



Σχολή Επιστημών Τροφίμων
Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ, ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
Ανασκόπηση στη χρήση των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων (ΠΗΠ) για
την εκχύλιση βιοδραστικών ουσιών από φυτά και παραπροϊόντα
βιομηχανίας τροφίμων

MSc Thesis

Review of the application of pulsed electric fields technology
(PEF) for the extraction of bioactive compounds from plants and
by-products of food industries

Διευθυντής

Καθ. Τμήματος Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων (ΠΑ.Δ.Α) Ιωάννης
Τσάκνης

ΟΝΟΜΑ ΦΟΙΤΗΤΗ/NAME OF STUDENT

Πριλή Ευσταθία-Δήμητρα

Prili Efstathia-Dimitra

ΟΝΟΜΑ ΕΙΣΗΓΗΤΗ/NAME OF THE SUPERVISOR

Στρατή Ειρήνη

Strati Eirini

ΑΙΓΑΛΕΩ/AIGALEO 2021



Faculty of Food Sciences
Department of Food Science and Technology

Master of Science
FOOD INNOVATION, QUALITY AND SAFETY

MSc THESIS

**Review of the application of pulsed electric fields technology (PEF)
for the extraction of bioactive products from plants and by-products
of food industries**

PRILI EFSTATHIA DIMITRA

19023

efiprili@gmail.com

SUPERVISOR

STRATI EIRINI

AIGALEO 2021

Έγινε δεκτή

Ο Διευθυντής του ΠΜΣ:

Οι υπογράφοντες δηλώνουμε ότι έχουμε εξετάσει τη μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία (master thesis) με τίτλο *‘Ανασκόπηση στη χρήση των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων (ΠΗΠ) για την εκχύλιση βιοδραστικών ουσιών από φυτά και παραπροϊόντα βιομηχανίας τροφίμων’* που παρουσιάστηκε από την Πριλή Ευσταθία-Δήμητρα, υποψηφίου για τον μεταπτυχιακό τίτλο σπουδών στην ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ, ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ και βεβαιώνουμε ότι γίνεται δεκτή.

Ημερομηνία

31/08/2021

Όνομα επιβλέποντος

ΣΤΡΑΤΗ ΕΙΡΗΝΗ

Ημερομηνία

31/08/2021

Όνομα μέλους επιτροπής

ΣΙΝΑΝΟΓΛΟΥ ΒΑΣΙΛΕΙΑ

Ημερομηνία

31/08/2021

Όνομα μέλους επιτροπής

ΓΙΑΝΝΑΚΟΥΡΟΥ ΜΑΡΙΑ

Δήλωση Συγγραφέα Μεταπτυχιακής Διπλωματικής Εργασίας

Η κάτωθι υπογεγραμμένη Πριλή Ευσταθία-Δήμητρα του Θεοδώρου, με αριθμό μητρώου 19023 φοιτήτρια του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών "Καινοτομία, Ποιότητα και Ασφάλεια Τροφίμων" του Τμήματος Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων της Σχολής Επιστημών Τροφίμων του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω ότι:

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

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

Επιθυμώ την απαγόρευση πρόσβασης στο πλήρες κείμενο της εργασίας μου μέχρι 31/08/2021 και έπειτα από αίτηση μου στη Βιβλιοθήκη και έγκριση του επιβλέποντα καθηγητή.

Η Δηλούσα

Πριλή Ευσταθία-Δήμητρα



Δήλωση περί λογοκλοπής/Copyright

Έχοντας πλήρη επίγνωση των συνεπειών του νόμου περί πνευματικής ιδιοκτησίας, δηλώνω ότι είμαι αποκλειστική συγγραφέας της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Δηλώνω, επίσης, ότι αναλαμβάνω όλες τις συνέπειες, όπως αυτές νομίμως ορίζονται, στην περίπτωση που διαπιστωθεί διαχρονικά ότι η εργασία μου αυτή ή τμήμα αυτής αποτελεί προϊόν λογοκλοπής.

Πριλή Ευσταθία-Δήμητρα



Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την κυρία Στρατή Ειρήνη,επίκουρη καθηγήτρια του τμήματος Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων,της Σχολής Επιστηών Τροφίμων του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής,επιβλέπουσα της μεταπτυχιακής διπλωματικής μου εργασίας για όλη την καθοδήγηση κατά τη διάρκεια εκπόνησης της.

Αφιερώσεις

Θα ήθελα να αφιερώσω την παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία σε όλη την αγαπημένη παρέα των συμφοιτητών μου από το μεταπτυχιακό πρόγραμμα "Ποιότητα, Ασφάλεια και Καινοτομία Τροφίμων" του τμήματος Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής με τους οποίους μοιράστηκα κοινές αγωνίες και συγκινήσεις σε όλη αυτή την πορεία των 2 χρόνων.

Περίληψη

Η ιστορία της ανθρωπότητας με την ιστορία της τεχνολογίας θα μπορούσαν να θεωρηθούν ως δύο έννοιες απόλυτα αλληλένδετες. Η τεχνολογική πρόοδος εξυπηρέτησε με την πάροδο των ετών πολλά ζητήματα που απασχόλησαν τον άνθρωπο, ένα από τα σημαντικότερα είναι η διατροφή και τα τρόφιμα. Η επιστήμη έχει στραφεί στην ανάπτυξη υψηλής ποιότητας, θρεπτικών και ασφαλών τροφίμων και την εκχύλιση βιοδραστικών συστατικών από αυτά που μπορούν παράλληλα να λειτουργήσουν ως φυτοχημικά, φαρμακευτικά φυσικά προϊόντα με ανάλογη δράση για τον ανθρώπινο οργανισμό. Η τεχνολογία Παλμικών Ηλεκτρικών Πεδίων (ΠΗΠ) που χρησιμοποιείται ως μέθοδος συντήρησης, αδρανοποίησης μικροοργανισμών θα μελετηθεί ως μέθοδος εκχύλισης βιοδραστικών συστατικών και θα μας απασχολήσει στη διατριβή που ακολουθεί. Ο κλάδος της επεξεργασίας & συντήρησης των τροφίμων εξελίχθηκε από τις συμβατικές μεθόδους επεξεργασίας σε εναλλακτικές, οικολογικές ή αλλιώς «πράσινες» τεχνικές που επιβαρύνουν λιγότερο το περιβάλλον με χαμηλές θερμοκρασίες, σύντομους χρόνους επεξεργασίας και χαμηλή κατανάλωση διαλυτών, σημαντικότερος εκπρόσωπος των οποίων είναι η προαναφερόμενη μέθοδος.

Στη συνέχεια της εργασίας αναλύονται τα βασικά μέρη του συστήματος ΠΗΠ και ο τρόπος λειτουργίας της μεθόδου, γίνεται αναφορά στα βιοδραστικά συστατικά και στις μεθόδους εκχύλισης τους, ενώ σημαντικό σημείο της μελέτης είναι το εάν οι συμβατικές μέθοδοι εκχύλισης είναι προτιμότερο να αντικατασταθούν από οικολογικές μεθόδους βάσει των πλεονεκτημάτων και περιορισμών που έχουν αυτές.

Στο βασικό μέρος της εργασίας αναλύονται οι γενικές εφαρμογές της μεθόδου ΠΗΠ στην αδρανοποίηση των μικροοργανισμών, στη συντήρηση των τροφίμων, στην ενζυμική αδρανοποίηση, ως προεπεξεργασία για την ανάκτηση βιοδραστικών συστατικών, ως προεπεξεργασία για τη συντήρηση, την αφυδάτωση των τροφίμων, την επιτάχυνση της ωρίμανσης των ζυμούμενων τροφίμων κ.α.

Στη συνέχεια, μελετώνται δύο γενικές κατηγορίες από τις οποίες εκχυλίζονται βιοδραστικές ουσίες με την τεχνολογία Παλμικών Ηλεκτρικών Πεδίων, συγκεκριμένα

τα φυτικά τρόφιμα/φυτά και τα παραπροϊόντα βιομηχανίας τροφίμων. Εξετάζονται εναλλακτικές συνθήκες επεξεργασίας που έχουν εφαρμοστεί και μελετηθεί με ΠΗΠ για κάθε τρόφιμο και γίνεται σύγκριση της απόδοσης με τις άλλες μεθόδους εκχύλισης συμβατικές και μη.

Συνοψίζοντας, θα αναλυθούν τα συμπεράσματα από την μελέτη ενώ θα γίνουν προτάσεις προκείμενου να εμβαθύνει κάποιος μελλοντικά στην συγκεκριμένη εφαρμογή για συμβολή και περαιτέρω εξέλιξη των λειτουργικών τροφίμων.

Abstract

The history of humankind and the history of technology could be considered as two completely interconnected concepts. Technological advances have served over the years many issues that have concerned the humanity, two of the most important are the nutrition and the food products. Science has focused on developing high quality, nutritious and safe products and extracting bioactive compounds from them that can act as phytochemical, medicinal natural products with similar action for the human body. The Pulse Electric Field technology (PEF), that is used as a method of preservation, inactivation of microorganisms, will be studied as a method of extraction of bioactive compounds and will concern us in the dissertation that will be developed below. The food processing & preservation industry has evolved from conventional processing methods to alternative, ecological or otherwise "green" technologies, eco-friendly to the environment, of low temperatures, short processing times & low consumption of solvents and the Pulsed Electric Fields Technology is the most important representative of them.

Consequently, the basic parts of the PEF system and the way of operation of the method are analyzed, a reference will be made to the bioactive compounds and their extraction methods, while an important point of the study is whether conventional extraction methods are better to be replaced by the ecological methods, based on their advantages and limitations.

The main part of the work analyzes the general applications of the PEF technology in the inactivation of microorganisms, in food preservation, in enzyme inactivation, in the recovery of bioactive compounds as a pre-treatment for preservation, in dehydration of food, in the acceleration of food etc.

Subsequently, the two general categories from which bioactive compounds are extracted with Pulse Electric Field technology are studied: the food industry by-products and plant food products / plants. The extraction yield of bioactive compounds of these products by the PEF Technology is compared with other conventional and non-conventional extraction methods.

In summary, the conclusions from the study will be analyzed while suggestions will be given in order for someone to deepen in the future in the specific application for

further development of functional foods.

Περιεχόμενα

Δήλωση Συγγραφέα Μεταπτυχιακής Διπλωματικής Εργασίας	4
Δήλωση περί λογοκλοπής/Copyright.....	3
Ευχαριστίες	5
Αφιερώσεις	6
Περίληψη	8
Abstract.....	10
Περιεχόμενα.....	12
Κατάλογος Πινάκων	13
Κατάλογος Σχημάτων	13
Κατάλογος Γραφημάτων	14
Κατάλογος Διαγραμμάτων	14
Κατάλογος Εικόνων	15
Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή.....	16
Κεφάλαιο 2: Η μέθοδος επεξεργασίας με τη χρήση παλμικών ηλεκτρικών πεδίων. 18	
<i>2.1 Βασικά Μέρη Συστήματος Επεξεργασίας τροφίμων με παλμικά ηλεκτρικά πεδία.....</i>	<i>18</i>
<i>2.2 Τρόπος Λειτουργίας και παράμετροι της μεθόδου επεξεργασίας με τη χρήση παλμικών ηλεκτρικών πεδίων</i>	<i>24</i>
<i>2.3 Βιοδραστικά συστατικά και μέθοδοι εκχύλισης</i>	<i>30</i>
<i>2.4 Σύγκριση συμβατικών μεθόδων εκχύλισης και οικολογικών καινοτόμων μεθόδων εκχύλισης.....</i>	<i>36</i>
Κεφάλαιο 3: Εφαρμογές των Παλμικών Ηλεκτρικών Πεδίων (ΠΗΠ)	42
3.1 Γενικές Εφαρμογές Της Μεθόδου ΠΗΠ	42
<i>3.2.Εκχύλιση βιοδραστικών συστατικών από φυτά/φυτικά τρόφιμα και από παραπροϊόντα βιομηχανίας τροφίμων με τη μέθοδο ΠΗΠ.....</i>	<i>50</i>
<i>3.2.1 Φυτά/Φυτικά τρόφιμα</i>	<i>50</i>
<i>3.2.2 Παραπροϊόντα βιομηχανίας τροφίμων</i>	<i>78</i>
Κεφάλαιο 4: Αποτελέσματα - Συζήτηση.....	99
Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα και υποδείξεις για περαιτέρω έρευνα	102
Βιβλιογραφία-Αναφορές	104

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1. Πλεονεκτήματα και περιορισμοί των καινοτόμων μεθόδων εκχύλισης "πράσινης τεχνολογίας".....	39
Πίνακας 2 Βιοδραστικά συστατικά από μικροοργανισμούς και οστά ζώων που εκχυλίζονται με επεξεργασία ΠΗΠ.....	44
Πίνακας 3 Χρήση της επεξεργασίας ΠΗΠ σε διάφορα πεδία της βιομηχανίας τροφίμων και η απόδοση ανά περίπτωση (Giacometti et al., 2018; Niu et al., 2020; Arshad et al., 2020).....	46
Πίνακας 4 Εκχύλιση βιοδραστικών συστατικών από φυτά/φυτικά τρόφιμα.....	53
Πίνακας 5 Συγκριτικός πίνακας εκχύλισης βιοδραστικών ενώσεων από φυτά/φυτικά τρόφιμα.....	60
Πίνακας 6 Συγκριτικός πίνακας εκχύλισης βιοδραστικών συστατικών από φυτικά τρόφιμα/καρπούς.....	74
Πίνακας 7 Εφαρμογή των ΠΗΠ σε παραπροϊόντα βιομηχανίας οινοποίησης.....	79
Πίνακας 8 Συγκριτικός πίνακας απόδοσης φλαβονοειδών, ανθοκυανινών, ολικών φαινολικών συστατικών και πολυφαινόλων από τα στέμφυλα.....	82
Πίνακας 9 Εφαρμογή των ΠΗΠ σε παραπροϊόντα ζυθοποιίας.....	87
Πίνακας 10 Εφαρμογή των ΠΗΠ σε παραπροϊόντα φυτικών τροφίμων.....	90
Πίνακας 11 Εφαρμογή των ΠΗΠ σε παραπροϊόντα επεξεργασίας σπόρων.....	93
Πίνακας 12 Εφαρμογή των ΠΗΠ σε παραπροϊόντα επεξεργασίας φυτικών τροφίμων/καρπών.....	95
Πίνακας 13 Συγκριτικός πίνακας εκχύλισης βιοδραστικών συστατικών από μπαχαρικά και λοιπά παραπροϊόντα βιομηχανίας τροφίμων.....	98

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1. Διάγραμμα γενικής διάταξης PEF συστήματος επεξεργασίας τροφίμων. Απεικονίζονται τρία βασικά τμήματα: 1) παροχή υψηλού δυναμικού πεδίου (ροζ χρώμα) 2) ο θαλαμος επεξεργασίας (πράσινο χρώμα) 3) το σύστημα ελέγχου και παρακολούθησης (κίτρινο χρώμα) 4) το δείγμα πριν και μετά την επεξεργασία (γαλάζιο χρώμα) (Arshad et al., 2020).....	19
Σχήμα 2 Παράμετροι επεξεργασίας που σχετίζονται με κάθε τμήμα του συστήματος PEF. 1) παροχή υψηλού δυναμικού πεδίου (ροζ χρώμα) 2) ο θαλαμος επεξεργασίας (πράσινο χρώμα) 3) δείγμα τροφίμου (μπλε χρώμα) (Arshad et al., 2020).....	20
Σχήμα 3 Διάγραμμα ροής σε μία γεννήτρια ηλεκτρικού πεδίου. Η (α) περίπτωση αφορά εκθετικά μειούμενο τετράγωνο παλμό ενώ η (β) αφορά τετράγωνο παλμό (Niu et al., 2020).....	21
Σχήμα 4 Βασικά ήδη θαλάμων επεξεργασίας ΠΗΠ (Maged et al., 2012).....	22
Σχήμα 5 Μηχανισμός διαπερατότητας της κυτταρικής μεμβράνης που προκαλείται από εξωτερικό ηλεκτρικό πεδίο (Ee). Ec = κρίσιμη ένταση ηλεκτρικού πεδίου. (Barba et al., 2020).....	27
Σχήμα 6 Τυπικό πρωτόκολλο τεχνολογίας ΠΗΠ με διπολικούς-τετράγωνους παλμούς (Lebonka & Vorobiev, 2011).....	28
Σχήμα 7 Δομές βασικών ανθοκυανών.....	31

Κατάλογος Γραφημάτων

Γράφημα 1 Απόδοση ανθοκυανινών,φλαβονοειδών και ολικών φαινολικών σε φλούδες δαμάσκηνων (Medina-Meza & Barbosa-Cánovas, 2015).....	70
Γράφημα 2 Εκχύλιση βιοδραστικών συστατικών από φλοιούς δαμάσκηνων & σταφυλιών .Στο διάγραμμα Α) παρουσιάζονται οι ανθοκυανίνες ,στο διάγραμμα Β) τα φλαβονοειδή, στο Γ) οι ολικές φαινόλες και στο Δ) το ασκορβικό οξύ. Οι μέθοδοι εκχύλισης είναι η επεξεργασία με ΠΗΠ με δύο διαφορετικές διαμέτρους θαλάμων 25 mm και 7 mm (I & II), η επεξεργασία με υπερήχους (US) στους 25°C και 50°C καθώς και η συμβατική εκχύλιση στους 70°C για μία ώρα. (Medina-Meza & Barbosa-Cánovas, 2015).....	71
Γράφημα 3 Ολικά φαινολικά συστατικά (α) και ανθοκυανίνες (b) του χυμού των μύρτιλων κατόπιν επεξεργασίας με ΠΗΠ. Η πρώτη ράβδος αντιστοιχεί σε μη επεξεργασμένο δείγμα	77
Γράφημα 4 Απόδοση ανθοκυανινών,φλαβονοειδών και ολικών φαινολικών σε φλούδες σταφυλιών (Medina-Meza & Barbosa-Cánovas, 2015).....	85

Κατάλογος Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1 Διάγραμμα ροής στάδια της ανάκτησης βιοδραστικών συστατικών από παραπροϊόντα βιομηχανίας τροφίμων.Το σχήμα με τις διακεκομμένες παρουσιάζει το σημείο στο οποίο μπορούν να ενταχθούν οι τεχνολογίες με εφαρμογή ηλεκτρικού πεδίου – PEF (Pulsed Electric Fields).....	33
---	----

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1 Δομές βιοδραστικών ενώσεων που συναντιώνται στα μούρα (βατόμουρα, μύρτιλα, σταφύλια και φράουλες) (Lorenzo et al., 2017).....	34
Εικόνα 2 Καινοτόμες μέθοδοι εκχύλισης βιοδραστικών συστατικών: από αριστερά προς τα δεξιά: υποβοηθούμενη ενζυματική εκχύλιση, εκχύλιση με ψυχρό ατμοσφαιρικό πλάσμα, εκχύλιση με ηλεκτρικές εκκενώσεις υψηλού δυναμικού, υποβοηθούμενη εκχύλιση με μικροκύματα, εκχύλιση με υπερήχους και τέλος με ΠΗΠ (Picot-Allain et al., 2021)	37
Εικόνα 3 Μικρογραφίες δειγμάτων φύλλων Ταυλανδέζικου βασιλικού που υπέστησαν επεξεργασία με ΠΗΠ. Απεικονίζεται η εξέλιξη διαπερατότητας της κυτταρικής μεμβράνης της επιδερμίδας των φύλλων. Εφαρμόστηκε μονοπολικός παλμός της τάξεως του 650 V/cm με πλάτος παλμού 50 (Thamkaew & Galindo, 2020)	66
Εικόνα 4 Ιστός από παντζάρι κατόπιν υδατικής εκχύλισης χωρίς επεξεργασία ΠΗΠ (Barba et al., 2015)	67
Εικόνα 5 Ιστός από παντζάρι κατόπιν υδατικής εκχύλισης με προ- επεξεργασία με ΠΗΠ (Barba et al., 2015).....	68

Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή

Με τη βελτίωση των επιπέδων διαβίωσης, τις ολοένα αυξανόμενες απαιτήσεις των καταναλωτών για υψηλής ποιότητας φυσικά, θρεπτικά και ασφαλή προϊόντα οδηγηθήκαμε στην ανάπτυξη τεχνικών επεξεργασίας για τη συντήρηση των τροφίμων και για εκχύλιση βιοδραστικών συστατικών από τα παραπροϊόντα τους, οι οποίες αντικατέστησαν τις συμβατικές θερμικές και χημικές μεθόδους με βιώσιμες αειφόρες τεχνικές, τις λεγόμενες οικολογικές ή «πράσινες» τεχνικές επεξεργασίας & εκχύλισης. Κύριος σκοπός της επεξεργασίας είναι να διατηρηθούν οι θρεπτικές ιδιότητες και τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των τροφίμων αναλλοίωτα. Έτσι, προέκυψαν εναλλακτικές θερμικές και μη θερμικές μέθοδοι που ελαχιστοποιούν την επεξεργασία και ενισχύουν τις οργανοληπτικές και διατροφικές ιδιότητες των τροφίμων & την εκχύλιση βιοδραστικών συστατικών. Από τις εναλλακτικές αυτές μεθόδους-οικολογικές ή «πράσινες» τεχνικές εκχύλισης- ξεχωρίζουν αρκετές όπως η ακτινοβόληση, η επεξεργασία με υπερύψηλη πίεση, η εκχύλιση με μικροκύματα, η εκχύλιση με υπερήχους, η εκχύλιση υπερκρίσιμων ρευστών καθώς και η επεξεργασία με παλμικά ηλεκτρικά πεδία (Putnik et al., 2018).

