and Economic Assessment Panel (TEAP), Volume 2 : Decision XXIII/9 Task Force Report-Additional Information on Alternatives to Ozone-Depleting*

- Substances. United Nations Environment Programme (UNEP), Ozone Secretariat, Nairobi, Kenya, 96 p.
- Αναστασίου, Δ., 2012. *Το Περιβαλλοντικό Αποτύπωμα Αντλίας Θερμότητας Γεωργικής Χρήσης : Μεθοδολογία και Εκτίμηση για Ελληνικές Συνθήκες*. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργικής Μηχανικής, Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, σ. 150.
- Αναστασίου Δ. και Λαμπρινός Γρ., 2013: Σημασία του δείκτη συνολικής ισοδύναμης επίδρασης στην παγκόσμια θέρμανση και το περιβαλλοντικό αποτύπωμα μιας αγροτικής διεργασίας, Πρακτικά 8ου Πανελληνίου Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής Ελλάδας, Βόλος.
- Ανώνυμος, 2013α.
<http://www.heatpumpcentre.org/en/aboutheatpumps/heatpumpworkingfluids/Sidor/default.aspx>
- Ανώνυμος, 2013β.
http://www.boulder.nist.gov/div838/theory/refprop/Frequently_asked_questions.htm#HFC1234yf
- Λεβέντη, Α. και Λαμπρινός, Γρ., 2009. *Νέα κριτήρια και μέθοδος επιλογής Ψυκτικών Ρευστών για Κλιματισμό*. Πρακτικά 6ου Εθνικού Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής, 8-10 Οκτωβρίου 2009, Θεσσαλονίκη, σ. 729-736.
- Παναγάκης, Π., 2010. *ΧΟΙΡΟΣΤΑΣΙΑ : Τεχνητό Περιβάλλον-Σχεδιασμός & Οργάνωση Χώρων-Κατασκευές & Εξοπλισμός*. Αδημοσίευτες Ηλεκτρονικές Σημειώσεις, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργικής Μηχανικής, Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών, σ. 149.
- Παπαγεωργίου, Ι.Φ., 2010. *Χρήση Αντλίας Θερμότητας για Κλιματισμό Χοιροστασίου αξιοποιώντας τη Γεωθερμία*. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργικής Μηχανικής, Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, σ. 127.
- Παπαγεωργίου, Ι.Φ. και Λαμπρινός, Γ., 2011α. *Κλιματισμός Χοιροστασίου με Γεωβοηθούμενη Αντλία Θερμότητας*. Πρακτικά 7ου Εθνικού Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής, 24-27 Νοεμβρίου 2011, Αθηνά (Γ.Π.Α.), Κωδικός εργασίας : 4.3.
- Παπαγεωργίου, Ι.Φ. και Λαμπρινός, Γ., 2011β. *Σχεδιασμός, διαστασιολόγηση και κοστολόγηση Γεωεναλλάκτη Αντλίας Θερμότητας για Κλιματισμό Αγροτικών Κτηρίων*. Πρακτικά 7ου Εθνικού Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής, 24-27 Νοεμβρίου 2011, Αθηνά (Γ.Π.Α.), Κωδικός εργασίας : 4.4.
- ΤΟΤΕΕ, 2010 : Τεχνική Οδηγία Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας 20701-3/2010. *Κλιματικά Δεδομένα Ελληνικών Περιοχών*. Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής, (Υ.Π.Ε.Κ.Α.), Ειδική Γραμματεία Επιθεώρησης Περιβάλλοντος και Ενέργειας, Ειδική Υπηρεσία Επιθεωρητών Ενέργειας, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, Αθήνα, σ. 78.

ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΚΑΙ ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑ ΜΙΑΣ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑΣ

Δ. Αναστασίου και Γρ. Λαμπρινός

Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργικής Μηχανικής
Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Ιερά Οδός 75, Τ.Κ. 11855, Αθήνα, e-mail: refrigenergy@aua.gr

Το Ανθρωπογενές Φαινόμενο του Θερμοκηπίου (ελεγχόμενο από το Πρωτόκολλο του Κιότο) αποτελεί το μεγαλύτερο περιβαλλοντικό πρόβλημα, ακολουθούμενο από την Τρύπα του Όζοντος (που ελέγχεται από το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ). Ο όρος 'περιβαλλοντικό αποτύπωμα' έχει επικρατήσει να σημαίνει το σύνολο των εκπομπών CO₂ και των άλλων αερίων του θερμοκηπίου λόγω ανθρωπογενών δραστηριοτήτων. Η 'Συνολική Ισοδύναμη Επίδραση στην Παγκόσμια Θέρμανση', ΣΙΕΠΘ (Total Equivalent Warming Impact, TEWI) αποτελεί μια προσέγγιση για τον υπολογισμό του αποτυπώματος, η οποία έχει περιορισμένο πεδίο εφαρμογής, αφού ασχολείται με την επίδραση που ασκούν στην ενίσχυση του Φαινομένου του Θερμοκηπίου εργαζόμενα ρευστά που ανήκουν στα θερμοκηπιακά αέρια και τα οποία συμμετέχουν σε συγκεκριμένα στάδια του κύκλου ζωής του εξοπλισμού που περιέχονται ή όλης της διαδικασίας. Η επίδραση αυτή μπορεί να είναι άμεση (απευθείας εκπομπή) αλλά και έμμεση, λόγω των εκπεμπομένων ποσοτήτων CO₂ κατά τη διαδικασία παραγωγής της ενέργειας που τροφοδοτεί τον εξοπλισμό ή απορροφάται από μια διαδικασία. Ο περιβαλλοντικός δείκτης TEWI καθίσταται χρήσιμο εργαλείο αξιολόγησης και σύγκρισης διαφόρων τεχνολογιών. Ειδικά σε εφαρμογές κλιματισμού, ξήρανσης, ανάκτησης ή αναβάθμισης θερμικής ενέργειας, που ενδιαφέρουν σήμερα σημαντικά την αγροτοβιομηχανία, μπορούν να συγκριθούν και τεχνολογίες που χρησιμοποιούν συμβατικές ενεργειακές πηγές (π.χ. πετρέλαιο, άνθρακας), ενώ ο δείκτης μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την ελαχιστοποίηση των κλιματικών επιπτώσεων που παρουσιάζουν οι ήδη υπάρχουσες ή εγκατεστημένες τεχνολογίες. Φυσικά ο δείκτης TEWI καθίσταται ιδιαίτερα πολύτιμος κατά την κατασκευή ή ανακαίνιση αγροτοβιομηχανικών κτηρίων, διευκολύνοντας και στην επιλογή του τρόπου θέρμανσης/δροσισμού τους. Ωστόσο, τόσο η προσέγγιση TEWI όσο και η βελτιωμένη μέθοδος LCCP (Life Cycle Climate Performance) εξετάζουν μόνο την κλιματική επίδραση. Υπάρχει όμως και η ευρύτερη μέθοδος LCA (Life Cycle Assessment), αφού περιλαμβάνει τις περιβαλλοντικές επιδράσεις και των υπολοίπων εισροών-εκροών του συστήματος, πλέον εκείνων που συνδέονται με την καταναλούμενη ενέργεια από την διεργασία.

Λέξεις κλειδιά: Φαινόμενο του Θερμοκηπίου, Κλιματική Αλλαγή, Εργαζόμενα ρευστά, Περιβαλλοντικό αποτύπωμα.

IMPORTANCE OF THE TEWI (TOTAL EQUIVALENT WARMING IMPACT) INDEX AND THE ENVIRONMENTAL FOOTPRINT OF A RURAL PROCESS

Dimitrios Anastasiou and Gregory Lambrinos

Laboratory of Agricultural Engineering, Department of Natural Resources Management & Agricultural Engineering
Agricultural University of Athens, 75 Iera Odos Street, GR-11855, Athens, Greece, e-mail: refrigenergy@aua.gr

The enhanced Greenhouse Effect (controlled by the Kyoto Protocol) is the largest environmental problem, followed by the Ozone Hole (controlled by the Montreal Protocol). The term 'environmental footprint' has prevailed mean the total emissions of CO₂ and other greenhouse gases caused by human activities. 'Total Equivalent Warming Impact (TEWI)' is an approach to calculate the footprint, which is limited in scope, since it deals with the influence of fluids belong to greenhouse gases at specific stages of the life cycle of the equipment contained or process involved. This can be direct (direct effect) and indirectly (indirect effect) because of the amount of CO₂ emitted during the production of energy supplying the equipment or absorbed by a process. The environmental index TEWI becomes useful tool for assessing and comparing different technologies. Especially in air conditioning, drying, saving or upgrading thermal energy agro-industrial applications, there can also be compared technologies that use conventional energy sources (e.g. oil, coal) and can be used to minimize climate impacts posed by existing or established technologies. Consists especially valuable during the construction or renovation of buildings, facilitating the choice of their heating/cooling. However, both the approaches of TEWI and the improved LCCP (Life Cycle Climate Performance) approach consider only the climate impact. LCA (Life Cycle Assessment) is the broadest approach, since it includes the environmental effects of the other system inputs-outputs, in addition to those associated with energy.

Key words: Greenhouse Effect, Climate Change, Worked fluid, Environmental footprint.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Αυτό που με μια λέξη είναι γνωστό ως περιβάλλον, αποτελείται κατ' ουσία από το φυσικό περιβάλλον και το δομημένο περιβάλλον. Το πρώτο αποτελείται από το σύνολο των ζωντανών οργανισμών και της άβιας ύλης που βρίσκονται με

φυσικό τρόπο πάνω στη Γη, ενώ στο δεύτερο συγκαταλέγονται όλες εκείνες οι γεωγραφικές περιοχές του πλανήτη που δέχονται σημαντική επιρροή από τον άνθρωπο, ως αποτέλεσμα των δραστηριοτήτων του.

Τα σημεία, οι περιοχές, κ.λ.π., από τα οποία εκπέμπονται ρύποι ονομάζονται πηγές (sources) και, ανάλογα με το αν οφείλονται στην ανθρώπινη δραστηριότητα ή όχι, διακρίνονται σε ανθρωπογενείς (anthropogenic) και φυσικές (natural) πηγές. Οι τελευταίες, λόγω της καλής διασποράς τους, δεν παρουσιάζουν σε μικρές γεωγραφικές περιοχές (π.χ. αστικές περιοχές και βιομηχανικές ζώνες) υψηλές συγκεντρώσεις, σε πλήρη αντίθεση με τις ανθρωπογενείς, οι συγκεντρώσεις των οποίων έχουν δημιουργήσει μεγάλα εντοπισμένα περιβαλλοντικά προβλήματα.

Γενικά, υπάρχουν επτά βασικές ομάδες ρύπων που προκαλούν ατμοσφαιρική ρύπανση, όπως: 1) ενώσεις που περιέχουν άνθρακα όπως CO₂, CO, υδρογονάνθρακες (HCs), τα παράγωγά τους και λοιπές πτητικές οργανικές ενώσεις (Volatile Organic Compounds, VOCs), 2) αζωτούχες ενώσεις όπως N₂O, NO_x, και αμμωνία (NH₃), 3) θειούχες ενώσεις όπως SO_x και υδρόθειο (H₂S), 4) αλογονούχες ενώσεις στις οποίες, συμπεριλαμβάνονται και οι τεχνητώς παρασκευαζόμενοι αλογονάνθρακες (halocarbons), 5) φωτοχημικά οξειδωτικά, τα οποία προκύπτουν από τις αντιδράσεις ενεργών οργανικών ουσιών και NO_x παρουσία ηλιακού φωτός, με κυριότερο από αυτά το όζον (O₃), 6) σωματιδιακοί ρύποι και αερολύματα και τέλος 7) διάφοροι τοξικοί και επικίνδυνοι ρύποι (π.χ. εξαχλωροβενζόλιο, υδράργυρος, μόλυβδος κ.ά.). Πρωτογενείς ονομάζονται οι ρύποι που εκπέμπονται απευθείας από την πηγή στην ατμόσφαιρα (π.χ. CO, NO_x, SO_x, VOCs κ.ά.), ενώ οι δευτερογενείς σχηματίζονται μέσα σε αυτή, ως αποτέλεσμα χημικού μετασχηματισμού από τους πρωτογενείς (π.χ. SO₃, O₃, θειικό αμμώνιο κ.ά.) (Καλλία & Σαμαρά, 2007; Γεντεκάκης, 2010).

Σήμερα, τα κυριότερα φαινόμενα ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι το ενισχυμένο Φαινόμενο του Θερμοκηπίου, λόγω της (ανθρωπογενούς) αύξησης των συγκεντρώσεων των θερμοκηπιακών αερίων, η Τρύπα του Όζοντος, λόγω της μείωσης των συγκεντρώσεων αυτού στη στρατόσφαιρα, η όξινη βροχή, καθώς και οι δύο κατηγορίες νέφους ρύπανσης όπως, η καπνομίχλη και το φωτοχημικό νέφος. Η σημαντικότερη επίπτωση των παραπάνω φαινομένων είναι η αλλαγή του παγκόσμιου κλίματος προς το χειρότερο.

Η αλλαγή του παγκόσμιου κλίματος μπορεί να οφείλεται τόσο σε φυσικές διεργασίες, όσο και σε ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Μάλιστα, η UNFCCC παρουσιάζει την **κλιματική αλλαγή** ως την πιθανή μεταβολή στο κλίμα που οφείλεται άμεσα ή έμμεσα σε ανθρωπίνες δραστηριότητες, διακρίνοντας τον όρο από τη **φυσική μεταβλητότητα**, η οποία έχει μόνο φυσικά αίτια (IPCC, 2007a).

Κύρια επίπτωση της κλιματικής αλλαγής είναι η τάση αύξησης της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας, η οποία οφείλεται κυρίως στην ανθρωπογενή αύξηση των συγκεντρώσεων κάποιων εκ των αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα (και ειδικότερα του CO₂). Εκτός του CO₂, τα υπόλοιπα αέρια του

θερμοκηπίου που συμμετέχουν στην ενίσχυση του φαινομένου είναι τα CH₄, N₂O, SF₆, NF₃ καθώς και οι PFCs & HFCs.

Από τα παραπάνω, εύκολα γίνεται αντιληπτό ότι το **Φαινόμενο του Θερμοκηπίου** αποτελεί, χωρίς καμμία αμφιβολία, το μεγαλύτερο σύγχρονο περιβαλλοντικό πρόβλημα, ακολουθούμενο πλέον από την **Τρύπα του Όζοντος**.

Το όζον αποτελεί μια τριατομική μορφή του οξυγόνου και απαντάται τόσο στη στρατόσφαιρα όσο και στην τροπόσφαιρα. Το **στρατοσφαιρικό όζον** αποτελεί το 90% του συνολικού όζοντος της ατμόσφαιρας, βρίσκεται σε μια διαρκή δυναμική ισορροπία μεταξύ της αντίδρασης σχηματισμού και της αντίδρασης διάσπασής του, αποτελεί δε προστατευτική ασπίδα για τα έμβια όντα, απορροφώντας μεγάλο μέρος της υπεριώδους (UV) ηλιακής ακτινοβολίας (καλό όζον). Η ισορροπία αυτή διαταράσσεται όταν εισέρχονται στη στρατόσφαιρα ουσίες χημικά σταθερές, που μπορούν να αποσπάσουν ένα άτομο οξυγόνου από το όζον όπως είναι το NO, κυρίως όμως το άτομο του χλωρίου των χλωροφθορανθράκων (CFCs) και των υδρογονοχλωροφθορανθράκων (HCFCs). Το μέτρο της επίδρασης αυτών των ουσιών στην καταστροφή του στρατοσφαιρικού όζοντος εκφράζεται από το Δυναμικό Ελάττωσης του Όζοντος (Ozone Depletion Potential, **ODP**), έναν δείκτη ο οποίος ορίζεται από το λόγο της επίδρασης μίας χημικής ουσίας στο όζον, σε σύγκριση με την επίδραση που έχει μια ίση σε μάζα ποσότητα της ουσίας αναφοράς, που είναι το CFC-11. Το 1991 άρχισε η παρασκευή των υδρογονοφθορανθράκων (HFCs) προκειμένου να υποκαταστήσουν τα CFCs και HCFCs, αφού οι νέες αυτές ουσίες δεν περιέχουν στο μόριό τους χλώριο και έτσι θεωρούνται ακίνδυνες για το στρατοσφαιρικό όζον. Από την άλλη πλευρά, το **τροποσφαιρικό όζον** αποτελεί το υπόλοιπο 10% του ατμοσφαιρικού όζοντος, ανήκει στα αέρια του θερμοκηπίου και είναι ο κυριότερος δευτερογενής ρύπος-αφού συμμετέχει στο φωτοχημικό φαινόμενο-προκαλώντας προβλήματα όχι μόνο στον άνθρωπο, αλλά και στη χλωρίδα και την πανίδα (κακό όζον) (Καλλία & Σαμαρά, 2007; Ζάνης, 2008; Γεντεκάκης, 2010).

Το Φαινόμενο του Θερμοκηπίου υπήρχε ανέκαθεν και δεν είναι επιβλαβές. Τουναντίον, είναι ουσιώδες και απαραίτητο για τη ζωή πάνω στη Γη. Το ανησυχητικό είναι η 'ενίσχυση' του φαινομένου λόγω της αύξησης των συγκεντρώσεων κάποιων εκ των θερμοκηπιακών αερίων εξαιτίας ανθρωπίνων δραστηριοτήτων, γεγονός που οδηγεί στην περαιτέρω θέρμανση (υπερθέρμανση) του πλανήτη. Το CO₂ είναι το θερμοκηπιακό αέριο που συμμετέχει κυρίως στο σύνολο της ενίσχυσης του Φαινομένου του Θερμοκηπίου (κατά 50-60% περίπου) ενώ ακολουθεί το CH₄ (20-30% περίπου). Επίσης, δεν πρέπει να ξεχνάμε και το άλλο βασικό αέριο του θερμοκηπίου πέραν του CO₂, τους υδρατμούς (H₂O), οι συγκεντρώσεις των οποίων επηρεάζονται σε μικρότερο βαθμό από την ανθρώπινη παρέμβαση, οι οποίοι όμως συμμετέχουν σημαντικά στον φυσικό

μηχανισμό του φαινομένου, όχι όμως και στην ενίσχυσή του (Μελάς κ.ά., 2000; Σκορδούλης & Σωτηράκου, 2005; Παπαγιάννης, 2005; IPCC, 2007b; IPCC, 2007c).

Παρομοίως με τον δείκτη ODP, ορίζεται και ο δείκτης 'δυναμικού συμβολής στο Φαινόμενο του Θερμοκηπίου (ή, στην Παγκόσμια Θέρμανση)' (Global Warming Potential, **GWP**), σύμφωνα με τον οποίο τα θερμοκηπιακά αέρια κατατάσσονται σε μια κλίμακα αναλόγως με την ανά μονάδα μάζας επίδραση που ασκούν στην ενίσχυση του φαινομένου. Πιο συγκεκριμένα, ως GWP ενός αερίου ορίζεται η δυνατότητα 1kg του αερίου να συνεισφέρει στην ενίσχυση του φαινομένου, σε σύγκριση με εκείνη που εμφανίζει 1kg του αερίου αναφοράς, που καθιερώθηκε να είναι το CO₂ (IPCC, 2007c; Γεντεκάκης, 2010).

Οι σημαντικότερες (πιθανές) επιπτώσεις του ενισχυμένου Φαινομένου του Θερμοκηπίου είναι: 1) Η αύξηση της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας, η οποία θα επηρεάσει δυσμενώς όλα τα οικοσυστήματα, 2) η αύξηση της συχνότητας εμφάνισης φαινομένων ξηρασίας και υποβάθμισης εδαφών, καθώς και ακραίων καιρικών συνθηκών, 3) η τήξη των πάγων στους Πόλους, με αποτέλεσμα την άνοδο της στάθμης των θαλασσών, 4) μετακίνηση των ζωνών βροχοπτώσεων από τον Ισημερινό προς βορρά, ερημοποίηση του κάτω τμήματος της εύκρατης ζώνης ανάμεσα στον 20° και 40° παράλληλο, και πίεση στους υδάτινους πόρους αρκετών περιοχών, και 5) αύξηση εντόμων και παρασίτων, γεγονός που βοηθά και στην εξάπλωση μολυσματικών ασθενειών. Ωστόσο, υπάρχουν και κάποια σενάρια ευνοϊκών επιπτώσεων, όπως η μείωση της κατανάλωσης καυσίμων και η αύξηση της αγροτικής παραγωγής (Σκορδούλης & Σωτηράκου, 2005; Καλλία & Σαμαρά, 2007).

Σκοπός λοιπόν της παρούσης εργασίας είναι να διερευνηθούν μέθοδοι που μπορούν να συνδράμουν, έστω και μερικώς, στην ελαχιστοποίηση των εκπομπών των (ανθρωπογενών) αερίων του θερμοκηπίου από διάφορες μηχανές ή διεργασίες, αναδεικνύοντας νέες τεχνολογίες ή βελτιώνοντας τις ήδη υπάρχουσες και οι οποίες βρίσκουν εφαρμογή στον αγροτικό χώρο (αγροτικές και αγροτοβιομηχανικές κτηριακές εγκαταστάσεις και διεργασίες).

2. ΣΥΜΒΑΣΕΙΣ-ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ & ΔΡΑΣΕΙΣ

Έπρεπε να παρέλθουν 163 χρόνια από τότε που ο Fourier (1824) περιέγραψε για πρώτη φορά αυτό που είναι γνωστό σήμερα ως Φαινόμενο του Θερμοκηπίου, μέχρι το 1987, μια χρονιά ορόσημο για το περιβάλλον (υπογραφή του Πρωτοκόλλου του Μόντρεαλ), αφού αποτέλεσε την πρώτη συγκροτημένη προσπάθεια πολλών κρατών για την προστασία του περιβάλλοντος, με διοργανωτή τον ΟΗΕ (Δημητριάδης, 2011). Τη διάσκεψη του Μόντρεαλ διαδέχθηκε αυτή του Τορόντο το 1988. Την ίδια χρονιά ιδρύεται η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (Intergovernmental Panel On Climate Change, IPCC), ένα διεπιστημονικό και

διακυβερνητικό σώμα στο οποίο ανατέθηκε η αξιολόγηση, μέσω ειδικών εκθέσεων (Assessment Reports, AR), των κινδύνων της αλλαγής του κλίματος που προκαλούνται από τις ανθρωπίνες δραστηριότητες. Το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ υπήρξε αποτέλεσμα της ανακάλυψης της Τρύπας του Όζοντος στην Ανταρκτική το 1985. Οι κυβερνήσεις που έλαβαν μέρος στη διάσκεψη, αναγνώρισαν την ανάγκη λήψης μέτρων για την περιστολή της παραγωγής και της κατανάλωσης ουσιών που ελαττώνουν τις συγκεντρώσεις του στρατοσφαιρικού όζοντος, όπως οι CFCs και οι HCFCs αργότερα, βάσει ενός χρονοδιαγράμματος εξαλειψής το οποίο θα μπορούσε να αναθεωρείται και τροποποιείται ανάλογα με τις περιοδικές επιστημονικές & τεχνολογικές εξελίξεις. Το 2007 οι στόχοι του πρωτοκόλλου, όπως αυτό είχε διαμορφωθεί από το 1997, είχαν επιτευχθεί κατά το 95%, ποσοστό που το καθιστά, 26 χρόνια μετά, το πιο επιτυχημένο εγχείρημα όσον αφορά τα περιβαλλοντικά ζητήματα (Δημητριάδης, 2011).

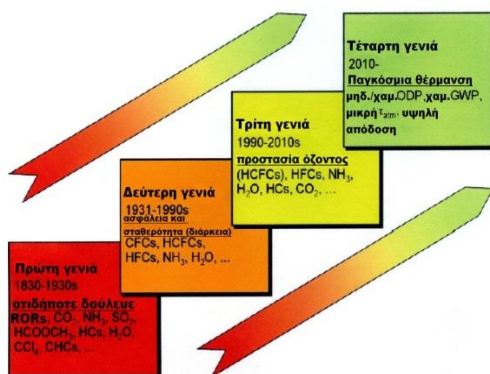
Η πρώτη διάσκεψη που αφορούσε το πρόβλημα της Κλιματικής Αλλαγής πραγματοποιήθηκε από τα Ηνωμένα Έθνη το 1992 στη Νέα Υόρκη και κατέληξε στην υπογραφή ενός κειμένου, κατά το ίδιο έτος στο Ρίο από 154 χώρες, που ονομάστηκε Σύμβαση-Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή (UNFCCC) και άρχισε να ισχύει το 1994. Έτσι, ξεκίνησαν οι διασκέψεις (COPs) με σκοπό τη μελέτη των δεδομένων που θα είχαν τα συμβαλλόμενα μέρη στα χέρια τους, που οδήγησαν αρχικά στην έγκριση του Πρωτοκόλλου του Κιότο το 1997, καθώς και στις αναθεωρήσεις αυτού μέχρι και σήμερα.