Η επεξεργασία τροφίμων με παλμικά ηλεκτρικά πεδία (ΠΗΠ) είναι μια πολλά υποσχόμενη, καινοτόμος, μη θερμική μέθοδος συντήρησης των τροφίμων που εφαρμόζεται με σκοπό την αδρανοποίηση των μικροοργανισμών ή ενζύμων με τη χρήση παλμών χαμηλής έντασης και με ελάχιστη επίδραση στην οργανοληπτική ποιότητα και στη θρεπτική αξία του δείγματος. Έχει επίσης ευρεία εφαρμογή σε διαδικασίες όπως είναι η οσμωτική αφυδάτωση, η εκχύλιση με διάχυση διαλύτη, η ξήρανση και η κατάψυξη, οι οποίες λαμβάνουν χώρα είτε σε πιλοτικό επίπεδο στο εργαστήριο είτε σε βιομηχανική κλίμακα (πχ. προεπεξεργασία στην παρασκευή τηγανητών πατατών ή κρύα παστερίωση υγρών τροφίμων, όπως οι χυμοί φρούτων) (Ferreira et al., 2019; Martínez et al., 2019). Υπερετερεί σε σχέση με τις άλλες μεθόδους θερμικής επεξεργασίας καθώς ελαχιστοποιεί τις καταστροφικές αλλαγές στην ποιότητα & τη θρεπτική αξία των τροφίμων, ενώ παράλληλα διατηρεί τις οργανοληπτικές & φυσικοχημικές τους ιδιότητες σε σύγκριση με τις συμβατικές μεθόδους επεξεργασίας (Arshad et al., 2020). Εφαρμόζεται ως μέθοδος συντήρησης, αδρανοποίησης μικροοργανισμών και επέκτασης του χρόνου ζωής σε μια ευρεία

κατηγορία τροφίμων που κυμαίνονται από στερεά τρόφιμα (μήλα, πατάτες) έως ημι-στερεά (προϊόντα αυγών), ρευστά (γάλα & γαλακτοκομικά προϊόντα, κρόκκοι αυγών χυμοί φρούτων, χυμοί γιαουρτιών, σούπες μπιζελιών) (Mohamed & Amer Eissa, 2012)

Πιο πρόσφατες μελέτες που αναφέρονται στην παρούσα εργασία, εστιάζουν στην αποτελεσματικότητα της μεθόδου στην ανάκτηση-εκχύλιση βιοδραστικών συστατικών από φυτά, φρούτα, αλλά και από παραπροϊόντα βιομηχανίας τροφίμων καθώς και στη βιο-ανάκτηση καταλοίπων και αποβλήτων που προέρχονται από βιομάζες εξωτικών φρούτων, λιγνοκυτταρικά και ελαιώδη συστατικά καλλιεργειών (Arshad et al., 2020).

Η χρήση των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων στις εκχυλίσεις αποτελεί μία οικολογική μέθοδο ανάκτησης ουσιών με την οποία εξοικονομείται ενέργεια και ταυτόχρονα αποφεύγεται η χρήση χημικών διαλυτών (Putnik et al., 2018). Η εναλλακτική αυτή τεχνική εκχύλισης αντικαθιστά τις συμβατικές μεθόδους εκχύλισης που βασίζονται στη δράση των διαλυτών με εφαρμογή θέρμανσης ή και ανάδευσης. Στα επόμενα κεφάλαια θα αναλυθούν τα μέρη της διάταξης, ο τρόπος λειτουργίας και οι παράμετροι της μεθόδου και θα δοθούν παραδείγματα εκχυλίσεων βιοδραστικών συστατικών με τη μέθοδο αυτή από φυτά, φυτικά τρόφιμα και παραπροϊόντα βιομηχανίας τροφίμων, με στόχο να προσδιοριστούν οι βέλτιστες συνθήκες ανά περίπτωση.

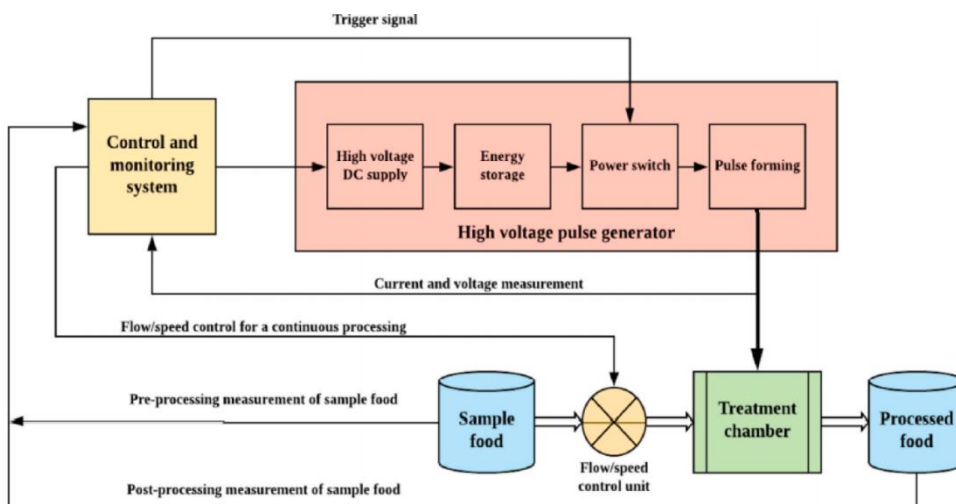
Κεφάλαιο 2: Η μέθοδος επεξεργασίας με τη χρήση παλμικών ηλεκτρικών πεδίων

Η μέθοδος επεξεργασίας με τη χρήση παλμικών ηλεκτρικών πεδίων (ΠΗΠ) χρησιμοποιείται, όπως αναφέρθηκε και στην εισαγωγή, στην επεξεργασία των τροφίμων με στόχο τη συντήρησή τους, καθώς και στην εκχύλιση βιοδραστικών συστατικών από φυτά και από παραπροϊόντα βιομηχανίας τροφίμων.

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναλυθούν τα βασικά μέρη της διάταξης της συγκεκριμένης τεχνολογίας, ο τρόπος λειτουργίας και οι παράμετροι λειτουργίας της, θα αναλυθούν τα βιοδραστικά συστατικά που εκχυλίζονται, θα γίνει σύγκριση της εκχύλισης με παλμικά ηλεκτρικά πεδία με τις άλλες τεχνικές εκχύλισης τόσο σε πιλοτική όσο και σε βιομηχανική κλίμακα.

2.1 Βασικά Μέρη Συστήματος Επεξεργασίας τροφίμων με παλμικά ηλεκτρικά πεδία

Τα βασικά μέρη της διάταξης του συστήματος επεξεργασίας τροφίμων με παλμικά ηλεκτρικά πεδία είναι: 1) η παροχή παλμικού πεδίου υψηλού δυναμικού, 2) ο θάλαμος επεξεργασίας και 3) τα συστήματα ελέγχου και παρακολούθησης των παραμέτρων, τα οποία συνοπτικά παρουσιάζονται στο [Σχήμα 1](#) (Wan et al., 2009).

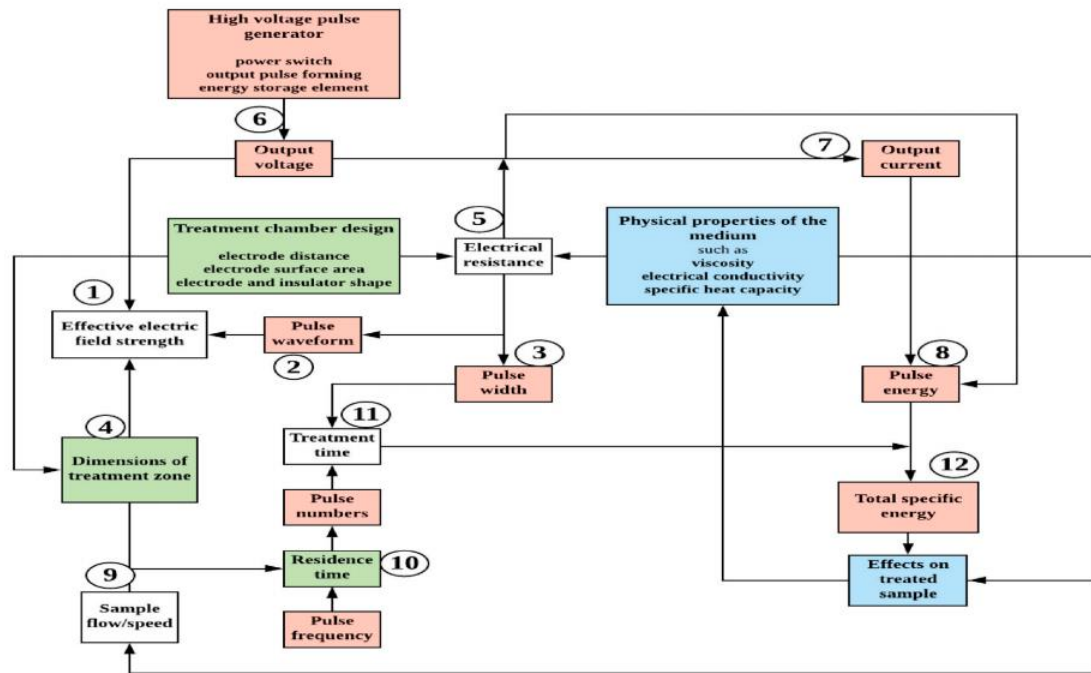


Σχήμα 1. Διάγραμμα γενικής διάταξης PEF συστήματος επεξεργασίας τροφίμων. Απεικονίζονται τρία βασικά τμήματα: 1) παροχή υψηλού δυναμικού πεδίου (ροζ χρώμα) 2) ο θάλαμος επεξεργασίας (πράσινο χρώμα) 3) το σύστημα ελέγχου και παρακολούθησης (κίτρινο χρώμα) 4) το δείγμα πριν και μετά την επεξεργασία (γαλάζιο χρώμα) (Arshad et al., 2020)

Τα σημαντικότερα από τα μέρη του συστήματος είναι η παροχή παλμικού πεδίου υψηλού δυναμικού και ο θάλαμος επεξεργασίας τα οποία καθορίζουν και τις παραμέτρους του συστήματος. Η παροχή (γεννήτρια) ηλεκτρικών παλμών χρησιμοποιείται για να μεταδώσει τον παλμό υψηλού δυναμικού στο θάλαμο επεξεργασίας που περιέχει το υπό επεξεργασία τρόφιμο. Αποτελείται από ένα συνδυασμό διακριτών στοιχείων (ωμικά, αναγωγικά και στοιχεία χωρητικότητας), μετασχηματιστές και διακόπτες. Οι διακόπτες είναι απαραίτητοι για να μεταφέρουν την ενέργεια που αποθηκεύεται στους πυκνωτές (Arshad et al., 2020).

Αναφερόμενοι στις παραμέτρους του συστήματος επεξεργασίας με ΠΗΠ (Παλμικά Ηλεκτρικά Πεδία), εννοούμε την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου, το ρυθμό μετάδοσής του, την κυματομορφή και το ρυθμό επαναληψιμότητας του παλμού, το χρόνο έκθεσης, την πυκνότητα της ειδικής ενέργειας καθώς και τη διακύμανση της θερμοκρασίας στο υπό επεξεργασία δείγμα. Για να γίνει πιο κατανοητή η λειτουργία των επιμέρους τμημάτων της διάταξης ακολουθεί το [Σχήμα 2](#) με τις παραμέτρους που σχετίζονται με κάθε μέρος του συστήματος, δηλαδή με την παροχή παλμού υψηλού δυναμικού (ροζ χρώμα), με το θάλαμο επεξεργασίας (πράσινο χρώμα) και με το υπο εξέταση δείγμα (γαλάζιο χρώμα) όπου γίνεται εμφανές το πόσο άρρηκτα συνδεδεμένα είναι τα μέρη μεταξύ τους. Για να πετύχουμε τις βέλτιστες συνθήκες της εφαρμογής στο προϊόν είναι σημαντικό κάποιες παράμετροι να διατηρούνται

σταθερές και οι υπόλοιπες να υπολογίζονται βάσει της αριθμητικής αλληλουχίας που φαίνεται στο [Σχήμα 2](#). Η διάταξη του συστήματος παίζει σημαντικό ρόλο στο χαρακτηρισμό της μεθόδου ως οικονομικής ή μη.



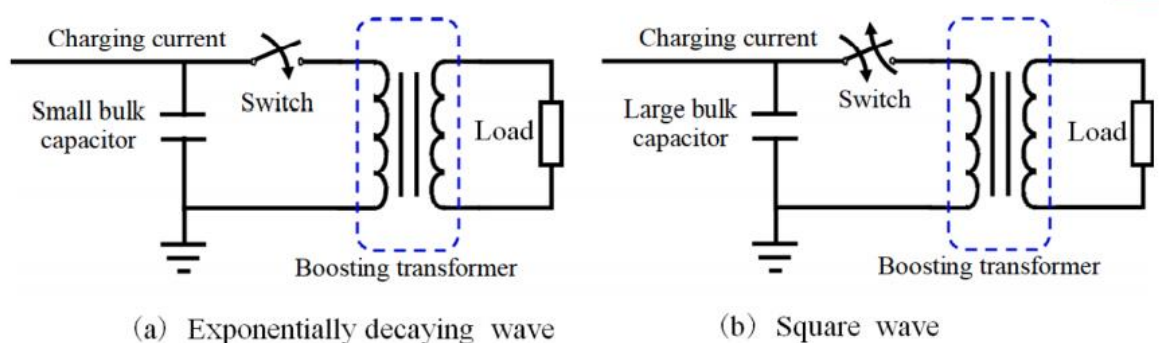
Σχήμα 2 Παράμετροι επεξεργασίας που σχετίζονται με κάθε τμήμα του συστήματος PEF. 1) παροχή υψηλού δυναμικού πεδίου (ροζ χρώμα) 2) ο θάλαμος επεξεργασίας (πράσινο χρώμα) 3) δείγμα τροφίμου (μπλε χρώμα) (Arshad et al., 2020)

Αναλυτικά, σύμφωνα με το [Σχήμα 2](#), οι παράμετροι που σχετίζονται με την παροχή παλμών υψηλού δυναμικού είναι:

1. Η κυματομορφή του παλμού
2. Το πλάτος του παλμού
3. Η ενέργεια που παράγεται στη γεννήτρια
4. Η ενέργεια του παλμού
5. Η συχνότητα του παλμού και
6. Η ολική ειδική ενέργεια του συστήματος

Η παροχή υψηλού δυναμικού χρησιμοποιείται για να φορτίσει το θάλαμο επεξεργασίας όπου θα αποθηκευτεί η ενέργεια. Οι παλμοί που χρησιμοποιούνται στους θαλάμους επεξεργασίας διαχωρίζονται αναλόγως με την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου, το σχήμα και το πλάτος τους και ονομάζονται εκθετικά μειούμενοι τετράγωνοι και οι τετράγωνοι παλμοί. Οι παραπάνω μπορεί να είναι είτε

μονοπολικούς είτε διπολικούς (Mohamed & Amer Eissa, 2012; Lebonka, Vorobiev, & Chemat, 2011). Από αυτούς, οι εκθετικά μειούμενοι τετράγωνοι παλμοί και οι τετράγωνοι παλμοί είναι οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενοι. Στο Σχήμα 3 που ακολουθεί φαίνονται οι διατάξεις με τα δύο είδη διαφορετικών παλμών. Οι τετράγωνοι παλμοί είναι πιο κοστοβόροι λόγω της σύνθετης διάταξης που απαιτούν ωστόσο υπερέχουν των εκθετικά μειούμενων παλμών επειδή είναι συνεχείς και σταθεροί καθ' όλη τη διάρκεια του παλμού (Wan et al, 2009; Niu et al., 2020; Lebonka, Vorobiev, & Chemat, 2011). Οι διπολικούς παλμούς είναι πιο αποτελεσματικοί σε σχέση με τους μονοπολικούς στη διαπερατότητα της μεμβράνης, καθώς η μεμβράνη υφίσταται μία δομική αποσύνθεση από το εναλλασσόμενο stress που προκαλείται από την αντίστροφη συχνότητα πολικότητας του παλμού χωρίς να προκαλείται ασύμμετρη καταστροφή της μεμβράνης. Επίσης, οι διπολικούς παλμούς απαιτούν χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, προκαλούν μικρή απόθεση στερεών στα ηλεκτρόδια και χαμηλή ηλεκτρόλυση στο δείγμα.



Σχήμα 3 Διάγραμμα ροής σε μία γεννήτρια ηλεκτρικού πεδίου. Η (α) περίπτωση αφορά εκθετικά μειούμενο τετράγωνο παλμό ενώ η (β) αφορά τετράγωνο παλμό (Niu et al., 2020)

Οι παράμετροι που σχετίζονται με το θάλαμο επεξεργασίας είναι:

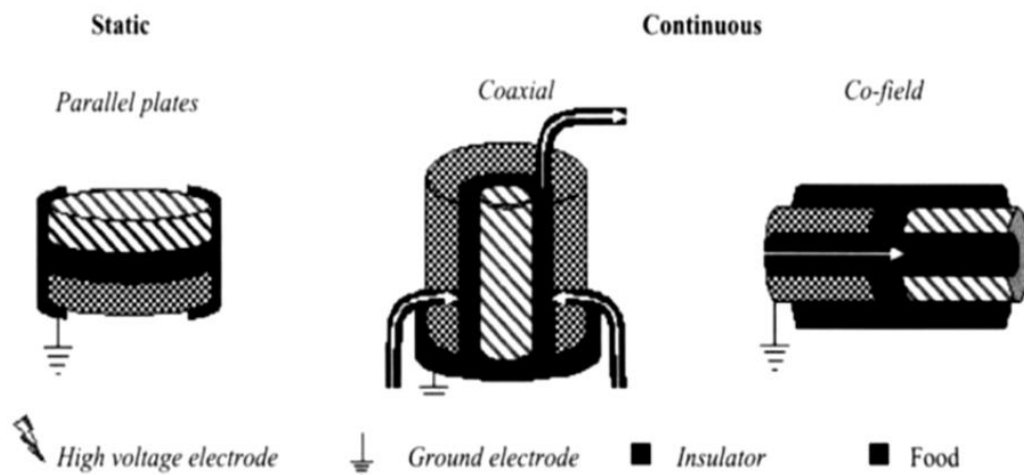
1. Ο σχεδιασμός του θαλάμου (η απόσταση των ηλεκτροδίων, η επιφάνεια που καταλαμβάνουν τα ηλεκτρόδια, το σχήμα των ηλεκτροδίων και του μονωτή)
2. Οι διαστάσεις της ζώνης επεξεργασίας
3. Ο χρόνος παραμονής του δείγματος στο θάλαμο (Arshad et al., 2020)

Ο θάλαμος επεξεργασίας πρέπει να έχει τουλάχιστον ένα ηλεκτρόδιο συνδεδεμένο με τη γεννήτρια και ένα ηλεκτρόδιο γείωσης. Το δείγμα που θα υποστεί επεξεργασία

(πχ. βιοσυστατικά φυτικής ή ζωικής προέλευσης, εναιωρήματα μικροοργανισμών) τοποθετείται μεταξύ των ηλεκτροδίων, εφαρμόζεται ηλεκτρικό δυναμικό (μικρής διάρκειας μερικών μs έως και ms) και έτσι δημιουργείται το πεδίο (Ferreira et al., 2019; Pizzichemi, 2009). Τα υλικά που απαιτούνται για την κατασκευή των ηλεκτροδίων είναι το ανοξείδωτο ατσάλι, ο γραφίτης ή το τιτάνιο. Προς αποφυγή μεταφοράς μικρομορίων από τα ηλεκτρόδια προς το τρόφιμο και αντιστρόφως, μελετάται η επικάλυψη διαφόρων πλαστικών ή κεραμικών υλικών ώστε να ελαχιστοποιηθούν αυτά τα προβλήματα (Pizzichemi, 2009).

Το σχήμα του θαλάμου αποτελεί από τις βασικές παραμέτρους στην αποτελεσματικότητα της διάταξης. Η επιλογή του κατάλληλου σχήματος πρέπει να γίνει λαμβάνοντας υπόψη την κατανομή του ηλεκτρικού πεδίου μαζί με το υγρό και τη θερμοκρασία. Βασικοί τύποι θαλάμων είναι ο επίπεδος, ο ομοαξονικός και ο αξονικός, ενώ τα υλικά κατασκευής είναι αντιδιαβρωτικό ανοξείδωτο ατσάλι και πολυτετραφλουοροαιθυλένιο (Zhang et al., 2011). Ανάλογα με την κατασκευή του θαλάμου, η λειτουργία του μπορεί να είναι είτε συνεχής είτε διακεκομμένη (Liu et al., 2018).

Στο [Σχήμα 4](#) φαίνονται οι συχνότερα χρησιμοποιούμενοι θάλαμοι επεξεργασίας, οι οποίοι είναι στατικής ροής (ηλεκτροδίων με παράλληλες πλάκες) και συνεχούς ροής, ομοαξονικοί ή ομοεπίπεδοι.



Σχήμα 4 Βασικά ήδη θαλάμων επεξεργασίας ΠΗΠ (Maged et al., 2012)

Οι θάλαμοι στατικής ροής (παράλληλων πλακών-1η εικόνα [Σχήματος 4](#)) μπορούν να επεξεργαστούν συγκεκριμένο όγκο υγρών ή στερεών τροφίμων. Οι ομοαξονικοί

θάλαμοι (2η εικόνα [Σχήματος 4](#)) αποτελούνται από δύο κυλίνδρους κάθετους ως προς τον άξονα του ηλεκτρικού πεδίου ενώ το δείγμα κινείται προς τον άξονα. Το ηλεκτρικό πεδίο κατά το σχηματισμό αυτό αυξάνεται από τον εσωτερικό προς τον εξωτερικό κύλινδρο. Η διανομή του ηλεκτρικού πεδίου γίνεται πιο ομοιογενής, όσο μεγαλώνει η ακτίνα των ηλεκτροδίων. Τέλος, οι ομοεπίπεδοι θάλαμοι (3η εικόνα [Σχήματος 4](#)) αποτελούνται από 3 αγωγούς και 2 μονωτές. Οι μονωτές τοποθετούνται ανάμεσα στα δύο ηλεκτρόδια και έτσι έχουν τη βέλτιστη δυναμική επεξεργασίας με μικρή διασταυρούμενη επιφάνεια ηλεκτροδίων που είναι το ζητούμενο σε θαλάμους συνεχούς ροής.

Επί σειρά ετών η χρήση της μεθόδου ήταν πολύ περιορισμένη σε βιομηχανικό επίπεδο εξαιτίας του μικρού αριθμού εμπορικά διαθέσιμων θαλάμων επεξεργασίας καθώς και γεννητριών με υψηλή ισχύ. Τα τελευταία χρόνια όμως η διαθεσιμότητα των μηχανημάτων βελτιώθηκε και το εμπόδιο αυτό υπερκεράστηκε (Arshad et al., 2020; Giacometti et al., 2018).

2.2 Τρόπος Λειτουργίας και παράμετροι της μεθόδου επεξεργασίας με τη χρήση παλμικών ηλεκτρικών πεδίων

Η μέθοδος επεξεργασίας με τα παλμικά ηλεκτρικά πεδία (ΠΗΠ), (Pulsed Electric Fields, PEF) έχει μελετηθεί ευρέως τις τελευταίες δύο δεκαετίες για την εφαρμογή της στη συντήρηση τροφίμων, κυρίως σε χυμούς και γάλα και κατ'επέκταση στην αδρανοποίηση των μικροοργανισμών που τα προσβάλλουν. Η δράση της βασίζεται κυρίως στους μηχανισμούς ηλεκτροπόρωσης και ηλεκτρικής διαπερατότητας της μεμβράνης των μικροοργανισμών με τους οποίους αδρανοποιείται η δράση τους στα τρόφιμα. Κατόπιν της επεξεργασίας με ΠΗΠ αδρανοποιούνται παθογόνοι μικροοργανισμοί όπως ο *Staphylococcus aureus* το *Escherichia coli*, η *Salmonella typhimurium*, η *Listeria monocytogenes*, η *Salmonella Enteritidis* και αλλοιογόνοι μικροοργανισμοί όπως το *Acetobacter sp.* και ο *Saccharomyces cerevisiae* σε χαμηλότερες όμως θερμοκρασίες (30-40 °C) σε σχέση με τις κλασσικές θερμικές μεθόδους επεξεργασίας (Fernandez-Diaz et al., 2000).

Η επεξεργασία με ΠΗΠ επιταχύνει τη μεταφορά μάζας, την κατάρρευση της μεμβράνης και ευνοεί τη διαπερατότητα των ιστών (Roselló-Soto et al., 2014). Για τη διαπερατότητα της κυτταρικής μεμβράνης παράγονται ηλεκτρικά πεδία έντασης 5-50 kV/cm (μπορεί να κυμανθούν από 100-300 V/cm έως 20-80 kV/cm) μεταξύ δύο ηλεκτροδίων στο θάλαμο επεξεργασίας παλμών υψηλής έντασης διάρκειας μερικών μς έως ms (Barba, et al., 2015; Mohamed & Amer Eissa, 2012). Η διαδικασία αυτή ονομάζεται ηλεκτροπόρωση. Η ηλεκτροπόρωση προκαλεί πόρους στις κυτταρικές μεμβράνες των ευκαρυωτικών και προκαρυωτικών κυττάρων βελτιώνοντας την επιλεκτική απελευθέρωση ενδοκυτταρικών ενώσεων, καθώς η κυτταρική μεμβράνη χάνει την επιλεκτική διαπερατότητά της (Martínez et al., 2019). Αρκεί μία ελάχιστη ενέργεια 0,5-1,5V (Barba et al., 2015) για να γίνει διαπερατή σε ιόντα και μακρομόρια που μεταφέρονται διαμέσου αυτής παράλληλα με την απελευθέρωση των ενδοκυτταρικών ουσιών (Parniakov et al., 2015; Redondo et al., 2017; Sun et al., 2019; Yan, 2017), χωρίς όμως τις καταστροφικές συνέπειες της θέρμανσης στα χαρακτηριστικά και την καθαρότητα των εκχυλισμάτων (Martínez et al., 2019). Παρατηρούνται αλλαγές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στους ιστούς που οδηγούν σε ανακατανομή της υγρασίας και αλλαγή στην ωσμωτική ροή στο δείγμα (Barba et

al., 2020). Η μεμβράνη χάνει την επιλεκτική διαπερατότητά της, φαινόμενο το οποίο μπορεί να είναι αντιστρεπτό όταν οι πόροι ξανακλείνουν (αντιστρεπτή διαδικασία σε μερικά δευτερόλεπτα έως μερικές ώρες), αλλά και μη αντιστρεπτό με ολική καταστροφή της κυτταρικής μεμβράνης (Barba et al., 2015). Η ηλεκτροπόρωση λοιπόν μπορεί να είναι είτε μόνιμη είτε παροδική ανάλογα με την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που θα εφαρμοστεί (Soliva-Fortuny, 2009).

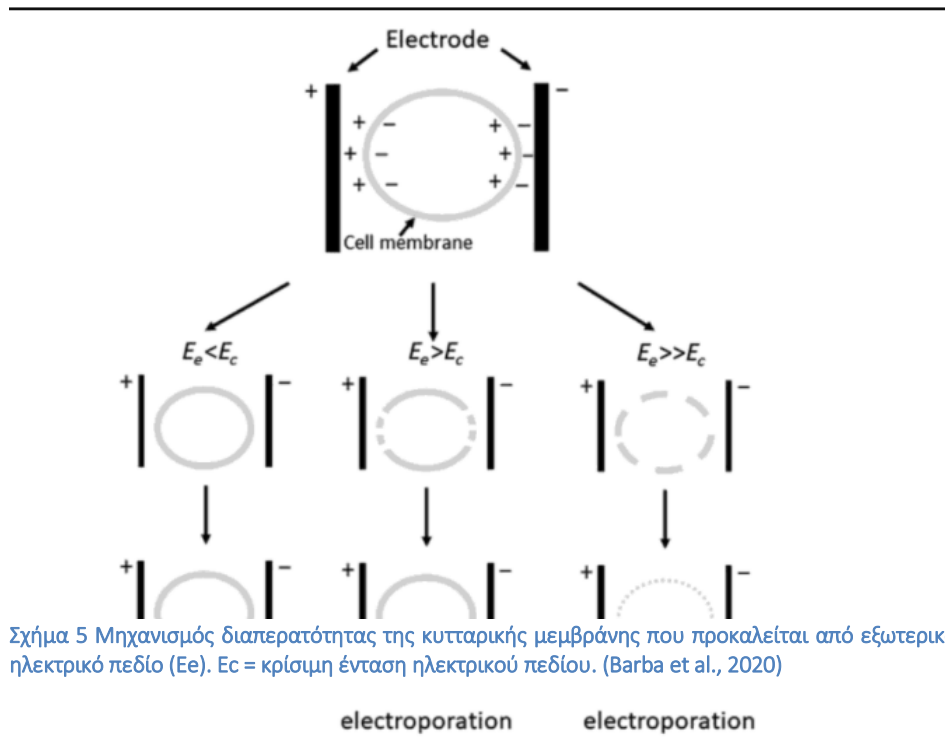
Ξεκινώντας από την παροχή παλμικού πεδίου υψηλού δυναμικού, η ενέργεια χαμηλής τάσης που παράγεται στην πηγή μετασχηματίζεται σε υψηλής έντασης εκκενώσεις παλμικού ηλεκτρικού πεδίου σε σύντομο χρονικό διάστημα. Το ηλεκτρικό πεδίο το οποίο δημιουργείται εξαρτάται από την απόσταση μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων και την παροχή δυναμικού, αποθηκεύεται σε πυκνωτές και από εκεί εκκενώνεται προς το δείγμα-στόχο με διαφορετική ένταση $20-80 \text{ kV}\cdot\text{cm}^{-1}$ και σε διαφορετικό χρόνο ($< 1\text{sec}$), αναλόγως με το σκοπό που επιδιώκεται για κάθε τρόφιμο (Martínez et al., 2019). Το δείγμα περνάει από δύο ηλεκτρόδια που είναι τοποθετημένα σε ένα θάλαμο διαφορετικού σχήματος ανά περίπτωση (Guerrero-Beltrán & Welti-Chanes, 2016). Τα ηλεκτρόδια συνδέονται με ένα μη αγώγιμο υλικό το οποίο εμποδίζει τη μεταφορά ηλεκτρισμού από το ένα στο άλλο, ενώ οι παλμοί υψηλής έντασης μεταφέρονται στο τρόφιμο.

Η επεξεργασία αυτή εφαρμόζεται κυρίως υποβάλλοντας το τρόφιμο σε διακεκομμένη ακτινοβολία ($<300 \text{ Hz}$ και υψηλής έντασης από $0,1-20 \text{ kV/cm}$) για μικρή διάρκεια ενώ εξαρτάται από τις φυσικοχημικές ιδιότητες του τροφίμου καθώς και τα χαρακτηριστικά των ιστών και των κυττάρων (σχήμα, μέγεθος και τύπος μεμβράνης) (Puértolas, 2012). Σε μαλακούς ιστούς φυτών, όπως είναι για παράδειγμα το μεσοκάρπιο και το περικάρπιο πολλών φυτών, η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου μεταξύ $0,1-10 \text{ kV/cm}$ είναι αρκετή για ικανοποιητικά αποτελέσματα, ενώ σε πιο σκληρά υλικά χρειάζονται ηλεκτρικά πεδία έντασης $> 20 \text{ kV/cm}$ για να ενισχυθεί η μέθοδος εκχύλισης (Puértolas & Barba, 2016). Τα κύτταρα των μικροοργανισμών χρειάζονται δυναμικό $10-14 \text{ kV/cm}$, ενώ αυτά των φυτών και των ζώων απαιτούν μόνο $0,5-2 \text{ kV/cm}$. Αυτό συμβαίνει γιατί όσο πιο μεγάλα είναι τα κύτταρα τόσο πιο εύκολη είναι η ηλεκτροπόρωση. Όσο μειώνεται η αντοχή στη διάχυση της μεμβράνης, τόσο ευκολότερα γίνεται η εκχύλιση βιοδραστικών συστατικών από το κύτταρο βελτιώνοντας έτσι την απόδοση (Redondo et al., 2017).

Ανάλογα με τις ιδιότητες των κυττάρων (πχ. σχήμα, μέγεθος, προσανατολισμός) και των παραμέτρων του παλμικού πεδίου (ένταση πεδίου, διάρκεια, αριθμός παλμών), η εφαρμογή έντασης παλμικού ηλεκτρικού πεδίου μπορεί να προκαλέσει καταστροφή των κυττάρων με μη αναστρέψιμη αλλαγή στη διαπερατότητα της κυτταρικής μεμβράνης και της διαρροής του κυττοπλάσματος (μη αντιστρεπτή ηλεκτροπόρωση). Το παραπάνω πρόβλημα μπορεί να διορθωθεί με εντατικό έλεγχο των παραμέτρων του παλμικού πεδίου που θα εφαρμοστεί. Η διαπερατότητα μπορεί να μην επηρεάσει τη βιωσιμότητα του κυττάρου καθώς αυτό θα επανέλθει από την αναδιάταξη που του προκάλεσε το παλμικό ηλεκτρικό πεδίο (Thamkaew & Galindo, 2020). Ειδικότερα, μέσω της εφαρμογής χαμηλής έντασης ηλεκτρικού πεδίου (20-100 V/cm), μπορεί να επιτευχθεί αντίστροφη ηλεκτροπόρωση, κάτι που σημαίνει ότι οι εφαρμοζόμενοι πόροι ξανασφραγίζουν πολύ γρήγορα μετά την απομάκρυνση του ηλεκτρικού πεδίου. Αυτή η τεχνική χρησιμοποιείται κυρίως στην ενσωμάτωση λειτουργικών ουσιών στο βιολογικό ιστό (πχ. γενετικό υλικό), εξασφαλίζοντας την επιβίωση των ηλεκτρικά ενεργοποιημένων κυττάρων (Barba et al., 2020).

Για την αποτελεσματική ηλεκτροπόρωση της μεμβράνης, οι παλμοί πρέπει να έχουν τέτοια ένταση ώστε να φθάσουν στην ελάχιστη τιμή της έντασης ηλεκτρικού πεδίου που ονομάζεται "κατώφλι ηλεκτροπόρωσης". Προκειμένου να επιτευχθεί αυτή η τιμή της ηλεκτροπόρωσης, λαμβάνονται υπόψιν η φύση του δείγματος και το σύστημα που θα χρησιμοποιηθεί (Gagneten et al., 2019).

Ενδεικτικές περιπτώσεις ηλεκτροπόρωσης της κυτταρικής μεμβράνης φαίνονται στο [Σχήμα 5](#).



Σχήμα 5 Μηχανισμός διαπερατότητας της κυτταρικής μεμβράνης που προκαλείται από εξωτερικό ηλεκτρικό πεδίο (E_e). E_c = κρίσιμη ένταση ηλεκτρικού πεδίου. (Barba et al., 2020)

Όπου όταν:

- $E_e < E_c$: Το ηλεκτρικό πεδίο που εφαρμόζεται είναι μικρότερο της κρίσιμης τιμής και δεν προκαλείται ηλεκτροπόρωση
- $E_e > E_c$: Το εφαρμοζόμενο ηλεκτρικό πεδίο είναι μεγαλύτερο από την κρίσιμη τιμή και λαμβάνει χώρα προσωρινή διαπερατότητα κυτταρικής μεμβράνης. Το ηλεκτρικό πεδίο είναι χαμηλότερο από το επίπεδο αντιστρεπτής ηλεκτροπόρωσης και τα κύτταρα μπορούν να διατηρήσουν την ακεραιότητά τους και να είναι βιώσιμα μετά την ολοκλήρωση της έκθεσης στο ηλεκτρικό πεδίο
- $E_e \gg E_c$: Το ηλεκτρικό πεδίο υπερβαίνει κατά πολύ την κρίσιμη τιμή και προκαλείται οριστική διαπερατότητα της κυτταρικής μεμβράνης. Χάνεται μεγάλο ποσοστό ενδοκυτταρικού υγρού και το κύτταρο θανατώνεται.

Πιο συγκεκριμένα, η ένταση ηλεκτρικού πεδίου, ανάλογα με το δείγμα κυμαίνεται:

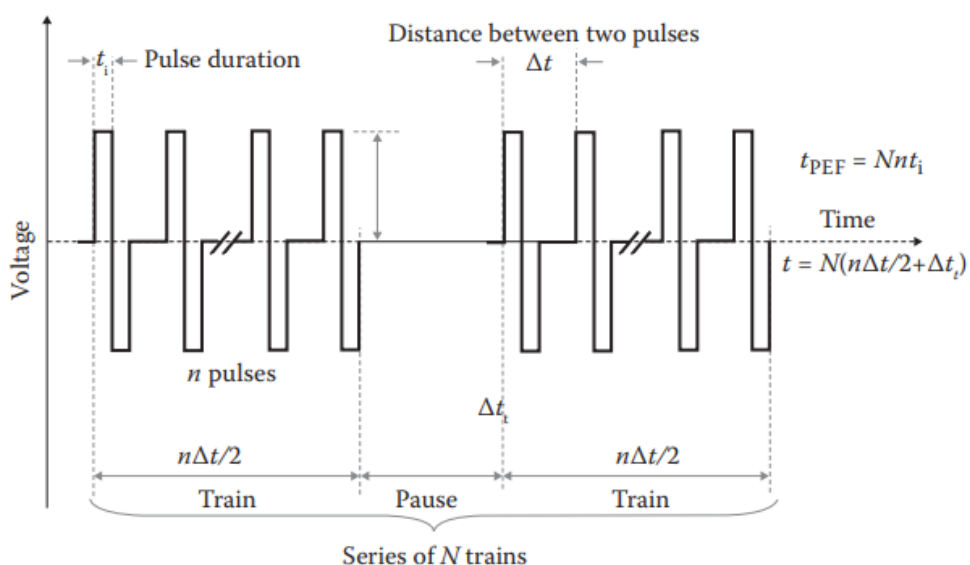
- 100 – 500 V/cm για κυτταρικούς ιστούς σε μεγάλα κύτταρα (διαμέτρου 30-60 μm)
- >3–10 kV/cm για μικρά μικροβιακά κύτταρα (διαμέτρου 1-10 μm)

και σχετίζεται άμεσα με τις συνθήκες επεξεργασίας, όπως το χρόνο έκθεσης στο

πεδίο, το κατά πόσο η ηλεκτροπόρωση είναι αντιστρεπτή (για μερικά s έως και ώρες) ή μη αντιστρεπτή, με ολική καταστροφή της μεμβράνης (Barba et al., 2015).

Επομένως σημαντικές παράμετροι για την διεξαγωγή της τεχνολογίας ΠΗΠ είναι ο χρόνος εφαρμογής (από μερικά ns έως πολλά ms), ο αριθμός των παλμών (<100 πολλαπλασιασμένοι με το πλάτος), το σχήμα του παλμού (εκθετικής μείωσης ή τετράγωνος, μονοπολικός ή διπολικός), η τάση μεταξύ των ηλεκτροδίων, η γεωμετρία των ηλεκτροδίων, καθώς και η ειδική ενέργεια που εισέρχεται στο σύστημα (Ferreira et al., 2019). Από τους παραπάνω παράγοντες, η ειδική ενέργεια, δηλαδή η ισχύς του πεδίου, ο χρόνος επεξεργασίας, η ωμική αντίσταση και το δείγμα προς επεξεργασία είναι άρρηκτα συνδεδεμένα με οικονομικά και περιβαλλοντικά κριτήρια που καθορίζουν την επιλογή τους. Αναλόγως με την ένωση που επιθυμούμε να εκχυλίσουμε ο βέλτιστος χρόνος επεξεργασίας είναι σημαντικό κριτήριο απόδοσης, διότι η παρατεταμένη έκθεση σε υψηλές θερμοκρασίες οδηγεί σε υποβάθμιση της βιοδραστικής ένωσης.

Στο [Σχήμα 6](#) απεικονίζεται η βασική αρχή της επεξεργασίας με παλμικά ηλεκτρικά πεδία (ΠΗΠ) και ο τρόπος υπολογισμού του χρόνου της διαδικασίας ως προς τον αριθμό και τη διάρκεια των παλμών, όπου N =αριθμός διπολικών τετράγωνων παλμών, t_{train} =αλληλουχία παλμών, t_i =διάρκεια παλμού, Δt =διακοπή μεταξύ δύο παλμών, Δt_t = η διακοπή μεταξύ της αλληλουχίας παλμών και $t_{PEF}=Nnt_i$.



Σχήμα 6 Τυπικό πρωτόκολλο τεχνολογίας ΠΗΠ με διπολικούς-τετράγωνους παλμούς (Lebonka & Vorobieiev, 2011)

Η πιο εξελιγμένη εφαρμογή της τεχνολογίας ΠΗΠ, η οποία θα αναλυθεί στο κεφάλαιο 3, είναι αυτή της χρήσης της μεθόδου στην εκχύλιση βιοδραστικών συστατικών από τους ιστούς φυτών και παραπροϊόντων τροφίμων. Τα παλμικά ηλεκτρικά πεδία μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως προεργασία που διευκολύνει τα επόμενα στάδια εκχύλισης θρεπτικών συστατικών σε συνδυασμό με άλλες μεθόδους (Rajha et al., 2014).

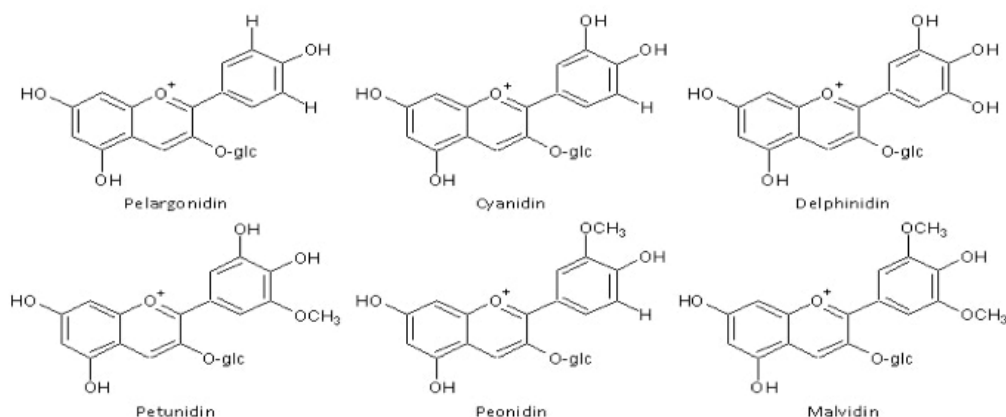
2.3 Βιοδραστικά συστατικά και μέθοδοι εκχύλισης

Τα φυσικά βιοδραστικά συστατικά αποτελούν τα τελευταία χρόνια τη σημαντικότερη πρώτη ύλη έως και του 70 % των νέων αντικαρκινικών φαρμάκων αλλά και την πηγή για τη θεραπεία άλλων ασθενειών. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως λειτουργικά συστατικά των τροφίμων λόγω του τεχνολογικού ενδιαφέροντος γύρω από αυτά και τις θρεπτικές τους ιδιότητες (Puértolas & Barba, 2016). Για το λόγο αυτό, πολλοί επιστήμονες έχουν επικεντρώσει τις προσπάθειές τους στην απομόνωση, τον προσδιορισμό και την παραγωγή βιοδραστικών ουσιών από φυτά και παραπροϊόντα βιομηχανίας τροφίμων. Για την αξιοποίηση αυτών είναι πολύ σημαντικό να προσδιοριστεί η αποδοτικότερη μέθοδος εκχύλισης από φυσικές πηγές (Giacometti et al., 2018).