Το Πρωτόκολλο του Κιότο υιοθετήθηκε από 37 βιομηχανοποιημένες χώρες, τέθηκε δε σε ισχύ στις 16 Φεβρουαρίου 2005. παρέμβασης) για 37 βιομηχανοποιημένες χώρες καθώς και για την Ευρωπαϊκή Ένωση, αποτελώντας έναν 'οδικό χάρτη', στον οποίο περιλαμβάνονται τα απαραίτητα βήματα για τη μακροπρόθεσμη αντιμετώπιση της. Τα κράτη που το έχουν συνυπογράψει δεσμεύονται να ελαττώσουν τις εκπομπές των έξι θερμοκηπιακών αερίων κατά 5% σε σχέση με αυτές του 1990 στην πρώτη δεσμευτική περίοδο (2008-2012), και κατά 18% στη δεύτερη δεσμευτική περίοδο (2013-2020), συμπεριλαμβάνοντας όμως και το NF₃. Αναγνωρίζεται ότι κύριοι υπεύθυνοι για τα υψηλά επίπεδα εκπομπών είναι οι αναπτυσσόμενες χώρες (αποτέλεσμα της βιομηχανικής τους δραστηριότητας για περισσότερα από 150 χρόνια), όπως και η Σύμβαση-Πλαίσιο, λόγος για τον οποίο το πρωτόκολλο τοποθετεί ένα βαρύτερο φορτίο στα αναπτυσσόμενα κράτη κάτω από την αρχή 'κοινές αλλά διαφοροποιημένες ευθύνες'. Ωστόσο, το Δεκέμβριο του 2008 το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο ενέκρινε μια πιο αυστηρή δέσμη μέτρων, η οποία έγινε νόμος τον Ιούνιο του 2009. Το πακέτο αυτό προτάσεων (ή 'οδηγία 20-20-20'), θέτει στόχους στην Ευρωπαϊκή Ένωση για το έτος 2020 (με έτος βάσης το 1990): α) Μείωση των εκπομπών των γνωστών αερίων του θερμοκηπίου κατά τουλάχιστον 20% κάτω από τα

επίπεδα του 1990, β) Μείωση κατά 20% της κατανάλωσης ενέργειας της Ε.Ε. να προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές και γ) Μείωση κατά 20% στη χρήση πρωτογενούς ενέργειας σε σύγκριση με τα προβλεπόμενα επίπεδα, μέσω της βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης.

3. ΜΗΧΑΝΕΣ, ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ & ΕΡΓΑΖΟΜΕΝΑ ΡΕΥΣΤΑ

Οι θερμικές μηχανές λειτουργώντας σε θερμοδυναμικό κύκλο, απορροφούν θερμότητα από ένα θερμοδοχείο, μετατρέπουν ένα μέρος της σε μηχανικό έργο (το οποίο είναι και η απαστολή τους), ενώ αποβάλλουν το υπόλοιπο αυτής σε ένα ψυχοδοχείο. Η διεργασία πραγματοποιείται παρουσία κάποιου ρευστού το οποίο ονομάζεται 'εργαζόμενο ρευστό' και παίζει το ρόλο του υλικού φορέα της θερμότητας. Η αντίστροφη διεργασία, δηλαδή η μεταφορά θερμότητας από ένα μέσο χαμηλής θερμοκρασίας (ψυχοδοχείο) σε ένα μέσο υψηλής θερμοκρασίας (θερμοδοχείο), προκειμένου το μέσο αυτό να διατηρηθεί σε θερμοκρασία μικρότερη από αυτή του θερμότερου περιβάλλοντος, ονομάζεται ψύξη και, απαιτεί για την πραγματοποίησή της τη δαπάνη μηχανικής ενέργειας. Η πιο συνηθισμένη μέθοδος ψύξης είναι αυτή της ατμοποίησης κάποιου υγρού (εργαζόμενο ρευστό) το οποίο και εδώ παίζει τον ρόλο του υλικού φορέα της θερμικής ενέργειας, αλλά κατά την αντίστροφη φορά. Η ιστορική εξέλιξη των εργαζομένων ρευστών σε θερμικές και ψυκτικές μηχανές περιλαμβάνει τέσσερις γενιές, οι οποίες παρουσιάζονται στο Σχήμα 1.



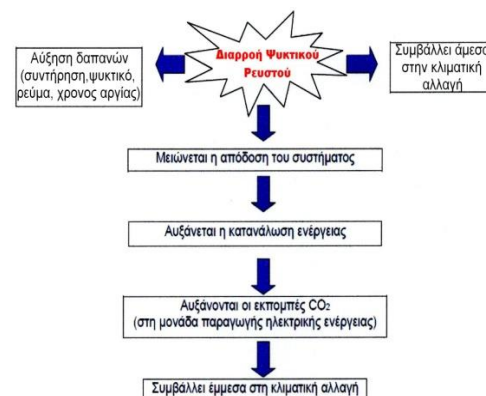
Σχήμα 1. Εξέλιξη των ψυκτικών ρευστών (Πηγή : Calm, 2008)

Σήμερα (τέταρτη γενιά), η επικρατούσα τάση προτάσσει τη χρήση και την παραγωγή εργαζομένων φυσικών ρευστών και γενικά ουσιών οι οποίες να συμβάλουν πρωτίστως, κατά το ελάχιστο στην περαιτέρω ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου και την επακόλουθη υπερθέρμανση του πλανήτη, ενώ θεωρείται δεδομένη η μη συμμετοχή τους στο φαινόμενο ελάττωσης των συγκεντρώσεων του όζοντος στη στρατόσφαιρα (μηδενικό ή αμελητέο ODP, χαμηλό GWP).

Όπως αναφέρθηκε, το δυναμικό παγκόσμιας υπερθέρμανσης (GWP) αποτελεί ένα δείκτη της συμβολής των αερίων του θερμοκηπίου στην

ενίσχυση του φαινομένου (σε σύγκριση με το βασικό θερμοκηπιακό αέριο, το CO₂). Στην ουσία, ο δείκτης αυτός επιτρέπει τη μετατροπή των χημικών εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου σε ισοδύναμες εκπομπές CO₂, υπάρχοντας έτσι μια κοινή βάση που να επιτρέπει τη σύγκριση της επίδρασης/συμβολής που το καθένα παρουσιάζει μετά την πάροδο ενός διευκρινισμένου χρονικού διαστήματος, το οποίο αποκαλείται 'χρονικός ορίζοντας ολοκλήρωσης' (Integration Time Horizon, ΙΤΗ), που συνήθως η διάρκειά του είναι εκατονταετής. Πολλά από τα χρησιμοποιούμενα ρευστά αποτελούν ισχυρότατα αέρια του θερμοκηπίου, με πρωταγωνιστές τους συνθετικούς αλογονάνθρακες και ειδικότερα τους κορεσμένους υδρογονοφθοράνθρακες (HFCs) να αποτελούν σήμερα την αιχμή του δόρατος, σε ότι αφορά τα βιομηχανικής προέλευσης θερμοκηπιακά αέρια (Fischer et al., 1991; Sand et al., 1997; Λεβέντη, 2008; Λεβέντη και Λαμπρινός, 2009).

Τα κριτήρια επιλογής ψυκτικών ρευστών ταξινομούνται σε βασικές κατηγορίες όπως περιβαλλοντικά, θερμοδυναμικά, ασφαλείας, τεχνικά και οικονομικά κριτήρια. Στα τεχνικά κριτήρια συμπεριλαμβάνονται και οι διαρροές τους, των οποίων οι αρνητικές επιπτώσεις παρουσιάζονται με περιεκτικό τρόπο στο Σχήμα 2.



Σχήμα 2. Επιπτώσεις της διαρροής ψυκτικού ρευστού (Πηγή : Δάλλας, 2010)

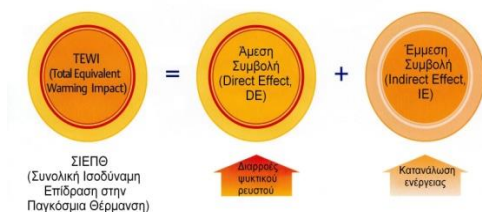
4. ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑ

Ο όρος 'περιβαλλοντικό αποτύπωμα' έχει επικρατήσει να σημαίνει το σύνολο των εκπομπών του CO₂ και των υπολοίπων αερίων του θερμοκηπίου (εκφρασμένες σε ισοδύναμες ποσότητες CO₂) που οφείλονται στην ανθρωπογενή δραστηριότητα (Μάντζου κ.ά., 2006; Wiedmann & Minx, 2008) και έχει την ίδια σημασία με τον γενικό όρο 'περιβαλλοντική (ανθρωπογενής) επίδραση', αφού περιγράφει το εκάστοτε αποτέλεσμα των ανθρωπίνων επιδράσεων στο περιβάλλον και, συνήθως, αποτελεί περιβαλλοντικό πρόβλημα, όπως το ενισχυμένο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Ο υπολογισμός και η σύγκριση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος γίνεται μέσω διεθνών προσεγγιστικών μεθόδων. Η βέλτιστη

χρήση τους εξασφαλίζεται όταν χρησιμοποιούνται για τη διενέργεια συγκρίσεων μεμονωμένων εγκαταστάσεων ή μερών κάποιου συστήματος (π.χ. εξοπλισμός κλιματισμού) και δεν παρέχουν πληροφορίες “γενικής χρήσεως”. Σε κάθε περίπτωση, το πεδίο ανάλυσης θα πρέπει να ορίζεται και να εξετάζεται με σαφήνεια, λαμβάνοντας υπόψη παράλληλα και τις εκάστοτε απαιτήσεις (IPCC/TEAP, 2005).

Η ‘Συνολική Ισοδύναμη Επίδραση στην Παγκόσμια Θέρμανση’, **ΣΙΕΠΘ** (Total Equivalent Warming Impact, **TEWI**), αποτελεί μια προσέγγιση η οποία έχει το πιο περιορισμένο πεδίο εφαρμογής, αφού ασχολείται με την συνολική επίδραση που ασκούν στην ενίσχυση του Φαινομένου του Θερμοκηπίου εργαζόμενα ρευστά μέσα στον εξοπλισμό ή την διαδικασία στην οποία συμμετέχουν κατά τη περίοδο λειτουργίας αλλά και κατά τον παροπλισμό, όπου τα ρευστά αυτά σε μεγάλο ποσοστό πρέπει να ανακτώνται, οδεύοντας προς ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση και όχι προς απόρριψη στο περιβάλλον όπως συχνά συμβαίνει. Η επίδραση του εργαζόμενου ρευστού μπορεί να είναι τόσο άμεση, από την απευθείας απελευθέρωση του στην ατμόσφαιρα, όσο και έμμεση, λόγω των διαφόρων ποσοτήτων CO₂ που εκλύονται κατά τη διαδικασία παραγωγής της ενέργειας που τροφοδοτεί τον συγκεκριμένο εξοπλισμό ή απορροφάται από τη διαδικασία (Σχήμα 3). Είναι κατάλληλη και χρήσιμη για τα περισσότερα συστήματα, χωρίς όμως να εξετάζει την περιβαλλοντική επίδραση κατά την παρασκευή του ρευστού ή του εξοπλισμού, κατά την οποία υπάρχουν ανεξέλεγκτες εκπομπές (fugitive emissions) και φυσικά δαπανάται ενέργεια, η οποία ονομάζεται ενσωματωμένη ενέργεια (embodied energy) στην εγκατάσταση. Η ενσωματωμένη αυτή ενέργεια προκαλεί έμμεσες εκπομπές, που μπορεί να είναι σημαντικές, όπως και οι ανεξέλεγκτες εκπομπές, γεγονός που οδήγησε στην προσέγγιση της “Κλιματικής Απόδοσης στον Κύκλο Ζωής” (Life Cycle Climate Performance, **LCCP**).



Σχήμα 3. Οι συνιστώσες του δείκτη TEWI (Πηγή : Beeton et al., 2008)

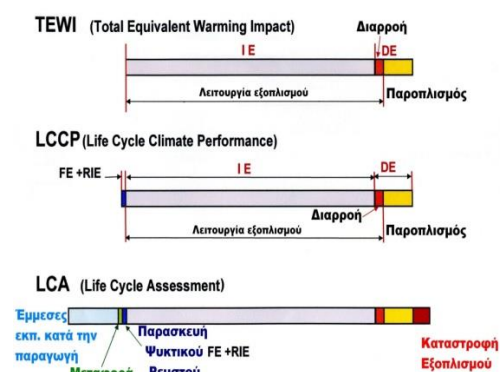
Στην LCCP μπορεί να αποκτηθεί μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα της επίδρασης, αφού περιλαμβάνει για κάθε εργαζόμενο ρευστό τις μερικές επιδράσεις από την παρασκευή του, την αποθήκευσή του, την πλήρωσή του εξοπλισμού, τη λειτουργία και τις εργασίες συντήρησης και επισκευής του εξοπλισμού, καθώς και από την μερική ανάκτηση ή απελευθέρωσή του στο τέλος της ζωής του εξοπλισμού (παροπλισμός). Ωστόσο, τόσο

η προσέγγιση TEWI όσο και η LCCP εξετάζουν μόνο την κλιματική επίδραση. Αυτό είναι λογικό για τις περιπτώσεις όπου η κύρια περιβαλλοντική επίδραση επηρεάζει το κλίμα.

Η τελευταία προσέγγιση “Εκτίμηση του Κύκλου Ζωής” (Life Cycle Assessment, **LCA**) είναι πιο περιεκτική για την αξιολόγηση-εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιδράσεων διαφόρων τεχνολογιών, ενώ είναι σαφώς ευρύτερη, αφού περιλαμβάνει τις περιβαλλοντικές επιδράσεις και των υπολοίπων εισροών-εκροών του συστήματος, επιπλέον εκείνων που συνδέονται με την λειτουργία. Η μεθοδολογία LCA αναπτύχθηκε και επισημοποιήθηκε από τις σειρές ISO14040 των διεθνών προτύπων. Χαρακτηρίζεται μάλιστα ως μια προσέγγιση “από το λίκνο μέχρι τον τάφο” (from cradle to grave), αφού ξεκινά με τη συγκέντρωση των πρώτων υλών από τη Γη, για τη δημιουργία του προϊόντος ή του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται σε μια διαδικασία ή υπηρεσία, ενώ τελειώνει στο σημείο όπου όλα τα υλικά επιστρέφουν στη Γη. Έτσι, καθίσταται δυνατή τόσο η πλήρης αποτίμηση των συσσωρευτικών περιβαλλοντικών επιδράσεων που απορρέουν από όλα τα στάδια ζωής ενός προϊόντος, μιας διαδικασίας ή μιας υπηρεσίας (δηλ. μιας τεχνολογίας), όσο και η αποτίμηση όλων αυτών των σταδίων ζωής ως προς την αλληλεξάρτησή τους, γεγονός που σημαίνει ότι η μια λειτουργία οδηγεί στην επόμενη (IPCC/TEAP, 2005; Μάντζου κ.ά., 2006). Είναι η μοναδική προσέγγιση που καλύπτει όλα τα στάδια ζωής, περιέχονται όλες οι διαδικασίες και περιβαλλοντικές επιδράσεις, αποτελώντας ένα χρήσιμο εργαλείο για τη σύγκριση των περιβαλλοντικών επιδράσεων δύο ή περισσότερων εναλλακτικών προϊόντων, διαδικασιών ή υπηρεσιών, βοηθώντας έτσι και στην αποκάλυψη ασθενών σημείων, στη βελτίωση των προϊόντων, στη σύγκριση με άλλα εναλλακτικά πρότυπα και στην ανεύρεση εκείνων των (απαραίτητων) λόγων που θα δικαιολογούν τη σύσταση δράσεων (Μάντζου κ.ά., 2006; Καραγιάννης, 2010). Στο Σχήμα 4 απεικονίζονται οι διαφορές μεταξύ των τριών μεθόδων προσέγγισης TEWI, LCCP & LCA ενός εργαζόμενου ρευστού και του εξοπλισμού στο οποίο αυτό περιέχεται και εργάζεται (π.χ. θερμική μηχανή ατμού ή μια αντλία θερμότητας), όπου το στάδιο της πιθανής καταστροφής του ρευστού αγνοείται από τη στιγμή που η αποτελεσματικότητά της κυμαίνεται από 99-99.99%, γεγονός που συνεπάγεται αμελητέες εκπομπές. Οι έμμεσες εκπομπές κατά την παραγωγή που εξετάζει η LCA, σχετίζονται με τις πρώτες ύλες για την παρασκευή ρευστού και εξοπλισμού. Έτσι, DE είναι οι άμεσες εκπομπές (η αλλιώς άμεση συμβολή), IE οι έμμεσες εκπομπές (έμμεση συμβολή), FE οι ανεξέλεγκτες εκπομπές και RIE οι εκπομπές της ενσωματωμένης ενέργειας.

Η προσέγγιση LCCP μπορεί να θεωρηθεί ως υπομέθοδος της LCA, ενώ η TEWI ως υπομέθοδος της LCCP, που ωστόσο παραμένει η βασική, δίνοντας βάρος στη λειτουργία και τον παροπλισμό της εγκατάστασης. Η προσέγγιση που επιλέγεται κάθε φορά εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το

πλαίσιο μέσα στο οποίο γίνεται η μελέτη. Εάν οι απαιτούμενες πληροφορίες σχετίζονται με τις επιδράσεις στο κλίμα ενός αριθμού εναλλακτικών προσεγγίσεων, προκειμένου να επιτευχθεί κάτι για το κοινωνικό καλό, τότε οι LCCP και TEWI προσεγγίσεις είναι ικανές να παρέχουν επαρκή πληροφόρηση. Ωστόσο, με τη χρήση αυτών των προσεγγίσεων θα αγνοηθούν όλες οι υπόλοιπες περιβαλλοντικές επιδράσεις τις οποίες εξετάζει η LCA, υποθέτοντας ότι αυτές θα είναι παρόμοιες για όλες τις εναλλακτικές τεχνολογίες. Το ίδιο συμβαίνει και μεταξύ των LCCP και TEWI : όταν επιλέγεται η TEWI αγνοούνται οι επιδράσεις της LCCP, είτε επειδή είναι παρόμοιες (κατά τη σύγκριση μεταξύ τεχνολογιών) ή/και αρκετά μικρές (σε σχέση με αυτές που εξετάζει η TEWI) είτε επειδή τα όρια του συστήματος καλύπτονται πλήρως από την TEWI (IPCC/TEAP, 2005).



Σχήμα 4. Διαφορές μεταξύ TEWI, LCCP & LCA (Πηγή: Onishi et al., 2004)

Οι συνθετικοί αλογονάνθρακες και γενικότερα τα οργανικά εργαζόμενα ρευστά (CFCs, HCFCs, HFCs) αποτελούν ενώσεις που χρησιμοποιούνται σε μια πληθώρα εφαρμογών, οι οποίες δεν ανήκουν μόνο στον τομέα της ψύξης, του κλιματισμού και της παραγωγής μηχανικής ενέργειας με θερμική μηχανή ατμού (όπου εκεί χρησιμοποιούνται ως εργαζόμενα ρευστά), αλλά και στους τομείς μόνωσης (ως μέσα διόγκωσης), καθαρισμού μέσω διαλυτών και ως προωθητικά αέρια. Σύμφωνα λοιπόν τόσο με το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ όσο και του Κιότο, οι παραπάνω τομείς θα πρέπει να ελέγχονται και από τα δύο, μιας και χρησιμοποιούν CFCs και HCFCs. Όμως, όσον αφορά τον τομέα ψύξης και κλιματισμού, από τη στιγμή που τα CFCs έχουν καταργηθεί και τα HCFCs βρίσκονται σε περίοδο σταδιακής τους κατάργησης, ο χώρος αυτός ελέγχεται μόνο από το Πρωτόκολλο του Κιότο, αφού τα HFCs αποτελούν ισχυρά αέρια του θερμοκηπίου, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι τα CFCs και τα HCFCs δεν αποτελούν, αλλά απλά δεν χρησιμοποιούνται πλέον ή αποφεύγεται η χρήση τους (Fischer et al., 1991).

Προκειμένου να υπολογιστεί, σύμφωνα με την προσέγγιση TEWI, το περιβαλλοντικό αποτύπωμα του εξοπλισμού (ή μιας διαδικασίας) που περιέχει και χρησιμοποιεί για τη λειτουργία του συνθετικούς αλογονάνθρακες (ιδίως φθοράνθρακες-HFCs και

HFOs) όπως είναι π.χ. οι αντλίες θερμότητας, πρέπει να υπολογιστούν η άμεση συμβολή τους στην παγκόσμια θέρμανση, λόγω της έκλυσης στην ατμόσφαιρα των εργαζόμενων (ψυκτικών) ρευστών κατά το στάδιο της χρήσιμης διάρκειας ζωής τους (διαρροές) και το στάδιο παροπλισμού τους, αλλά και η έμμεση συμβολή, μέσω του CO₂ που απελευθερώνεται για την παραγωγή της απαιτούμενης ηλεκτρικής ενέργειας που τροφοδοτεί τα παραπάνω συστήματα κατά το στάδιο της χρήσιμης διάρκειας ζωής τους (Sand et al., 1997). Προκειμένου οι δύο αυτές συμβολές να συνδυάζονται με ευκολία, η άμεση συμβολή εκφράζεται σε ισοδύναμες ποσότητες CO₂, μέσω του δείκτη GWP. Τότε, εύκολα μπορεί να συνδυαστεί με την έμμεση από τις εκπομπές CO₂, με αποτέλεσμα η συνδυασμένη ή συνολική εκτιμώμενη συμβολή τους (Σχήμα 3) να αποτελεί και την 'Συνολική Ισοδύναμη Επίδραση στην Παγκόσμια Θέρμανση' (TEWI) (Fischer et al., 1991), αποτελώντας στην ουσία έναν δείκτη που εκφράζει το μέτρο του περιβαλλοντικού αποτυπώματος ουσιών που αποτελούν αέρια του θερμοκηπίου και χρησιμοποιούνται από ένα προϊόν, μια διαδικασία ή μια τεχνολογία, βοηθώντας έτσι στην προσπάθεια ποσοτικοποίησης του περιβαλλοντικού αποτυπώματός τους και έχοντας παράλληλα ως στόχο την τυποποίηση του υπολογισμού του (IPCC/TEAP, 2005).

Ο περιβαλλοντικός δείκτης TEWI, όσον αφορά τις εφαρμογές με χρήση αντλίας θερμότητας (θέρμανση, ψύξη, ξήρανση, ανάκτηση/αναβάθμιση θερμικής ενέργειας) ή τις εφαρμογές παραγωγής μηχανικής ενέργειας με ατμομηχανή Rankine, είναι πάντοτε ένα χρήσιμο εργαλείο για την αξιολόγηση και τη σύγκριση διαφόρων τεχνολογιών, κάποιες εκ των οποίων μπορεί να μην χρησιμοποιούν φθοράνθρακες και οι οποίες ονομάζονται χαρακτηριστικά "τεχνολογίες άλλου είδους" (Not In Kind technologies, NIK) (Fischer et al., 1994). Σε αυτές ανήκουν οι ψυκτικές μηχανές συμπίεσης ατμών φυσικών ψυκτικών ρευστών (αμμωνία, υδρογονάνθρακες, διοξείδιο του άνθρακα, κ.λ.π.), οι ψυκτικές μηχανές ρόφησης, ο εξατμιστικός δροσισμός, η θερμοηλεκτρική ψύξη, κ.α. Ακόμη, μπορούν να συγκριθούν και τεχνολογίες που χρησιμοποιούν συμβατικές ενεργειακές πηγές όπως πετρέλαιο, φυσικό αέριο, άνθρακα κ.ο.κ. Σε αυτές τις περιπτώσεις, οι τεχνολογίες αυτές παρουσιάζουν μηδενική άμεση συμβολή και αυτό που κατ' ουσία συγκρίνεται είναι η έμμεση συμβολή τους (με τον ενδειγμένο για την κάθε μία τρόπο υπολογισμού της).