Η έννοια των βιοδραστικών συστατικών περιλαμβάνει πληθώρα ενώσεων από τις οποίες οι πιο σημαντικές είναι οι πολυφαινόλες, τα флаβονοειδή, οι τοκοφερόλες, οι οργανοσουλφιδικές ενώσεις και τα καροτενοειδή. Παρουσιάζουν διαφορετική δομή καθώς άλλες είναι λιπόφιλες και άλλες υδρόφιλες με διαφορετική κατανομή στη φύση—άλλες βρίσκονται κυρίως στα φρούτα, στα λαχανικά ή και στα φαρμακευτικά φυτά σε διαφορετικές συγκεντρώσεις και με ποικίλη δράση. Η πιο σημαντική κατηγορία βιοδραστικών ενώσεων είναι οι φαινολικές ενώσεις που συναντώνται στα φυτά, στις οποίες αποδίδεται και η αντιοξειδωτική δράση των δεύτερων (Putnik, 2018; Lorenzo et al., 2017). Πρόκειται για δευτερογενείς μεταβολίτες των φυτών και ποικίλλουν σε μέγεθος από απλή δομή με ένα φαινολικό δακτύλιο και χαμηλό μοριακό βάρος έως και πιο σύνθετες δομές όπως είναι οι λιγνίνες και οι ταννίνες. Οι φαινολικές ενώσεις αποτελούνται είτε από ένα απλό φαινολικό οξύ ή περισσότερα (πολυφαινόλες) με φαινολικούς δακτυλίους και ομάδες –OH που συμβάλλουν στην αντιοξειδωτική τους δράση. Οι φαινολικές ενώσεις μπορεί να είναι φαινολικά οξέα, флаβονοειδή, ισοφλαβονοειδή, στυλβένια, λιγνάνες και άλλα πολυμερή (Kumar et al., 2021).

Από τις παραπάνω βιοδραστικές ενώσεις μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι ανθοκυανίνες, μια ομάδα φαινολικών συστατικών που ανήκουν στις υδατοδιαλυτές φυσικές χρωστικές, τα флаβονοειδή που είναι φυτοθρεπτικά συστατικά, υπεύθυνα για το χρώμα των τροφίμων (κόκκινο, μπλε, κίτρινο και μωβ), κυρίως φρούτων και

λαχανικών αλλά και για την αντιοξειδωτική τους δράση, ιδιότητες οι οποίες παρέχουν πολλά οφέλη στα τρόφιμα από τα οποία παραλαμβάνονται. Βρίσκονται σε όλους τους φυτικούς ιστούς, συμπεριλαμβανομένων των φύλλων, των βλαστών, των ριζών, των ανθέων και των καρπών. Οι ανθοκυανιδίνες είναι οι βασικές δομές των ανθοκυανών (Mohamed & Amer Eissa, 2012). Η δομή βασικών ανθοκυανών φαίνεται στο [Σχήμα 7](#).



Σχήμα 7 Δομές βασικών ανθοκυανών

Τα καροτενοειδή είναι επίσης μια ευρέως διαδεδομένη ομάδα βιοδραστικών συστατικών που ανήκουν στην οικογένεια των λιποδιαλυτών φυτικών χρωστικών και προσδίδουν το κίτρινο, κόκκινο και πορτοκαλί χρώμα σε πολλά φυτικά τρόφιμα. Αντιπροσωπευτικές ενώσεις αυτής της κατηγορίας είναι το λυκοπένιο και το β-καροτένιο, που συναντώνται στην τομάτα και τα παράγωγά της (Bot et al., 2018). Λόγω της υδρόφοβης ομάδας, τα καροτενοειδή εκχυλίζονται με οργανικούς διαλύτες όπως το εξάνιο, ο οξειικός αιθυλεστέρας και η μεθανόλη. Η επιλογή της καταλληλότερης μεθόδου εκχύλισης σχετίζεται κυρίως με το βιοδραστικό συστατικό που πρόκειται να ανακτηθεί.

Η εκχύλιση επηρεάζεται από πληθώρα παραγόντων όπως είναι:

- η επιλογή των φυτών (γεωγραφική θέση, κλιματικές συνθήκες)
- το pH
- ο χρόνος

- η θερμοκρασία
- η πολικότητα του διαλύτη
- το μέγεθος των σωματιδίων του αναλύτη και
- η χρήση ισχυρών οξέων

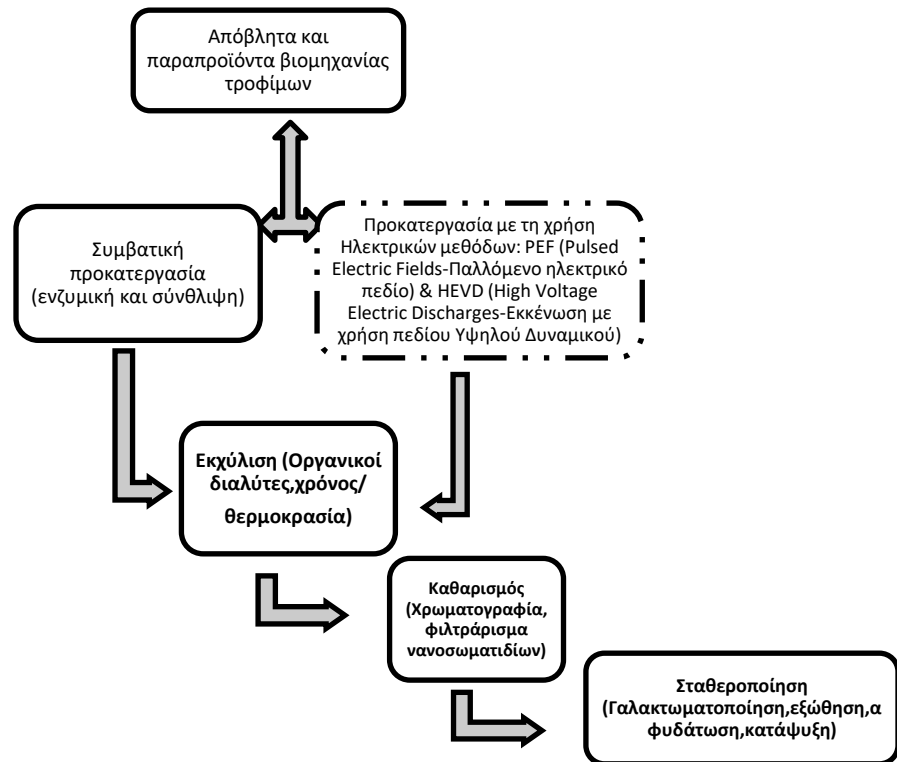
Αναλόγως της φύσης του δείγματος, η εκχύλιση μπορεί να γίνει σε ήπιες (<40 °C) ή υψηλότερες θερμοκρασίες (>40°C), προκειμένου να αυξηθεί η αποτελεσματικότητα της μεθόδου. Στις περισσότερες περιπτώσεις, οι ενώσεις που εκχυλίζονται είναι θερμοευαίσθητες, επομένως η θερμοκρασία δεν μπορεί να αυξηθεί πάνω από ένα επίπεδο καθώς είναι πολύ πιθανό να καταστραφεί η δομή της εκχυλιζόμενης ένωσης. Όταν οι ιστοί καταστραφούν δεν υπάρχει το φυσικό εμπόδιο που παρεμποδίζει τη διάχυση των ουσιών και απαιτούνται μεγαλύτεροι χρόνοι εκχύλισης για να πετύχουμε την επιθυμητή απόδοση (Puértolas & Barba, 2016). Η πολικότητα των φαινολικών ενώσεων προς εκχύλιση σε σχέση με αυτή του επιλεγμένου διαλύτη επηρεάζει τη διαλυτότητα και την ανάκτηση των πρώτων, η οποία εξαρτάται από τη σύνθετη φύση τους. Για το λόγο αυτό η εκχύλιση λαμβάνει συνήθως χώρα με πολλαπλούς διαλύτες και ακολούθως γίνεται διαχωρισμός με χρωματογραφική ανάλυση.

Οι συνηθέστερες μέθοδοι εκχύλισης φαινολικών συστατικών με χρήση διαλυτών περιλαμβάνουν υδατικά-οργανικά μίγματα μεθανόλης, αιθανόλης, ακετόνης και οξεικού αιθυλεστέρα και κατάλληλη ρύθμιση του pH (Craft et al., 2012).

Επιπρόσθετα, η αυξημένη οξύτητα με τη χρήση HCl αυξάνει την υδρόλυση των πολυφαινολών και τη μεταφορά τους στο διαλύτη. Τέλος, η ενζυμική προκατεργασία μειώνει το μέγεθος των σωματιδίων και το χρόνο εκχύλισης (Giacometti et al., 2018).

Στο [Διάγραμμα 1](#) απεικονίζονται τα στάδια ανάκτησης των βιοδραστικών συστατικών από παραπροϊόντα βιομηχανίας τροφίμων. Η συμβατική προκατεργασία του δείγματος μπορεί να αντικατασταθεί με χρήση ηλεκτρικών μεθόδων όπως είναι η τεχνολογία Παλμικού Ηλεκτρικού Πεδίου (Pulsed Electric Fields-PEF), ή Ηλεκτρική Εκκένωση με χρήση Πεδίου Υψηλού Δυναμικού (High Voltage Electric Discharges- HEVD) (σχήμα με διακεκομμένες γραμμές στο

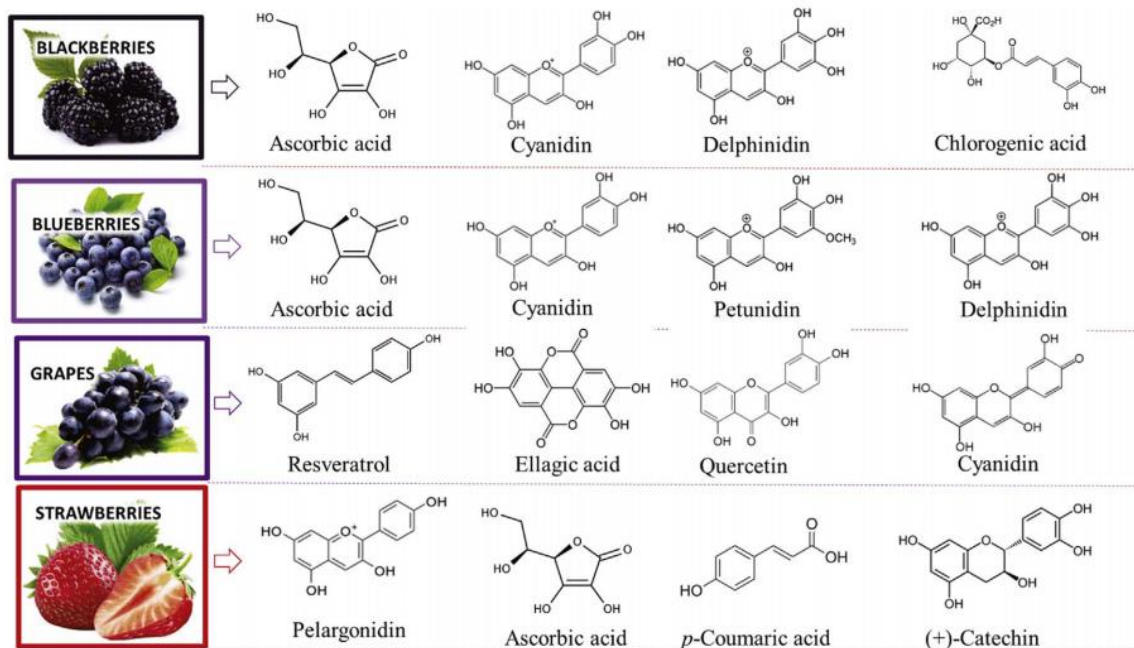
διάγραμμα).



Διάγραμμα 1 Διάγραμμα ροής | στάδια της ανάκτησης βιοδραστικών συστατικών από παραπροϊόντα βιομηχανίας τροφίμων. Το σχήμα με τις διακεκομμένες παρουσιάζει το σημείο στο οποίο μπορούν να ενταχθούν οι τεχνολογίες με εφαρμογή ηλεκτρικού πεδίου – PEF (Pulsed Electric Fields)

Στα **φρούτα** συναντώνται πληθώρα βιοδραστικών ενώσεων. Ενδεικτικά, στην **Εικόνα 1** απεικονίζονται οι μοριακές δομές των σημαντικότερων βιοδραστικών συστατικών που απαντώνται στα **μούρα** (βατόμουρα, άγρια βατόμουρα ή μύρτιλα, μαύρα μούρα, μαύρα φραγκοστάφυλα, κράνμπερι (βακκίνιο μακροκάρπιο), φράουλες και ρόδι. Οι κυριότερες βιοδραστικές ενώσεις στα βατόμουρα και τα μύρτιλα είναι το ασκορβικό οξύ, η ρεσβεβατρόλη στα σταφύλια και η πελαργονιδίνη στις φράουλες. Τα εκχυλίσματα των μούρων είναι πλούσια σε αντιοξειδωτικά συστατικά και σε συνδυασμό με την υψηλή περιεκτικότητα σε πολυφαινόλες (φαινολικά οξέα, φλαβονοειδή, ανθοκυανίνες, ταννίνες), οι Lorenzo et al. (2017) πραγματοποίησαν πειράματα που χρησιμοποιούν τα βιοδραστικά αυτά συστατικά ως φυσικό αντιοξειδωτικό προς αντικατάσταση των συνθετικών αντιοξειδωτικών. Ευρεία εφαρμογή έχουν σε προϊόντα κρέατος ενώ σε άλλα πειράματα χρησιμοποιήθηκαν ως υποκατάστατο συνθετικών χρωστικών.

Τα βιοδραστικά συστατικά **των τεμαχισμένων φρούτων** παίζουν ζωτικό ρόλο



Εικόνα 1 Δομές βιοδραστικών ενώσεων που συναντώνται στα μούρα (βατόμουρα, μύρτιλα, σταφύλια και φράουλες) (Lorenzo et al., 2017)

στην προστασία έναντι των ανθρώπινων ασθενειών εξαιτίας της αντιοξειδωτικής τους δράσης (Redondo et al., 2017). Τα εκχυλίσματα από τα τεμαχισμένα φρούτα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πρόσθετα στο φαρμακευτικό κλάδο, στα καλλυντικά και στις βιομηχανίες τροφίμων. Τα **φραγκόσυκα** περιέχουν επίσης υψηλή περιεκτικότητα πολυφαινολών, συγκεκριμένα βεταλαΐνη, βετακυανίνη, ασκορβικό οξύ, αμινοξέα, μεταλλικά στοιχεία και άλλες χημικές ενώσεις που σχετίζονται με αντιοξειδωτικές, αντιαθερογενικές, αντιελκωτικές ιδιότητες και αποτρέπουν την οξείδωση χαμηλής πυκνότητας λιποπρωτεϊνών. Άλλο λαχανικό που είναι πλούσιο σε βιοδραστικά συστατικά είναι η **κολοκύθα** με κύριο βιοδραστικό συστατικό τα καροτενοειδή που ανήκουν στα τερπενοειδή. Δρα προστατευτικά σε καρδιαγγειακές παθήσεις και απέναντι στον καρκίνο ενώ ενισχύει το ανοσοποιητικό σύστημα.

Η **σάρκα του μανταρινιού** περιέχει υψηλά θρεπτικά αντιοξειδωτικά συστατικά (ασκορβικό, καροτενοειδή, φαινολικά οξέα) μαζί με σάκχαρα, οργανικά οξέα, αμινοξέα, πηκτίνη και μεταλλικά στοιχεία. Ο φλοιός του περιέχει έλαια πλούσια σε λιμονένιο, β-μικρένιο, 3-καρένιο και α-πινένιο. Η βασική θεραπευτική δράση των μανταρινιών οφείλεται στην αντιοξειδωτική δράση των βιοδραστικών συστατικών.

Το **κριθάρι** που εμπεριέχεται στα στερεά υπολείμματα ζυθοποιίας περιέχει

βιοδραστικά συστατικά με τη μορφή ελεύθερων φαινολικών ενώσεων όπως είναι τα φλαβονοειδή, οι β-γλυκάνες, οι εδώδιμες ίνες, οι ημικυτταρίνες-αραβινοξυλάνες και οι λιγνίνες, ενώ οι δεσμευμένες είναι τα φαινολικά οξέα, οι φλαβανόλες, τα φλαβονοειδή, τα παράγωγα του φαινολικού οξέος, οι βιοενεργές πρωτεΐνες και οι υδατάνθρακες για αυτό και έχουν υψηλή αξία και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ξανά σαν λειτουργικά συστατικά στη βιομηχανία τροφίμων.

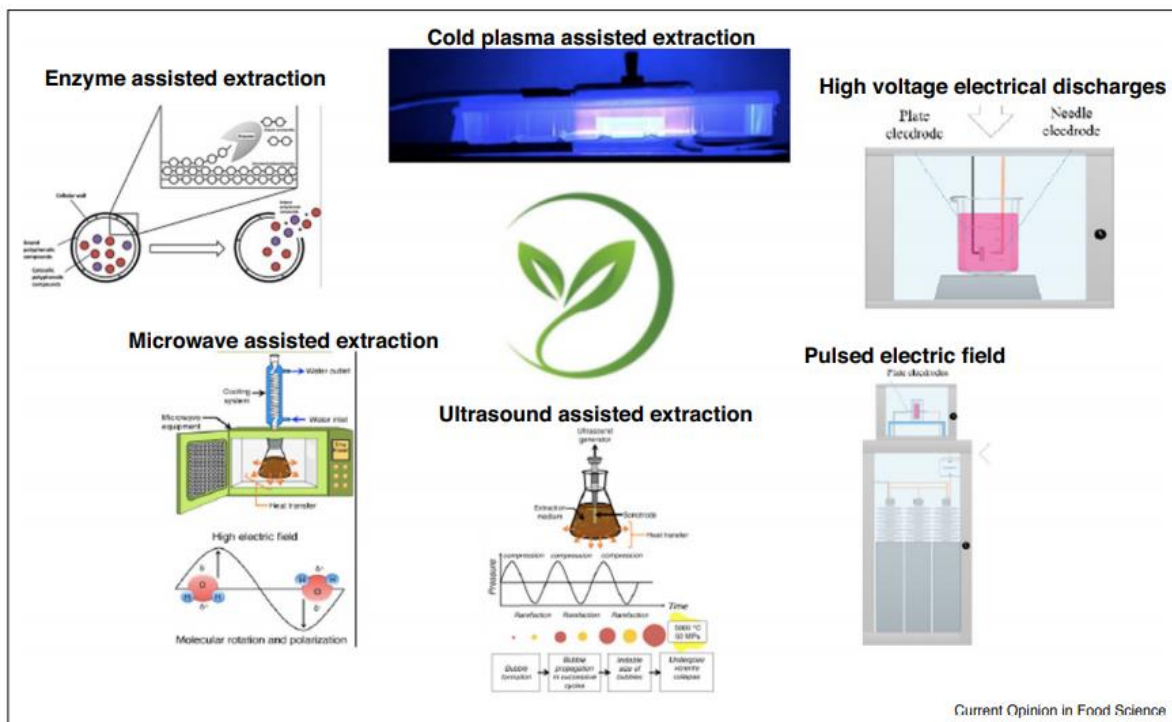
2.4 Σύγκριση συμβατικών μεθόδων εκχύλισης και οικολογικών καινοτόμων μεθόδων εκχύλισης

Βάσει όσων αναφέρθηκαν στην εισαγωγή, οι μέθοδοι εκχύλισης διακρίνονται σε δύο κατηγορίες: τις συμβατικές και τις μη συμβατικές (καινοτόμες). Για πολλά χρόνια στη βιομηχανία τροφίμων ήταν πιο διαδεδομένες οι συμβατικές μέθοδοι επεξεργασίας για την ανάκτηση βιοδραστικών συστατικών από τρόφιμα και φυτά. Στις συμβατικές μεθόδους περιλαμβάνονται η απόσταξη νερού/ατμού-ή συνδυασμός και των δύο- η απορρόφηση και η διάλυση. Οι συμβατικές, σε σχέση με τις καινοτόμες μεθόδους εκχύλισης, είναι πιο οικονομικές αλλά χρονοβόρες, καταναλώνουν μεγάλα ποσά ενέργειας (μέσω θέρμανσης) και τοξικών διαλυτών χρησιμοποιώντας θέρμανση ή ανάδευση για αύξηση της διαλυτότητας των εκχυλιζόμενων ενώσεων (μέσω μεταφοράς μάζας). Οι παραπάνω παράμετροι μπορεί δυνητικά να υποβαθμίσουν τις θερμοευαίσθητες ενώσεις θρεπτικά και οργανοληπτικά. Οι διαλύτες που χρησιμοποιούνται είναι συχνά τοξικοί, όπως η μεθανόλη που οξινίζεται με HCl, η προπανόνη και το n-εξάνιο (ισομερές εξανίου με μη διακλαδισμένη δομή σε αντίθεση με το εξάνιο που έχει διακλαδισμένη (Lorenzo et al., 2017). Η επιλογή του κατάλληλου διαλύτη για κάθε εκχυλιζόμενη ένωση εξαρτάται από την εκλεκτικότητα, την πυκνότητα, την τοξικότητα, την πτητικότητα, το ιξώδες, την καθαρότητα και άλλους παράγοντες. Στη βιβλιογραφία έχουν αναφερθεί 5 βήματα στη διαδικασία ανάκτησης βιοδραστικών συστατικών από παραπροϊόντα βιομηχανίας τροφίμων με τις συμβατικές μεθόδους, ως εξής:

1. μακροσκοπική προκατεργασία του δείγματος,
2. διαχωρισμός μορίων,
3. εκχύλιση ενώσεων,
4. καθαρισμός,
5. σχηματισμός προϊόντος

Τα ενδιάμεσα στάδια είναι περίπλοκα και αρκετά χρονοβόρα καταλήγοντας σε χαμηλή εκλεκτικότητα, υψηλή κατανάλωση διαλυτών και κίνδυνο επιμόλυνσης του δείγματος (Giacometti et al., 2018; Barba et al., 2016).

Η πράσινη ανάπτυξη έχει φέρει στο προσκήνιο πολλές συχνά χρησιμοποιούμενες μεθόδους εκχύλισης, τις λεγόμενες «οικολογικές ή πράσινες μεθόδους εκχύλισης» που βασίζονται στην ανάπτυξη και το σχεδιασμό διαδικασιών εκχύλισης για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και χρησιμοποιούν εναλλακτικούς διαλύτες από ανανεώσιμα φυσικά προϊόντα (χρήση «πράσινων διαλυτών» όπως το νερό) διασφαλίζοντας έτσι ασφαλή και υψηλής ποιότητας εκχυλίσματα (Anticono et al., 2021). Τέτοιες τεχνικές είναι η εξάτμιση και η υδροαπόσταξη που εφαρμόζεται κατά βάση στην εκχύλιση βιοδραστικών συστατικών από αρωματικά φυτά (Putnik et al., 2018), η εκχύλιση υγρού υπό πίεση, η εκχύλιση υπερκρίσιμων ρευστών, η εκχύλιση με υπερήχους, η εκχύλιση με εύτηκτο διαλύτη, η εκχύλιση με ψυχρό ατμοσφαιρικό πλάσμα, η εκχύλιση με μικροκύματα, η υποβοηθούμενη ενζυματική εκχύλιση και η εκχύλιση με την εφαρμογή παλμικών ηλεκτρικών πεδίων (ΠΗΠ) (Picot-Allain et al., 2021). Οι κυριότερες από αυτές παρουσιάζονται στην παρακάτω [Εικόνα 2](#):



Εικόνα 2 Καινοτόμες μέθοδοι εκχύλισης βιοδραστικών συστατικών: από αριστερά προς τα δεξιά: υποβοηθούμενη ενζυματική εκχύλιση, εκχύλιση με ψυχρό ατμοσφαιρικό πλάσμα, εκχύλιση με ηλεκτρικές εκκενώσεις υψηλού δυναμικού, υποβοηθούμενη εκχύλιση με μικροκύματα, εκχύλιση με υπερήχους και τέλος με ΠΗΠ (Picot-Allain et al., 2021)

Σκοπός όλων των προαναφερθέντων εκχυλίσεων είναι η παραλαβή του

μέγιστου ποσοστού βιοδραστικών συστατικών με την ελάχιστη επιμόλυνση από τα υπόλοιπα μη επιθυμητά συστατικά του δείγματος, καθώς και η παραλαβή ποιοτικών εκχυλισμάτων με περιβαλλοντικά οικολογικές και αειφόρες τεχνικές (Gagneten et al., 2019).

Η τεχνολογία εκχύλισης με Παλμικά Ηλεκτρικά Πεδία (ΠΗΠ) (Pulsed Electric Fields – PEF) και η εκχύλιση με Υψηλής Έντασης Ηλεκτρικές Εκκενώσεις με πλάσμα (High Voltage Electrical Discharges -HVED) έχει διαπιστωθεί πως είναι θερμικά λιγότερο καταστροφικές για το δείγμα και πιο αποτελεσματικές σε σχέση με τις συμβατικές μεθόδους. Η επεξεργασία με ΠΗΠ ειδικότερα αποτελεί μία προτεινόμενη μέθοδο εκχύλισης που χωρίς τη χρήση τοξικών χημικών ουσιών και με μειωμένα ποσοστά διαλυτών και κατανάλωσης ενέργειας επιτυγχάνει υψηλή απόδοση σε βιοδραστικά συστατικά. Τα εκχυλίσματα λαμβάνονται σε χαμηλότερες θερμοκρασίες και σε συντομότερο χρόνο εκχύλισης καταλήγοντας εν γένει σε ένα καλύτερο ποιοτικό αποτέλεσμα (Giacometti et al., 2018). Για παράδειγμα, μελέτες έδειξαν ότι η εκχύλιση με Εκκενώσεις Υψηλού δυναμικού (ΕΥΔ-HVED) σε λάδι ελιάς υπήρξε αποδοτικότερη σε πρωτεΐνες και πολυφαινόλες σε σύγκριση με την εκχύλιση με υπερήχους και με Παλμικά Ηλεκτρικά Πεδία (Roselló-Soto et al., 2015). Η χρήση των Παλμικών Ηλεκτρικών Πεδίων στην εκχύλιση με διάχυση διαλύτη έχει μελετηθεί ευρέως και αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα εργαλεία για το σχεδιασμό μιας νέας βιομηχανικής τεχνολογίας στην ανάκτηση βιοδραστικών συστατικών από φυτά & φυτικά τρόφιμα, όπως η εκχύλιση σακχαρόζης από το ζαχαρότευτλο, βεταλαΐνη από το παντζάρι, ινουλίνης από το ραδίκι, β-καροτένιο από το καρότο, εκχύλιση φαινολών από σταφύλια κ.α.

Στον Πίνακα 1 συγκεντρώνονται συνοπτικά όλα τα πλεονεκτήματα και οι περιορισμοί των καινοτόμων μεθόδων εκχύλισης βιοδραστικών συστατικών.

Πίνακας 1. Πλεονεκτήματα και περιορισμοί των καινοτόμων μεθόδων εκχύλισης "πράσινης τεχνολογίας"

ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΚΧΥΛΙΣΗΣ	ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ	ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ	ΑΝΑΦΟΡΕΣ
Εκχύλιση υπερκρίσιμων ρευστών	Αυξημένη εκλεκτικότητα, χαμηλό ιξώδες, υψηλό ποσοστό διάλυσης των υπερκρίσιμων ρευστών που ενισχύει τη μεταφορά μάζας και την απόδοση, χαμηλές θερμοκρασίες εφαρμογής, ανάκτηση θερμοευαίσθητων βιοδραστικών ουσιών, εκχύλιση ενώσεων που μπορούν να ανακτηθούν με αποπίεση με ή χωρίς παρουσία διαλύτη, χαρακτηρισμός των ενώσεων με συνδυασμό NMR ή GC-MS, χρήση περιβαλλοντικά φιλικών διαλυτών	Υψηλό κεφαλαιουχικό κόστος, προαπαιτούμενη εκπαίδευση για τη χρήση της μεθόδου, χαμηλή εκλεκτικότητα των πολικών ενώσεων λόγω της χαμηλής πολικότητας του υπερκρίσιμου CO ₂	
Εκχύλιση υγρού υπό πίεση	Μικροί χρόνοι εκχύλισης, μικρές ποσότητες διαλύτη, βελτιωμένη απόδοση	Αυξημένο κόστος εξοπλισμού, προαπαιτούμενη εκπαίδευση	
Εκχύλιση υποβοηθούμενη με μικροκύματα	Χαμηλοί χρόνοι εκχύλισης, κατανάλωσης ενέργειας, βελτιωμένη απόδοση, χαμηλό κεφαλαιουχικό κόστος εξοπλισμού	Ανομοιόμορφη θέρμανση ή υπερθέρμανση του δείγματος που μειώνει την εκχύλιση ή προκαλεί θερμική υποβάθμιση των φαινολικών οξέων, μη εκλεκτική μέθοδος, μειωμένη δυνατότητα των μικροκυμάτων να διεισδύσουν στο δείγμα	
Εκχύλιση χωρίς διαλύτη με μικροκύματα	Απουσία διαλύτη, γρήγορη εκχύλιση, υψηλή ποιότητα βιοδραστικών συστατικών που προέρχονται από αρωματικά φυτά, ασφαλές και καθαρό περιβάλλον επεξεργασίας	Η διαλυτοποίηση των βιοδραστικών ενώσεων είναι πολύ σημαντικό βήμα το οποίο στερείται η μέθοδος	Picot-Allain et al., 2021
Εκχύλιση με υπερήχους	Χαμηλή ενεργειακή απαίτηση, μικρότερος χρόνος εκχύλισης, λιγότερη ποσότητα διαλύτη, βελτιωμένη απόδοση	Μη εκλεκτική μέθοδος, η θερμότητα που παράγεται μπορεί να καταστρέψει τις θερμοευαίσθητες ενώσεις, η μειωμένη ένταση των υπερήχων οδηγεί σε μείωση της αναπαραγωγιμότητας	
Εκχύλιση με ψυχρό ατμοσφαιρικό πλάσμα	Βελτιωμένη απόδοση, μη χρήση χημικών διαλυτών, μη θερμική μέθοδος, οικονομική, φιλική προς το περιβάλλον	Περιορισμένες αναφορές	
Ενζυματική υποβοηθούμενη εκχύλιση	Υψηλή εκλεκτικότητα, βελτιωμένη απόδοση, φιλική προς το περιβάλλον	Κόστος ενζύμων, απαιτείται αυστηρή ρύθμιση pH και θερμοκρασίας για τη βέλτιστη ενζυμική δράση	
Εκχύλιση με εκκένωση πεδίων υψηλού δυναμικού	Αποτελεσματική στη κατάρρευση της κυτταρικής μεμβράνης του δείγματος, χαμηλή κατανάλωση διαλύτη, μη θερμική μέθοδος, αυξημένη αντιοξειδωτική δράση	Δημιουργία ελεύθερων ριζών που μπορούν να οξειδώσουν τα βιοδραστικά συστατικά, χαμηλή εκλεκτικότητα, η πιλοτική παραγωγή απαιτεί υψηλότερη ενέργεια για να αποκτηθούν τα αποτελέσματα που μετρήθηκαν στο εργαστήριο	

Εκχύλιση με παλμικά ηλεκτρικά πεδία	Οικολογική μη θερμική μέθοδος, αποτελεσματική με υψηλή απόδοση εκχυλιζόμενων συστατικών, σύντομος χρόνος επεξεργασίας και εκχύλισης, μη εκχύλιση ανεπιθύμητων συστατικών μαζί με τα βιοδραστικά συστατικά λόγω της ελαφριάς μετουσίωσης των κυτταρικών μεμβρανών, μη καταστροφική μέθοδος για το δείγμα (μη υποβάθμιση θερμοευαίσθητων βιοδραστικών συστατικών, αρωματικών ενώσεων-πρωτεϊνών), εκλεκτική ανάκτηση ενδοκυτταρικών ενώσεων χωρίς να καταστρέφεται η δομή του τροφίμου, χαμηλό κόστος διαχείρισης, εύκολη κλιμάκωση, χαμηλή κατανάλωση ενέργειας-διαλύτη, χωρίς απόβλητα	Υψηλό κόστος, αμφίβολη χρήση σε αγώγιμα υλικά, ανεπαρκείς οικονομικές και μηχανικές μελέτες για τη χρήση σε βιομηχανικό επίπεδο	Picot-Allain et al., 2021, Puértolas & Barba, 2016; Lebovka et al., 2011; Jambrak et al., 2018; Arshad et al., 2020; Barba et al., 2015; Roselló-Soto et al., 2014;
-------------------------------------	---	---	---

Οι παραπάνω μέθοδοι αναπτύχθηκαν για να καλύψουν τις ελλείψεις των συμβατικών μεθόδων εκχύλισης, ωστόσο, σε πιλοτικό επίπεδο, η εφαρμογή των συγκεκριμένων μεθόδων είναι περιορισμένη λόγω του σχετικού κόστους. Η ανάπτυξη του συνδυασμού των μεθόδων για την εκχύλιση βιοδραστικών συστατικών κερδίζει όλο και περισσότερο έδαφος. Το κεφαλαιουχικό κόστος, το κόστος εφαρμογής, η σύνθετη διαμόρφωση των διατάξεων, η απαιτούμενη εκπαίδευση και το κόστος συντήρησης περιορίζουν την ευρεία εφαρμογή των καινοτόμων αυτών τεχνικών. Απαιτούνται περαιτέρω αναλύσεις ώστε να προσδιοριστούν οι βέλτιστες παράμετροι για την εκχύλιση φυσικών συστατικών μέσω καινοτόμων μεθόδων (Picot-Allain et al., 2021).

Κεφάλαιο 3: Εφαρμογές των Παλμικών Ηλεκτρικών Πεδίων (ΠΗΠ)

3.1 Γενικές Εφαρμογές Της Μεθόδου ΠΗΠ

Η επεξεργασία με παλμικά ηλεκτρικά πεδία χρησιμοποιείται εδώ και πολλά χρόνια κυρίως ως μέθοδος συντήρησης τροφίμων και αδρανοποίησης μικροοργανισμών και έχουν γίνει μελέτες σε διάφορες κατηγορίες τροφίμων.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιων τροφίμων είναι τα εσπεριδοειδή (χυμοί λεμονιού, χυμοί μήλων και κράνμπερι) με χαμηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα. Σε πειράματα που έγιναν σε χυμούς μήλων, εφαρμόστηκε χαμηλή ένταση περιορίζοντας τις ανεπιθύμητες ηλεκτρολυτικές αντιδράσεις που μπορούν να ενισχύσουν το ποσοστό εκχύλισης της πηκτίνης από την πούλπα των φρούτων. Σε κρέας όπου έγινε επεξεργασία με ένταση ηλεκτρικού πεδίου 5-10 kV/cm σε διαφορετικές συχνότητες $f_1=20,50$ και $f_2=90$ Hz, η διάτμησή του μειώθηκε έως και 19% ενώ παρατηρήθηκε αύξηση της τρυφερότητας του. Ταυτόχρονα, περιορίστηκε η υποβάθμιση που μπορεί να προκαλέσει η δράση της δεσμίνης και τροπονίνης T κατά την ψύξη για 21 ημέρες. Στο γάλα, η επεξεργασία με ΠΗΠ σε συνδυασμό με θερμική επεξεργασία στους 55-60 °C οδήγησε σε μείωση του μικροβιακού φορτίου, αδρανοποίηση των Gram⁻ και Gram⁺ βακτηρίων, μείωση κατά 5-6 λογαριθμικούς κύκλους του βακτηριακού πληθυσμού στα 22-28 kV για $t=17-101$ μ s στους 50 °C (Abbas et al., 2017).

Σε μελέτη των (Timmermans et al. (2019) εκτιμήθηκε η επίδραση της τεχνολογίας ΠΗΠ ως εναλλακτική μέθοδος ήπιας επεξεργασίας σε χυμούς φρούτων (καρπουζιού και καρύδας). Οι αποδοτικότερες συνθήκες επεξεργασίας που δοκιμάστηκαν ήταν η ένταση ηλεκτρικού πεδίου $E=2,7$ kV/cm και το πλάτος παλμού $\tau=15-1000$ μ s σε σχέση με την ένταση $E=10$ kV/cm and πλάτος παλμού $\tau=2$ μ s.

Η τεχνολογία ΠΗΠ εκτός από την εφαρμογή της στη συντήρηση τροφίμων αυξάνει την ανάκτηση και τη βιοδιαθεσιμότητα θρεπτικών συστατικών από διάφορα τρόφιμα. Στον Πίνακα 2 παρουσιάζονται χαρακτηριστικά παραδείγματα βιοδραστικών συστατικών από μικροοργανισμούς και οστά ζώων καθώς και οι συνθήκες εκχύλισης. Για παράδειγμα, για την επιθυμητή εκχύλιση λιπιδίων από τη *Chlorella Pyrenoidosa* (είδος πράσινου φυκιού) εφαρμόστηκε βοηθητική επίδραση

παλμικού ηλεκτρικού πεδίου έντασης 20 kV/cm για $\tau=6\mu\text{s}$ και στη συνέχεια εκχύλιση με χλωροφόρμιο/μεθανόλη σε αναλογία 2:1 (Han et al., 2019).

Πίνακας 2 Βιοδραστικά συστατικά από μικροοργανισμούς και οστά ζώων που εκχυλίζονται με επεξεργασία ΠΗΠ

ΒΙΟΔΡΑΣΤΙΚΟ ΣΥΣΤΑΤΙΚΟ	ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ	ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	ΑΝΑΦΟΡΕΣ
Λιπίδια	Chlorella Pyrenoidosa	ΠΗΠ: E=20 kV/cm T _{ref} = 6 μs Αναλογία στερεής φάσης/διαλύτη: (χλωροφόρμιο /μεθανόλη (2:1))	Η απόδοση (128 mg/g) των μεθυλεστέρων των λιπαρών οξέων ήταν 12.0 % υψηλότερη σε σχέση με την παραδοσιακή προεπεξεργασία με υπερήχους	Han et al., 2019
Νουκλεϊκά οξέα	Σπλήνα των βοειδών	ΠΗΠ: E=30 kV/cm, n=8 παλμοί Αναλογία στερεής φάσης/διαλύτη: 1:4	Η παραλαβή των νουκλεϊκών οξέων ήταν 2 φορές μεγαλύτερη σε σχέση με το δείγμα που δεν είχε υποστεί επεξεργασία	Yin et al., 2007
Πρωτεΐνες	Abalone Viscera	ΠΗΠ E=20 kV/cm t _{REF} =600 μs; Αναλογία στερεής φάσης/διαλύτη: 4:1 (νερό)	Η μέγιστη απόδοση ήταν 10.10 mg/mL και η παραληφθείσα πρωτεΐνη υδρολύθηκε	Li et al., 2016

Μελέτες που έγιναν στην Κίνα σχετικά με τη μέθοδο έδειξαν μεγάλα επιτεύγματα στη χρήση της τεχνολογίας αυτής, η οποία μπορεί να συνδυαστεί με άλλες μεθόδους για καλύτερα αποτελέσματα. Χρησιμοποιείται πλέον όχι μόνο για συντήρηση τροφίμων και αδρανοποίηση μικροοργανισμών αλλά και για την εκχύλιση συστατικών τους, για τροποποίηση βιομακρομορίων, για ενίσχυση χημικών αντιδράσεων και για επιτάχυνση της γήρανσης των ζυμωμένων τροφίμων που σχετίζονται κυρίως με τη διαπερατότητα των μεμβρανών. Επιπροσθέτως, χρησιμοποιείται στις ηλεκτροχημικές αντιδράσεις, στην αναδιάταξη των μορίων καθώς και στη μείωση της ενέργειας ενεργοποίησης των χημικών αντιδράσεων που ενάγονται κατά την επεξεργασία με ΠΗΠ (Niu et al., 2020).

Στον [Πίνακα 3](#) συνοψίζονται πολλές από τις εφαρμογές της μεθόδου στη βιομηχανία τροφίμων στα προαναφερθέντα πεδία, όπως είναι η αδρανοποίηση μικροοργανισμών, η συντήρηση υγρών τροφίμων, η ενζυμική αδρανοποίηση, η εκχύλιση βιοδραστικών συστατικών, η προεπεξεργασία του κρέατος, η αφυδάτωση των τροφίμων, η επιτάχυνση της ζύμωσης για την ενίσχυση των αρωματικών ενώσεων του κρασιού, η προκατεργασία για ενίσχυση της απορροφητικότητας χρωμάτων σε υλικά κλπ.