Επίσης, ο δείκτης TEWI μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ελαχιστοποίηση των κλιματικών επιπτώσεων που παρουσιάζουν οι ήδη υπάρχουσες ή εγκατεστημένες τεχνολογίες, ενώ μια ιδιαίτερα πολύτιμη εφαρμογή του είναι κατά την κατασκευή ή ανακαίνιση αγροτοβιομηχανικών κτηρίων, όπου μπορεί να διευκολύνει στην επιλογή του τρόπου θέρμανσης-δροσισμού τους. Ωστόσο θα πρέπει να εξετάζεται μάλλον συγκριτικά, παρά απόλυτα, αφού κατά τον υπολογισμό του

υπαισέρχονται παραδοχές που εμπεριέχουν σημαντικό βαθμό αβεβαιότητας (Sand et al., 1997; IPCC/TEAP, 2005).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Beeton, W., Buynacek, B. and Monnier, K., 2008. *Refrigerants for Residential and Commercial Air Conditioning Applications*. Emerson Climate Technologies, Sidney, Ohio, USA, 30 p.
- Calm, J.M., 2008. *The Next Generation of Refrigerants-Historical Review, Considerations, and Outlook*. International Journal of Refrigeration, 31(2008) : 1123-1133.
- Fischer, S.K., Hughes, P.J., Fairchild, P.D. (Oak Ridge National Laboratory), Kusik, C.L., Dieckmann, J.T., McMahon, E.M. and Hobday, N. (Arthur D. Little, Inc.), 1991. *Energy and Global Warming Impacts of CFC Alternative Technologies*. Sponsored by : Alternative Fluorocarbons Environmental Acceptability Study (AFEAS) & U.S. Department of Energy (DOE), Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee, USA, 520 p.
- Fischer, S.K., Tomlinson, J.J. and Hughes, P.J., 1994. *Energy and Global Warming Impacts of Not-In-Kind and Next-Generation CFC and HCFC Alternatives*. Sponsored by : Alternative Fluorocarbons Environmental Acceptability Study (AFEAS) & U.S. Department of Energy (DOE), Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee, USA, 224 p.
- IPCC, 2007a : *Climate Change 2007 : Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, Pachauri, R.K. and Reisinger, A. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 p.
- IPCC, 2007b : Le Treut, H., R. Somerville, U. Cubasch, Y. Ding, C. Mauritzen, A. Mokssit, T. Peterson and M. Prather, 2007 : Historical Overview of Climate Change Science. In : *Climate Change 2007 : The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC, 2007c : Solomon, S., D. Qin, M. Manning, R.B. Alley, T. Berntsen, N.L. Bindoff, Z. Chen, A. Chidthaisong, J.M. Gregory, G.C. Hegerl, M. Heimann, B. Hewitson, B.J. Hoskins, F. Joos, J. Jouzel, V. Kattsov, U. Lohmann, T. Matsuno, M. Molina, N. Nicholls, J. Overpeck, G. Raga, V. Ramaswamy, J. Ren, M. Rusticucci, R. Somerville, T.F. Stocker, P. Whetton, R.A. Wood and D. Wratt, 2007 : Technical Summary. In : *Climate Change 2007 : The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC/TEAP, 2005 : Metz, B., Kuipers, L., Solomon, S., Andersen, S.O., Davidson, O., Pons, J., Jager, D., Kestin, T., Manning, M. and Meyer, L., (Eds). ***Safeguarding the Ozone Layer and the Global Climate System : Issues Related to Hydrofluorocarbons and Perfluorocarbons***. Cambridge University Press, UK, 478 p.
- Onishi, H., Yajima, R. and Ito, S., 2004. *LCCP of Some HVAC & R Applications in Japan*. Proceedings of the 15th Annual Earth Technologies Forum, 13-15 April 2004, Washington D.C., USA, 18 pp.
- Sand, J.R., Fischer, S.K. and Baxter, V.D., 1997. *Energy and Global Warming Impacts of HFC Refrigerants and Emerging Technologies*. Sponsored by : Alternative Fluorocarbons Environmental Acceptability Study (AFEAS) & U.S. Department of Energy (DOE), Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee, USA, 215 p.
- Wiedmann, T. and Minx, J., 2008. *A Definition of 'Carbon Footprint'*. In : C. C. Pertsova, *Ecological Economics Research Trends* : Chapter 1, pp. 1-11, Nova Science Publishers, Hauppauge NY, USA.
- Γεντεκάκης, Ι., 2010. *Ατμοσφαιρική Ρύπανση : Επιπτώσεις, έλεγχος & εναλλακτικές τεχνολογίες, 2^η έκδοση*. Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα, σ. 784.
- Δάλλας, Φ., 2010. *Διαρροές Ψυκτικών Μέσων : Νομοθεσία και τρόποι αντιμετώπισης με Περιβαλλοντικά και Ενεργειακά Κριτήρια*. Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Τομέας Θερμότητας, σ. 174.
- Δημητριάδης, Χ., 2011. *Κλιματική Αλλαγή, Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Ελλάδα*. Διπλωματική Εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Πολυτεχνική Σχολή, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Εργαστήριο Μετάδοσης Θερμότητας & Περιβαλλοντικής Μηχανικής, σ. 129.
- Ζάνης, Π., 2008. *Σημειώσεις για τη Ρύπανση και Χημεία της Ατμόσφαιρας*. Αδημοσίευτες Ηλεκτρονικές Σημειώσεις, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Μετεωρολογίας-Κλιματολογίας, σ. 116.
- Καλλία, Α. και Σαμαρά, Κ., 2007. *Ατμοσφαιρική Ρύπανση και Κλιματική Αλλαγή : Πηγές-Επιπτώσεις-Νομικό Πλαίσιο*. Εκδόσεις Αντ. Ν. Σάκκουλα, Αθήνα-Κομοτηνή, σ. 190.
- Καραγιάννης, Ι.Χρ., 2010. *Οικονομική και περιβαλλοντική αξιολόγηση συστημάτων αφαλάτωσης νερού με χρήση ανανεώσιμων και μη πηγών ενέργειας. Εναλλακτικές στρατηγικές στον ελληνικό νησιωτικό χώρο*. Διδακτορική Διατριβή, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Αγροτικής Οικονομίας και Ανάπτυξης, σ. 157.
- Λεβέντη, Α., 2008. *Μεθοδολογία εκλογής κατάλληλου Ψυκτικού Ρευστού για Αντλία Θερμότητας*. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων &

- Γεωργικής Μηχανικής, Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, σ. 67.
- Λεβέντη, Α. και Λαμπρινός, Γρ., 2009. *Νέα κριτήρια και μέθοδος επιλογής Ψυκτικών Ρευστών για Κλιματισμό*. Πρακτικά 6ου Εθνικού Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής, 8-10 Οκτωβρίου 2009, Θεσσαλονίκη, σ. 729-736.
- Μάντζου, Γ., Μπενέτου, Π. και Χαρίτου Α.Η., 2006. *Εκτίμηση Κύκλου Ζωής (LCA)*. Μεταπτυχιακή Εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Χημείας, Διαπανεπιστημιακό Διατμηματικό Π.Μ.Σ., ΔιΧηNET, σ. 82.
- Μελάς, Δ., Ασωνίτης, Γ. και Αμοιρίδης, Β., 2000. *Κλιματική Αλλαγή (Οδηγός εκπαιδευτικών)*. (τέως) Υπουργείο Εθνικής Παιδείας και Θρησκευμάτων (ΥΠ.Ε.Π.Θ.), Διεύθυνση Σπουδών Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης, Υπόεργο ΕΠΕΑΕΚ 1.1.ΣΤ.1.Γ2, Ανάπτυξη εκπαιδευτικού υλικού για την Περιβαλλοντική Εκπαίδευση, Ανάδοχος φορέας : Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Αθήνα, σ. 41.
- Παπαγιάννης, Α., 2005. *Φυσική Ατμοσφαιρικού Περιβάλλοντος*. Αδημοσίευτες Ηλεκτρονικές Σημειώσεις, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σ.Ε.Μ.Φ.Ε., Τομέας Φυσικής, σ. 60.
- Σκορδούλης, Κ. και Σωτηράκου, Μ., 2005. *Περιβάλλον, Επιστήμη και Εκπαίδευση*. Εκδόσεις Leader Books, Αθήνα, σ. 303.

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΜΕ ΑΔΡΑΝΕΙΣ ΚΟΝΕΙΣ ΣΤΗ ΔΙΑΘΕΣΙΜΗ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΚΑΙ ΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΦΥΛΛΩΝ ΡΟΔΑΚΙΝΙΑΣ

Περσεφόνη Μαλέτσικα¹, Νικόλαος Κατσούλας² και Γεώργιος Δ. Νάνος¹

¹Εργαστήριο Δενδροκομίας, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Οδός Φυτόκου, Νέα Ιωνία Μαγνησίας, Τ.Κ. 38446

²Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Οδός Φυτόκου, Νέα Ιωνία Μαγνησίας, Τ.Κ. 38446
pmalets@yahoo.gr, nkatsoul@uth.gr, gnanos@agr.uth.gr

Μελετήθηκε η επίδραση των κόνεων καολίνη, τσιμέντου και εδάφους ως ρυπαντών σε δέντρα ροδακινιάς, στη διαθεσιμότητα φωτός στο δέντρο και στη θερμοκρασία φύλλου και καρπού. Σε ανεπτυγμένα δέντρα ροδακινιάς cv. Royal Glory εφαρμόστηκαν κόνεις τσιμέντου ή εδάφους ή διάλυμα εμπορικού σκευάσματος καολίνη περιοδικά από τον Ιούνιο έως τον Σεπτέμβριο. Μετρήθηκαν η προσπίπτουσα και ανακλώμενη φωτοσυνθετικά ενεργός ακτινοβολία (ΦΕΑ) και η υπεριώδης ηλιακή ακτινοβολία (UV), η σχέση ποσότητας κόνεως και διερχόμενης ΦΕΑ και UV και η ημερήσια πορεία της θερμοκρασίας φύλλου και καρπού κατά τα έτη 2010 και 2011. Η ύπαρξη του καολίνη φαίνεται να μείωσε σημαντικά τη διαθέσιμη στο εκτεθειμένο στον ήλιο φύλλο και να βελτίωσε τουλάχιστον μερικά τη διαθέσιμη στο εσωτερικό της κόμης ηλιακή ακτινοβολία. Παρόμοια αποτελέσματα βρέθηκαν και από την ύπαρξη της κόνεως τσιμέντου ή εδάφους στα φύλλα αλλά σε μικρότερο βαθμό από τον καολίνη. Η εφαρμογή καολίνη στις ροδακινιές προκάλεσε μείωση της θερμοκρασίας φύλλου κατά τις ώρες της ημέρας και όχι της νύκτας σε σχέση με τα φύλλα του μάρτυρα και εν μέρει, μείωση της θερμοκρασίας των φύλλων σε σχέση με τον αέρα. Αυτό οφείλεται στη σκίαση που προκαλεί η ύπαρξη της κόνεως στην επιφάνεια του φύλλου. Η εφαρμογή των ρυπαντών κόνεων τσιμέντου και εδάφους δεν τροποποίησε τη θερμοκρασία φύλλου, καθώς η μείωση του διαθέσιμου φωτός λόγω των κόνεων στην επιφάνεια των φύλλων, ήταν μικρή. Ακόμα, η θερμοκρασία καρπού παρουσία κόνεων ήταν παρόμοια με τη θερμοκρασία αέρα και τη θερμοκρασία των καρπών του μάρτυρα, εκτός από τους καρπούς που ψεκάστηκαν με καολίνη, όπου η θερμοκρασία τους μειώθηκε σε σχέση με τον μάρτυρα.

Λέξεις κλειδιά: *Prunus persica*, καολίνης, αιωρούμενα σωματίδια, φωτοσυνθετικά ενεργός ακτινοβολία, UV ακτινοβολία

EFFECT OF CONTAMINATION WITH INERT DUSTS ON AVAILABLE SOLAR RADIATION AND LEAF TEMPERATURE OF PEACH TREES

Persefoni Maletsika¹, Nikolaos Katsoulas² and George D. Nanos¹

¹ Laboratory of Pomology, School of Agricultural Sciences, University of Thessaly, Fitoko Str, N. Ionia, Magnesia, GR-38446, Greece

² Laboratory of Agricultural Constructions and Environmental Control, School of Agricultural Sciences, University of Thessaly, Fitoko Str, N. Ionia, Magnesia, GR-38446, Greece
pmalets@yahoo.gr, nkatsoul@uth.gr, gnanos@agr.uth.gr

The effect of kaolin, soil and cement dusts as contaminants on the available light and leaf and fruit temperature of peach trees was studied. On mature peach trees, cv. Royal Glory, kaolin or cement or soil dusts periodically from June to September were applied. The measurements included the incident and reflected photosynthetically active radiation (PAR) and ultraviolet radiation (UV), the relationship between dust quantity on leaf surface and PAR and UV transmission, and the diurnal leaf and fruit temperature during the years 2010 and 2011. Kaolin application significantly decreased the available PAR and UV to the leaf and improved the available light inside the tree canopy. Similar results, but less intense, were found for cement or soil dust application compared to kaolin application. Kaolin application on peach trees decreased the leaf temperature during the day, but not at night compared to control and partly decreased the leaf temperature compared to ambient temperature. This reduction is associated with the shade effect caused by dust accumulation on leaf surface. The application of cement and soil dusts on peach trees did not alter leaf temperature, even though the available light to the leaf decreased, due to the presence of dusts on leaf surface. In addition, peach fruit contaminated with cement and soil dusts had similar temperature with control fruit, while peach fruit sprayed with kaolin had lower temperature than control fruit.

Keywords: *Prunus persica*, kaolin, particulate matter, photosynthetically active radiation, UV radiation

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα αιωρούμενα σωματίδια αποτελούν ένα σημαντικό παράγοντα ατμοσφαιρικής ρύπανσης που συνδέεται με πλήθος επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον (Farmer 1993; Grantz et al., 2003). Η χώρα μας λόγω του ξηροθερμικού κλίματος και των μειωμένων βροχοπτώσεων επιβαρύνεται σε

μεγάλο βαθμό από την εκπομπή αιωρούμενων σωματιδίων κατά τη βλαστική ανάπτυξη των φυλλοβόλων οπωροφόρων. Ένα σημαντικό μέρος των αιωρούμενων σωματιδίων αποτελούν και οι κόνεις. Οι κόνεις αποτελούνται από μικρά στερεά σωματίδια με αεροδυναμική διάμετρο που κυμαίνεται από 1 έως 100 μm που επικάθονται λόγω του

βάρους τους σε όλες τις επιφάνειες, αλλά δύνανται και να μεταφέρονται σε πολύ μεγάλες αποστάσεις από τον τόπο δημιουργίας τους (WHO/SDE/OEH/99.14).

Τα σωματίδια των κόνεων έχουν είτε φυσική καταγωγή όπως αερομεταφερόμενη κόνις από ερήμους είτε προέρχονται από ανθρωπογενείς πηγές όπως μη ασφαλτοστρωμένους δρόμους, αναμόχλευση του εδάφους, τσιμεντοβιομηχανίες και λατομεία. Τα σωματίδια των κόνεων επικάθονται στο υπέργειο τμήμα των φυτών και στο έδαφος και μπορεί να έχουν φυσικές και χημικές επιδράσεις σε αυτά (Farmer 1993; Grantz et al., 2003). Οι φυσικές επιδράσεις των κόνεων που συσσωρεύονται στα φυτά συνδέονται με τη σκίαση της επιφάνειας των φύλλων και των καρπών μειώνοντας τη διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία, καθώς και με το μπλοκάρισμα των στοματίων στα φύλλα παρεμβαίνοντας στην ανταλλαγή αερίων (Nanos and Ilias, 2007). Επιπλέον η συσσώρευση μη αδρανών κόνεων στις φυτικές επιφάνειες και το έδαφος μπορεί να προκαλέσει τοξικότητα και τροποποίηση της ανόργανης θρέψης των φυτών (Mandre et al., 1999).

Κάποιες κόνεις χρησιμοποιούνται για την αντιμετώπιση εχθρών και ασθενειών των φυτών. Πιο συγκεκριμένα, τα τελευταία έτη επεκτάθηκε η χρήση σε δενδροκομικές καλλιέργειες του καολίνης, με τη μορφή του film σωματιδίων, για τη μείωση των ζημιών από ζωικούς εχθρούς (Karagounis et al., 2006), αλλά χρησιμοποιείται και στη μείωση της καταπόνησης από ακραίες θερμοκρασίες (Glenn et al., 2002). Ο καολίνης αποτελείται από καολινίτη $[Al_4Si_4O_{10}(OH)_8]$, ένα λευκό ορυκτό της αργίλου, διαθέσιμο σε μη πορώδη, λεπτόκοκκη, μη διογκούμενη βρέξιμη στο νερό εμπορική μορφή (Glenn and Puterka, 2005).

Σκοπός της εργασίας είναι η μελέτη της επίδρασης της συσσώρευσης καολίνης και των κόνεων τσιμέντου και εδάφους στη διαθεσιμότητα του φωτός στο δέντρο και στη θερμοκρασία φύλλου και καρπού σε δέντρα ροδακινιάς.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Το πείραμα διενεργήθηκε στο Αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο Βελεστίνο, σε δέντρα ροδακινιάς (*Prunus persica* L.), ποικιλίας 'Royal Glory' σε υποκείμενο GF677. Οι αποστάσεις φύτευσης των δέντρων είναι 5,00 m x 1,75 m και η άρδευση γίνεται με σταγόνες, με παροχή 80 L h⁻¹. Για την εφαρμογή καολίνης χρησιμοποιήθηκε το σκεύασμα SURROUND WP, καολίνης 95% w/w. Το τσιμέντο που χρησιμοποιήθηκε παρήχθη σε τοπική τσιμεντοβιομηχανία. Όσον αφορά την κόνιν εδάφους, έγινε λήψη εδάφους από ακαλλιέργητη έκταση του Αγροκτήματος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, το οποίο ξηράθηκε στους 80 °C και αλέστηκε ώστε να διέλθει από κόσκινο διαμέτρου 500 μm. Οι κόνεις τσιμέντου και εδάφους εφαρμόστηκαν ομοίμορφα με επίταση, αφού προηγήθηκε διαβροχή της κόμης των δέντρων. Οι κόνεις εφαρμόστηκαν περιοδικά από τον Ιούνιο έως τον Σεπτέμβριο τα έτη 2010 και 2011. Μια ομάδα

δέντρων στα οποία δεν εφαρμόστηκε επίταση χρησιμοποιήθηκαν ως μάρτυρες. Για τη μέτρηση της θερμοκρασίας φύλλου, επιλέχθηκαν δύο πλήρως φωτιζόμενα φύλλα ανά μεταχείριση στην κάτω επιφάνεια των οποίων και στο κεντρικό νεύρο, τοποθετήθηκαν θερμοζεύγη ως αισθητήρες μέτρησης θερμοκρασίας (Skye Instruments, Powys, UK). Οι μετρήσεις θερμοκρασίας φύλλου έγιναν κατά τις ημερομηνίες 13-25 Ιουλίου 2010 και 1-10 Σεπτεμβρίου 2011. Για τη μέτρηση της θερμοκρασίας καρπού επιλέχθηκαν δύο πλήρως φωτιζόμενοι καρποί ανά μεταχείριση και οι αισθητήρες τοποθετήθηκαν σε βάθος 3 mm από την επιφάνεια των καρπών. Οι αισθητήρες μέτρησης θερμοκρασίας συνδέθηκαν με καταγραφικό όργανο Data logger, DL 2e (Delta-T Devices, Cambridge, England). Οι μετρήσεις θερμοκρασίας καρπού έγιναν κατά το χρονικό διάστημα 6-14 Ιουλίου 2011. Για να μετρηθεί η διερχόμενη φωτοσυνθετικά ενεργός ακτινοβολία (ΦΕΑ) και υπεριώδης ακτινοβολία (UV), κατασκευάστηκε ένα πλαίσιο διαστάσεων 40 cm x 40 cm. Η μέτρηση της ΦΕΑ έγινε με το φορητό όργανο Quantum Meter (Model LQS-QM, Spectrum Technologies Inc, Plainfield, IL, USA) και εκφράστηκε σε $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Το όργανο διαθέτει ράβδο μήκους 50 cm με τρεις αισθητήρες που ισαπέχουν. Η μέτρηση της UV έγινε με το όργανο UV Meter (Model UVM, Spectrum Technologies Inc) που μετρά τα μήκη κύματος 250 nm - 400 nm και εκφράστηκε σε $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Στο πλαίσιο τοποθετούνταν πλαστικά film, στα οποία γινόταν εφαρμογή καολίνης και κόνεων τσιμέντου και εδάφους σε διάφορες ποσότητες, αλλά και πλαστικά film χωρίς κόνεις που χρησιμοποιήθηκαν ως μάρτυρες. Αρχικά γινόταν μέτρηση των ΦΕΑ και UV που διαπερνούσαν το πλαστικό film -μάρτυρα και αμέσως μετά γινόταν μέτρηση της ακτινοβολίας που διαπερνούσε το με διαφορετική ποσότητα κόνεως κάθε φορά, film. Οι διάφορες ποσότητες κόνεων που χρησιμοποιήθηκαν για την κάλυψη των film, προσομοιώνουν τη συσσώρευση των κόνεων στη φυτική επιφάνεια με την επαναληπτική εφαρμογή τους στα δέντρα. Μετά τις μετρήσεις της ακτινοβολίας, από το κάθε film λαμβάνονταν τέσσερις σκονισμένοι δίσκοι διαμέτρου 10 cm, γινόταν λήψη της κόνεως με μια μικρή βούρτσα και ζύγισμα της, για ποσοτικοποίηση της ρύπανσης. Οι ανωτέρω μετρήσεις έγιναν κατά το χρονικό διάστημα 20-27 Αυγούστου 2010. Με τα φορητά όργανα μέτρησης των ΦΕΑ και UV, μετρήθηκε η προσπίπτουσα και η ανακλώμενη ΦΕΑ και UV ακτινοβολία στο φύλλο και στην κόμη των δένδρων. Η μέτρηση της ακτινοβολίας στην κόμη έγινε σε κάθε δένδρο της κάθε μεταχείρισης και η μέτρηση της ακτινοβολίας στο φύλλο έγινε σε δύο φύλλα ανά δένδρο της κάθε μεταχείρισης. Οι μετρήσεις έγιναν στις 11 Αυγούστου 2011 κατά το χρονικό διάστημα 10:00 με 12:00.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1 Προσπίπτουσα και ανακλώμενη ΦΕΑ και UV στην κόμη και στο φύλλο

Την περίοδο που πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις ακτινοβολίας η ποσότητα των κόνεων στη φυλλική επιφάνεια ήταν 242 $\mu\text{g cm}^{-2}$ για τον καολίνη, 2045 $\mu\text{g cm}^{-2}$ για το τσιμέντο και 1944 $\mu\text{g cm}^{-2}$ για το έδαφος.

Η προσπίπτουσα ΦΕΑ στα δέντρα ροδακινιάς που εφαρμόστηκε καολίνης (Πίνακας 1), ήταν ελαφρώς μικρότερη από αυτή του μάρτυρα, καθώς η ανακλώμενη ΦΕΑ από τα δέντρα που ψεκάστηκαν με καολίνη ήταν πολύ υψηλότερη (διπλάσια) αυτής των δέντρων του μάρτυρα. Όταν τα δέντρα ροδακινιάς δέχτηκαν κόνεις τσιμέντου ή εδάφους (Πίνακας 1), η προσπίπτουσα ΦΕΑ ήταν παρόμοια με αυτή των δέντρων του μάρτυρα. Επιπλέον, τα δέντρα που δέχθηκαν κόνεις τσιμέντου ή εδάφους είχαν υψηλότερη ανακλώμενη ΦΕΑ (περίπου κατά 40%) από τα δέντρα του μάρτυρα.

Παρόμοια αποτελέσματα για την ανακλώμενη ΦΕΑ βρέθηκαν και σε επίπεδο φύλλου όπου τα ρυπασμένα φύλλα είχαν υψηλότερη ανακλώμενη ΦΕΑ από τα φύλλα του μάρτυρα και ιδιαίτερα τα φύλλα που ήταν καλυμμένα με καολίνη (Πίνακας 1).

Πίνακας 1. Μέση προσπίπτουσα και ανακλώμενη ΦΕΑ και UV ακτινοβολία στην κόμη και στο φύλλο δέντρων του μάρτυρα και δέντρων που εφαρμόστηκαν καολίνης και κόνεις τσιμέντου και εδάφους

	Μάρτυρας	Καολίνης	Τσιμέντο	Έδαφος
Φωτοσυνθετικά ενεργός ακτινοβολία (ΦΕΑ) ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)				
Προσπίπτουσα στην κόμη	1632±64	1541±55	1657±69	1637±71
Ανακλώμενη από την κόμη	67±8,3	136±27,9	96±9,1	86±8
Ανακλώμενη από το φύλλο	143±5,5	297±27,2	178±15,2	156±8,4
Υπεριώδης ακτινοβολία (UV) ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)				
Προσπίπτουσα στην κόμη	111±4,2	101±9,3	103±8,2	102±9,6
Ανακλώμενη από την κόμη	2,0±0,8	6,6±1,4	4,2±0,4	3,1±0,9
Ανακλώμενη από το φύλλο	10,5±0,6	19,2±1,5	12,0±2,1	10,4±1,5

Η προσπίπτουσα UV ακτινοβολία (Πίνακας 1), που ήταν ιδιαίτερα υψηλή, μειώθηκε ελαφρά σε όλα τα καλυμμένα με κόνεις δέντρα αλλά σημαντικά μόνο στην περίπτωση του καολίνης. Η ανακλώμενη από τα δέντρα UV ήταν ελάχιστη στον μάρτυρα και αυξήθηκε από την ύπαρξη των κόνεων στην επιφάνεια του δέντρου και ιδιαίτερα του καολίνης στα φύλλα, όπου η ανακλώμενη UV έφτασε το 1/5 της προσπίπτουσας.

3.2 Διαθέσιμη ΦΕΑ και UV στη φυτική επιφάνεια

Οι επαναληπτικές εφαρμογές καολίνης αύξησαν την ποσότητα των υπολειμμάτων καολίνης ανά μονάδα επιφάνειας από 46 έως 1204 $\mu\text{g cm}^{-2}$, τα οποία οδήγησαν σε μείωση της διαθέσιμης ΦΕΑ από 5% έως 43% σε σχέση με τον μάρτυρα με τελική διαθέσιμη ΦΕΑ στη φυτική επιφάνεια 1371 και 778 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ και μείωση της UV από 17% έως 86% σε σχέση με τον μάρτυρα με τελική διαθέσιμη UV στη φυτική επιφάνεια 85 και 15 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, αντίστοιχα.

Κατά την επαναληπτική εφαρμογή κόνεως τσιμέντου η ποσότητα της κόνεως ανά μονάδα επιφάνειας κυμάνθηκε από 89 έως 1692 $\mu\text{g cm}^{-2}$ και μείωσε τη ΦΕΑ από 5% έως 39% σε σχέση με τον μάρτυρα με τελική διαθέσιμη ΦΕΑ στη φυτική επιφάνεια 1362 και 870 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ και μείωσε τη UV από 7% έως 45% σε σχέση με τον μάρτυρα με τελική διαθέσιμη UV στη φυτική επιφάνεια 96 και 57 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ αντίστοιχα.

Η επαναληπτική εφαρμογή κόνεως εδάφους αύξησε την ποσότητα κόνεως ανά μονάδα επιφάνειας από 61 έως 1724 $\mu\text{g cm}^{-2}$ και κατά συνέπεια μειώθηκε η ΦΕΑ από 1% έως 31% σε σχέση με τον μάρτυρα με τελική διαθέσιμη ΦΕΑ στη φυτική επιφάνεια 1369 και 991 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ και η UV από 6% έως 45% συγκριτικά με τον μάρτυρα με τελική διαθέσιμη UV στη φυτική επιφάνεια 96 και 54 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ αντίστοιχα.

3.3 Θερμοκρασία φύλλου

Τον Ιούλιο 2010 η μέση θερμοκρασία φύλλου το εικοσιτετράωρο (Πίνακας 2) δεν επηρεάστηκε από την ύπαρξη του καολίνης και ήταν παρόμοια με αυτή του μάρτυρα (φύλλα χωρίς κόνιν) και του αέρα. Αλλά η μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία φύλλου μειώθηκε από την παρουσία του καολίνης (κατά 3,6 °C) σε σχέση με τον μάρτυρα, ενώ η ελάχιστη δεν επηρεάστηκε (τα αποτελέσματα δεν φαίνονται). Όταν μελετήθηκαν χωριστά οι ώρες φωτός (08:00-20:00), βρέθηκε ότι στον μάρτυρα η θερμοκρασία φύλλου ήταν ελαφρώς πιο υψηλή από τη θερμοκρασία του αέρα, ενώ στον καολίνη η θερμοκρασία φύλλου ήταν χαμηλότερη από αυτή του μάρτυρα και παρόμοια ή χαμηλότερη του αέρα.

Πίνακας 2. Μέση 24ωρη και τις ώρες 8:00-20:00 και 20:00-8:00 θερμοκρασία φύλλου, σε δέντρα του μάρτυρα και σε δέντρα που δέχτηκαν καολίνη

	Μάρτυρας	Καολίνης	Εξωτερ.
Ιούλιος 2010			
Μέση θερμ. φύλλου (°C) ανά 24ωρο	29,3±1,4	28,3±1,4	29,7±1,6
Μέση θερμ. φύλλου (°C) από 8:00-20:00	34,5±1,5	32,6±1,3	33,4±1,5
Μέση θερμ. φύλλου (°C) από 20:00-8:00	22,9±1,5	22,8±1,5	24,7±1,6
Σεπτέμβριος 2011			
Μέση θερμ. φύλλου (°C) ανά 24ωρο	24,2±2,8	22,6±2,1	25,3±3,3
Μέση θερμ. φύλλου (°C) από 8:00-20:00	30,1±0,9	27,0±1,1	29,8±2,1
Μέση θερμ. φύλλου (°C) από 20:00-8:00	18,3±1,4	18,5±1,4	20,3±1,2

Τον Σεπτέμβριο 2011 και πάλι η μέση θερμοκρασία φύλλου το εικοσιτετράωρο (Πίνακας 2) δεν επηρεάστηκε σημαντικά από την ύπαρξη του καολίνης σε σχέση με τον μάρτυρα και τον αέρα. Όπως και το 2010, η μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία φύλλου μειώθηκε από την παρουσία του καολίνης (κατά 4,5 °C) σε σχέση με τον μάρτυρα, ενώ η ελάχιστη δεν επηρεάστηκε (τα αποτελέσματα δεν φαίνονται). Κατά τις ώρες φωτός τον Σεπτέμβριο 2011, τα φύλλα του μάρτυρα είχαν παρόμοια θερμοκρασία (Πίνακας 2) με αυτή του αέρα, ενώ τα

φύλλα με καολίνη είχαν σημαντικά χαμηλότερη θερμοκρασία από τα φύλλα του μάρτυρα και του αέρα. Τέλος, τις νυκτερινές ώρες (20:00-08:00) η θερμοκρασία στα φύλλα του καολίνη ήταν παρόμοια με τα φύλλα του μάρτυρα και χαμηλότερη αυτής του αέρα και τις δύο χρονιές.

Η παρουσία των κόνεων τσιμέντου ή εδάφους στα φύλλα, δεν τροποποίησε τη μέση θερμοκρασία φύλλου το εικοσιτετράωρο τον Ιούλιο 2010 σε σχέση με τα φύλλα του μάρτυρα και με τη θερμοκρασία αέρα (Πίνακας 3). Κατά τις ώρες φωτός (08:00-20:00) και πάλι οι δύο ανωτέρω κόνεις δεν τροποποίησαν τη θερμοκρασία φύλλου είτε σε σχέση με τη θερμοκρασία φύλλου του μάρτυρα, είτε με τη θερμοκρασία του αέρα. Αντίθετα, τα φύλλα των τριών μεταχειρίσεων είχαν χαμηλότερη θερμοκρασία από τον αέρα κατά τις νυκτερινές ώρες (20:00-08:00) κατά 1,2-1,6 °C.

Πίνακας 3. Μέση 24ωρη και τις ώρες 8:00-20:00 και 20:00-8:00 θερμοκρασία φύλλου σε δέντρα του μάρτυρα και σε δέντρα που εφαρμόστηκαν κόνεις τσιμέντου και εδάφους

	Μάρτυρας	Τσιμέντο	Έδαφος	Εξωτερ.
Ιούλιος 2010				
Μέση 24ωρη θερμ.φύλ. (°C)	29,1±1,9	29,0±2,0	28,8±1,7	29,6±1,9
Μέση θερμ. φύλ. (°C) από 8:00-20:00	33,8±1,6	33,7±1,6	33,3±1,3	33,1±1,5
Μέση θερμ. φύλ. (°C) από 20:00-8:00	23,3±1,3	23,3±1,3	23,7±1,2	24,9±1,3
Σεπτέμβριος 2011				
Μέση 24ωρη θερμ.φύλ. (°C)	23,16±1,4	23,4±1,3	23,4±1,3	25,8±1,1
Μέση θερμ. φύλ. (°C) από 8:00-20:00	27,2±2,3	28,4±2,3	28,4±2,3	31,3±2,0
Μέση θερμ. φύλ. (°C) από 20:00-8:00	19,0±1,7	18,5±1,7	18,5±1,7	20,4±1,3

Τον Σεπτέμβριο 2011 η μέση θερμοκρασία των φύλλων το εικοσιτετράωρο με κόνιν τσιμέντου ή εδάφους (Πίνακας 3) ήταν παρόμοια μεταξύ τους και με αυτή του μάρτυρα. Η μέση θερμοκρασία φύλλου το εικοσιτετράωρο και των τριών μεταχειρίσεων ήταν σημαντικά χαμηλότερη (κατά 2,4 °C) από αυτή του αέρα προφανώς λόγω της διαπνοής. Κατά τις ώρες φωτός, η μέση θερμοκρασία φύλλου παρουσία των κόνεων τσιμέντου ή εδάφους ήταν παρόμοια μεταξύ τους και με τα φύλλα του μάρτυρα και σημαντικά χαμηλότερη (κατά 2,9 έως 4,1 °C) από τη θερμοκρασία του αέρα. Τέλος, η μέση θερμοκρασία φύλλου κατά τις νυκτερινές ώρες, ήταν επίσης ελαφρά χαμηλότερη στα φύλλα όλων των μεταχειρίσεων (χωρίς διαφορές μεταξύ τους) σε σχέση με τη θερμοκρασία του αέρα.

3.4 Θερμοκρασία καρπού

Η μέση εικοσιτετράωρη θερμοκρασία καρπού στην ωρίμανση (αρχές Ιουλίου 2011) οριακά μόνο μειώθηκε παρουσία καολίνη και δεν επηρεάστηκε από την ύπαρξη των κόνεων τσιμέντου και εδάφους (Πίνακας 4) σε σχέση με τους καρπούς του μάρτυρα, ενώ δεν τροποποιήθηκε σε σχέση με τη θερμοκρασία του αέρα. Όταν μελετήθηκαν χωριστά οι ώρες φωτός, η παρουσία καολίνη στους καρπούς, μείωσε

σημαντικά τη θερμοκρασία τους (κατά 3,3 °C) σε σχέση με τους καρπούς του μάρτυρα. Επιπλέον η παρουσία καολίνη διατήρησε τη θερμοκρασία καρπού κοντά σε αυτή της θερμοκρασίας του αέρα, ενώ η θερμοκρασία των καρπών του μάρτυρα αυξήθηκε κατά 4,8 °C σε σχέση με τη θερμοκρασία του αέρα, λόγω της υψηλής ηλιακής ακτινοβολίας και της υψηλής ποσότητας νερού του καρπού (>80%) (Πίνακας 4).

Πίνακας 4. Μέση 24ωρη και τις ώρες 8:00-20:00 και 20:00-8:00 θερμοκρασία καρπού σε δέντρα του μάρτυρα και σε δέντρα που δέχτηκαν καολίνη και κόνεις τσιμέντου και εδάφους

	Μάρτυρας	Καολίνης	Εξωτερ.
Μέση 24ωρη θερμ. καρπού (°C)	31,6±2,0	29,6±0,9	29,1±2,3
Μέση θερμ. καρπού (°C) από 8:00-20:00	37,4±0,5	34,1±1,8	32,6±0,8
Μέση θερμ. καρπού (°C) από 20:00-8:00	20,9	21,1	22,1
	Μάρτυρας	Τσιμέντο	Εξωτερ.
Μέση 24ωρη θερμ. καρπού (°C)	27,9±2,8	28,9±2,3	30,5±2,4
Μέση θερμ. καρπού (°C) από 8:00-20:00	34,7±1,0	35,8±0,3	36,3±0,7
Μέση θερμ. καρπού (°C) από 20:00-8:00	20,2±1,1	19,8±1,1	22,6±0,9
	Μάρτυρας	Έδαφος	Εξωτερ.
Μέση 24ωρη θερμ. καρπού (°C)	29,9±2,7	29,7±3,0	29,7±2,7
Μέση θερμ. καρπού (°C) από 8:00-20:00	36,1±0,3	36,1±0,4	35,2±0,4
Μέση θερμ. καρπού (°C) από 20:00-8:00	20,7±0,2	19,8±0,8	21,2±0,5

Επίσης, κατά τις ώρες φωτός οι καρποί με ρύπανση τσιμέντου (Πίνακας 4) είχαν ελαφρώς αυξημένη θερμοκρασία σε σχέση με τους καρπούς του μάρτυρα, ενώ τόσο οι καρποί του μάρτυρα όσο και οι καλυμμένοι με κόνιν τσιμέντου είχαν ελαφρώς πιο χαμηλή θερμοκρασία από αυτή του αέρα. Τέλος, τις ώρες φωτός οι καρποί με ρύπανση κόνεως εδάφους είχαν παρόμοια θερμοκρασία με τους καρπούς του μάρτυρα και οι καρποί των δύο μεταχειρίσεων είχαν ελαφρά υψηλότερη θερμοκρασία καρπού από αυτή του αέρα. Μείωση της θερμοκρασίας καρπού (κατά 1 έως 2,8 °C) βρέθηκε σε όλες τις μεταχειρίσεις σε σχέση με τη θερμοκρασία αέρα, κατά τις νυκτερινές ώρες.

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η κάλυψη των δέντρων ροδακινιάς με καολίνη μείωσε την προσπίπτουσα και αύξησε την ανακλώμενη ΦΕΑ και UV ακτινοβολία στην κόμη και στο φύλλο συγκριτικά με τον μάρτυρα. Επιπλέον οι επαναληπτικές εφαρμογές καολίνη μείωσαν σημαντικά τη διαθέσιμη ΦΕΑ και UV ακτινοβολία στις φυτικές επιφάνειες. Η παρουσία καολίνη στα δέντρα μείωσε τη θερμοκρασία φύλλου και καρπού σε σχέση με τον μάρτυρα και τον αέρα, κυρίως τις ώρες της ημέρας που επικρατούν οι υψηλότερες θερμοκρασίες. Ομοίως σε δέντρα πεκάν η εφαρμογή καολίνη μείωσε τη θερμοκρασία του φύλλου κυρίως τις θερμότερες ώρες της ημέρας, ενώ αύξησε το διαθέσιμο φως στο εσωτερικό της κόμης των

δέντρων, εξαιτίας της αυξημένης ανάκλασης της ακτινοβολίας παρουσία καολίνη (Lombardini et al., 2005). Οι Glenn et al. (2003) υποστηρίζουν ότι η μείωση της θερμοκρασίας που επιτυγχάνεται στην κόμη και στους καρπούς με την εφαρμογή καολίνη, είναι ο βασικός μηχανισμός για τη μείωση της θερμικής καταπόνησης. Η μείωση της θερμικής καταπόνησης στα δέντρα με καολίνη, μείωσε το έλλειμμα κορεσμού στα φύλλα και αύξησε τη στοματική αγωγιμότητα των φύλλων σε δέντρα μηλιάς, με αποτέλεσμα την αύξηση της αφομοίωσης CO₂ σε σχέση με τα δέντρα του μάρτυρα. Επιπλέον, η εφαρμογή καολίνη προτείνεται κυρίως σε ξηροθερμικά περιβάλλοντα με υψηλά επίπεδα ΦΕΑ, διαφορετικά υπάρχει κίνδυνος μείωσης του ρυθμού φωτοσύνθεσης λόγω σκίασης (Glenn et al., 2003). Τέλος, η μείωση της θερμοκρασίας σε καρπούς μήλων και η αυξημένη ανάκλαση της UV ακτινοβολίας παρουσία καολίνη, βρέθηκε να μειώνει σημαντικά την υποβάθμιση της ποιότητας των καρπών λόγω ηλιακού εγκαύματος (Glenn et al., 2002).

Η εφαρμογή κόνεων τσιμέντου και εδάφους δεν τροποποίησε την προσπίπτουσα ΦΕΑ και UV ακτινοβολία στην κόμη των δέντρων σε σχέση με το μάρτυρα, ενώ αύξησε την ανακλώμενη ΦΕΑ και UV στην κόμη και στο φύλλο. Επιπλέον οι επαναληπτικές εφαρμογές κόνεων τσιμέντου και εδάφους μείωσαν σημαντικά τη διαθέσιμη ΦΕΑ και UV ακτινοβολία στη φυτική επιφάνεια. Η συσσώρευση των κόνεων τσιμέντου και εδάφους στα φύλλα και στους καρπούς δεν μετέβαλε τη θερμοκρασία τους σε σχέση με τον μάρτυρα, παρά μόνο στην περίπτωση των καλυμμένων καρπών με κόνιν τσιμέντου που αυξήθηκε ελαφρώς η θερμοκρασία τους συγκριτικά με τον μάρτυρα, τις ώρες φωτός. Οι Hirano et al. (1995) εφάρμοσαν αδρανείς κόνεις στα φύλλα αγγουριού και φασολιού και διαπίστωσαν αυξημένη απορρόφηση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας από κάποιες κόνεις, η οποία αύξησε τη θερμοκρασία του φύλλου. Βρέθηκε ότι, όσο πιο σκουρόχρωμη ήταν η κόνις, τόσο υψηλότερη ήταν η θερμοκρασία του φύλλου και όσο περισσότερη η ποσότητα της κόνεως, τόσο υψηλότερη η θερμοκρασία. Επίσης, όσο πιο ανοιχτόχρωμη ήταν η κόνις, τόσο μικρότερη ήταν η διαφορά θερμοκρασίας από το μάρτυρα (<1 °C) (Hirano et al., 1995). Επιπλέον η παρουσία κόνεως τσιμέντου σε φυτά καλαμποκιού μείωσε το δείκτη ανακλαστικότητας κατά 10% σε σχέση με τον μάρτυρα και το ποσοστό αυτό της ακτινοβολίας που παρέμενε, αύξησε τη θερμοκρασία στη φυτική επιφάνεια κατά 1,5-2,5 °C (Anda, 1986).

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η εφαρμογή καολίνη σε δέντρα ροδακινιάς βρέθηκε να μειώνει σημαντικά τη διαθέσιμη ΦΕΑ και UV ακτινοβολία στα φύλλα, αλλά η αυξημένη ανάκλαση της ΦΕΑ και της UV φαίνεται να αναδιανέμει το φως στο εσωτερικό της κόμης των δέντρων με όφελος στο φωτισμό των σκιαζόμενων φύλλων. Επιπλέον η μείωση της θερμοκρασίας

παρουσία καολίνη στα δέντρα ειδικά τις θερμότερες ώρες της ημέρας, φαίνεται να μειώνει τη θερμική καταπόνηση των δέντρων γεγονός που μπορεί να αυξήσει την αφομοίωση του CO₂ από τα φύλλα και να μειώσει τις απώλειες στην εμπορεύσιμη παραγωγή λόγω της εμφάνισης του ηλιακού εγκαύματος. Άλλωστε στις ιδιότητες του καολίνη αναφέρεται η προστατευτική του δράση προς τα φύλλα ώστε αυτά να λειτουργούν φυσιολογικά (Glenn and Puterka, 2005).

Η παρουσία των κόνεων τσιμέντου και εδάφους ομοίως μείωσε τη διαθέσιμη ΦΕΑ και UV ακτινοβολία στα φύλλα, χωρίς όμως να τη μειώνει κάτω από το επίπεδο κορεσμού για τη φωτοσύνθεση και εν μέρει αύξησε την ανακλώμενη ΦΕΑ και UV ακτινοβολία. Η εφαρμογή των ρυπαντών κόνεων τσιμέντου και εδάφους δεν τροποποίησε τη θερμοκρασία φύλλου και καρπού σε σχέση με το μάρτυρα και συνεπώς δεν επιβάρυναν αλλά ούτε και μείωσαν τη θερμική καταπόνηση των φυτικών οργάνων. Σημαντική είναι η σκίαση που προκαλεί η συσσώρευση των κόνεων τσιμέντου και εδάφους στη φυτική επιφάνεια και σε συνδυασμό με την παχιά κρούστα που δημιουργούν στις φυτικές επιφάνειες μπορεί να έχουν αρνητικές επιπτώσεις στις φυσιολογικές λειτουργίες των δέντρων ροδακινιάς.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Anda, A., 1986. Effect of cement kiln dust on the radiation balance and yields of plants. *Environ. Pollut.*, (Series A) 40:249-256
- Farmer, A.M., 1993. The effects of dust on vegetation - a review. *Environ. Pollut.*, 79:63-75
- Glenn, M.D., Prado, E., Erez, A., McFerson, J., Puterka, G.J., 2002. A reflective, processed-kaolin particle film affects fruit temperature, radiation reflection, and solar injury in apple. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 127:188-193
- Glenn, M.D., Erez, A., Puterka, G.J., Gundrum, P., 2003. Particle films affect carbon assimilation and yield in Empire apple. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 128(3):356-362
- Glenn, M.D., Puterka, G.J., 2005. Particle films: a new technology for agriculture. *Hortic. Rev.*, 31:1-44
- Grantz, D.A., Garner, J.H.B., Johnson, D.W., 2003. Ecological effects of particulate matter. *Environ. Intl.*, 29:213-239
- Hirano, T., Kiyota, M., Aiga, I., 1995. Physical effects of dust on leaf physiology of cucumber and kidney bean plants. *Environ. Pollut.*, 89:255-261
- Karagounis, C., Kourdoumbalos, A.K., Margaritopoulos, J.T., Nanos, G.D., Tsitsipis, J.A., 2006. Organic farming-compatible insecticides against the aphid *Myzus persicae* in peach orchards. *J. Appl. Entomol.*, 130(3):150-154
- Lombardini, L., Harris, M.K., Glenn, M.D., 2005. Effects of particle film application on leaf gas exchange, water relations, nut yield, and insect populations in mature pecan trees. *HortScience*, 40(5):1376-1380

- Mandre, M., Klõšeiko, J., Ots, K., Tuulmets, L., 1999. Changes in phytomass and nutrient partitioning in young conifers in extreme alkaline growth conditions. *Environ. Pollut.*, 105: 209-220
- Nanos, G.D., Ilias, I.F., 2007. Effects of inert dust on olive (*Olea europaea* L.) leaf physiological parameters. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 14:212-214
- WHO/SDE/OEH/99.14. Hazard Prevention and Control in the Work Environment: Airborne Dust

ΑΠΟΔΟΜΗΣΗ ΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΦΥΛΛΩΝ ΕΔΑΦΟΚΑΛΥΨΗΣ ΠΟΛΥΑΙΘΥΛΕΝΙΟΥ ΜΕ ΠΡΟ-ΟΞΕΙΔΩΤΙΚΑ - ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΔΙΑΣΠΑΣΗΣ ΣΤΟ ΧΩΜΑ

Δημήτρης Μπριασούλης¹, Μιλτιάδης Χισκάκης¹, Ιωάννα Κυρίκου¹, Επιφανεία Μπάμπου¹

¹Τμήμα Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Ιερά Οδός 75, Αθήνα, Ελλάδα, e-mail: briassou@aua.gr

Εκτός από τα συμβατικά φύλλα πολυαιθυλενίου και τα βιοδιασπώμενα σε χώμα και κομπόστ αγροτικά πλαστικά, ήδη χρησιμοποιούνται στη γεωργία φύλλα πολυαιθυλενίου ελεγχόμενης διάσπασης στο χώμα. Τα ειδικά προ-οξειδωτικά που χρησιμοποιούνται σαν πρόσθετα επιταχύνουν την αβιοτική οξείδωση και ακόλουθη διάρρηξη των αλυσίδων του πολυμερούς υπό συνθήκες υπερβόσκησης ακτινοβολίας ή θερμικής καταπόνησης. Ο ρόλος των προ-οξειδωτικών στην πιθανή βιοδιάσπαση του πολυαιθυλενίου υπό συγκεκριμένες εργαστηριακές συνθήκες έχει υποστηριχθεί από κάποιους ερευνητές. Παρόλα αυτά σε αληθινές συνθήκες εδάφους τα αποτελέσματα είναι αμφισβητούμενα. Φύλλα εδαφοκάλυψης από πολυαιθυλένιο χαμηλής πυκνότητας (LLDPE) με προ-οξειδωτικά μετά τη χρήση τους για μια καλλιεργητική περίοδο σε πειραματικό αγρό θάφτηκαν κάτω από πραγματικές συνθήκες. Παράλληλα, φύλλα LLDPE με προ-οξειδωτικά που υπέστησαν στο εργαστήριο τεχνητή γήρανση με υπεριώδη ακτινοβολία ή με θερμότητα, εκτέθηκαν σε συνθήκες ταφής στον ίδιο αγρό με σκοπό να εξετασθεί ο βαθμός επίδρασης στην αποδόμηση του υλικού της UV ακτινοβολίας, της υψηλής θερμοκρασίας και των συνθηκών ταφής στο έδαφος. Στην εργασία αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της υποβάθμισης των μηχανικών ιδιοτήτων καθώς και οι χημικές και φυσικές αλλοιώσεις που υπέστησαν τα υλικά αυτά εντός του εδάφους για μία περίοδο 7 ετών.

Λέξεις κλειδιά: Φύλλα εδαφοκάλυψης, Πολυαιθυλένιο με προ-οξειδωτικά, Επιταχυνόμενη γήρανση, Διάσπαση πλαστικού στο έδαφος

DEGRADATION OF POLYETHYLENE MULCHING FILMS WITH PROOXIDANTS - ANALYSIS OF THE DEGRADATION BEHAVIOUR IN SOIL

Demetres Briassoulis¹, Miltiadis Hiskakis¹, Ioanna Kyrikou¹, Epifaneia Babou¹

¹Department of Natural Resources Management and Agricultural Engineering, Agricultural University of Athens, 75 Iera Odos, Athens GR-11855, Greece, e-mail: briassou@aua.gr

Apart from the conventional mulching films and the biodegradable in soil and compost agricultural plastics, polyethylene mulching films of controlled degradation in soil are already used in agriculture. The use of special prooxidants as additives, accelerates the abiotic oxidation and the subsequent chain scission of the polymer under specific UV-radiation or thermal degradation conditions, as highlighted in literature. The role of prooxidants in the possible biodegradation of polyethylene has been theoretically supported by some researchers using controlled lab conditions. However, in real soil conditions, the results are not supporting these claims and the issue remains disputed. Mulching films made from linear low density polyethylene (LLDPE) with prooxidants after been used for one cultivation period in an experimental field were buried under real field conditions. In parallel, LLDPE films with prooxidants that were exposed in accelerated ageing conditions or in thermal degradation were exposed in soil burial conditions with the aim of investigating the effect of the UV radiation, the high temperature and the burial conditions in the degradation of the plastic material. This work presents the results of the mechanical properties degradation and the chemical and physical changes of the plastic films buried for a period of 7 years.

Keywords: Mulching films; Polyethylene with pro-oxidants; UV artificial ageing; Degradation of plastics in soil

1. INTRODUCTION

The growth of uncontrolled disposal of plastic waste in the environment is a matter of great concern leading to long-term environmental, health, economic and waste administration problems. Degradation of plastic waste through various environmental friendly methods (e.g. biodegradation, compost) becomes an alternative to solve such problems.