Πίνακας 3 Χρήση της επεξεργασίας ΠΗΠ σε διάφορα πεδία της βιομηχανίας τροφίμων και η απόδοση ανά περίπτωση (Giacometti et al., 2018; Niu et al., 2020; Arshad et al., 2020)

Πεδίο Εφαρμογής ΠΗΠ	Δείγμα τροφίμου	ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΠΗΠ			Τύπος ηλεκτροπόρωσης	Αποτελέσματα	Αναφορές
		Βέλτιστη ένταση ηλεκτρικού πεδίου	Βέλτιστη ενέργεια	Βέλτιστο πλάτος παλμού			
Αδρανοποίηση μικροοργανισμών	<ul style="list-style-type: none"> <i>E.Coli</i> & <i>S.Aureus</i> <i>S.cerevisiae</i> <i>E. coli</i>, <i>S. enteritidis</i>, and <i>S. cerevisiae</i> 	<ul style="list-style-type: none"> Γάλα σόγιας Κινέζικο κρασί ρυζιού Χυμός από κόκκινο μήλο 	<ul style="list-style-type: none"> 40 kv/cm Συνδυασμός ΠΗΠ (35 °C, 12 kv/cm) και υπερήχων με θερμότητα (35 °C, 750 W, 120 min) Συνδυασμός ΠΗΠ 35 kv και ήπιας θέρμανσης στους 50°C 	<ul style="list-style-type: none"> 547 μs 120 μs 258 μs 	---	<ul style="list-style-type: none"> Μείωση πληθυσμού κατά 5,20 & 3,51 log αντιστοιχα Μείωση πληθυσμού κατά 3,72 log CFU/ml Μείωση πληθυσμού κατά 5,21 6,02 & 5,49 log αντιστοιχα 	Li et al., 2013; Lyou et al., 2016
Συντήρηση	Υγρά τρόφιμα (γάλα, ασπράδι αυγού, χυμοί φρούτων)	2-30 kv/cm	10-200 kJ/Kg	1-20 μs	Μη αντιστρεπτή	Στο χυμό πορτοκαλιού οι ζύμες και οι μύκητες αδρανοποιούνται εύκολα σε συνθήκες έντασης <10 kv/cm για χρόνο < 20 μs σε θ=25°C. Τα βακτήρια του γαλακτικού οξέος θανατώνονται σε θ=50°C ομοίως και το <i>E.Coli</i>	Buckow et al., 2013; Nair, 2018
Συντήρηση (με ενζυμική αδρανοποίηση)	Χυμοί φρούτων	10-70 kv/cm	100-250 kJ/Kg	1-20 μs	Αλλαγή δευτεροταγούς δομής ενζύμου	Απαιτούνται μεγαλύτερες θερμοκρασίες με ΠΗΠ και εντονότερη επεξεργασία για την αδρανοποίηση των ενζύμων. Σε χυμούς καρτών και μήλων η επεξεργασία ΠΗΠ στους 80°C, βελτίωσε την αντιοξειδωτική δράση και αδρανοποίησε κατά 90% την περοξειδάση και την πολυφαινοξειδάση	Mannozi et al., 2019; Lianga et al., 2017
Ανάκτηση βιοδραστικών συστατικών	Φρούτα, καρποί, ζαχαρότευτλα ελαιόλαδο	0,5-5 Kv/cm	1-15 kJ/Kg	10-100 μs	Μη αντιστρεπτή	<p>Η προεκατεργασία με ΠΗΠ στα ζαχαρότευτλα και στη συνέχεια εκχύλιση για 2 ώρες έδωσε απόδοση 93 % σε βιοδραστικά συστατικά σε σχέση με 40 % σε μη επεξεργασμένα δείγματα</p> <p>Η επεξεργασία με ΠΗΠ σε σχέση με τη συμβατική εκχύλιση του ελαιολάδου αύξησε κατά 5% την απόδοση</p>	Barba et al., 2015 Ferreira, et al., 2019

	Φρούτα, λαχανικά, φύκη	0,5-8 kV/cm	1-80 kJ/Kg	100-50.000 μs	Αντιστρεπτή	Η εκχύλιση της ξανθοφύλλης (καροτενοειδές) από το φύκι <i>Chlorella vulgaris</i> αυξήθηκε κατά 80 % σε συνθήκες 5 kv/cm για 40 ms ή 20 kv/cm για 75 μs. Ενώ η θερμοκρασία 30 °C έδειξε να ευνοεί την εκχύλιση. Για θ>30 °C δεν παρατηρήθηκε καμία βελτίωση	Luengo & Raso, 2017
Συντήρηση (Προεπεξεργασία)	Βοδινό, κοτόπουλο, ψάρι, χοιρινό	2-3 Kv/cm	5-20 kJ/Kg	20-100 μs	Αντιστρεπτή	Σε δείγματα βοδινού, βρέθηκε ότι η τρυφερότητα του κρέατος αυξήθηκε με την αύξηση της συχνότητας του πεδίου και μειώθηκε η απώλεια του οπού κατά το μαγείρεμα	Astrain-Redin et al., 2019; Bekhit et al., 2014
Επιτάχυνση αφυδάτωσης προϊόντων κρέατος, ενίσχυση τρυφερότητας	Χοιρινές μπριζόλες, ωριμασμένα λουκάνικα	0,2-3 kV/cm	1-20 kJ/Kg	20-200 μs	Αντιστρεπτή	Μελέτη στα ωριμασμένα Ισπανικά λουκάνικα "longaniza" έδειξε ότι με εφαρμογή ΠΗΠ 1kV/cm, 200 μs, ενέργειας 28 kJ/kg σε χοιρινές μπριζόλες η αφυδάτωση βελτιώθηκε κατά 60,4 % στους 4°C. Στο στάδιο της ωρίμανσης ο χρόνος ξήρανσης μειώθηκε στις 9 από τις 17 ημέρες για τα ακατέργαστα δείγματα	Astrain-Redin et al., 2019
Συντήρηση	Κρασί (Cabernet Sauvignon)	3-12 kVcm	0,1 - 10 kJ/Kg	10-100 μs	Αντιστρεπτή	Κατά τη διάρκεια της οινοποίησης μελετήθηκε το αν η επεξεργασία με ΠΗΠ βελτιώνει το χρόνο διάλυσης ή αυξάνει το φαινολικό περιεχόμενο. Η υψηλότερη απόδοση των ΠΗΠ ήταν στην επεξεργασία ίδιου χρόνου αλλά με μεγαλύτερης έντασης παλμούς	Saldana et al., 2017; Barba et al., 2016
Επεξεργασία σπόρων πριν τη σπορά	Σιτάρι, σόγια ηλίανθος	0,5-2 kV/cm	0,24-0,96 kJ/Kg	20-200 μs	Αντιστρεπτή	-----	Starodubtseva et al., 2018
Επιτάχυνση της ωρίμανσης των ζυμούμενων τροφίμων	• Κόκκινο κρασί			• 6 μs		• Η ένταση του χρώματος και το φαινολικό περιεχόμενο αυξήθηκαν σημαντικά	Chen et al., 2010
	• Ζυμούμενο τσάι	• 14–22 kV/cm	• -----	• 30-60 min		• Το άρωμα του δείγματος που επεξεργάστηκε με ΠΗΠ ήταν πιο έντονο & η γεύση πιο ήπια	Ting et al., 2016
	• Ζυμούμενο ξύδι από πορτοκάλι	• 10–20 kV/cm • 25 kV/cm	• 60–150 Hz • 200 Hz	• 2 μs		• Οι ενώσεις που δίνουν τη χαρακτηριστική γεύση αυξήθηκαν σε διαφορετικά επίπεδα σε ίδια όμως ένταση με τη φυσική ωρίμανση	Sun et al., 2015

Προκατεργασία για
ενίσχυση
διαπερατότητας

- Θρύμματα ξύλου
- Switchgrass (*Panicum Virgatum*)
(φωτοευαίσθητο, αγροστώδες φυτό, έχει εξελιχθεί σε κτηνοτροφική και ενεργειακή καλλιέργεια)

- 1-10 kV/cm
- 2,5-10 kV/cm

Παλμοί
• 1000-5000
• 1000-5000

- 100 μs
- 100 μs

Με συχνότητα 3 Hz σε όλα τα πειράματα

- Στο 1 kV/cm δεν υπήρξε διαφορά απορρόφησης χρωστικής σε σχέση με τα μη επεξεργασμένα δείγματα
- Για ένταση > 8 kV/cm τα δείγματα του φυτού έδειξαν ταχύτερη και μεγαλύτερη απορρόφηση του κόκκινου χρώματος, γεγονός που αυξάνει την πορώδη ιδιότητα του φυτού

Kumar et al., 2011

Τα αποτελέσματα των παραπάνω εφαρμογών της μεθόδου είναι χαρακτηριστικά για την επίδραση που έχει η τεχνολογία ΠΗΠ στο επιδιωκόμενο αποτέλεσμα. Η αδρανοποίηση των μικροοργανισμών βελτιώθηκε με μείωση του πληθυσμού κατά 3 έως 5 λογαριθμικούς κύκλους σε γάλα σόγιας, σε χυμούς μήλων και στο κινέζικο κρασί ρυζιού, ενώ οι ζύμες και οι μύκητες αδρανοποιούνται σε γάλα και ασπράδι αυγού σε $\theta=25^{\circ}\text{C}$ (Li et al., 2013; Lyou et al., 2016). Τα βακτήρια του γαλακτικού οξέος και το *E.Coli* απαιτεί επεξεργασία στους 50°C για αδρανοποίηση (Buckow et al., 2013; Nair, 2018). Η ενζυμική αδρανοποίηση απαιτεί μεν εντονότερη επεξεργασία (σε θερμοκρασία) οδήγησε όμως σε αδρανοποίηση έως και 90% της φαινοξειδάσης και πολυφαινοξειδάσης σε χυμούς φρούτων (Mannozi et al., 2019; Lianga et al., 2017). Σε μελέτες εκχύλισης βιοδραστικών συστατικών σε φρούτα, καρπούς, ζαχαρότευτλο και ελαιόλαδο η απόδοση σε βιοδραστικά συστατικά έφτασε στο 80 % ή στο 93 % σε σχέση με το 40 % σε μη επεξεργασμένα δείγματα (Barba et al., 2015; Ferreira, et al., 2019). Άλλες μελέτες έχουν γίνει σχετικά με την μη αντιστρεπτή επεξεργασία τροφίμων με ΠΗΠ και τη χρήση της ως μέθοδο προξήρανσης τροφίμων (προεπεξεργασία) κυρίως για θερμοευαίσθητα τρόφιμα όπως είναι τα μήλα, η καρύδα, οι πατάτες και τα καρότα. Η μέθοδος στα συγκεκριμένα τρόφιμα κρίνεται ως πιο αποτελεσματική λόγω της μείωσης του χρόνου επεξεργασίας και αποτελεί επίσης και μία μέθοδο βελτίωσης των οργανοληπτικών ιδιοτήτων των αποξηραμένων τροφίμων (Thamkaew & Galindo, 2020).

3.2. Εκχύλιση βιοδραστικών συστατικών από φυτά/φυτικά τρόφιμα και από παραπροϊόντα βιομηχανίας τροφίμων με τη μέθοδο ΠΗΠ

Η εκχύλιση των βιοδραστικών συστατικών από φυτά/φυτικά τρόφιμα και παραπροϊόντα τροφίμων και με τη χρήση του Παλλόμενου Ηλεκτρικού Πεδίου (ΠΗΠ) είναι η εφαρμογή που θα μας απασχολήσει εκτενώς στις παρακάτω ενότητες.

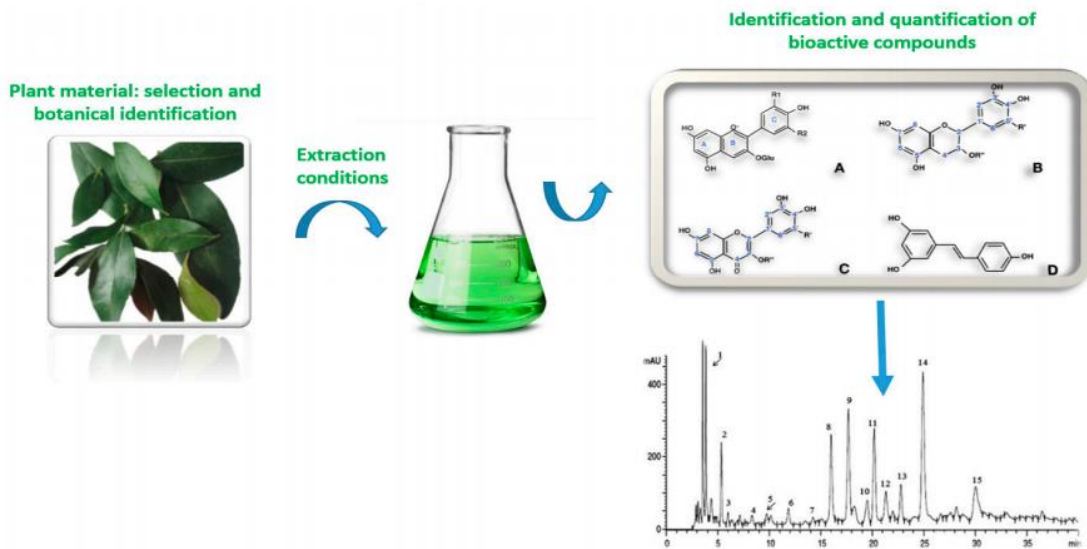
3.2.1 Φυτά/Φυτικά τρόφιμα

Τα βιοδραστικά συστατικά που συναντώνται στα φυτά και τα φυτικά τρόφιμα έχουν πολλά οφέλη για την υγεία τα οποία επηρεάζονται από τη χημική δομή και την προέλευσή τους. Τα φυτά έχουν διαφορετικά μείγματα βιοδραστικών ουσιών, μια συγκεκριμένη όμως ομάδα ενώσεων έχει θεραπευτικές ιδιότητες με σημαντικότερη την αντιοξειδωτική δράση. Τα βασικά αντιοξειδωτικά είναι το ασκορβικό οξύ, οι πολυφαινόλες (ανθοκυανίνες, φαινολικά οξέα, флаβανόλες, флаβονόλες και τανίνες), τα οποία συμβάλλουν στην ανθρώπινη υγεία όπως την προστασία από καρδιαγγειακές παθήσεις, καρκίνο, ρευματοειδή αρθροίτιδα, ασθένειες των πνευμόνων, καταρράκτη και πάρκισον. Οι σημαντικότερες βιοδραστικές ενώσεις που εκχυλίζονται από φυτά είναι οι πολυφαινόλες, οι πολυσακχαρίτες, τα λιπίδια, τα νουκλειικά οξέα και οι ανθοκυανίνες, των οποίων η επεξεργασία με ΠΗΠ βελτιστοποίησε την εκχύλισή τους.

Τα εκχυλίσματα των αρωματικών φυτών χρησιμοποιούνται συχνά ως φυσικά υποκατάστατα για τα πρόσθετα των τροφίμων. Ένα φυτό το οποίο είναι πλούσιο σε βιοδραστικά συστατικά είναι το **δενδρολίβανο**, στο οποίο ξεχωρίζουν το καρνοσικό και το ροζμαρινικό οξύ που έχουν αντιμικροβιακές, αντι-διαβητικές, αντιελκοειδείς, αντιθρομβωτικές, αντικαταθλιπτικές και αντιφλεγμονώδεις ιδιότητες. Στη συνέχεια, το **φασκόμηλο** χρησιμοποιείται ως πρόσθετο στη βιομηχανία τροφίμων λόγω της αντιοξειδωτικής δράσης του. Το ροζμαρινικό και καφεϊνικό οξύ της ρίγανης έχει υψηλή συγκέντρωση σε флаβονοειδή όπως είναι η ισπιδουλίνη και η απιγενίνη στα οποία αποδίδονται η αντιμικροβιακή και αντιοξειδωτική δράση της. Τέλος το **θυμάρι** περιέχει θυμόλη, καρβακρόλη, γερανιόλη (μονοτερπενοειδές με αλκοόλη), τα οποία έχουν αντιβακτηριακές, αναπνευστικές και νευροπροστατευτικές ιδιότητες (Putnik, 2018). Από το φυτό στέβια εκχυλίζονται οι πολυφαινόλες, οι χλωροφύλλες, τα

καροτενοειδή και το ασκορβικό οξύ, ενώ τα εκχυλίσματα έχουν τις δράσεις που αναφέρθηκαν σε όλα τα παραπάνω φυτά.

Στο [Σχήμα 7](#) που ακολουθεί απεικονίζονται τα στάδια εκχύλισης βιοδραστικών συστατικών από φυτά τα οποία επιγραμματικά είναι: η απόμόνωση και ο προσδιορισμός του δείγματος, η εκχύλιση υπό συγκεκριμένες συνθήκες και τέλος ο προσδιορισμός και η ποσοτικοποίηση των βιοδραστικών συστατικών.



Σχήμα 7 Επιλογή φυτών, εκχύλιση και ποσοτικοποίηση βιοδραστικών συστατικών

Τα μεσογειακά αρωματικά φυτά και τα προϊόντα τους, όπως τα εκχυλίσματα των φυτών ή τα αιθέρια έλαιά τους, έχει αποδειχθεί πως διαθέτουν πολλές ευεργετικές και φαρμακευτικές ιδιότητες. Τα βιοδραστικά συστατικά των συγκεκριμένων φυτών επηρεάζουν κυρίως τα τρόφιμα όσον αφορά τη θρεπτική τους αξία, τη χημική και τη μικροβιολογική σύσταση καθώς και τις οργανοληπτικές τους ιδιότητες. Για την εκχύλιση των βιοδραστικών ουσιών από τα φυτά γίνονται προσπάθειες να προσδιοριστούν μη τοξικές μέθοδοι απομόνωσής τους. Αυτό συμβαίνει καθότι τα εκχυλίσματα φυτών χρησιμοποιούνται κυρίως στα λειτουργικά τρόφιμα και οδηγούν τις βιομηχανίες στην αναζήτηση πιο βιώσιμων και μη τοξικών μεθόδων παραγωγής τους. Παραλαμβάνονται είτε μεμονωμένα είτε ως μίγματα και χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία τροφίμων ως ενισχυτικά, αντιοξειδωτικά, συντηρητικά και ως χρωστικοί παράγοντες. Στη συνέχεια ([Πίνακας 4](#)) παρατίθενται

μελέτες στις οποίες χρησιμοποιήθηκαν τα Παλμικά Ηλεκτρικά Πεδία ως μέθοδος εκχύλισης βιοδραστικών συστατικών από λειτουργικά φυτά τα οποία χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία τροφίμων είτε ακόμα και στην εναλλακτική ιατρική

Τα μεσογειακά αρωματικά φυτά και τα προϊόντα τους, όπως τα εκχυλίσματα των φυτών ή τα αιθέρια έλαιά τους, έχει αποδειχθεί πως διαθέτουν πολλές ευεργετικές και φαρμακευτικές ιδιότητες. Τα βιοδραστικά συστατικά των συγκεκριμένων φυτών επηρεάζουν κυρίως τα τρόφιμα όσον αφορά τη θρεπτική τους αξία, τη χημική και τη μικροβιολογική σύσταση καθώς και τις οργανοληπτικές τους ιδιότητες. Για την εκχύλιση των βιοδραστικών ουσιών από τα φυτά γίνονται προσπάθειες να προσδιοριστούν μη τοξικές μέθοδοι απομόνωσής τους. Αυτό συμβαίνει καθότι τα εκχυλίσματα φυτών χρησιμοποιούνται κυρίως στα λειτουργικά τρόφιμα και οδηγούν τις βιομηχανίες στην αναζήτηση πιο βιώσιμων και μη τοξικών μεθόδων παραγωγής τους. Εξάγονται είτε μεμονομένα είτε ως μίγματα και χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία τροφίμων ως ενισχυτικά, αντιοξειδωτικά, συντηρητικά και ως χρωστικοί παράγοντες.

Ένα παράδειγμα εκχύλισης βιοδραστικών συστατικών από φυτικά τρόφιμα είναι αυτά των εσπεριδοειδών τα οποία εκχυλίζονται από τα παραπροϊόντα της βιομηχανικής παραγωγής τους. Τα συγκεκριμένα είναι πλούσια σε αιθέρια έλαια, λεμονοειδή και πολυφαινόλες όπως είναι τα φλαβονοειδή, καροτενοειδή και σάκχαρα που προέρχονται κυρίως από το φλοιό (Putnik, 2018). Άλλα φρούτα που έχουν μελετηθεί είναι η παπάγια, το μάνγκο, το γκρέιπφρουτ, το λεμόνι, το ζαχαροκάλαμο, τα μήλα και τα σταφύλια (Ferreira et al., 2019; Arshad et al, 2020). Στη συνέχεια (Πίνακας 4) παρατίθενται μελέτες στις οποίες χρησιμοποιήθηκαν τα Παλμικά Ηλεκτρικά Πεδία ως μέθοδος εκχύλισης βιοδραστικών συστατικών από λειτουργικά φυτά τα οποία χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία τροφίμων είτε ακόμα και στην εναλλακτική ιατρική.

Πίνακας 4 Εκχύλιση βιοδραστικών συστατικών από φυτά/φυτικά τρόφιμα

ΦΥΤΑ/ΦΥΤΙΚΑ ΤΡΟΦΙΜΑ									
ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΠΗΠ									
Είδος φυτού/φυτικού τροφίμου	E (ένταση ηλεκτρικού πεδίου)	n (αριθμός παλμών)	t _p (χρόνος παλμού)	Δt (χρόνος μεταξύ δύο παλμών)	N (αριθμός γραμμών παραγωγής)	Δt: (χρόνος μεταξύ γραμμών παραγωγής)	T _{PEF} (συνολικός χρόνος επεξεργασίας ΠΗΠ)	Αποτελέσματα	Αναφορές
Φύλλα βοραγινού (οικογένεια φυτών που ανήκει στα σωληνανθή, μαγειρικό-φαρμακευτικό)	1-7 kV/cm 2,5 kV/cm 5 kV/cm	5-50	15 - 150 μs					F=1 Hz W=0,04-61,1 KJ/Kg • Θ= 40 °C -> αύξηση εκχύλισης πολυφαινολών κατά 1,3 φορές σε σχέση με τα μη επεξεργασμένα δείγματα στους 20 °C • Αύξηση εκχύλισης πολυφαινολών κατά 2,4 φορές	Segovia et al., 2014
Φύλλα μέντας	0,75 - 3 kV/cm	10-99	10 μs	100 ms				Η εφαρμογή των ΠΗΠ με 99 παλμούς σε ένταση 3 kV/cm και ειδική ενθαλπία 4102 +/- 239 J/Kg οδήγησε σε πλήρη διαπερατότητα της κυτταρικής μεμβράνης των φύλλων μέντας με σκοπό την εκχύλιση πολυφαινολών	Fincan, 2015
Φύλλα Stevia (γένους rebaudiana Bertoni)	13,3 kV/cm	0-300	10 μs				0-3 ms	F=0,5 Hz W=0-141 KJ/kg Οι υπέρηχοι συνδυαζόμενοι με προκατεργασία εκχύλισης με ΠΗΠ προκαλούν αποτελεσματική κατάρρευση της κυτταρικής μεμβράνης και μετά ανάκτηση βιοδραστικών συστατικών	Barba et al., 2014

Πίνακας 4 (συνέχεια)

Είδος φυτού	Συνθήκες επεξεργασίας ΠΗΠ			Παρατήρηση	Βιοδραστικό συστατικό	Απόδοση	Αναφορές
	E	f	t _p				
Φραγκοστάφυλο	18-24 kV/cm	10 Hz	300-1000 μs	Το πιο σημαντικό και ενδιαφέρον φυτό στην Αγριουβερδική Ιατρική. Διάφορα μέρη του φυτού, κυρίως οι καρποί, χρησιμοποιούνται στη θεραπεία διαφόρων νοσημάτων	Κουερσετίνη και ελαγικό οξύ	Η μέγιστη απόδοση ήταν 0,79 στα 22 kV/cm με διάρκεια παλμού τα 500 μs Η απόδοση ήταν 9 φορές μεγαλύτερη σε σχέση με το θερμικά επεξεργασμένο δείγμα	Bansal et al., 2014; Giacometti et al., 2018
	Η θ επεξεργασία ήταν μεταξύ 34-36 °C E=ένταση ηλεκτρικού πεδίου, n=αριθμός παλμών, t _p =χρόνος παλμού, T _{REF} =συνολικός χρόνος επεξεργασίας ΠΗΠ						
Μαύρο φραγκοστάφυλο	1,318 kV/cm	315 παλμοί	300-1000 μs	Εγιναν δύο πειράματα με θ επεξεργασίας 10°C & 22°C με PH=7	Απόδοση σε: Πολυφαινόλες Ανθοκυανίνες	19 % αύξηση 6% αύξηση	Zhou et al., 2015
	Εγιναν δύο πειράματα με θ επεξεργασίας 10°C & 22°C με PH=7						
<i>Podophyllum peltatum</i>	E	Είδος παλμού ν	t _p	Το Podophyllotoxin είναι δραστική ένωση που χρησιμοποιείται στην ιατρική για τη θεραπεία των σεξουαλικά μεταδιδόμενων κονδυλωμάτων	Podophyllotoxin	47 % μεγαλύτερη απόδοση σε σχέση με μη επεξεργασμένα δείγματα	Putnik et al., 2018
	17,7-19,4 kV/cm	τετραγωνοί	2 μs				
E=ένταση ηλεκτρικού πεδίου, t _p =χρόνος παλμού, T _{REF} =συνολικός χρόνος επεξεργασίας ΠΗΠ							