Another kind of material developed the last decades and introduced in the market, including the application of mulching films, is the so called oxo-degradable plastics. In the case of mulching films, polyethylene (PE) is adapted by additivating it with pro-oxidants that control PE degradation. Oxo-degradable mulching films have already been introduced and used in agricultural applications (Bonora and Decorte, 2003, Scott and Gilead, 1995).

The addition of specialised pro-oxidants in polyethylene films formation, accelerates the breakdown of polyethylene to very small fragments (fragmentable materials) but biodegradability of such materials is strongly disputed (Feuilloley, 2004, Fritz, 2003, Thompson et al., 2004).

LLDPE mulching films with prooxidants were used in watermelon cultivation in the experimental field of AUA (Kyrikou et al., 2011). These films, following the end of the cultivation period, were buried under real field conditions to investigate their long term degradation behavior in the soil. In a parallel experiment samples of the same polyethylene films with pro-oxidants, pre-treated by exposure to accelerated UV radiation and high temperature and not pre-treated, were buried in the soil of the same experimental field. The degradation behaviour of the

mulching films and pre-treated samples in soil for a period of 7 years is presented.

2. MATERIALS & METHODS

2.1. Degradation under real cultivation conditions

The effect of natural degradation of the LLDPE-P1 film on its subsequent degradation in soil behaviour was investigated immediately after the end of the cultivation season that lasted 6 months. The degraded LLDPE-P1 mulching films along with the plant remains were incorporated in the soil in an area of 1 m² of the field. These films are labelled "*LLDPE-P1-mulch*". The rest of the remains of the degraded LLDPE-P1 mulching films were collected and buried altogether in another separate designated area of 1 m² in the field. These films are denoted "*LLDPE-P1-massive*". Following a 6 & 7-year period under natural soil burial conditions, samples of these films were removed to evaluate the long-term degradation.

2.2. Artificial degradation

Two sets of samples of the film LLDPE-P1 were artificially aged in order to investigate in a controlled way the effect of intensive artificial UV radiation and temperature induced degradation on the behavior of the film when exposed to real soil environment in the same field. A first set of samples was exposed to an artificial accelerated ageing apparatus with the following characteristics: intensive UV radiation at wavelength range 300-400 nm using a combination of UV-A and UV-B types of lamps providing respectively a strong radiation at wavelengths of 340 nm and 310 nm where polyethylene is sensitive (BASF the chemical company). The system consisted of 10 bulbs Philips TL 40W/12RS Medical UVB and 12 Philips Cleo Performance 40W broadband UVA placed in a 1 m² area in a staggering pattern. Irradiation at the level of the samples was measured at 45 W/m².

Chamber Temperature: 50°C; No humidity. The total exposure period was 1.1 months. This set of samples is denoted as "*UV degradation*". A second set of samples was exposed to artificial thermal ageing (oven temperature: 50°C). The exposure period was 1.1 months. This set of samples is denoted as "*Thermal degradation*".

In total, 12 film samples, approx. 2 g each, embedded in a 3 kg mass of sieved (2 mm) soil taken from the experimental field, were placed inside 12 pouches made of PP net (dimensions of rectangular voids of the net: 0.35 mm×1 mm). The pouches with the soil and the samples inside were buried in the experimental field. This experiment consisted of 4 recalls (series of different exposure time) with 3 different samples/recall: untreated PE mulching film (*LLDPE-P1 untreated sample*), pre-treated LLDPE-P1 film in an oven at 50°C for 800 h (*LLDPE-P1 oven-treated sample*) and artificially aged LLDPE-P1 film exposed for 800 h (~5 weeks) to accelerated UV radiation (*LLDPE-P1 UV-treated sample*).

2.3. Methods of analysis and testing

The samples recovered from the soil burial at predefined intervals were analyzed for changes in mechanical and chemical properties by a series of mechanical tests, Differential Scanning Calorimetry (DSC) and FTIR-Spectrometry. The mechanical (tensile) properties of non fragmented samples were measured using an INSTRON testing machine Model 4204 following the standard EN ISO 527-3 (or ASTM D882). The thermal properties of all the tested samples were analyzed by a Perkin Elmer Pyris 6 DSC calibrated with Indium. Thermograms of 15±5 mg samples of the plastic were recorded using three cycles: (a) equilibrating at -5°C, (b) heating from -5 to 200°C at 10 °C/min (c) cooling from 200 to -5°C at 10 °C/min. Mid infrared spectra (mid IR region, between 4000 cm⁻¹ and 400 cm⁻¹) were measured at NHRF, on an FTIR spectrometer - Equinox 55 by Bruker Optics - by single reflection diamond ATR spectroscopy. All spectra have been measured with a resolution of 2 cm⁻¹, and a zero filling interpolation factor of 2. The mid IR spectra were referenced against air. The frequency range was 525 cm⁻¹ - 5000 cm⁻¹. Mid infrared spectra was run at AUA on an FTIR spectrometer Tensor 27 by Bruker Optics by single reflection diamond ATR spectroscopy.

2.3. Recovery of sample fragments

The recovered "LLDPE-P1 untreated" and the majority of the "LLDPE-P1 oven treated" series of samples (19, 69, 82 months of exposure in soil burial conditions) were easily separated from the soil as the films were found almost intact. Half of the "LLDPE-P1 oven-treated" sample of 31 months of exposure, as well as the recovered "LLDPE-P1 UV treated" samples of all series were found fragmented into small pieces. In these cases, a special separation procedure was introduced for collecting the small fragments from the soil as follows:

A solution of glycerol-water 90 g glucose in 10 g water by weight (90/10) (1st recall), or with the ratio 16/500 (glucose/water) (2nd, 3rd and 4th recalls) was added to the mixture (soil-plastic). The mixture was stirred for about 5 min. The visible floating fragments were collected. Then, the supernatant (liquid phase above soil) was filtered in a 'gooch' crucible (porosity 2) to be filtered. This procedure was repeated until no visible plastic (black) fragments were left. After the separation, the larger fragments were washed with diluted water carefully in order to remove the soil adhered on them. Subsequently, the fragments were placed on a petri-dish and dried in the oven at 104°C for 2 h. After cooling at ambient temperature all collected plastic fragments from the specific sample were consolidated and weighed.

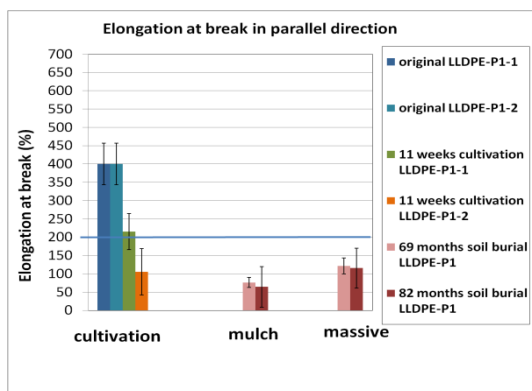
In the case of the LLDPE-P1 UV-treated sample after 82 months in the field, no plastic fragments could be distinguished inside the pouch through visible observation or the separation procedure described above. Characteristic smaller plastics were finally collected by means of electrostatic pincers. Such tiny pieces were found in dimensions of less than 500 µm, very difficult to be traced and even more difficult to be

collected. Even smaller fragments could be identified only by means of a microscope.

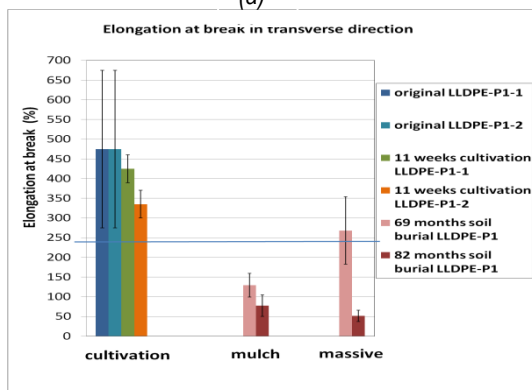
3. RESULTS & DISCUSSION

3.1 Evolution of critical mechanical properties

Figure 1 shows the evolution of the elongation at break of the LLDPE-P1 film (two layers used: upper and lower layers: 1, 2) before and after the cultivation period (Kyrikou I. et al., 2011) and after the soil burial of the degraded films for 69 & 82 months in the field. The elongation at break ϵ_{br} in the parallel direction after the end of the cultivation period exhibited a deduction of 46,2% and 73,75% in the cases of LLDPE-P1-1 and LLDPE-P1-2 films, respectively. The reduction of ϵ_{br} was measured at 81% and 69,7% for the LLDPE-P1-mulch and LLDPE-P1-massive samples, respectively, buried for 69 months that was further decreased to 83,9% and 71,1% after 82 months in the soil. In the transverse direction, ϵ_{br} presented a high decrease of 72,8% and 83,7% in the case of the LLDPE-P1-mulch film buried for 69 months and 82 months correspondingly. The LLDPE-P1-massive collected films showed a decrease of 89,2% after 82 months.



(a)



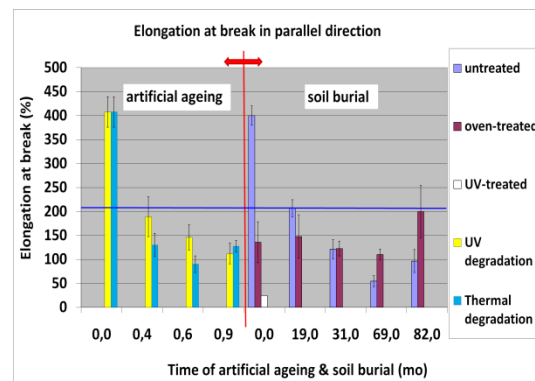
(b)

Figure 1 Elongation at break (%) of LLDPE-P1-1 and LLDPE-P1-2 mulching films before and after the cultivation period and of the “LLDPE-P1-mulch” and “LLDPE-P1-massive” samples after soil burial for 69 & 82 months; (a) parallel; (b) transverse direction

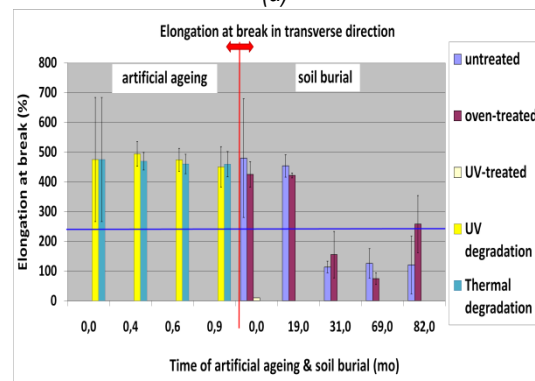
Figure 2 depicts the evolution of the elongation at break of the LLDPE-P1 samples during the artificial UV and oven ageing pre-treatment phases (Kyrikou I. et al., 2011), as well as during the long term soil-

burial phase. The samples exposed to accelerated UV ageing were fragmented when recovered from soil and no mechanical tests could be performed.

The elongation at break in the parallel direction, showed a reduction of 72,41% and 68,75% after 0,9 months of exposure in the UV and oven-ageing process correspondingly. During the soil burial exposure maximum losses of 75.86% were recorded for ϵ_{br} after 82 months for the case of the untreated films. For the case of the oven treated series, no further significant changes were noted. In the transverse direction, ϵ_{br} exhibited a decline of 74.87% for the untreated series after 82 months and a decrease of 82.49% for the oven-treated series after 69 months in the soil conditions.



(a)



(b)

Figure 2. Elongation at break (%) of LLDPE-P1 films during the artificial and oven ageing and during the soil burial experiment (a) in parallel and (b) in transverse direction

3.2 Evolution of the Thermal Properties through DSC Measurements

Figure 3 shows the crystallinity values of the LLDPE-P1 mulching films tested before their use, during their application in the experimental field and after their burial in the soil for 6-7 years.

It is shown that the mulching films (LLDPE-P1-1,2) presented a gradual increase of their crystallinity during their application at the field. The increase of the crystallinity of LLDPE material containing prooxidants during its exposure to UV radiation is also stated in the work of (Roy et al., 2008) where accelerated photodegradation studies were performed on LLDPE samples containing cobalt stearate. Due to the fact that LLDPE is a semicrystalline polymer in which the

polymeric chains pass through both the crystalline and amorphous regions, and due to the gradual depletion of the amorphous phase, the crystallinity presented an increase during the photodegradation process.

The crystallinity values of the samples from the two series “LLDPE-P1-mulch”, “LLDPE-P1-massive” is shown to remain almost unchanged after the soil burial period for 69 months retaining the same values that were reached after the application in the cultivation for 11 weeks. However they show a ~36% decrease in their initial crystallinity values from the 69th to the 82nd month of soil burial (13 months).

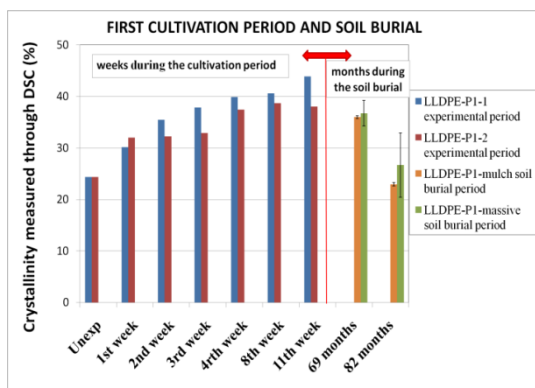


Figure 3 Evolution of crystallinity values of LLDPE-P1 samples before, during the exposure in the field and after their burial for 69 and 82 months in the soil

Figure 4 shows the progress of the crystallinity values based on DSC measurements of the films during the artificial ageing procedure (Kyrikou I. et al., 2011), in correlation to the corresponding values measured during the soil burial exposure, up to 82 months. A gradual increase is observed during the UV degradation of the material. A similar, but stronger, trend was noted as a result of photodegradation of the LLDPE-P1 films during the cultivation period (natural ageing) that took place in the framework of the field experiments (Figure 3). This increase in crystallinity has been associated in the literature with a simultaneous decrease in the average molecular weight of the exposed samples (Koutny et al., 2006; Viswanath, 2010; Torikai, 1994). It is also correlated to the degradation of the mechanical properties of the tested materials during the cultivation period (Kyrikou et al., 2011) also confirmed by analogous research results reported in the literature (Koutny et al., 2006; Viswanath, 2010; Torikai, 1994). Likewise, characterization of LLDPE films containing pro-oxidant samples by DSC after 93 days of sunlight exposure showed a slight increase in their crystallinity in comparison to unexposed samples (Corti et al., 2010). Evidently, sunlight-induced ageing oxidized these films producing lower molecular weight products. Because oxidation is primarily confined to the amorphous portion of the polymer matrix, the remainder of the polymer is more susceptible to molecular reorganization which may explain the increase in the crystallinity of the pro-oxidant containing photo-oxidized films.

Additionally, a continuing increasing trend of the crystallinity is observed for the three series of the films during their exposure in burial conditions until the 69th month and then there is a decrease after 82 months (similar to the one of the films exposed first to cultivation conditions). The series of samples that were pre-treated in the UV apparatus for 800 h (1,1 months), exhibited higher crystallinity per 28% when compared to the unexposed to the UV degradation samples. Identical behavior was recorded in the case of the crystallinity values of “LLDPE-P1-mulch” and “LLDPE-P1-massive” samples during their soil burial for 69 and 82 months following their exposure in natural ageing as shown in Figure 3.

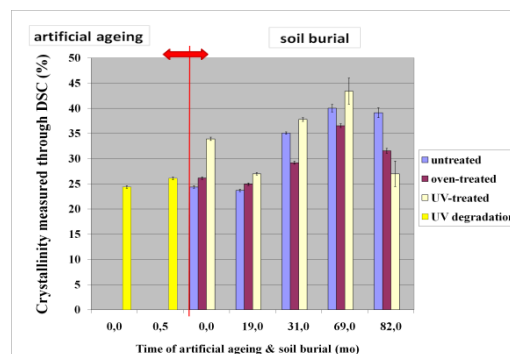


Figure 4 Crystallinity values of the LLDPE-P1 mulching films based on DSC measurements during the artificial ageing procedure and during the soil burial exposure up to 82 months

3.3 Identification of chemical composition changes through FTIR Spectroscopy

It is known that the infrared spectra of LLDPE samples under UV irradiation show that the carbonyl region 1850 cm^{-1} - 1675 cm^{-1} consistent with a mixture of carboxylic acid and ketone species, increases in most cases (Tidjani, 2000).

The carbonyl index (CI) of the spectra was defined in this work as the ratio of carbonyl to methylene absorbance and was used to express the concentration levels of carbonyl compounds measured by FTIR-ATR. The CI was calculated as the ratio of the optical density of the carbonyl absorption band at 1714 cm^{-1} over the optical density of the methylene absorption band at 1462 cm^{-1} (CH_2 scissoring peak) (Koutny et al., 2008; Abrusci et al., 2011; Kalus, 2007; Sangwan & Dean, 2011).

The carbonyl index of the LLDPE-P1 mulching films during the cultivation experiment exhibited a continuously increasing trend till the 6th week (total duration of experiment: 11 weeks) (Kyrikou et al., 2011). After the soil burial of these films for 6-7 years, the carbonyl index of the samples was zeroed. It appears that the carbonyl species disappear during the soil burial period, despite that the samples show serious degradation but no disintegration signs.

FTIR-ATR spectra run on the untreated and oven-treated series of LLDPE-P1 films and then exposed in the soil for 19, 31, 69 and 82 months showed identical absorption peaks (i.e. no change in chemical structure) at 2900, 2800 cm^{-1} (C-H stretching

vibrations of polyethylene), 1470, 1460, 1370 cm^{-1} (methylene group scissoring and bending vibrations - CH_2 in polyethylene) and 730 and 718-720 cm^{-1} (CH_2 rocking modes in polyethylene) (Western Washington University, Spectra Analysis Instruments, Krimm et al., 1956). For the case of the UV-treated series of samples, after the first 15 days of exposure in the artificial ageing conditions a carbonyl band is identified at 1715 cm^{-1} . According to the results presented in Figure 5 it is evident that the carbonyls found as oxidation products due to the UV radiation exposure, follow an increasing trend during the exposure of the LLDPE-P1 samples in the artificially ageing procedure. During the soil burial phase, the quantity of carbonyl compounds is gradually decreasing already after the first 19 months of the experiment when a 22% loss has been recorded when compared to the carbonyls calculated after the exposure for 26 days in the UV apparatus. Thereafter an abrupt decrease is observed in the carbonyls after 31 months of burial exposure per 96%. A gradual slow increase follows the time of exposure for the remaining period, an indication of continuing abiotic degradation with time of exposure in the soil: after 82 months, the concentration of carbonyls became 5 times higher when compared to the corresponding index of the 31 months soil burial. No formation of carbonyls is observed for the untreated / oven-treated series of samples during the soil burial period except for oven treated samples after 82 months that show carbonyl formation like the UV pretreated samples.

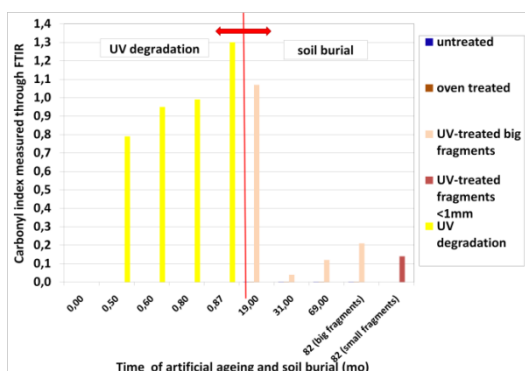


Figure 5 Evolution of the carbonyl index of the LLDPE-P1 mulching film samples during the artificial ageing procedure and during their exposure in soil burial conditions

3.4 Evolution of the disintegration of the LLDPE-P1 films in soil over a period of seven years

The changes in the weights of the recovered samples or fragments of the four series are graphically shown in Figure 6. The “LLDPE-P1 untreated” series and the “LLDPE-P1 oven-treated” series of samples were almost totally recovered from soil during the whole duration of the experiment. In the case of the UV-treated samples, the weight of recovered fragments during the time period of 19 up to 31 months decreased by 4%. Considering that the micro-fragmentation was more intensive after 31 months burial in the field, the separation and

collection of some of the very small micro-fragments and of those which were almost invisible from the soil aggregates was not possible. The weight of the recovered UV treated sample after 69 and 82 months of soil burial indicates a significant decrease of the weight of the tiny micro-fragments that were possible to be recovered of 61.3% and 89%, respectively vs 10.62% not recovered after 31 months in the soil. An increasing with the time of exposure percentage of very small fragments in the case of the UV-treated series, was invisible by naked eye (especially in the case of the sample exposed for 82 months). The size of these invisible fragments was measured by microscope to be smaller than the size of the net (e.g. plastic fragment 500 μm v.s. net dimensions: 0.35 mm - 1 mm). This suggests that the possibility that a percentage of the smallest micro-fragments transported by ground water flow away through soil macropores (size $>75 \mu\text{m}$) and possibly soil mesopores (75 μm –30 μm), is high. Further, the efficiency of the separation method in collecting and weighing all fragments present in the pouch is questionable as it was practically impossible to collect invisible micro-fragments from the water-glucose solution.

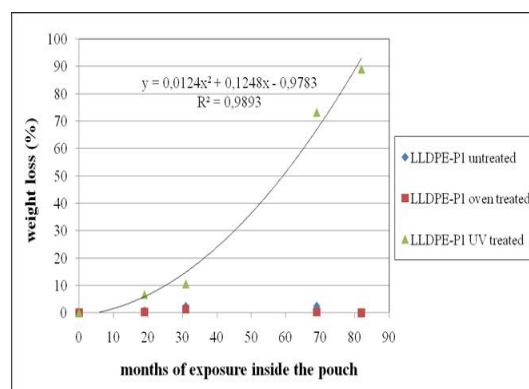


Figure 6 Evolution of the weight of the LLDPE-P1 samples/fragments that could be recovered following their exposure in the soil under real field conditions

CONCLUSIONS

LLDPE mulching films with prooxidants were investigated regarding possible changes in the chemical and thermal properties, as well as their mechanical properties evolution, after their burial in the soil under real field conditions for a total duration of 7 years following their use in watermelon cultivation. Apart from a further degradation of the mechanical properties of the already degraded film, no disintegration signs or any other serious degradation of the material of the films occurred during burial in the soil, according to spectroscopic and thermal analysis.

At the same time, samples of LLDPE films with prooxidants that were exposed in accelerated UV or thermal ageing were exposed in soil burial conditions in the same field: based on the evolution of the weight of samples pre-treated by UV-A, and UV-B radiation and recovered in four recalls, high disintegration rate is observed with time leading to fragmentation of the samples into tiny invisible micro-fragments. Samples

aged at the oven did not present high fragmentation behaviour, but mainly mechanical degradation.

These findings indicate a serious risk of accumulation of degraded PE in the soil, if this type of mulching film is used for consecutive years in the field and is incorporated into the soil at the end of the cultivation period. Polyethylene mulching films with pro-oxidants strongly degraded during their useful life-time, and buried in the soil at the end of the cultivation period, will be slowly transformed into invisible tiny micro-fragments polluting the soil and water. The fate of these invisible micro-fragments is unpredictable.

4. ACKNOWLEDGEMENTS

This work was partially supported by the Environment-Pythagoras II Program of GSRT, 2005-07.

5. REFERENCES

- Abrusci C, Pablos JL, Corrales T, López-Marín J, Marín I, Catalina F. Biodegradation of photo-degraded mulching films based on polyethylenes and stearates of calcium and iron as pro-oxidant additives. *International Biodeterioration & Biodegradation* 2011; 65: 451-459
- BASF the chemical company, Get a grip on light with Uvinul-Light stabilizers from BASF: Expect more! URL:http://www.supmat.com/download/BASF/uvicul_get_a_grip_1604e.pdf
- Bonora, M. and De Corte, D. 2003. Additives for controlled degradation of agricultural plastics: ENVIROCARETM. *Macromol. Symp.* 197: 443-453
- Corti A, Muniyasamy S, Vitali M, Imamc SH, Chiellini E. Oxidation and biodegradation of polyethylene films containing pro-oxidant additives: Synergistic effects of sunlight exposure, thermal aging and fungal biodegradation. *Polymer Degradation and Stability* 2010; 95: 1106-1114
- Feuilletoy P. Ce plastique faussement biodégradable. *La Recherche* 2004; 374:52-4.
- Fritz J. Strategies for detecting ecotoxicologic effect of biodegradable polymers in agricultural application. *Macromolecular Symposia* 2003; 197:397-409
- Kalus J., Oxo-Degradable Polyethylene Films, Master Thesis 2007, Tomas Bata University in Zlin Faculty of technology
- Koutny M, Lemaire J, Delort AM. Biodegradation of polyethylene films with prooxidant additives. *Chemosphere* 2006; 64 (8):1243-1252.
- Koutny M., Vaclavkova T., Matisova-Rychla L, Rychly J. Characterization of oxidation progress by chemiluminescence: A study of polyethylene with pro-oxidant additives. *Polymer Degradation and Stability* 2008; 93: 1515–1519
- Krimm S., Liang C. Y., Sutherland G. B. B. M., *Infrared Spectra of High Polymers. Part II. Polyethylene. The Journal of Chemical Physics*; 1956, 25 (3), 549-562
- Kyrikou I, Briassoulis D, Hiskakis M, Babou E. Analysis of photo-chemical degradation behavior of polyethylene mulching film with pro-oxidants. *Polymer Degradation and Stability* 2011; 96 (12): 2237–2252
- LABELAGRIWASTE, <http://labelagriwaste.aua.gr>, 'Labelling agricultural plastic waste for valorising the waste stream', Collective research, LABELAGRIWASTE, Contract no. 516256-2
- Roy PK, Surekha P, Rajagopal C, Choudhary V. Degradation Behavior of Linear Low-Density Polyethylene Films Containing Prooxidants Under Accelerated Test Conditions. *Journal of Applied Polymer Science* 2008; 108: 2726–2733
- Sangwan P., Dean K., *Degradable Plastics Packaging Materials: Assessment and Implication for the Australian Environment. Final Report, Materials Science and Engineering, CSIRO - EP114268, 8th June 2011, Australia*
- Scott G. and Gilead D. (1995) Editors, *Degradable polymers: principles and applications*, Kluwer Academic Publishers/Chapman and Hall.
- Spectra Analysis Instruments, Inc., DiscovIR-LC Deposition and Detection System. Application Note 032, November 2009, URL: www.spectra-analysis.com, http://www.spectra-analysis.com/applications/documents/AppNote032_IR-LCCharacterizationofPolyolefins.pdf
- Thompson R.C., Olsen Y., Mitchell R.P., Davis A., Rowland S.J., John A.W.G, et al. (2004) *Science* 304:838.
- Tidjani A. Comparison of formation of oxidation products during photo-oxidation of linear low density polyethylene under different natural and accelerated weathering conditions. *Polymer Degradation and Stability* 2000; 68: 465-469
- Torikai A. Photo- and Radiation-Induced Degradation of Synthetic Polymers: Polymer Structure and Stability. *J Mater Chem* 1994; 216:225-241
- Viswanath V. Degradation Studies of Polypropylene Fibers and Nonwovens with Prodegradant Additives. A thesis submitted to the Graduate Faculty of North Carolina State University, Textile Engineering. URL: <http://repository.lib.ncsu.edu/ir/bitstream/1840.16/6302/1/etd.pdf> (date of last access: March 2012), 2010
- Western Washington University WWU, Department of Chemistry, Infrared Spectroscopy
URL of WWU: <http://www.chem.wwu.edu/dept/wwuchem.html>

ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΧΟΛΙΚΩΝ ΑΥΛΩΝ

**Δημήτριος Αντωνιάδης¹, Ιωάννης Τσιρογιάννης², Νικόλαος Κατσούλας¹, Ευαγγελινή Κίττα³,
Βασιλεία Χρηστίδου³, Κωνσταντίνος Κίττας¹**

¹Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Οδός Φυτόκου, Τ.Κ. 38446, Νέα Ιωνία Μαγνησίας

²ΤΕΙ Ηπείρου, Τμ. Ανθοκομίας - Αρχιτεκτονικής Τοπίου, Κοστακιοί Άρτας, Τ.Κ. 47100, Άρτα

³Τμήμα Προσχολικής Εκπαίδευσης, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Αργοναυτών και Φιλελλήνων, Τ.Κ. 38221, Βόλος

Στην παρούσα εργασία, σε μία τυπική σχολική αυλή της πόλης της Νέας Ιωνίας Μαγνησίας, χαρτογραφήθηκε η χωρική διαφοροποίηση της θερμικής άνεσης χρησιμοποιώντας επί τόπου μετρήσεις μικροκλιματικών παραμέτρων (θερμοκρασία αέρα, ταχύτητα ανέμου, υγρασία αέρα, και ροές ακτινοβολίας) για τον υπολογισμό του θερμοφυσιολογικού δείκτη PET (Φυσιολογικά Ισοδύναμη Θερμοκρασία), ενώ καταγράφηκαν η διαφοροποίηση της υπερϊώδους ακτινοβολίας UV, η ανάκλαση των υλικών και η θάμβωση που προκαλούν, σε σκιασμένες και εκτεθειμένες στον ήλιο επιφάνειες. Σκοπός της μελέτης αυτής ήταν η μέτρηση των βιοκλιματικών παραμέτρων και η κατάρτιση βιοκλιματικών χαρτών των αύλιων χώρων σε σχολικά κτίρια, ώστε να σχεδιαστούν και υλοποιηθούν σχέδια φύτευσης και παρεμβάσεων με σκοπό τη βελτίωση των βιοκλιματικών παραμέτρων της σχολικής αυλής και τη δημιουργία ελκυστικού και άνετου περιβάλλοντος.

Λέξεις κλειδιά: PET, βιοκλιματικοί χάρτες, θερμική άνεση, χωρική καταγραφή UV, ανάκλαση υλικών.

OPTIMIZATION OF BIOCLIMATIC PARAMETERS IN SCHOOLYARDS IN GREECE

**Dimitrios Antoniadis¹, Ioannis Tsirogiannis², Nikolaos Katsoulas¹, Evagelini Kitta³,
Vasillia Christidou³Constantinos Kittas¹**

¹Laboratory of Agricultural Constructions and Environmental Control, Department of Agriculture Crop Production and Rural Environment, University of Thessaly, Fytokou Street, N. Ionia, GR-38446, Volos, Greece

²TEI of Epirus, Dept. Floriculture - Landscape Architecture, Kostakioi in Arta, GR-47100, Arta, Greece

³Dept. of Preschool Education, University of Thessaly, Argonafton Street, GR-38221, Volos, Greece
dgantoniadis@gmail.com, agroworks@yahoo.gr, nkatsoul@gmail.com, eva.kitta@gmail.com, vchristi@uth.gr, ckittas@uth.gr

In the present project, in a typical schoolyard of the town of Volos, was mapped the differentiation of the thermal comfort, using on-site measurements of microclimatic parameters (air temperature, wind speed, humidity and radiation fluxes) for the calculation of the thermo physiological index PET (Equivalent Physiological Temperature), while it was mapped the differentiation of the UV radiation, the reflection of ground materials and the albedo that they provoke on sites exposed in sun or stayed shadowed. The target of the project is to estimate the bioclimatic parameters and to create bioclimatic maps of the schoolyards in schools, in order to design and execute Plantation schedules and interventions for the improvement of the bioclimatic parameters of the schoolyards and the creation of an attractive and relaxed environment.

Key words: schoolyards, PET, bioclimatic maps, spatial differentiation of thermal sense, UV mapping, albedo

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι μικροκλιματικές παράμετροι είναι κεντρικής σημασίας για τις δραστηριότητες που λαμβάνουν χώρα σε μια περιοχή και σε μεγάλο βαθμό καθορίζουν τη χρήση των αστικών υπαίθριων χώρων. Οι αντιδράσεις στο μικροκλίμα μπορεί να μην είναι συνειδητές αλλά συχνά οδηγούν σε διαφορετική χρήση του χώρου υπό διαφορετικές κλιματικές συνθήκες. Έτσι η κατανόηση των μικροκλιματικών χαρακτηριστικών των υπαίθριων αστικών χώρων και των επιπτώσεων τους στην άνεση των ανθρώπων που τους χρησιμοποιούν, είναι ιδιαίτερα σημαντική κατά το σχεδιασμό τους. Οι σχολικές αυλές είναι πολύ συχνά οι μόνοι ανοιχτοί χώροι σε πυκνοκατοικημένες αστικές περιοχές στις οποίες τα αδιαπέραστα υλικά (π.χ. σιμέντο, ασφαλτος κτλ) κυριαρχούν, με αποτέλεσμα το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας να εντείνεται. Η επιπλέον αυτή θέρμανση στο κέντρο της

πόλης σε σχέση με τα προάστια μπορεί να αποδοθεί σε διάφορους παράγοντες όπως η αυξημένη αποθήκευση αισθητής θερμότητας στα υλικά κατασκευής (π.χ. ασφαλτος, σκυρόδεμα), μειωμένες απώλειες μικρού μήκους κύματος ακτινοβολίας, αυξημένη παραγωγή ανθρωπογενούς θερμότητας, μειωμένη αποθήκευση λανθάνουσας θερμότητας, κάνοντας τη θερμική δυσφορία πιο έντονη στο κέντρο της πόλης εξαιτίας των υψηλότερων επιπέδων θερμοκρασίας. (Papanastasiou et al. 2010). Οι Santamouris et al. (2001) μελέτησαν την ένταση του φαινομένου της θερμικής νησίδας στην Αθήνα στη διάρκεια του καλοκαιριού και βρήκαν ότι στους περισσότερους σταθμούς μέτρησης στο κέντρο της πόλης στη διάρκεια της ημέρας η διαφορά θερμοκρασίας πλησίαζε τους 10° C, ενώ οι Papanastasiou et al. (2012), υπολόγισαν στην πόλη του Βόλου τη μέγιστη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ

του κέντρου της πόλης και των προαστίων εξαιτίας του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας στους 3.4 και 3.1°C στη διάρκεια του χειμώνα και του καλοκαιριού αντίστοιχα. Οι σχολικές αυλές είναι σημαντικές για τα παιδιά για την κατανόηση του περιβάλλοντος (Malone and Tranter 2003) και μπορούν υπό προϋποθέσεις να λειτουργήσουν ως ένα ιδιαίτερα επικοινωνιακό περιβάλλον, μέσα στο οποίο τα παιδιά να παίζουν, να εξερευνούν, να μαθαίνουν, να δημιουργούν και να συνεργάζονται, ερχόμενα σε επαφή με στοιχεία του φυσικού περιβάλλοντος. Τέτοιες προϋποθέσεις είναι α) η ενεργός συμμετοχή των παιδιών στη διαμόρφωση του χώρου της σχολικής αυλής, β) η δημιουργία ενός αύλειου χώρου που να περιλαμβάνει πληθώρα και ποικιλία στοιχείων και χώρων, γ) η παροχή ποικιλίας φυσικών ερεθισμάτων (π.χ. φυτών με διαφορετικά χαρακτηριστικά). Οι προϋποθέσεις αυτές παρέχουν στα παιδιά τη δυνατότητα να αλληλεπιδράσουν με πολλαπλούς τρόπους με το περιβάλλον, μεταξύ τους και με τους εκπαιδευτικούς, καθιστώντας τη σχολική αυλή όχι απλώς ένα χώρο ξεκούρασης και χαλάρωσης ανάμεσα στα μαθήματα, αλλά και χώρο που παρέχει σημαντικές ευκαιρίες μάθησης και δημιουργίας.

Τα τελευταία χρόνια υπάρχει μια στροφή στη διαμόρφωση των εξωτερικών χώρων όχι πλέον με βάση τη διαίσθηση, την υποκειμενικότητα ή την αυθεντία, αλλά τους παράγοντες που επηρεάζουν το μικροκλίμα. Παρόλα αυτά, ελάχιστες μελέτες έχουν γίνει σχετικά με τον αστικό σχεδιασμό υπαίθριων χώρων και τη θερμική αίσθηση στους χώρους αυτούς (Gaitania et al., 2007; Nikolopoulou and Lykoudis, 2007). Πρόσφατες μελέτες για τις συνθήκες θερμικής αίσθησης στην Αθήνα, βασίζονται στη χρήση δεδομένων μετεωρολογικών σταθμών (π.χ. Moustiris et al. 2010; Pantavou et al. 2010), ενώ άλλες χρησιμοποιούν στατικούς ολοκληρωμένους μετεωρολογικούς σταθμούς και ερωτηματολόγια για την καταγραφή της αίσθησης του ατόμου στις διαφορετικές μικροκλιματικές συνθήκες (Τσαρτσάλη Ε., 2011). Τέλος, έχει μελετηθεί η εφαρμογή του GIS στη μελέτη της θερμικής άνεσης (Kantor and Unger, 2010) και στην αρχιτεκτονική τοπίου (Hanna, 1999). Στην παρούσα μελέτη στόχος ήταν να ποσοτικοποιηθεί η θερμική άνεση στις διάφορες μικροκλιματικές συνθήκες μιας σχολικής αυλής με επί τόπου μετρήσεις των μικροκλιματικών παραγόντων με βάση τους οποίους υπολογίζεται ο θερμοφυσιολογικός δείκτης PET (Physiological Equivalent Temperature) (Mantzarakis, 1999). Η χωρική κατανομή των τιμών του δείκτη PET και των υπολοίπων βιοκλιματικών παραμέτρων οπτικοποιείται με τη χρήση του ArcGIS κι έτσι παράγονται βιοκλιματικοί χάρτες της αυλής.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Χαρακτηριστικά της σχολικής αυλής

Η έρευνα έγινε στη σχολική αυλή που εξυπηρετεί τα δημοτικά σχολεία 1^ο και 2^ο Νέας Ιωνίας Μαγνησίας, στη διάρκεια του σχολικού έτους 2010-2011. Όπως παρουσιάζεται στην αεροφωτογραφία

(Εικ. 1), η σχολική αυλή περιβάλλεται από τρία σχολικά κτίρια και περιλαμβάνει ένα γήπεδο ποδοσφαίρου και ένα γήπεδο μπάσκετ. Τα υλικά επίστρωσης του δαπέδου της αυλής είναι 2032 m² άσφαλτος (42,4% της έκτασης της αυλής), 1379 m² κυβόλιθοι (28,8%), 590 m² πλάκες σχιστόλιθου (Πλάκες Πηλίου) (12,4%), 419 m² καταλαμβάνουν 3 παρτέρια με χώμα και γκαζόν (8,7%), 200 m² τσιμέντο (4,2%), 93 m² χώμα (1,9%), 76 m² πλάκες τσιμέντου (1,6%), ενώ υπάρχουν περιφερειακά 20 δέντρα μεγάλου και μεσαίου μεγέθους, ένα κίосκι ύψους 3 μέτρων με κεραμίδια και 2 μεταλλικά στέγαστρα ύψους 5 μέτρων. Στη ΝΔ πλευρά της αυλής υπήρχε κτίριο υπό κατασκευή και κοντά σε αυτό δεν έγιναν μετρήσεις.



Εικ. 1: Γενική άποψη (εικόνα από την google.com)

2.2. Μετρήσεις παραγόντων μικροκλίματος

Για να υπολογιστούν οι συνθήκες θερμικής άνεσης, η σχολική αυλή χωρίστηκε σε κάναβο με άνοιγμα 20m x 20m στον οποίο επιλέχθηκαν 50 βασικά σημεία μέτρησης, ο οποίος μίκραινε σε 10m x 10m ή 5m x 5m σε περιοχές ιδιαίτερου ενδιαφέροντος (κοντά σε δέντρα, κτίρια και θέσεις όπου άλλαζαν τα υλικά επικάλυψης των επιφανειών) παίρνοντας επιπλέον επιτόπου μετρήσεις. Στα σημεία του κανάβου μετρήθηκαν απευθείας, οι ακόλουθοι μικροκλιματικοί παράγοντες: α) η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία του αέρα (Hobo Microstation, model H21-002, OnSet Instruments, Bourne, MA, USA) β) η μικρού μήκους κύματος ηλιακή ακτινοβολία, με πέντε πυρανόμετρα με εύρος από 400-1100 nm (model SKS 1110, Skye, Llandrindod Wells, Powys, UK). Τα πυρανόμετρα μετρούσαν σε ύψος 1.1 m πάνω από το έδαφος. Ένα πυρανόμετρο ήταν τοποθετημένο κάθετα προς τα επάνω μετρώντας την ολική προσπίπτουσα ακτινοβολία, ένα πυρανόμετρο κάθετα προς τα κάτω μετρούσε την ανακλώμενη από το έδαφος ακτινοβολία, ενώ τα άλλα τρία πυρανόμετρα ήταν τοποθετημένα οριζόντια στις άκρες ενός ισοσκελούς τριγώνου, μετρώντας την ανακλώμενη από τις κάθετες επιφάνειες ακτινοβολία, γ) η ταχύτητα του

ανέμου, χρησιμοποιώντας ένα ανεμόμετρο υπερήχων (model 1405-PK-040 Windsonic, Gill Instruments, Llandrindod Wells, Powys, UK). δ) αισθητήρας UV (Skye, Llandrindod Wells, Powys, UK) στα 2m. Όλοι οι αισθητήρες ήταν τοποθετημένοι σε στύλο, ο οποίος ήταν εξοπλισμένος με πιξίδα για τον προσανατολισμό και αλφάδι για την οριζοντιοθέτηση. Ο ιστός παρέμενε από 1 έως 3 λεπτά σε κάθε σημείο μέτρησης του κανάβου και οι μετρήσεις των μετεωρολογικών παραμέτρων γίνονταν 10s και αποθηκεύονταν σε ένα καταγραφέα δεδομένων (model DL3000, DeltaT, Burwell Cambridge, UK). Σημειώνεται ότι βασικό ζητούμενο των αισθητήρων που χρησιμοποιήθηκαν, ήταν η άμεση απόκριση στις αλλαγές των συνθηκών ώστε να είναι δυνατή η καταγραφή διαφορετικών τιμών μεταξύ των σημείων του κανάβου.

Ένας μετεωρολογικός σταθμός αναφοράς (model iMetos, PESSL Instruments GmbH, Weiz, A), ήταν τοποθετημένος σε ύψος 2 μέτρων, σε ένα χαρακτηριστικό σημείο της αυλής εκτεθειμένο στον ήλιο. Ο στατικός σταθμός, μετρούσε τη θερμοκρασία του αέρα, τη σχετική υγρασία, την ολική προσπίπτουσα ακτινοβολία και την ταχύτητα του ανέμου (μέσους όρους δεκαλέπτου). Οι μετρήσεις των συνθηκών του περιβάλλοντος με το μικρομετεωρολογικό σταθμό έγιναν στις 4/4/2011, 14/5/2011 και στις 11/6/2011 σε συνθήκες καθαρού ουρανού, κοντά ή ακριβώς στις χαρακτηριστικές μέρες της ηλιακής ακτινοβολίας όπου η συνολική ημερήσια ακτινοβολία ισούται με τη μέση μηνιαία ακτινοβολία, με ένα εύρος ± 2 ώρες γύρω από το ηλιακό μεσημέρι (τοπική ώρα).

2.3. Υπολογισμός του δείκτη PET

Ο υπολογισμός του δείκτη PET βασίζεται στο μοντέλο MEMI (Munich Energy-balance Model for Individuals) (Matzarakis et al., 1999), προκύπτει από το μαθηματικό συνδυασμό μετεωρολογικών παραμέτρων καθώς και των χαρακτηριστικών του ανθρώπου που δέχεται τις επιδράσεις των μετεωρολογικών παραμέτρων. Σημαντική παράμετρος στη διαμόρφωση της θερμικής άνεσης αποτελεί η Μέση Θερμοκρασία Ακτινοβολίας (T_{mit} , °C), που εκφράζει την ανταλλαγή θερμότητας μέσω ακτινοβολίας μεταξύ διαφόρων σωμάτων. Οι εξισώσεις αυτές για τον υπολογισμό της T_{mit} και του δείκτη PET, είναι ενσωματωμένες στο εύχρηστο λογισμικό RAYMAN (Mantzarakis et al. 2007, 2010), στο οποίο εισήχθησαν ως δεδομένα οι τιμές των μικρομετεωρολογικών παραμέτρων για κάθε σημείο μέτρησης και υπολογίστηκαν οι τιμές PET, για άνθρωπο μέσου ύψους 1,75, βάρους 70 κιλών, με μέση δραστηριότητα, με παραγωγή έργου ίση με 80W και συντελεστή κάλυψης του σώματος με ρουχισμό ίσο με 0.9. Ο PET μετριέται σε °C, κάτι που τον κάνει εύκολα συγκρίσιμο με την τιμή της θερμοκρασίας του αέρα. Τιμές θερμοκρασιών του PET από 18 έως 23°C περιγράφουν περιβάλλον θερμικά ουδέτερο, από 23 έως 29°C ελαφρά θερμό, από 29 έως 35°C θερμό, από 35°C και πάνω πολύ ζεστό και από 41°C και πάνω πάρα πολύ ζεστό.

Βέβαια ο PET αναφέρεται σε ένα άνθρωπο με τυποποιημένα χαρακτηριστικά (ύψος, ηλικία, βάρος κτλ) και υπολογίζεται με τυποποιημένες ρυθμίσεις. Δείχνει τη θερμική αίσθηση του συγκεκριμένου προτύπου ανθρώπου και το χρησιμοποιούμε ως αναφορά για την εκτίμηση του θερμικού περιβάλλοντος.

Η μικρότερη εκτεθειμένη επιφάνεια λόγω μικρότερου συνολικού όγκου των παιδιών στην ανταλλαγή θερμότητας λόγω ακτινοβολίας θα μειώνει την T_{mit} άρα και την τιμή του PET, ενώ θα είναι μεγαλύτερη η επίδραση στην θερμοκρασία ακτινοβολίας η ανακλώμενη από το δάπεδο υπέρυθη ακτινοβολία λόγω μεγαλύτερης εγγύτητας των παιδιών σε αυτό.

2.4. Βιοκλιματικοί χάρτες

Οι τιμές του PET που υπολογίστηκαν από όλα τα σημεία του κανάβου, τοποθετήθηκαν στη συνέχεια ως δεδομένα εισαγωγής στο πρόγραμμα ArcGIS (v.9.3, ESRI, Redlands, CA, USA). Χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο Spatial Analyst tool για τη μέθοδο spline spatial interpolation method (Hanna, 1999), ώστε να παραχθούν οι σχετικοί βιοκλιματικοί χάρτες (Εικ.2).

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται, αφορούν στις μετρήσεις που έγιναν στις 14/5/11. Έγιναν μετρήσεις στα 50 βασικά σημεία και σε 62 ενδιάμεσες θέσεις ενδιαφέροντος του κανάβου, με στάσεις από 1 έως 3 λεπτά, από τις 12:00 το μεσημέρι, μέχρι τις 14:30. Το Μάιο η μέση ώρα του ηλιακού μεσημεριού είναι στις 12.29 τοπική ώρα, επομένως ο χρόνος που διήρκεσαν οι μετρήσεις δεν επαρκεί για να μεταβληθούν σημαντικά οι γενικότερες μετεωρολογικές συνθήκες, ως εκ τούτου οι μετρήσεις στα σημεία του κανάβου είναι συγκρίσιμες μεταξύ τους.

Η θερμοκρασία του αέρα κυμάνθηκε από 20,6 °C στο πρώτο σημείο μέτρησης στις 12:00 το μεσημέρι, μέχρι τους 24.1°C στις 14:30, Παρόλα αυτά η θερμοκρασία που αποτυπώνει τη θερμική αίσθηση (δείκτης PET, σε °C), παρουσίασε μεγάλες χωρικές διαφοροποιήσεις και κυμάνθηκε από 16.3°C στη σκιά του πεύκου, μέχρι τους 41.07°C στα όρια του πολύ ζεστού, κοντά σε νότιο ανοιχτόχρωμο τοίχο εκτεθειμένο στον ήλιο. Η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας (T_{mit}), όπως υπολογίστηκε από το μοντέλο RAYMAN, κυμάνθηκε από 17.9°C στη βαθιά σκιά πεύκου μέχρι τους 61.2°C μπροστά από Νότιο ανοιχτόχρωμο τοίχο εκτεθειμένο στον ήλιο. Οι θερμοκρασίες δέρματος (T_s) στις ίδιες θέσεις, υπολογίστηκαν με το ίδιο μοντέλο στους 20°C και 47.7°C αντίστοιχα.

3.1. Σκίαση

Την ημέρα μέτρησης ο ουρανός ήταν καθαρός και ηλιόλουστος. Οι τιμές της ολικής ακτινοβολίας ήταν υψηλές και κυμαίνονταν από 960 W/m² έως 860 W/m², στην αρχή και στο τέλος των μετρήσεων αντίστοιχα, στο σταθμό αναφοράς. Οι τιμές

ακτινοβολίας που καταγράφηκαν κάτω από τα διάφορα δέντρα και τον αστικό εξοπλισμό της αυλής, οι αντίστοιχες τιμές εκτός σκιάς, καθώς και το ποσοστό μεταβολής, παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.