Φύλλα τσαγιού

E	n	t _p
0,4-1,1 kV/cm	30	0,05 s
0,9 kV/cm		3 s

E=ένταση ηλεκτρικού πεδίου ,n=αριθμός παλμών,t_p=χρόνος παλμού, T_{REF}=συνολικός χρόνος επεξεργασίας ΠΗΠ

Η επεξεργασία με ΠΗΠ επιτάχυνε την κινητική της εκχύλισης

Πολυφαινόλες

Η μέγιστη απόδοση αυξήθηκε κατά 27 % με συνθήκες επεξεργασίας 0,9 kV/cm και χρόνο παλμού 3 s

Σαφράν

E	n	t _p
5 kV/cm	100	35 μs

E=ένταση ηλεκτρικού πεδίου ,n=αριθμός παλμών,t_p=χρόνος παλμού, T_{REF}=συνολικός χρόνος επεξεργασίας ΠΗΠ

- Κροκίνη (υπεύθυνη για το χρώμα)
- Σαφρανάλη (υπεύθυνη για τη γεύση)
- Πικροκροκίνη (υπεύθυνη για τη γεύση)

Βελτίωση απόδοσης σε σχέση με μη επεξεργασμένα δείγματα

Pourzaki, Mirzaee et al., 2012

Aconitum coreanum

- ΠΗΠ:
- E= 20 kV/cm
 - N=8 παλμοί
 - Αναλογία στερεού/διαλύτη: 1/12
 - Ανάμειξη δείγματος με 90% EtOH/H₂O
 - t_{REF} = 0,1-1 min
 - Συνολικός χρόνος εκχύλισης 0,5 -1 min
 - Χαμηλό ενεργειακό κόστος

Ιαπωνικό θεραπευτικό φυτό => με την εκχύλιση με ΠΗΠ είχαμε χαμηλά ενεργειακά κόστη σε σχέση με άλλες μεθόδους εκχύλισης: Διάλυση (συμβατική εκχύλιση) Διήθηση Αναρροή με θέρμανση (συμπκνωση ατμών που επιστρέφουν πίσω στο δείγμα) Εκχύλιση με υπερήχους

Αλκαλιοδές Guanfu base A, GFA

3,94 mg/g

Bai et al., 2013

Βλαστοί και φύλλα ελαιοκράμβης	E	n	t_p	Δt	N	Δt_t	T_{PEF}	Πολυφαινόλες	<p>Η προεπεξεργασία με ΠΗΠ στα 5-20 kV/cm αύξησε την εκχύλιση πολυφαινολών από τα φύλλα και τους βλαστούς της ελαιοκράμβης. Η επεξεργασία των βλαστών στα 5 Kv/cm έδωσε πολυφαινόλες με τη μεγαλύτερη καθαρότητα (από 57% στο 83,6 %), ωστόσο, η επεξεργασία των φύλλων με 5kV/cm ήταν λιγότερο αποτελεσματική στην ανάκτηση φαινολών. Η απόδοση σε πολυφαινόλες μειώθηκε στο 74% όσο η ελαιοκράμβη ήταν πιο ώριμη.</p>	Yu et al., 2015		
	200 v/cm, 400 v/cm	2	1 ms	0,1 ms	200	10 s	--					
	800 V/cm	100	0,1 ms	100 ms	20	10 s	200 ms					
	5 kV/cm, 20 kV/cm	200	10 μs	2s	1		2 ms					
E=ένταση ηλεκτρικού πεδίου, n=αριθμός παλμών, t _p =χρόνος παλμού, Δt=χρόνος μεταξύ δύο παλμών, N=αριθμός γραμμών παραγωγής, Δt _t =χρόνος μεταξύ γραμμών παραγωγής, T _{PEF} =συνολικός χρόνος επεξεργασίας ΠΗΠ												
Βότανο PANAX GINSENG	E	n	t_p	F (συχνότητα)	T_{PEF}	Πολυφαινόλες						
	0,5 - 2,5kV/cm	500	25 μs	50 HZ	--						Σε ένταση 1,5-2,5 kV/cm είχαν καλύτερη φαινολική απόδοση	Kim et al., 2019
	E	Διάλυμα	t_p	F (συχνότητα)	T_{PEF}							
	20 kV/cm	70% EtOH/H ₂ O		6000 HZ	1 s							
Μάραθος (<i>Foeniculum vulgare</i>)	E	n	t_p	F (συχνότητα)	T_{PEF}	Πολυφαινόλες						
	100 – 500 V/cm	50-600 (τετράγωνοι μονοπολικοί παλμοί)	10 ms	1000 Hz	--						Η απόδοση εκχύλισης έφτασε στο 98%	Moubarik et al., 2011

Στον **Πίνακα 4** που προηγείται συγκεντρώνονται οι βιοδραστικές ουσίες που εκχυλίστηκαν από τα φυτά/φυτικά τρόφιμα με την τεχνολογία ΠΗΠ, οι συνθήκες εκχύλισης, τα φυτά προέλευσης και η απόδοσή τους σε φύλλα φυτικών τροφίμων όπως το **βοραγινό** (Segovia et al., 2014) , **η μέντα** (Fincan, 2015) **και η Stevia** (Barba et al., 2014). Για το βοραγινό (φυτό της Μεσογείου που καλλιεργείται για μαγειρικούς και φαρμακευτικούς σκοπούς) η προκατεργασία για την εκχύλιση με ΠΗΠ με αύξηση της θερμοκρασίας και της έντασης του πεδίου έδωσε την βέλτιστη απόδοση σε πολυφαινόλες. Συγκεκριμένα, όταν η θερμοκρασία αυξήθηκε από τους 10 στους 40 °C, η απόδοση αυξήθηκε κατά 1,3 φορές, ενώ με αύξηση της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου στα 5 Kv/cm η απόδοση αυξήθηκε κατά 2,4 φορές σε σχέση με το δείγμα ελέγχου (μη επεξεργασμένο δείγμα). Η ένταση στα 5 Kv/cm προκάλεσε τη μέγιστη απόδοση ανεξαρτήτως θερμοκρασίας εκχύλισης. Στα **φύλλα μέντας** που μελετήθηκαν (Fincan, 2015), η προκατεργασία που έγινε με τη μέθοδο των ΠΗΠ οδήγησε σε πλήρη κατάρρευση της κυτταρικής μεμβράνης ενώ ακολούθησε διαδικασία εκχύλισης με στερεή-υγρή φάση. Η συγκεκριμένη μελέτη έδειξε ότι οι βέλτιστες συνθήκες είναι 99 παλμοί, ένταση 3 kV/cm με ειδική ενέργεια στα 4102+/- 239 J/Kg για την πλήρη κατάρρευση της μεμβράνης των φύλλων της φρέσκιας μέντας. Η μελέτη που έγινε στα φύλλα της **Stevia Rebaudiana** (Barba et al., 2014) έδειξε ότι η προκατεργασία με ΠΗΠ πριν την εκχύλιση ενεργοποιεί την καταστροφή της μεμβράνης, ενώ υποβοηθά την εκχύλιση με μείωση της απαιτούμενης θερμοκρασίας και χρόνου. Επίσης η απόδοση σε γλυκοζίτες αυξήθηκε. Ο συνδυασμός της μεθόδου με υπερήχους και του πεδίου ηλεκτρικής εκκένωσης παρείχε εκχυλίσματα πλούσια σε χλωροφύλλη, καροτενοειδή και φαινολικά συστατικά.

Η μελέτη που έγινε στο **εκχύλισμα φραγκοστάφυλου** (Bansal et al., 2014; Giacometti et al., 2018) για τα συστατικά κουερσετίνη και ελαγικό οξύ, από τους σημαντικότερους δευτερογενείς μεταβολίτες στα τρόφιμα με βάση τα φυτά έδειξε ότι η επεξεργασία με ΠΗΠ σε βέλτιστη ένταση 22 kV/cm, διάρκειας παλμών 500 μs έδωσε απόδοση 0,79 η οποία ήταν υψηλότερη κατά 9 φορές για την κουρτεσίνη και 2 φορές για το ελαγικό οξύ σε σχέση με τα μη επεξεργασμένα ή θερμικά επεξεργασμένα δείγματα.

Από το φυτό ***Podophyllum peltatum*** (Putnik et al., 2018) εκχυλίστηκε με ΠΗΠ η βιοδραστική ένωση Podophyllotoxin που χρησιμοποιείται στην ιατρική για τη θεραπεία των σεξουαλικά μεταδιδόμενων κονδυλωμάτων. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν ανάδευση των αποξηραμένων ριζωμάτων των φυτών με απεσταγμένο νερό και εφαρμογή πεδίου 17,7-19,4 kV/cm για 2 μs με χρήση τετράγωνων παλμών. Σε συνολικό χρόνο επεξεργασίας 0.504–0.806 s παρατηρήθηκε απόδοση 47% μεγαλύτερη σε σχέση με τα μη επεξεργασμένα δείγματα. Στα φύλλα τσαγιού που μελετήθηκαν η επεξεργασία με ΠΗΠ επιτάχυνε την κινητική της εκχύλισης και η μέγιστη απόδοση σε πολυφαινόλες έφτασε στο 27% με συνθήκες επεξεργασίας 0,9 kV/cm και χρόνο παλμού 3s (δηλαδή στο μεγαλύτερο χρόνο επεξεργασίας). Στο **σαφράν** (Pourzaki, Mirzaee et al., 2012), το οποίο προέρχεται από τον ύπερο του άνθους του φυτού κρόκος μια επεξεργασία με ΠΗΠ πριν την εκχύλιση σε συνθήκες έντασης 5 kV/cm, 100 παλμοί και χρόνο παλμού στα 35 μs είχαμε βελτίωση της απόδοσης σε κροκίνη (υπεύθυνη για το χρώμα –αύξηση 5,76 %), σαφρανάλη(υπεύθυνη για τη γεύση, αύξηση κατά 5,9 %) και πικροκροκικίνη (υπεύθυνη για την πικρή γεύση κατά 7,5%) σε σχέση με τα μη επεξεργασμένα δείγματα. Για το ιαπωνικό θεραπευτικό φυτό ***Aconitum coreanum*** η εκχύλιση του αλκαλοειδούς Guanfu base A, GFA με ΠΗΠ αποδείχθηκε αποδοτικότερη όλων των υπολοίπων εκχυλίσεων (κρύα εκχύλιση, εκχύλιση με διήθηση, εκχύλιση με αναρροή, με υπερήχους) που δοκιμάστηκαν από την ομάδα (Bai et al., 2013). Παρόλο που η υψηλότερη απόδοση ήταν με εκχύλιση με αναρροή (42,13 %) σε σχέση με την τεχνολογία ΠΗΠ (36,25 %) η θερμοκρασία στα ΠΗΠ διατηρήθηκε χαμηλά και έτσι τα αλκαλοειδή δεν μετατράπηκαν σε άλλες ενώσεις. Επίσης, η αναλογία στερεού-υγρού στη συγκεκριμένη μελέτη ήταν 1:12, πολύ χαμηλότερη απ όλες τις άλλες μεθόδους. Σε βιομηχανικό λοιπόν επίπεδο η μέθοδος αυτή αποδεικνύεται πιο οικονομική

καθώς κρατά χαμηλά το κόστος του διαλύτη. Τέλος, ο συνολικός χρόνος εκχύλισης ήταν μικρότερος του 1 min, εξαιρετικά μικρότερος σε σχέση με τα 40 min της εκχύλισης με υπερήχους και τις 10 h εκχύλισης με θέρμανση με αναρροή.

Η **ελαιοκράμβη** (Yu et al., 2015) είναι ένα ετήσιο C3 φυτό που ανήκει στην οικογένεια *Cruciferae* και πιθανότατα κατάγεται από την περιοχή της Μεσογείου. Λόγω της υψηλής περιεκτικότητας σε έλαιο εξαιρετικής ποιότητας, αποτελεί σήμερα την πιο σημαντική πηγή εδώδιμου ελαίου για τις χώρες της Βόρειας Ευρώπης. Το λάδι που εξάγεται από την ελαιοκράμβη χρησιμοποιείται για την παρασκευή τροφίμων αλλά αποτελεί και την κύρια πηγή παραγωγής biodiesel στην ΕΕ, καθώς η περιεκτικότητα του φυτού κυμαίνεται μεταξύ 40-50%. Η προεπεξεργασία των βλαστών με ΠΗΠ πριν την εκχύλιση αύξησε την απόδοση σε πολυφαινόλες από 57% έως 83,6% (μεγίστης καθαρότητας) σε ένταση πεδίου 5 kV/cm, δεν συνέβη όμως το ίδιο με τα φύλλα που ήταν λιγότερο αποτελεσματική. Παρατηρήθηκε ότι η απόδοση μειωνόταν όσο η ελαιοκράμβη ήταν πιο ώριμη.

Ο προσδιορισμός και η ποσοτικοποίηση των φαινολικών συστατικών στο **βότανο PANAX GINSENG** (Kim et al., 2019; Hou et al., 2010) βασίστηκε στην αέρια και υγρή χρωματογραφία, ενώ η βελτιστοποίηση των συνθηκών της επεξεργασίας ΠΗΠ (ένταση, συχνότητα και χρόνος επεξεργασίας) έγινε με το μοντέλο αποκριτικών επιφανειών BOX-BEHNKEN.. Σε ένταση πεδίου 0,5 - 2,5kV/cm, n=500 παλμούς και συχνότητα f=50 Hz παρατηρήθηκε η καλύτερη απόδοση. Σε προηγούμενο πείραμα στο ίδιο βότανο από την ομάδα των Hou et al. (2010), η απόδοση εκχύλισης έφτασε στα 12,69 mg/g δείγματος, με ένταση πεδίου 20 Kv/cm και συχνότητα πολύ μεγαλύτερη f=6000 Hz. Αξιοσημείωτος ήταν ο πολύ μικρός χρόνος επεξεργασίας (1s) σε σχέση με την εκχύλιση αναρροής με θέρμανση (6 h) και τα 2 min στην εκχύλιση με υπερήχους. Σε άλλα φυτά όπως είναι ο **μάραθος** (“μάραθον το κοινόν” η επικρατέστερη ονομασία), η χρήση των ΠΗΠ για εκχυλίσματα έδωσε απόδοση μέχρι και 98% (Moubarik et al., 2011). Ακολούθως, στον [Πίνακα 5](#) παρουσιάζονται συγκριτικά οι αποδόσεις εκχύλισης βιοδραστικών συστατικών από φυτά και φυτικά τρόφιμα με τη μέθοδο ΠΗΠ και με τη μέθοδο της συμβατικής εκχύλισης.

Πίνακας 5 Συγκριτικός πίνακας εκχύλισης βιοδραστικών ενώσεων από φυτά/φυτικά τρόφιμα

Προέλευση -Είδος φυτικού τροφίμου/φυτού	Συνθήκες επεξεργασίας		Βιοδραστικό συστατικό	Παρατήρηση	Απόδοση	Αναφορές
	Εκχύλιση με ΠΗΠ	Συμβατική Εκχύλιση				
Ζαχαρότευτλο	E = 670 V/cm, t _{REF} = 0.025 s, Ενέργεια: 5–6 kJ/kg	×	Σακχαρόζη	Το ζαχαρότευτλο ήταν σε μεγάλα κομμάτια πάχους 1,5 mm, διάχυση για 2h σε θερμοκρασία περιβάλλοντος.	<ul style="list-style-type: none"> 93% η απόδοση σε σύγκριση με 40% σε μη επεξεργασμένα δείγματα 93% απόδοση Η βέλτιστη απόδοση έφτασε στο 97% 	Barba et al., 2015; El-Belghiti and Vorobiev, 2005
Ζαχαρότευτλο	θ= 30 °C	θ=60 °C		<ul style="list-style-type: none"> Σε θ=50°C ο χρόνος διάχυσης μειώθηκε στα 40 min. Σε θ=25°C για ποσότητα δείγματος 14 g για 60 min εκχύλισης 	Ίδια απόδοση σακχαρόζης και στις δύο περιπτώσεις. Για την πηκτίνη το διάλυμα χαμηλότερης θ απέδωσε λιγότερη ποσότητα.	Jemai & Vorobiev, 2003
	με εκχύλιση κατά αντιρροή E=100-600 V/cm Θ διάχυσης: 30-70°C		Σακχαρόζη, Πηκτίνη	Η ήπια θέρμανση στους 50 °C και η επεξεργασία με ΠΗΠ είναι σημαντικά εργαλεία στη μείωση του χρόνου διάχυσης	Γενικό συμπέρασμα για τη χρήση της τεχνολογίας ΠΗΠ στη βιομηχανία επεξεργασίας ζάχαρης είναι ότι εφαρμόζονται περιβαλλοντικά οικολογικές πρακτικές, με μείωση κατανάλωσης ενέργειας και μείωση κόστους	
Ραδίκι	E =1-7 kV/cm Θ=20-70 °C		Σουκρόζη		Η απόδοση αυξήθηκε αναλόγως της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου, του χρόνου εκχύλισης και της θερμοκρασίας. Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου είχε καλύτερη απόδοση σε χαμηλές θ	Loginova et al., 2009
	Υδατική εκχύλιση με ΠΗΠ		Ινουλίνη	Η ινουλίνη είναι διαιτητική πηγή ινών ή υποκατάστατο	Σε υψηλές θερμοκρασίες (60-80°C) η διάχυση ήταν η μέγιστη δυνατή σε επεξεργασμένα με ΠΗΠ και μη	

	E =100–600 V/cm Θ=60-80 °C & Θ= χαμηλή		ζάχαρης σε ταμπλέτες	επεξεργασμένα δείγματα	
	Μη επεξεργασμένα δείγματα			Σε χαμηλές θερμοκρασίες, για τα δείγματα που είχαν υποστεί επεξεργασία με ΠΗΠ είχαμε καλύτερη διάχυση σε σχέση με τα μη επεξεργασμένα	Loginova et al., 2009
Φύλλα φρέσκου δυόσμου (<i>Mentha spicata</i> L.)	E=3 kV/cm n=99 παλμοί Ειδική ενέργεια: 4102 +/-239 J/kg	Μη επεξεργασμένα δείγματα		Βέλτιστη απόδοση εκχύλισης 0,86 +/- 0,02 %, συγκρίσιμα αποτελέσματα με θερμική επεξεργασία και μικροκύματα. Οργανοληπτικά, τα επεξεργασμένα με τη μέθοδο ΠΗΠ δείγματα είχαν καλύτερο χρώμα, πλουσιότερο άρωμα και αυξημένη ικανότητα ενυδάτωσης σε σχέση με τα μη επεξεργασμένα δείγματα	Fincan, 2015; Kwao et al., 2016; Giacometti et al., 2018
Παντζάρι	E= 400-600 V/cm , E = 1 kV/cm Θ-30 °C E = 1 kV/cm Θ=30 °C E = 1 kV/cm Θ=80 °C	×	Βεταλαΐνη	90% 95 % στην απόδοση χρωστικής, χαμηλότερο ποσοστό υποβάθμιση χρώματος Ολική καταστροφή βεταλαΐνων	Barba et al., 2015