3.2. PET

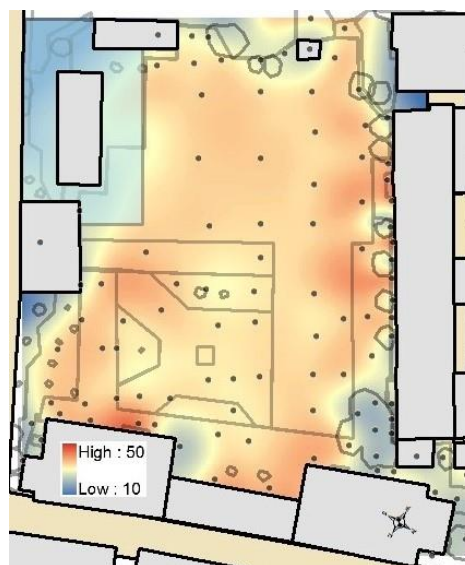
Οι μετρήσεις κοντά σε Νότιο ανοιχτόχρωμο τοίχο εκτεθειμένο στον ήλιο, έδωσαν πολύ υψηλές τιμές PET, από 37.1 έως 41.2°C, στα όρια της θερμικής αίσθησης του πολύ ζεστού, με τη μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας να κυμαίνεται από 59.5 έως 60.1°C. Οι υψηλές αυτές τιμές του PET, οφείλονται κυρίως στην ακτινοβολία από ανάκλαση από τους ανοιχτόχρωμους τοίχους, αλλά και στη μειωμένη ταχύτητα του ανέμου λόγω του εμποδίου του κτιρίου, που αύξησαν σημαντικά την τιμή της T_{mt} . Σε Δυτικό ανοιχτόχρωμο τοίχο, οι τιμές του PET κυμαίνονταν από 38.3 έως 41.7 για τους ίδιους λόγους, με τις τιμές θερμικής αίσθησης του PET να είναι στη ζώνη του πολύ ζεστού. Σε θέσεις κοντά σε Νότιο ανοιχτόχρωμο τοίχο που βρίσκονταν στη σκιά δέντρων λεύκας μεσαίου μεγέθους, οι αντίστοιχες τιμές PET ήταν στην περιοχή της ουδέτερης αίσθησης έως 21.6°C, μειωμένες κατά 40%, σε σχέση με τους 36.,2°C έξω από τη σκιά λεύκας. Σε θέσεις κοντά σε Νότιο ανοιχτόχρωμο τοίχο στη σκιά πεύκου, οι τιμές του PET ήταν κατά μέσο όρο 16.7°C μειωμένες κατά 42% σε σχέση με τους 28.8°C στη ζώνη της θερμικής αίσθησης του ελαφρώς θερμού, που μετρήθηκαν έξω από τη σκιά του πεύκου. Στη σκιά δέντρου ακακίας, οι τιμές του PET κάτω από το δέντρο ήταν 19.9°C στην περιοχή της ουδέτερης αίσθησης, μειωμένες κατά 36.5% σε σχέση με τους 31.3°C στη ζώνη της αίσθησης του θερμού, έξω από τη σκιά του δέντρου. Στη σκιά παλαιού δέντρου κυπαρισσιού, οι τιμές του PET κάτω από το δέντρο ήταν 20°C, στην περιοχή της ουδέτερης αίσθησης, μειωμένες κατά 48% σε σχέση με τους 38.3°C, στη ζώνη του πολύ ζεστού, έξω από τη σκιά του δέντρου.

Πίνακας 1.: Μείωση της ολικής προσπίπτουσας ακτινοβολίας στη σκιά της κόμης δέντρων

	Ύψος / Ø κόμης (m)	Εκτός Σκιάς (W/m ²)	Στη σκιά (W/m ²)	Μεταβο λή %
Λεύκα (<i>P.alba</i>)	8 / 5	960	127	- 87
Πεύκο (<i>P.halepensis</i>)	10 / 12	908	53	- 94.1
Κυπαρίσσι (<i>C.semprevire ns</i>)	14 / 4	860	50.5	- 94.2
Ακακία (<i>R. pseudacacia</i>)	12 / 6	906	83	- 91.6
Πλάτανος (<i>Pl.occidentali s</i>)	10 / 6	883	91	- 89.7
Μεταλλικό στέγαστρο	5	863	59	- 93.2
Κιόσκι	3	912	53	- 94.1

Κάτω από τη σκιά πλατάνου, η μέτρηση της τιμής PET, η οποία έγινε δίπλα σε ανατολικό τοίχο από μπετό με συνεισφορά ακτινοβολίας από ανάκλαση, ήταν κατά μέσο όρο 22.9 °C στα όρια της ουδέτερης θερμικής αίσθησης, μειωμένη κατά 28.8% σε σχέση με τους 32.2°C, στη ζώνη της θερμικής αίσθησης του θερμού, έξω από τη σκιά του πλατάνου. Κάτω από το κιόσκι, η τιμή του PET ήταν 19.9°C, στη ζώνη της ουδέτερης θερμικής αίσθησης, μειωμένη κατά 44% σε σχέση με τους 35.4°C στα όρια θερμικής αίσθησης του πολύ ζεστού έξω από το κιόσκι. Κάτω από το μεταλλικό στέγαστρο οι τιμές PET ήταν κατά μέσο όρο 21.2°C, στη ζώνη της ουδέτερης θερμικής αίσθησης, μειωμένες κατά 40% σε σχέση με τους 35°C στα όρια της θερμικής αίσθησης του πολύ ζεστού έξω από το στέγαστρο.

Η εισαγωγή των τιμών PET στο ArcGIS, έδωσε τον παρακάτω χαρακτηριστικό Βιοκλιματικό χάρτη για το Μάιο και τις υπόλοιπες εποχές του χρόνου που επικρατούν οι ίδιες συνθήκες περιβάλλοντος. Στο χάρτη αυτόν φαίνεται ότι μόνο σ'ένα 8% της αυλής οι συνθήκες θερμικής αίσθησης βρίσκονται στο θερμικά ουδέτερο, σε θέσεις κάτω από τη σκιά των δέντρων, στη σκιά των στεγαστρών και σε διαμορφώσεις των κτιρίων που δημιουργούν σκιά. Στο υπόλοιπο 92% της αυλής οι συνθήκες θερμικής αίσθησης κυμαίνονται στα όρια του θερμού ως του πολύ ζεστού, με την αντίστοιχη αίσθηση θερμικής δυσφορίας λόγω ζέστης αντίστοιχα (Εικόνα 2).



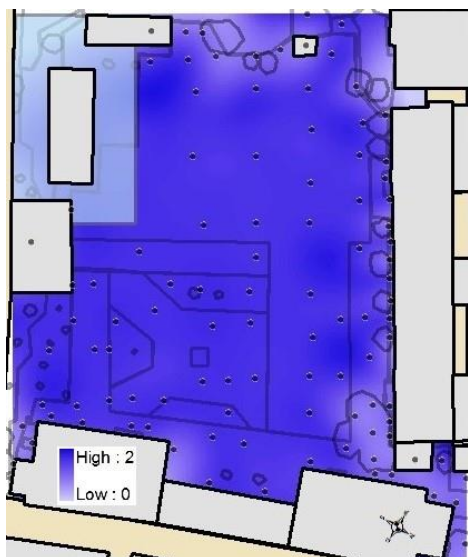
Εικ. 2: Χωρική κατανομή του δείκτη PET (°C). Χαρακτηριστικός Βιοκλιματικός χάρτης αυλής.

3.3. UV ακτινοβολία

Ο λόγος της ακτινοβολίας UV σε σχέση με την προσπίπτουσα ακτινοβολία αναφοράς κυμάνθηκε από 1.,57 έως 1.74 στον ανοιχτό χώρο. Στη σκιά των δέντρων, ο λόγος ήταν μειωμένος από 79.9% έως 92.3% ανάλογα με το είδος του δέντρου, στη σκιά του στεγαστρου μετρήθηκε μειωμένη κατά 93.7%, ενώ σε σκιασμένο βόρειο τοίχο η μείωση ήταν 85.5%. Η μείωση της UV, ακολουθούσε τη μείωση της ακτινοβολίας λόγω σκίασης από τα δέντρα και τα στέγαστρα (Εικόνα 3).

3.4. Λευκαύγεια (Albedo)

Το ποσοστό επί τοις εκατό της ανακλώμενης προς την προσπίπτουσα ηλιακής ακτινοβολίας (δείκτης ανάκλασης, albedo) σε παλαιά άσφαλο εκτεθειμένη στον ήλιο, μετρήθηκε από 34% έως 39%, σε άσφαλο βαμμένη με κίτρινη φωτοανακλαστική βαφή (κέντρο του γηπέδου μπάσκετ) μετρήθηκε στο 71%, ενώ σε άσφαλο βαμμένη με κεραμιδί χρώμα στις μπασκέτες του γηπέδου μπάσκετ μετρήθηκε στο 51%. Σε γκρί κυβόλιθους εκτεθειμένους στον ήλιο από 45% έως 48%, σε πλάκες σχιστόλιθου (πλάκες Πηλίου) εκτεθειμένες στον ήλιο ο δείκτης μετρήθηκε από 51% έως 53%, σε παλαιά επίστρωση τσιμέντου μετρήθηκε στο 42%, σε γκαζόν όχι ποτισμένο εκτεθειμένο στον ήλιο μετρήθηκε από 49% έως 52%, σε χώμα εκτεθειμένο στον ήλιο στο 48%, ενώ σε παλαιά μάρμαρα της εισόδου στο 61%. Η ανάκλαση στους σκιασμένους χώρους είτε από βλάστηση είτε κάτω από τα στέγαστρα ήταν ανάλογα μειωμένη λόγω της μείωσης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας.



Εικ. 3: Κατανομή του % λόγου της UV προς την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στο σημείο αναφοράς στη σχολική αυλή.

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων των μετρήσεων, διαπιστώθηκε ότι παρότι υπήρχε μικρή διακύμανση στη θερμοκρασία του αέρα στα διάφορα σημεία μετρήσεων, ο PET εμφάνιζε μια όλο και ισχυρότερη χωρική διακύμανση, εξαιτίας της επίδρασης του ανέμου και των ροών ακτινοβολίας που εμφανίζονταν τοπικά. Μελετώντας τη χωρική κατανομή της θερμικής αίσθησης όπως προκύπτει από τους παραπάνω βιοκλιματικούς χάρτες, διαπιστώθηκε ότι σε συνθήκες άπνοιας και έντονης ηλιακής ακτινοβολίας τα 500 παιδιά των σχολείων, έχουν ένα 8% της έκτασης της σχολικής αυλής για να βρεθούν σε συνθήκες ουδέτερης θερμικής αίσθησης, ενώ στο υπόλοιπο 92% της έκτασης της σχολικής αυλής θα εκτεθούν σε συνθήκες έντονης θερμικής δυσφορίας. Τέτοιες συνθήκες που χαρακτηρίζουν θερμές περιόδους, μπορούν να εμφανιστούν από το

τέλος Απριλίου έως το τέλος της σχολικής χρονιάς τον Ιούνιο και από την αρχή της σχολικής χρονιάς το Σεπτέμβριο, μέχρι τα τέλη Νοεμβρίου. Ο δείκτης PET χρησιμοποιήθηκε για να βοηθήσει στην απεικόνιση της χωρικής κατανομής της θερμικής αίσθησης και τη διαφοροποίηση της σε θέσεις με βλάστηση και αστικούς εξοπλισμούς και σε θέσεις χωρίς βλάστηση και να περιγραφούν οι συνθήκες θερμικής άνεσης σε μια τυπική σχολική αυλή.

Οι παραδοχές του Μοντέλου MEMI αναφέρονται σε άτομο 35 ετών, ύψους 1.8 m, βάρους 75 kg που φέρει ρουχισμό 0.9 clo. Η μικρότερη εκτεθειμένη επιφάνεια λόγω μικρότερου συνολικού όγκου των παιδιών στην ανταλλαγή θερμότητας λόγω ακτινοβολίας θα μειώνει την T_{mid} άρα και την τιμή του PET, ενώ θα είναι μεγαλύτερη η επίδραση στην θερμοκρασία ακτινοβολίας η ανακλώμενη από το δάπεδο υπέρυθρη ακτινοβολία λόγω μεγαλύτερης εγγύτητας των παιδιών σε αυτό. Πάντως φαίνεται ότι η θερμική άνεση των παιδιών μερικώς υπερεκτιμάται ως απόλυτη τιμή με τη χρήση του εν λόγω μοντέλου.

Με παρεμβάσεις στις σχολικές αυλές είναι δυνατό να διαμορφώσουμε το χώρο ώστε να αυξηθούν οι περιοχές με ουδέτερη θερμική αίσθηση. Οι μετρήσεις που έγιναν στη σχολική αυλή, επιβεβαίωσαν ότι σε νότια γεωγραφικά πλάτη, η σκίαση είναι ο πιο καθοριστικός παράγοντας για τον έλεγχο της θερμικής άνεσης και σημαντική παράμετρος για την οπτική άνεση. Για το λόγο αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια ποικιλία σκιάστρων ή τύπων βλάστησης, ανάλογα με την επιθυμητή μορφή σκιάς. Από τη μελέτη φάνηκε ότι τα δέντρα ιδιαίτερα σε πλήρη ανάπτυξη, εκτός της αισθητικής τους αξίας προσφέρουν σοβαρά μικροκλιματικά οφέλη. Ανάλογα με το είδος του, την ηλικία του, τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των φύλλων του, τη διαμόρφωση και την πυκνότητα της κόμης του, ένα δέντρο μπορεί να περιορίσει την προσπίπτουσα ακτινοβολία μέχρι και 94% και να βελτιώσει το δείκτη θερμικής αίσθησης μέχρι και 48%, να περιορίσει την προσπίπτουσα υπεριώδη ακτινοβολία μέχρι και 93% και να βελτιώσει τις συνθήκες οπτικής άνεσης. Η χρήση υπολογιστικών μοντέλων προσομοίωσης που χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο σήμερα για την βιοκλιματική εκτίμηση αστικών διαμορφώσεων, απαιτεί την εισαγωγή σωστών δεδομένων για την αξιοπιστία της προσομοίωσης. Ένα επόμενο στάδιο μελέτης θα ήταν η καταγραφή των χαρακτηριστικών των φυτών που απαιτούνται για την εισαγωγή τους ως δεδομένα σε τέτοια μοντέλα. Η εφαρμογή αυτών των συμπερασμάτων στην επαναδιαμόρφωση των σχολικών αυλών είναι ένας ενδιαφέρον και χρήσιμος στόχος. Ως προς τη θερμική άνεση, απαιτείται προφίλ σχεδιασμού εποχιακής χρήσης, ώστε να επιτευχθεί ένα πιο ήπιο και ευχάριστο περιβάλλον σε σχέση με τις επικρατούσες περιβαλλοντικές συνθήκες ανά εποχή. Μια εξίσου σημαντική παράμετρος διαμόρφωσης των βιοκλιματικών συνθηκών ενός χώρου, είναι η σύσταση των υλικών που τον συνθέτουν και πιο συγκεκριμένα η φύση του υλικού, το χρώμα του, η ανακλαστική του ικανότητα και οι θερμικές του ιδιότητες (Doulos et al., 2004). Η

λευκαύγεια (albedo), είναι καθοριστική για τη θερμική συμπεριφορά του υλικού, αφού όσο αυξάνεται, μειώνεται η ακτινοβολία που απορροφάται από το υλικό, επηρεάζοντας τόσο τη θερμοκρασία επιφάνειάς του όσο και τη θερμοκρασία αέρα κοντά σε αυτό. Η χρήση υλικών που επηρεάζουν το albedo ενός υλικού κάλυψης όπως π.χ οι φωτοανακλαστικές βαφές της ασφάλτου, μπορεί να έχουν ευεργετικά αποτελέσματα στην θερμική συμπεριφορά της ασφάλτου, αλλά θα πρέπει να προσεχτεί η χρήση τους ή να συνδυαστεί με παράγοντες σκίασης όπως τα δέντρα, γιατί επηρεάζουν αρνητικά την οπτική άνεση, οδηγώντας σε θάμβωση.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο μικροκλιματικός σχεδιασμός χρειάζεται μια βαθιά κατανόηση στο πως τα μικροκλιματικά στοιχεία όπως ο αέρας και η ηλιακή ακτινοβολία, μπορούν να επηρεαστούν σημαντικά από στοιχεία αρχιτεκτονικής τοπίου. Η χρήση του GIS βοήθησε πολύ στην οπτικοποίηση αυτών των παραμέτρων. Στις σχολικές αυλές, το ελεύθερο παιχνίδι των παιδιών θα πρέπει να υποστηρίζεται από τη δημιουργία περιοχών που θα προάγουν τη δημιουργικότητα και τη φαντασία. Η παρουσία φυσικών στοιχείων (φυτά, δέντρα, νερό, άμμος κτλ) και μαλακών υλικών, θα συνεισφέρουν προς αυτήν την κατεύθυνση. Παιχνίδι φαντασίας που λαμβάνει χώρα γύρω από φράχτες, παγκάκια, τραπέζια, δέντρα κτλ και χρησιμοποιεί υλικά όπως φύλλα, ξύλα, άμμο, νερό κτλ, επιδρά σε όλους τους τομείς της ανάπτυξης των παιδιών : δημιουργικότητα, φαντασία, συναίσθημα, φυσιολογία. Επιπλέον, περιοχές όπου τα παιδιά μπορούν να συμμετέχουν στη δημιουργία του περιβάλλοντός τους (καλλιέργεια φυτών, βάψιμο τοίχων κτλ) μπορούν επίσης να συνεισφέρουν στην ανάπτυξη των ικανοτήτων τους και την επαφή τους με το περιβάλλον.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Doulos, L., Santamouris, M., Livada, I., 2004. Passive cooling of outdoor urban spaces. The role of materials. *Solar Energy* 77 (2):231-249.

Dyment, J. E., 2005. Green school grounds as sites for outdoor learning: Barriers and opportunities. *Intern. Res. in Geogr. & Env. Ed.* 14(1): 28-45.

Gaitania N., Mihalakakou G., Santamouris M., 2007. On the use of bioclimatic architecture principles in order to improve thermal comfort conditions in outdoor spaces. *Build & Environ.*, 42 (1): 317-324.

Hanna C. K., 1999. GIS for Landscape Architects, ESRI Press, California.

Kantor N., Unger J. 2010: Benefits and opportunities of adopting GIS in thermal comfort studies in resting places: An urban park as an example. *Landscape and Urban Planning* 98: 36-46.

Lindemann-Matthies, P., 2006. Investigating Nature on the Way to School: Responses to an educational programme by teachers and their pupils. *Int. J. Science Education* 28(8): 895-918.

Malone, K. and Tranter, P.J., 2003. Children's environmental learning and the use, design and management of schoolgrounds. *Children, Youth and Environments*, 13(2).

Matzarakis, A., Mayer, H., Iziomon, M., 1999. Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature. *Int. J. Biometeorol.* 43, 76-84.

Matzarakis, A., Rutz, F., Mayer, H., 2007. Modelling radiation fluxes in simple and complex environments – application of the RayMan model. *Int. J. Biometeorol.* 51, 323-334.

Matzarakis, A., Rutz, F., Mayer, H., 2010. Modelling radiation fluxes in simple & complex environments: basics of the RayMan model. *Int. J. Biometeorol.* 54, 131-139.

Mayer, H., 2008. KLIMES – a joint research project on human thermal comfort in cities. *Ber. Meteor. Inst. Univ. Freiburg* 17, 101-117.

Moustris, K., Tsiros, I., Ziomas, I., Paliatso, A., 2010. "Artificial neural network models as a useful tool to forecast human thermal comfort using microclimatic and bioclimatic data in the great Athens area (Greece);. *J. of Env. Sc. & Health* 45 (A): 447-453.

Nikolopoulou, M., Lykoudis, S., 2007. Use of outdoor spaces and microclimate in a Mediterranean urban area. *Build. & Environ.* 42, 3691-3707.

Panagopoulos, 2008. Using microclimatic landscape design to create thermal comfort and energy efficiency. *Actas da 1ª Conferência sobre Edifícios Eficientes, Universidade do Algarve*, 25 de Janeiro de 2008. pp: 1-4.

Pantavou, A., Theodoratos, G., Mavrakis, A., Santamouris, M., 2011. "Evaluating thermal comfort conditions and health responses during an extremely hot summer in Athens". *Build. & Environ.* 46(2): 339-344.

Papanastasiou, D., Kittas, C., 2012. "Maximum urban heat island intensity in a medium-sized coastal Mediterranean city". *Theor Appl Climatol* (2012) 107: 407-416.

Papanastasiou, D., Melas, D., Bartzanas, T., Kittas, C., 2010: "Temperature, comfort and pollution levels during heat waves and the role of sea breeze". *Int. J. Biometeorol* (2010) 54:307-317

Santamouris M., Papanikolaou N, Livada I, Koronakis I, Georgakis C, Argiriou A, Assimakopoulos DN (2001) On the impact of urban climate on the energy consumption of buildings. *Sol Energy* 70:201-216

Woolner, P. and Tiplady L., 2009. School gardening as a potential activity for improving science learning in primary schools. Paper presented at BERA 2009, 2-5 September, Manchester.

Τσαρτσάλη Χρ. Ε. 2011. Συμβολή στο Σχεδιασμό Αστικών Υπαίθριων Χώρων με βιοκλιματικά κριτήρια», Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΩΝ ΤΗΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΣΤΗ ΓΕΩΡΓΙΑ

L. Τούλιος¹, G. Stancalie², P. Struzik³ και F. M. Danson⁴

¹ΕΛΓΟ 'ΔΗΜΗΤΡΑ', Ινστιτούτο Χαρτί/σης & Ταξίσης Εδαφών, Οδός Θεοφράστου 1 Λάρισα, Τ.Κ. 41335, e-mail: ltoulios@nagref.gr

²National Meteorological Administration, Bucharest, Romania

³Institute of Meteorology and Water Management, Krakow, Poland

⁴Centre for Environmental Systems Research, University of Salford, United Kingdom

Η εργασία παρουσιάζει μια επισκόπηση της δυνατότητας της δορυφορικής τηλεπισκόπησης να αξιολογήσει τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην ευρωπαϊκή γεωργία. Η δορυφορική τηλεπισκόπηση καθίσταται πολύ σημαντικό εργαλείο για τις αγροκλιματικές μελέτες κυρίως λόγω της διαθεσιμότητας διαχρονικής σειράς δεδομένων. Οι αισθητήρες των σύγχρονων μετεωρολογικών και περιβαλλοντικών δορυφόρων επιτρέπουν τον προσδιορισμό πολλών παραμέτρων χαρακτηρίζοντας την πραγματική κατάσταση της βιόσφαιρας και των χωρικών και χρονικών αλλαγών της. Μερικές από αυτές τις μεταβλητές μπορούν να μας δώσουν μια άμεση άποψη του γεωργικού αντίκτυπου της κλιματικής αλλαγής. Αν και τα διαχρονικά δορυφορικά στοιχεία είναι δύσκολο να αναλυθούν, λόγω ορισμένων περιορισμών όπως η υποβάθμιση των αισθητήρων, οι διαφορετικές μέθοδοι βαθμονόμησης των αισθητήρων και η μεταβλητότητα της φασματικής απόκρισης στις διάφορες δορυφορικές αποστολές, η επιρροή της κλιματικής αλλαγής στη βιόσφαιρα μπορεί να ελεγχθεί με τη χρήση των παραγόμενων πληροφοριών των δορυφόρων. Για τις παρατηρήσεις της βιόσφαιρας ένας σημαντικός περιοριστικός παράγοντας είναι η νεφοκάλυψη. Μεταξύ των ευρωπαϊκών χωρών υπάρχει μια μεγάλη ετερογένεια σχετικά με τα κλιματολογικά και βιοφυσικά στοιχεία που παραλαμβάνονται από τους δορυφορικούς αισθητήρες ή που συλλέγονται ως δορυφορικά-παραγόμενα έτοιμα προϊόντα. Μερικοί ευρωπαϊκοί φορείς έχουν συλλέξει δορυφορικά στοιχεία συστηματικά για αρκετά έτη και αυτά τα αρχεία στοιχείων θα μπορούσαν να είναι χρήσιμα για τις μελέτες επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στη γεωργία. Οι κυριότερες μεταβλητές που συλλέγονται για επιχειρησιακές ή πειραματικές εφαρμογές είναι η θερμοκρασία της επιφάνειας του εδάφους και οι δείκτες βλάστησης. Περαιτέρω έρευνα θα αξιολογήσει τη διαθεσιμότητα και την ποιότητα της χρονικής σειράς φασματικών και βιοφυσικών στοιχείων διαθέσιμων από τους τρέχοντες και μελλοντικούς δορυφορικούς αισθητήρες.

Λέξεις κλειδιά: κλιματική αλλαγή, γεωργία, επιπτώσεις, τηλεπισκόπηση

REMOTE SENSING CHALLENGES FOR THE ASSESSMENT OF CLIMATE CHANGE IMPACT ON AGRICULTURE IN EUROPE

L. Toulivos¹, G. Stancalie², P. Struzik³ and F. M. Danson⁴

¹ELGO 'DEMETER', Institute of Soil Mapping & Classification, Larissa, 41335, GR, e-mail: ltoulios@nagref.gr

²National Meteorological Administration, Bucharest, Romania

³Institute of Meteorology and Water Management, Krakow, Poland

⁴Centre for Environmental Systems Research, University of Salford, United Kingdom

In this study, the contribution of satellite-derived data for warning purposes in agriculture due to climate variability and change is discussed. Earth observation from space has a unique capacity to provide global data sets continuously and consistently not only on this level, but also on the national and local levels and the use of alert and warning systems must be based on such data. Evaluation of the agricultural impacts represents an important contribution for the assessment of vulnerability of agricultural systems to climate variability and change. Some of the climate and biophysical variables essential for understanding and monitoring the climate system and the impact on agriculture can be efficiently observed from space since this technology enables their systematic, global and homogeneous measurement. The analysis and the presentation of the data records which have been developed from operational satellite observations, presents the status of satellite climatic and biophysical data for warning purposes for agriculture, in Europe. Among European countries there is a great unhomogeneity concerning climatic and biophysical data received from satellite sensors or collected as satellite-derived ready products. Some of them are currently collecting satellite data for years and these data records could be useful for models for climate change impact studies. The main variables that are collected in operational or experimental way are land surface temperature and NDVI.

Key words : climate change, agriculture, satellite remote sensing

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα δορυφορικά στοιχεία προσφέρουν μια πρωτοφανή δυνατότητα για την έρευνα της επίδρασης του κλίματος στη γεωργία υπό τον όρο ότι τα χωριστά κατά αισθητήρα και δορυφόρο στοιχεία είναι ολοκληρωμένα σε υψηλής ποιότητας, παγκόσμια βιοφυσικά και κλιματικά προϊόντα. Η παρουσία μετεωρολογικών και περιβαλλοντικών δορυφόρων στο διάστημα από τη δεκαετία του '60 επιτρέπει πραγματικές μελέτες του κλίματος. Πρωτεύοντα θέματα είναι η ακρίβεια και η σταθερότητα των δορυφορικών μετρήσεων. Πραγματικά, δεν μπορούν όλες οι σχετικές με τα κλίματα μεταβλητές να επιστημανθούν με τη χρήση των δορυφορικών αισθητήρων λόγω της μη ικανοποιητικής ακρίβειάς τους. Απαιτείται ιδιαίτερα βελτιωμένη βαθμονόμηση των δορυφορικών οργάνων καθώς και βαθμονόμηση μεταξύ των παρόμοιων οργάνων που 'πετούν' στους διαφορετικούς δορυφόρους για να επιτευχθεί η συνεχής λήψη παρατηρήσεων. Αυτό απαιτεί περιόδους επικαλύψεων διαδοχικών δορυφορικών αποστολών. Άλλο πρόβλημα αφορά τη διαχείριση των δεδομένων (επεξεργασία και επανεπεξεργασία). Η γρήγορη ανάπτυξη των γήινων παρατηρήσεων οδήγησε στον εξαιρετικά τεράστιο όγκο των δορυφορικών στοιχείων (Toulios and Stancalie, 2010).

Τα αρχεία δορυφορικών στοιχείων και τα εργαλεία που ψάχνουν και προάγουν τη χρήση τους δείχνουν, ότι μια μεγάλη ποικιλία πληροφοριών είναι ελεύθερα διαθέσιμη για τους χρήστες που θα επιθυμούσαν να μελετήσουν τις χρονικές και χωρικές αλλαγές της βλάστησης κατά τη διάρκεια των τελευταίων 10-30 ετών. Οι πληροφορίες αυτές επιτρέπουν την επιλογή μιας μεμονωμένης περιοχής ενδιαφέροντος που βρίσκεται σε οποιαδήποτε θέση στη γη και τον υπολογισμό ή τη χρήση των διαθέσιμων επεξεργασμένων δεικτών που χαρακτηρίζουν την κατάσταση της βλάστησης ή των αγρομετεωρολογικών συνθηκών. Οι διαθέσιμες αναλύσεις αρχίζουν από 250 μ (MODIS) και επεκτείνονται σε 16 χλμ (GAC NOAA). Το σημαντικότερο χαρακτηριστικό γνώρισμα των μακροπρόθεσμων αρχείων είναι η δυνατότητα να λαμβάνονται ή να υπολογίζονται εύκολα οι ανωμαλίες και οι τάσεις των ερευνώμενων παραμέτρων, οι οποίες επιτρέπουν τον προσδιορισμό των αλλαγών της βιόσφαιρας στη μεμονωμένη περιοχή. Τέτοιες μελέτες παρέχουν μια ευκαιρία να αναλυθούν οι πιθανές επιρροές της αλλαγής κλίματος στη γεωργία.

Η γνώση των σχεδίων αύξησης και ανάπτυξης των καλλιεργειών είναι ουσιαστική στο να βελτιώσει τις πρακτικές διαχείρισης και να μεγιστοποιήσει την παραγωγή. Τα δορυφορικά στοιχεία έχουν έναν τεράστιο αριθμό εφαρμογών στον προσδιορισμό των δεικτών που χρησιμοποιούνται στα μοντέλα διαμόρφωσης της

φαινολογίας και της ανάπτυξης των καλλιεργειών. Το στρες που ασκεί άμεση επίδραση στην ανάπτυξη των φυτών και των βιοφυσικών διαδικασιών μπορεί να ανιχνευθεί επαρκώς από τα δορυφορικά στοιχεία και συγκεκριμένα με την χρήση των δεικτών βλάστησης. Κατά συνέπεια, οι δείκτες βλάστησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση και την πρόβλεψη της παραγωγής. Οι εφαρμογές έχουν δείξει την αυξανόμενη δυνατότητα και τις ικανότητες για την αξιολόγηση της παραγωγής μέσω των τεχνικών τηλεπισκόπησης (Toulios and Stancalie, 2010).

Η χρήση των μοντέλων αύξησης των καλλιεργειών σε μεγάλες γεωργικές περιοχές είναι περιορισμένη λόγω της παρούσας ικανότητας να παρασχεθούν οι κατάλληλες παράμετροι εισαγωγής. Είναι πολύ δύσκολο να ληφθούν τα χαρακτηριστικά των καλλιεργειών και του εδάφους για μεγάλες περιοχές, άμεσα από τις επιτόπιες παρατηρήσεις. Επομένως, τα στοιχεία τηλεπισκόπησης είναι ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για να δώσουν τις πληροφορίες για τις διεργασίες αυτές σε μεγάλες περιοχές. Από αυτή την άποψη τα χαρακτηριστικά των νέων δορυφορικών αισθητήρων σχετικά με το χωρική διακριτική ικανότητα και τη χρονική συχνότητα για να παρέχουν τις συγκεκριμένες μεταβλητές βλάστησης, λειτουργικά, είναι ένα σημαντικό πλεονέκτημα.

Οι πρόσφατες δημοσιεύσεις σχετικά με τις μεθόδους εκτίμησης των βιοφυσικών ιδιοτήτων έδειξαν ότι οι περισσότερες τεχνικές αντίστροφης μεταφοράς της ακτινοβολίας είναι βασισμένες στη μέθοδο των νευρωνικών δικτύων. Εντούτοις, η αντιστροφή της ακτινοβολίας στα μοντέλα μεταφοράς είναι ένα σοβαρό πρόβλημα που μπορεί να προκαλέσει σημαντικές αβεβαιότητες στην εκτίμηση των βιοφυσικών μεταβλητών όταν χρησιμοποιούνται περιορισμένες πληροφορίες. Η βελτίωση της διαδικασίας αντιστροφής απαιτεί περισσότερες πληροφορίες που λαμβάνονται από τα μοντέλα, με τη χρησιμοποίηση των κατάλληλων προγενέστερων πληροφοριών για την κατανομή της κόμης καθώς και των μεταβλητών της ατμόσφαιρας, και γνώση των αβεβαιότητων των δορυφορικών μετρήσεων σύμφωνα με τους χωρικούς και χρονικούς περιορισμούς.

Συνήθως, οι στατιστικές προσεγγίσεις που βασίζονται στη χρήση δεικτών βλάστησης χρησιμοποιούν μόνο δύο ή τρία φασματικά κανάλια, εκτιμώντας ότι η ανάκτηση των παραμέτρων που βασίζεται στα μοντέλα ανάκλασης της κόμης μπορούν να χρησιμοποιήσουν όλα τα φασματικά στοιχεία που παρέχονται από τον αισθητήρα. Συνεπώς, είναι σημαντικό να επιλεγεί ο κατάλληλος αλγόριθμος επειδή η αντιπροσώπευση των φασματικών ζωνών με την υψηλότερη ανάκλαση μπορεί να παραγάγει την ανάκτηση μόνο των μεταβλητών της κόμης που επηρεάζουν αυτά τα μήκη κύματος.

Υπάρχουν ακόμα πολλοί περιορισμοί για τη χρήση των δορυφορικών στοιχείων εικόνας στα καλλιεργητικά μοντέλα, όπως η έλλειψη καναλιών στο κοντινό IR, η μειωμένη διαθεσιμότητα των επί του σκάφους ικανοτήτων μετάδοσης αποθήκευσης στοιχείων, οι διαδικασίες βαθμολόγησης και επικύρωσης, οι ατμοσφαιρικές διορθώσεις, κ.λπ (Struzik et al., 2010).

2. ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΤΗΤΑ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΚΑΙ Η ΔΙΑΚΡΙΤΙΚΗ ΤΟΥΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΣΤΟ ΧΡΟΝΟ ΚΑΙ ΣΤΟ ΧΩΡΟ, ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗ ΓΕΩΡΓΙΑ

Σήμερα είναι διαθέσιμα στους χρήστες ελεύθερα μακροπρόθεσμα διαχρονικά αρχεία που εστιάζουν στα αρχικά φασματικά κανάλια των δορυφορικών αισθητήρων, χρήσιμα για αγροκλιματικές μελέτες. Σε ορισμένες περιπτώσεις απαιτείται μόνο η εγγραφή (Εικόνα 1). Φυσικά αυτός ο τύπος στοιχείων απευθύνεται στους πεπειραμένους χρήστες, που είναι σε θέση να εξετάσουν και να επεξεργασθούν περαιτέρω τα στοιχεία αυτά και να έχουν γνώσεις σχετικά με τα σχήματα και τις μεθόδους για την ανάκτηση π.χ. των δεικτών, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τις μελέτες της βλάστησης και τη χρονική και χωρική μεταβλητότητά της. Εύκολα μπορεί κανείς να καταγράψει τα δημοφιλέστερα αρχεία που περιέχουν τις πληροφορίες που καταχωρούνται από τους δορυφορικούς αισθητήρες στα μεμονωμένα φασματικά κανάλια με μια ένδειξη του τύπου στοιχείων, της χρονικής κάλυψης και της γεωγραφικής περιοχής, που εστιάζουν στην Ευρώπη (Leeuwen, 2006; Ramirez et al., 2007; Struzik et al., 2010; WMO, 2009).

Για τους χρήστες που απαιτούν τους χαρακτηριστικούς δείκτες βλάστησης που ανακτώνται από τα δορυφορικά στοιχεία είναι πολύ ευκολότερο να χρησιμοποιηθούν τα επεξεργασμένα στοιχεία που συλλέγονται από τα διάφορα αρχεία. Η πρόσβαση στα αρχεία είναι διαθέσιμη μέσω του Διαδικτύου. Οι δείκτες που είναι σχετικοί με τον έλεγχο της βιόσφαιρας είναι βασισμένοι στα φασματικά κανάλια στο ορατό και κοντινό υπέρυθρο των δορυφορικών αισθητήρων όπως: AVHRR/NOAA, MODIS/Terra, Aqua, VGT/SPOT, MERIS/ENVISAT, SEVIRI/MSG και πολλά άλλα (Heute et al., 2004). Οι διαθέσιμοι δείκτες καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα των παραμέτρων όπως:

- Albedo και BRDF
- NDVI
- Δείκτης φυλλικής επιφανείας (LAI)
- FAPAR
- Ποσοστό βλάστησης
- Συνεχείς τομείς της κάλυψης βλάστησης
- Στοιχεία κάλυψης εδάφους
- Πυρκαγιά και καμένη περιοχή
- Ανωμαλίες βλάστησης

- Θερμικές ανωμαλίες
- Δείκτες υγείας βλάστησης (Vegetation Health Index)
- Τμήματα ισορροπίας ακτινοβολίας (Radiation Balance) και πολλά άλλα

Η πρόσβαση στα απαραίτητα δορυφορικά στοιχεία και τα προϊόντα είναι λιγότερο δύσκολη όταν εφαρμόζονται οι εξειδικευμένες μηχανές αναζήτησης και τα εργαλεία επιλογής. Οι διαχειριστές των μεμονωμένων αρχείων παρέχουν πολλά ενδιαφέροντα εργαλεία που επιτρέπουν:

- Επιλογή προϊόντων από το αρχείο
- Γεωγραφική επιλογή περιοχής
- Επιλογή χρονικού διαστήματος
- Παραγγελίες προϊόντων ή απευθείας σύνδεση σε περιοχή FTP για αποθήκευση
- Σε ορισμένες περιπτώσεις επίσης είναι διαθέσιμο το λογισμικό απεικόνισης

Τα παραπάνω αρχεία και τα εργαλεία δορυφορικών στοιχείων που βοηθούν και προάγουν τη χρήση τους παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλία πληροφοριών και είναι ελεύθερα διαθέσιμα για τους χρήστες που θα επιθυμούσαν να μελετήσουν τις χρονικές και χωρικές αλλαγές της βλάστησης κατά τη διάρκεια των τελευταίων 10-30 ετών. Οι πληροφορίες επιτρέπουν την επιλογή μιας μεμονωμένης περιοχής ενδιαφέροντος που βρίσκεται οπουδήποτε στη γη και τον υπολογισμό ή και τη χρήση των διαθέσιμων επεξεργασμένων δεικτών που χαρακτηρίζουν την κατάσταση της βλάστησης ή των αγρομετεωρολογικών συνθηκών. Οι διαθέσιμες διακριτικές ικανότητες αρχίζουν από 250 μ (MODIS) και επεκτείνονται σε 16 χλμ (GAC NOAA).

Το σημαντικότερο χαρακτηριστικό γνώρισμα των μακροπρόθεσμων αρχείων είναι η δυνατότητα να συγκεντρωθούν και να διορθωθούν εύκολα οι ανωμαλίες και να υπολογισθούν οι τάσεις των υπό έρευνα παραμέτρων, οι οποίες επιτρέπουν τον προσδιορισμό των αλλαγών βιόσφαιρας στη μεμονωμένη περιοχή. Τέτοιες μελέτες παρέχουν την ευκαιρία να αναλυθούν οι πιθανές επιρροές της κλιματικής αλλαγής στη γεωργία.

3. ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΒΙΟΦΥΣΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΚΑΙ ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ ΣΕ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΕΠΙΠΕΔΟ

Επειδή η ποιότητα των φασματικών πληροφοριών εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά των αισθητήρων, η ανάπτυξη αισθητήρων είναι το κλειδί στις τεχνικές τηλεπισκόπησης. Η νέα γενιά των δορυφορικών αισθητήρων (π.χ. ο MODIS στην πλατφόρμα TERRA, ο VEGETATION στον SPOT, ο SEVIRI στον MSG, ο AVHRR-3 στον EPS/NOAA) έχει φέρει ένα αναβαθμισμένο επίπεδο τηλεπισκοπικών πληροφοριών στην κοινότητα χρηστών χάρις σε μια πολύ καλύτερη χωρική, χρονική, φασματική και γωνιακή δειγματοληψία της ακτινοβολίας που προέρχεται από την επιφάνεια της γης. Η χρονική διακριτική ικανότητα και η

σφαιρική κάλυψη που παρέχουν τα νέα όργανα, μαζί με την εκτενή δειγματοληψία και τις φασματικές και γωνιακές περιοχές, προετοιμάζουν το έδαφος για ένα ευρύ φάσμα νέων εφαρμογών, στις σχέσεις επιφάνειας-εδάφους και στις αλληλεπιδράσεις εδάφους - ατμόσφαιρας. Παραδείγματος χάριν τα στοιχεία SEVIRI/METEOSAT χρησιμοποιούνται εκτενώς στον υπολογισμό κλιματικών και βιοφυσικών μεταβλητών. Ο MSG παρέχει εικόνες κάθε 15 λεπτά και προσφέρει νέες ευκαιρίες να ανιχνευθεί η βραχυπρόθεσμη εξέλιξη της βλάστησης. Τέτοιο χαρακτηριστικό γνώρισμα είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τις περιοχές που χαρακτηρίζονται από υψηλή κάλυψη σύννεφων καθώς επίσης και για τα ημιάγωνα οικοσυστήματα που έχουν σύντομους κύκλους βλάστησης. Αφ' ετέρου, η ημερήσια και υπο-ημερήσια δειγματοληψία των θερμικών υπογραφών από MSG, επιτρέπει την παρακολούθηση των κύκλων θερμοκρασίας της επιφάνειας του εδάφους. Η διαθεσιμότητα της υψηλής χρονικής διακριτικής ικανότητας του MSG ταιριάζει απόλυτα στη μέτρηση των περιβαλλοντικών παραμέτρων που αλλάζουν γρήγορα καθώς επίσης και σε εκείνες τις παραμέτρους όπου η αλλαγή σημάτων περιέχει πληροφορίες για την παράμετρο ή τη διαδικασία ενδιαφέροντος. Εντούτοις, τα χωρικά χαρακτηριστικά των αισθητήρων αφορούν κυρίως τα γεγονότα στις περιφερειακές έως ηπειρωτικές κλίμακες. Προς το παρόν η τηλεπισκόπηση περιορίζεται στη χαρτογράφηση της παραγωγής με ελαφρώς υψηλότερη ακρίβεια από 90% όταν χρησιμοποιείται σε συνδυασμό η διαχρονική κάλυψη, η χρήση πολλών αισθητήρων και στοιχεία GIS. Η τηλεπισκόπηση μόνο, όμως έχει περιορισμούς στη διάκριση των πολλαπλών καλλιερχειών σε αυτό το επίπεδο ακρίβειας. Η τηλεπισκόπηση είναι επίσης συχνά ανίκανη να ανιχνεύσει τις άμεσες πηγές ζημίας των καλλιερχειών. Αυτοί οι περιορισμοί μπορούν να μειωθούν στο μέλλον καθώς αυξάνονται οι χωρικές και φασματικές διακριτικές ικανότητες.

Οι Toullos et al. (2008) έχουν καταγράψει τις κλιματικές και βιοφυσικές παραμέτρους που σήμερα εκτιμώνται μέσω της δορυφορικής τηλεπισκόπησης σε τουλάχιστον μία χώρα στην Ευρώπη, καθώς και τους τύπος των δορυφόρων και των αισθητήρων καταγραφής σε σχέση με κάθε μεταβλητή που χρησιμοποιούνται στις χώρες της Ευρώπης όπου γίνεται εκτίμησή τους.

4. ΝΕΩΤΕΡΕΣ ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ ΣΤΗΝ ΑΓΡΟΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑ

Οι λειτουργικές εφαρμογές των δεδομένων της τηλεπισκόπησης στην αγρομετεωρολογία απαιτούν σήμερα νέες προσεγγίσεις στη συλλογή και την ανάλυση. Υπάρχουν αρκετές πλατφόρμες αυτήν την περίοδο στο διάστημα για να συλλέγουν

καθημερινά στοιχεία υψηλής χωρικής ανάλυσης 30m για όλη την Ευρώπη. Εντούτοις η συλλογή τέτοιων στοιχείων απαιτεί συντονισμένη προσπάθεια και φυσικά χρηματοδότηση. Η επίδραση της νεφοκάλυψης σε μερικές περιοχές της Ευρώπης που είναι πάρα πολύ νεφελώδεις (ελεύθερη συχνότητα σύννεφων <14%) πρέπει να υπολογισθεί με ακρίβεια ώστε να επιτρέψουν τις εβδομαδιαίες παρατηρήσεις. Η συχνότητα απουσίας σύννεφων μπορεί να είναι εποχιακά εξαρτώμενη για μερικές περιοχές, αλλά υπάρχουν λίγες πληροφορίες για αυτό από την άποψη της τηλεπισκόπησης.

Για τη λειτουργική αφομοίωση των δορυφορικών δεδομένων εικόνας στα μοντέλα υπάρχουν σήμερα μερικές νέες προσεγγίσεις για τη συλλογή και την ανάλυση δεδομένων. Η πιο ελπιδοφόρος λύση φαίνεται να είναι η συνένωση (ο αστερισμός) ίδιων δορυφόρων στην ίδια τροχιά και η διαθεσιμότητα της τεχνολογίας μικρών δορυφόρων που μπορούν να κατασκευασθούν και να εκτοξευθούν με σχετικά χαμηλότερο κόστος, όπως ο αστερισμός DMC, που ανοίγει τη δυνατότητα για την ανάπτυξη ενός ευρωπαϊκού αστερισμού «AgriSatellite». Στα τρέχοντα συστήματα DMC λείπουν περιοχές παρατήρησης στην μικροκυματική υπέρυθρη περιοχή (SWIR), οι οποίες είναι σημαντικές για τον έλεγχο της υγρασίας των καλλιερχειών και επιπλέον έχουν περιορισμένες ικανότητες μετάδοσης αποθήκευσης και στοιχείων. Αυτοί οι τεχνικοί περιορισμοί θα υπερνικηθούν τα επόμενα χρόνια και όταν συνδεθούν τα στοιχεία από τέτοιους αστερισμούς με τις προσεκτικά προγραμματισμένες και εκτελεσμένες δραστηριότητες βαθμολόγησης και επικύρωσης, θα επιτευχθεί πλήρως το μέγιστο των δυνατοτήτων της τηλεπισκόπησης στο αγρομετεωρολογία και σε ένα ευρύ φάσμα άλλων τομέων στην Ευρώπη. Οι μεγάλες προσδοκίες για τη βελτίωση της αφομοίωσης στοιχείων τηλεπισκόπησης στα καλλιερχειτικά μοντέλα αφορούν τις μελλοντικές προσφορές των δορυφόρων και των αισθητήρων με την υψηλή χωρική και χρονική ανάλυση (π.χ. GMES, Sentinel 2, κ.λπ.) (Danson and Toullos; 2010 Mackin et al., 2010).

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Danson F.M. and L. Toullos, 2010. Challenges for the operational application of satellite image data in agrometeorology. In 'Satellite data availability, methods and challenges for the assessment of climate change and variability impacts on agriculture', TOULIOS L. and G. STANCALIE, editors, © COST Office, ESF. Formal publisher: Emm. Lavdakis O.E. publishers, Larissa, Greece, p 105-113.
- Huete A.R., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E.P., Gao, X. and Ferreira, L.G., 2004. Overview of the radiometric and biophysical performance of

the MODIS vegetation indices. *Remote Sens. Environ.* 83, 195-213.

Leeuwen W., Orr, B.J., Marsh, S.E. and Herrmann, S.M., 2006. Multisensor NDVI data continuity: uncertainties and implications for vegetation monitoring applications. *Remote Sens. Environ.* 100, 67-81.

Mackin S., Stephens, P. and Crowley, G., 2010. Radiometric and data quality characteristics of the 2nd generation Disaster Monitoring Constellation (DMC) satellites. *Proceeding of the Annual Conference of remote Sensing and Photogrammetry Society, Cork, Ireland, 1-3 September 2010.*

Ramirez A., Armitage, R.P., Danson, F.M., Marston, C.G., Ogunbadewa, E.Y. and Yebra, M., 2007. Web-based model for analysis of time series remotely sensed data. 10th Intl. Symposium on Physical Measurements and Signatures in Remote Sensing, Davos, 12-14th March 2007.

Struzik, P., G. Stancalie, F. M., Danson, L. Toullos, Z. Dunkel and E. Tsiros, 2010. Study of satellite data availability and their resolution in time and space, for the assessment of climate change and variability impacts on agriculture. In 'Satellite data availability, methods and challenges for the assessment of climate

change and variability impacts on agriculture', TOULIOS L. and G. STANCALIE, editors, © COST Office, ESF. Formal publisher: Emm. Lavdakis OE. publishers, Larissa, Greece, p 3-28.

Toullos, L., G. Stancalie, P. Struzik, M. Danson, J. Mika, Z. Dunkel and E. Tsiros, 2008. 'Satellite spectral climatic and biophysical data for warning purposes for European agriculture'. In 'Survey of agrometeorological practices and applications in Europe regarding climate change impacts', Nejedlik and Orlandini, editors, COST 734, ESF, pp163-203.

Toullos L. and G. Stancalie, editors, 2010. SATELLITE DATA AVAILABILITY, METHODS AND CHALLENGES FOR THE ASSESSMENT OF CLIMATE CHANGE AND VARIABILITY IMPACTS ON AGRICULTURE. © COST Office, 2010. COST Action 734. Formal publisher: Emm. Lavdakis O.E. publishers, Larissa, Greece, p 137.

WMO, 2009. Implementation Plan for the Global Observing System for Climate in Support of the UNFCCC, (http://www.wmo.int/pages/prog/gcos/documents/GCOSIP-10_DRAFTv1.0_131109.pdf).

The screenshot shows the LP DAAC website interface. On the left, three boxes with red arrows point to specific parts of the website:

- Products description:** Points to the 'Products Order' link in the navigation menu.
- Data selection and ordering:** Points to the 'Data Access' section, which includes links for WIST, EOS Data Gateway, Data Pool, and GloVis.
- Software tools for data extraction and subsetting:** Points to the search and download options in the 'Data Access' section.

The website content includes:

- Header:** Land Processes Distributed Active Archive Center
- Navigation:** About LP DAAC, Products Order, Data Tools, Help/Education, Links, Contact LP DAAC
- Main Content:**
 - Data Access:** WIST, EOS Data Gateway, Data Pool, GloVis
 - Search LP DAAC:** Search bar, LP DAAC, FAQ, Site Map
 - ASTER & MODIS Image Galleries:** Four image thumbnails labeled ASTER, ASTER, MODIS, MODIS
 - LP DAAC News:** EDG to WIST Transition, MODIS V005 Burned Area Product Announcement, LP DAAC Spring Newsletter Now Online, MODIS V5 Land Data Reprocessing Completion, EDG to WIST Registered User Migration
 - Scenes Available:** October 19, 2008, ASTER Over 1,447,000, MODIS Over 27,858,000
- Footer:** USGS, NASA, ESIP logos, navigation links (LP DAAC, EROS Home, About, Products, Data Tools, Order Data, News, Help/Edu, Links, Contact Us), and legal information.

Εικόνα 1: Παράδειγμα διαθεσιμότητας δορυφορικών στοιχείων / Example of web archive interface (LP-DAAC)