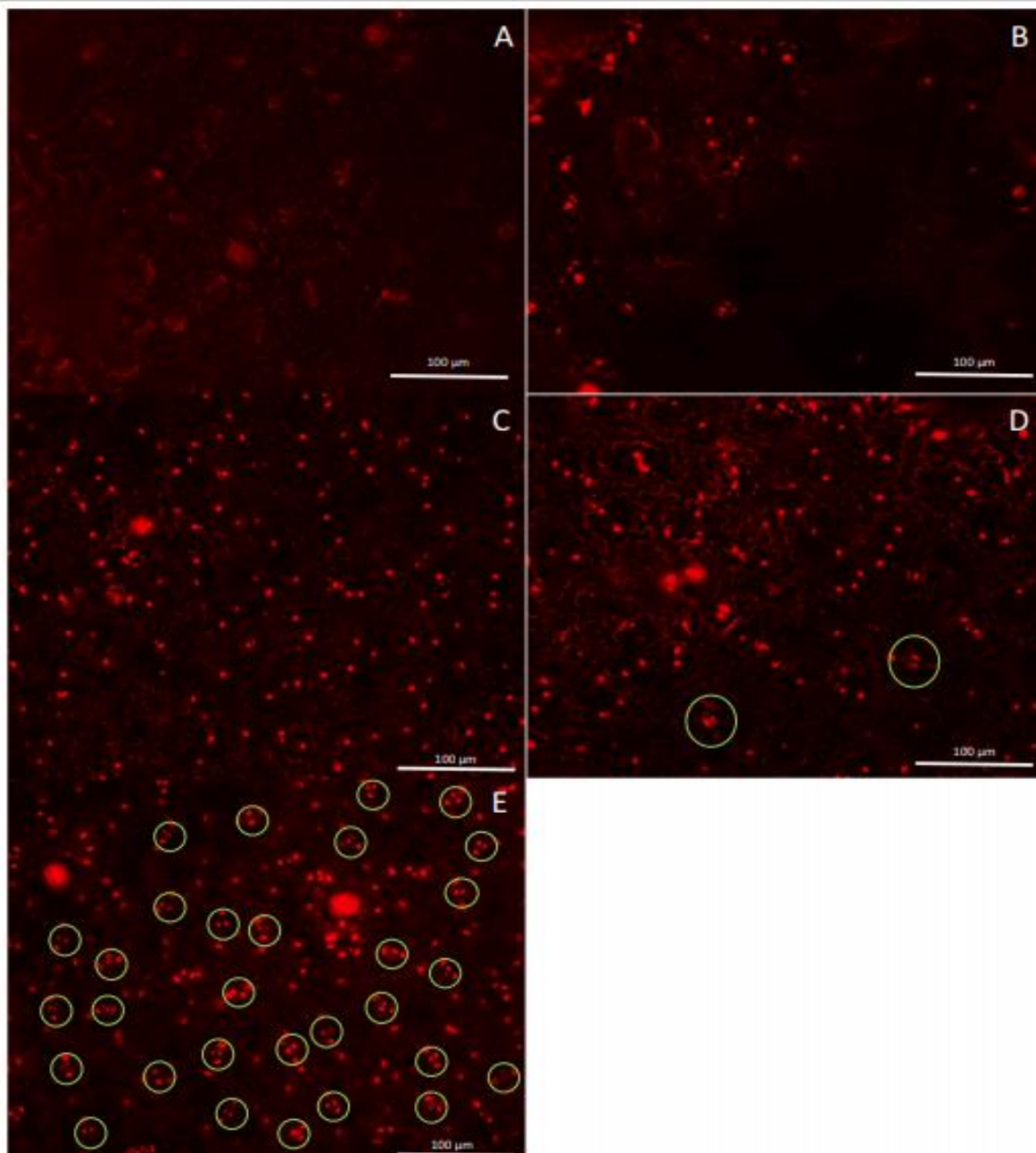
Προέλευση - Είδος φυτικού τροφίμου	Συνθήκες επεξεργασίας			Βιοδραστικό συστατικό	Παρατήρηση	Απόδοση	Αναφορές
	Εκχύλιση με ΠΗΠ	Εκχύλιση με πεδία εκκένωσης υψηλού δυναμικού	Εκχύλιση με υπερήχους				
Βατόμουρα	✓	✓	✓	Πολυφαινόλες (ανθοκυανίνες)	Και στις δύο περιπτώσεις ακολούθησε εκχύλιση με H ₂ O ή EtOH	<ul style="list-style-type: none"> • ΠΗΠ: 108 mg γαλλικού οξέος / 100 g ολικών φαινολών • ΕΠΥΔ –Πεδία Εκκένωσης υψηλού δυναμικού (HEVD (High Voltage Electric Discharges) 338 mg γαλλικού οξέος / 100 g ολικών φαινολών • Υπερήχοι : 46,2 mg πολυφαινολών/100 g εκχυλίσματος <p>Ως προς την εκλεκτικότητα τα ΠΗΠ έδωσαν καλύτερα αποτελέσματα. Ύστερα από 5 h επιπλέον εκχύλισης με H₂O στους 50°C ή EtOH η απόδοση των ανθοκυανινών ήταν η μέγιστη. Η εκχύλιση με υπερήχους έδωσε σε κάθε περίπτωση τη χειρότερη απόδοση.</p>	Lorenzo et al., 2017; Barba et al., 2015
Φλοιός δαμάσκηνων	E= 25 Kv/cm, ισχύς 5kW, τετράγωνοι παλμοί αντίθετης πολικότητας, θάλαμοι 25 & 7 mm		Ισχύς 400 , συχνότητα 24 HZ, χρόνος 120 μm, θερμοκρασία 25 & 50 °C, συνεχής ροή για 30 min με πλάτος θαλάμου 96 μm	Ανθοκυανίνες, φλαβονοειδή			(Medina-Meza & Barbosa- Cánovas, 2015)
	✓	x	✓	Φαινόλες		Βελτιώθηκε η απόδοσή τους σε σχέση με συμβατική εκχύλιση	
	✓	συμβατική εκχύλιση		Ασκορβικό οξύ		Καλύτερη απόδοση με υδατική εκχύλιση σε σχέση με τα ΠΗΠ στα δαμάσκηνα	

Προέλευση - Είδος παραπροϊόντος /τροφίμου	Συνθήκες επεξεργασίας		Βιοδραστικό συστατικό	Παρατήρηση	Απόδοση	Αναφορές
	Εκχύλιση με ΠΗΠ	Συμβατική Εκχύλιση				
Σάρκα ροδάκινων	E=0,0014-2,88 kJ/kg	Συμβατική θερμική επεξεργασία θ=50°C για 90 min	Μη καθαρισμένα βιοδραστικά συστατικά	<ul style="list-style-type: none"> ΠΗΠ : πυκνωτής 0,1 μF, μειούμενοι εκθετικοί παλμοί ,θάλαμος επεξεργασίας με δύο παράλληλες πλάκες ανοξειδωτού χάλυβα απόστασης 5 cm η μία από την άλλη 	<ul style="list-style-type: none"> Μέγιστη απόδοση για συμβατική εκχύλιση με 40 min εκχύλισης Μέγιστη απόδοση για ΠΗΠ με E=0,00014 kJ/kg σε $t_p=16$ μs 	Plazzotta et al., 2020
Φρέσκα τεμαχισμένα ροδάκινα	ΠΗΠ συνδυαζόμενη με διαλύτη: <ul style="list-style-type: none"> Μεθανόλη Νερό	Συμβατική εκχύλιση με 80% μεθανόλη	Φαινόλες, φλαβονοειδή και αντιοξειδωτικές χημικές ενώσεις		<ul style="list-style-type: none"> Αρνητική επίδραση στο βαθμό εκχύλισης Αύξηση ποσοστού βιοδραστικών συστατικών 	Redondo et al., 2017
Εσπεριδοειδή	Προεργασία		Πολυφαινόλες (Ναρινγκίνη & Εσπεριγίνη)		Η απόδοση αυξήθηκε με αύξηση της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου και του χρόνου επεξεργασίας κυρίως λόγω της ηλεκτροπόρωσης των μεμβρανών	Putnik et al., 2018
Καστανό ρύζι	✓		Πολυφαινόλες, Φαινολικά οξέα, γ-ορυζανόλη, τοκοφερόλη, τοκοτριενόλη, κορεσμένα και ακόρεστα λιπαρά οξέα		Αντιοξειδωτική δράση επεξεργασμένων τροφίμων έναντι μη επεξεργασμένων	Quagliariello et al., 2016
Κόκκινο λάχανο	E = 2,5 Kv/cm	×	Ανθοκουανίνες		2,15 φορές αποδοτικότερη εκχύλιση σε σχέση με συμβατική εκχύλιση	Barba et al., 2015

Προέλευση - Είδος παραπροϊόντος /τροφίμου	Συνθήκες επεξεργασίας		Βιοδραστικό συστατικό	Παρατήρηση	Απόδοση	Αναφορές
	Εκχύλιση με ΠΗΠ	Συμβατική Εκχύλιση				
Μανιτάρια (γένους <i>Agaricus bisporus</i>)	Διπολικός τετράγωνος παλμός E=800 V/cm t _i = 1.000 μs Δt=1.200 μs Δt _r =5 sec n = 2 παλμοί	Θερμή εκχύλιση T=343 K για t=2 h	Πρωτεΐνες, πολυφαινόλες και πολυσακχαρίτες	Τα εκχυλίσματα συμβατικής εκχύλισης ήταν θολά με χαμηλή κολοειδή σταθερότητα	Συνδυασμός μεθόδων εκχύλισης υπό πίεση και ΠΗΠ έδωσε απόδοση 0,42 & υψηλής καθαρότητας εκχυλίσματα, απόδοση που αυξήθηκε κατά 62% σε σχέση με την εκχύλιση ΠΗΠ χωρίς πίεση	Parniakov et al., 2013
Σάρκα κολοκύθας	<ul style="list-style-type: none"> ΠΗΠ Ενζυματική εκχύλιση Ομογενοποίηση υψηλής πίεσης & συμβατική εκχύλιση 	Με διαλύτες το ζεστό νερό και την αιθανόλη	<ul style="list-style-type: none"> Πολυσακχαρίτες Πηκτίνη Καροτενοειδή 		Η υψηλότερη απόδοση των καροτενοειδών επιτεύχθηκαν με συμβατική εκχύλιση	Putnik et al., 2018; Sain & Keum, 2018
Φύλλα και καρποί κολοκύθας		✓	<ul style="list-style-type: none"> Πρωτεΐνες 			Putnik et.al., 2018

Για τα **ζαχαρότευτλα** έγιναν διαφορετικές μελέτες τόσο από την ομάδα των Barba et al. (2015) όσο και από τους Jemai & Vorobiev (2003). Η εκχύλιση της σακχαρόζης έφτασε στο 93% με τα ΠΗΠ για θερμοκρασία 50 °C και χρόνο εκχύλισης τα 40 min, ενώ όταν η θερμοκρασία έπεσε στους 25°C χρειάστηκαν 60 min για την ίδια απόδοση. Η βέλτιστη απόδοση έφτασε μέχρι και στο 97% ενώ σε μη επεξεργασμένα δείγματα παρελήφθησε μόλις το 40%. Στο 2^ο πείραμα ωστόσο (Jemai & Vorobiev, 2003), η εκχύλιση με ΠΗΠ στους 30°C έδωσε ίδιο ποσοστό με τους 60 °C. Η διαφορά ήταν στην πηκτίνη που με χαμηλότερη θερμοκρασία παρελήφθησε μικρότερο ποσοστό. Στην ανασκόπηση που έγινε από τους Barba et al. (2015) αναφέρεται ότι η απόδοση σε σουκρόζη από **το ραδίκι** ήταν καλύτερη όσο η επεξεργασία με ΠΗΠ γινόταν σε χαμηλές θερμοκρασίες. Σε ένταση ηλεκτρικού πεδίου 1-7 kV/cm η απόδοση αυξανόταν αναλόγως της αύξησης της έντασης, του χρόνου επεξεργασίας αλλά και της θερμοκρασίας. Για την ινουλίνη, σε θερμοκρασίες 60-80 °C, η απόδοση ήταν η ίδια σε επεξεργασμένα και μη δείγματα και βεβαίως τα δείγματα με προεπεξεργασία ΠΗΠ είχαν καλύτερη διάχυση κατά την εκχύλιση σε σχέση με τα μη επεξεργασμένα. Τα **φύλλα φρέσκου δυόσμου** (γένος *Mentha spicata* L) μελετήθηκαν από διαφορετικές ομάδες (Fincan, 2015; Kwao et al., 2016; Giacometti et al., 2018) όπου με ένταση πεδίου $E=3$ kV/cm και 99 παλμούς η βέλτιστη απόδοση εκχύλισης ήταν 0,86 +/-0,02%, συγκρίσιμα αποτελέσματα με θερμική επεξεργασία και μυκροκύματα. Οργανοληπτικά, τα επεξεργασμένα με τη μέθοδο ΠΗΠ δείγματα είχαν καλύτερο χρώμα, πλουσιότερο άρωμα και αυξημένη ικανότητα ενυδάτωσης σε σχέση με τα μη επεξεργασμένα δείγματα.

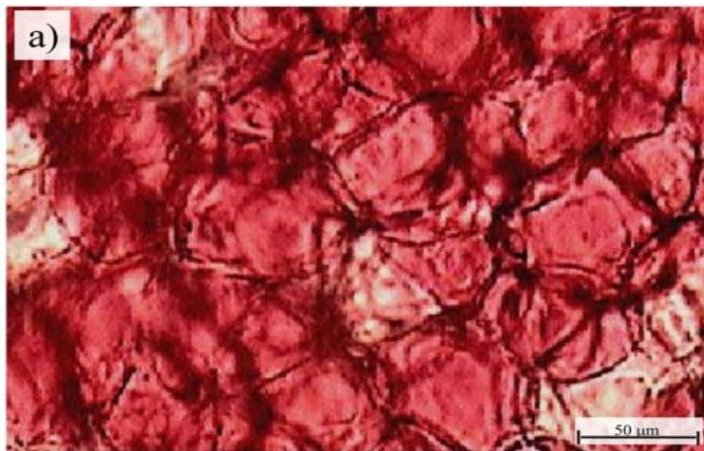
Σε επόμενη μελέτη (Thamkaew & Galindo, 2020) εξετάστηκαν οι διαφορετικές παράμετροι βαθμού ηλεκτροπόρωσης της κυτταρικής μεμβράνης σε **φύλλα ταιλανδέζικου βασιλικού** ύστερα από την εφαρμογή ΠΗΠ. Παρατηρήθηκε ένας υψηλότερος αριθμός πυρήνων στα δείγματα που εφαρμόστηκε υψηλής έντασης ηλεκτρικό πεδίο, συνθήκη η οποία απεικονίζεται παρακάτω.



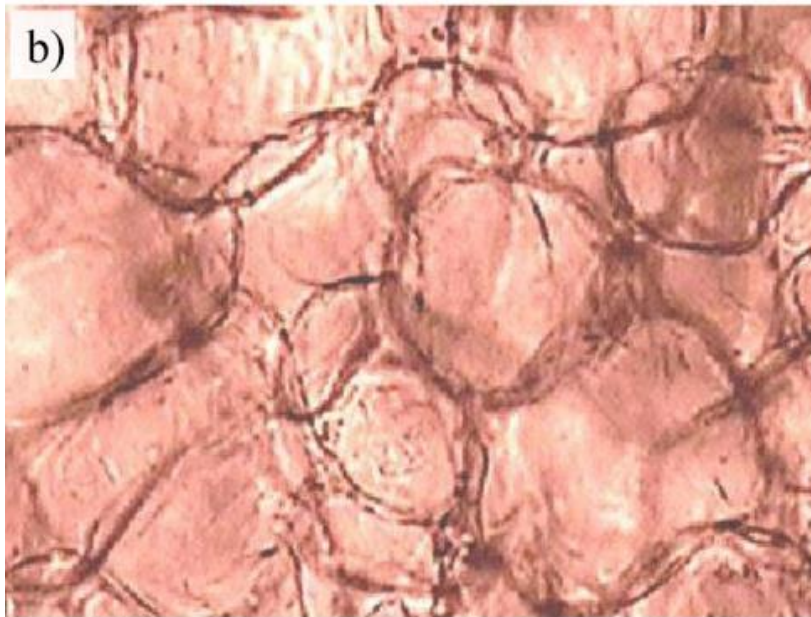
Εικόνα 3 Μικρογραφίες δειγμάτων φύλλων Ταυλανδέζικου βασιλικού που υπέστησαν επεξεργασία με ΠΗΠ .Απεικονίζεται η εξέλιξη διαπερατότητας της κυτταρικής μεμβράνης της επιδερμίδας των φύλλων.Εφαρμόστηκε μονοπολικός παλμός της τάξεως του 650 V/cm με πλάτος παλμού 50 (Thamkaew & Galindo, 2020)

Όπως φαίνεται λοιπόν στην [Εικόνα 3](#) ξεκινώντας από μηδενική ένταση πεδίου (μη επεξεργασμένα φύλλα (σχήμα A) δεν παρατηρούνται ηλεκτροπορωμένοι πυρήνες. Όταν οι παλμοί αυξάνονται στους 200 τα κύτταρα της επιδερμίδας των φύλλων ηλεκτροπορώνονται ομοιογενώς (σχήμα E).

Στο κόκκινο παντζάρι η απόδοση σε βεταλαΐνη έφτασε από το 90% στο 95% σε χαμηλές τιμές ηλεκτρικού πεδίου (400 V έως και 1 kV) για θερμοκρασίες έως και 30° C. Σε μεγαλύτερες όμως θερμοκρασίες (80 °C) και τη μέγιστη ένταση πεδίου 1 kV/cm παρατηρήθηκε ολική καταστροφή της βεταλαΐνης. Καταληκτικά, ακολουθούν παραδείγματα εκχυλίσεων στο δείγμα παντζαριού με εικόνες και διαγράμματα. Στις [Εικόνες 4 & 5](#), φαίνεται ο ιστός από **το κόκκινο παντζάρι** αμέσως μετά την υδατική εκχύλιση χωρίς και με προεπεξεργασία με ΠΗΠ.



Εικόνα 4 Ιστός από παντζάρι κατόπιν υδατικής εκχύλισης χωρίς επεξεργασία ΠΗΠ (Barba et al., 2015)



Εικόνα 5 Ιστός από παντζάρι κατόπιν υδατικής εκχύλισης με προ- επεξεργασία με ΠΗΠ (Barba et al., 2015)

Όπως γίνεται αντιληπτό στις Εικόνες 3 και 4, τα κύτταρα που έχουν υποστεί επεξεργασία με ΠΗΠ έχουν πιο αχνό χρώμα (Εικόνα 5) καθώς έχουν κατεστραμμένες μεμβράνες και τα κενοτόπια έχουν χάσει τους χυμούς τους σε σχέση με το έντονο χρώμα των ακατέργαστων ιστών.

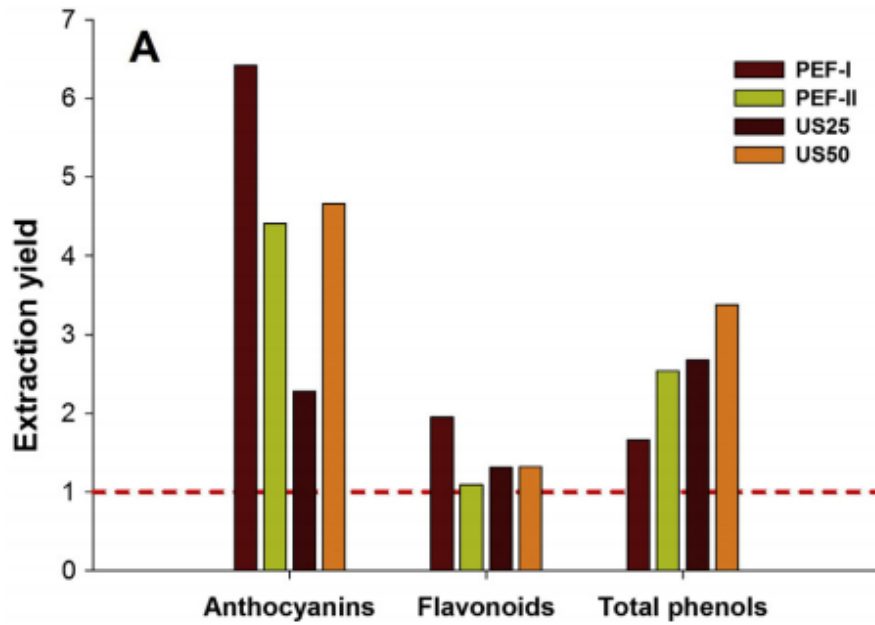
Ακολούθως, οι (Luengo et al. 2012) μελέτησαν την εκχύλιση πολυφαινολών και φλαβονοειδών (ναργινίνη και εσπεριδίνη) από τον **φλοιό πορτοκαλιού** και η απόδοση αυξήθηκε όσο αυξανόταν η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου από το 1 Kv/cm στα 7 kV/cm για 30 min εκχύλισης με πίεση 5 bar. Η απόδοση σε σχέση με το μη επεξεργασμένο δείγμα έφτασε στα 159% με συνδυασμό πίεσης στο δείγμα. Η απελευθέρωση πολυφαινολών στο εσωτερικό των κυττάρων ευνοήθηκε με την αύξηση της διαπερατότητας της μεμβράνης. Μελετήθηκαν τα παραπροϊόντα της βιομηχανίας **εξωτικών φρούτων όπως ο καρπός της παπάγια** (Parniakon et al., 2015), συμπεραίνοντας ότι ο συνδυασμός προεργασίας ΠΗΠ με υδατική εκχύλιση απέδωσε θετικά στην εκχύλιση ισοθειοκυανικών ενώσεων. Επίσης, η αύξηση θερμοκρασίας και το υψηλό όξινο ή βασικό pH είχε αρνητική επίδραση στην απόδοση. Στο ίδιο συμπέρασμα κατέληξε και η μελέτη που έγινε από τους (Parniakon et al.2014) για το **φλοιό της παπάγια**. Με συνδυαστική εκχύλιση με ΠΗΠ και υδατική εκχύλιση ακόμα και σε ουδέτερο pH αυξάνονται οι βιοδραστικές ενώσεις και δεν απαιτούνται επιπρόσθετα χημικές ενώσεις. Όμοια συμπεράσματα

υπήρξαν για το **φλοιό από φρούτα mango** (Parniakon et al.,2015)όπου τα εκχυλίσματα είναι πιο καθαρά σε σύγκριση με την υψηλή θερμοκρασία της υδατικής εκχύλισης.

Στον **Πίνακα 5** φαίνονται συγκριτικά η εκχύλιση βιοδραστικών συστατικών από φυτικά τρόφιμα με ΠΗΠ, με πεδία εκκένωσης υψηλού δυναμικού και με εκχύλιση με υπερήχους, συγκεκριμένα στα **βατόμουρα** (Barba et al., 2015). Οι μελέτες έδειξαν ότι είναι πλούσια στα βιοδραστικά συστατικά τα οποία βρίσκονται σε περίπλοκες δομές όπως τα κενοτόπια του φυτού ή στις διαστρωματικές πρωτεΐνες που δυσκολεύουν την εκχύλισή τους. Οι Lorenzo et al. (2017) σύγκριναν τη μέθοδο εκχύλισης πολυφαινολών με ΠΗΠ σε σχέση με την εκκένωση με ηλεκτρικά πεδία και τους υπερήχους. Τα ΠΗΠ έδωσαν 108 mg γαλλικού οξέος/100 g ολικών φαινολών, χαμηλότερη απόδοση σε σχέση με τα πεδία εκκένωσης δυναμικού (338 mg γαλλικού οξέος/100 g ολικών φαινολών), αλλά υψηλότερη απόδοση από υπερήχους (46,2 mg πολυφαινολών/100 g εκχυλίσματος). Συνδυαστικά με συμβατική εκχύλιση στη συνέχεια (5 h επιπλέον εκχύλισης με H₂O στους 50°C ή EtOH) η απόδοση των ανθοκυανινών ήταν η μέγιστη.

Σε επόμενη μελέτη (Medina-Meza & Barbosa-Cánovas, 2015) συγκρίθηκε η απόδοση των ανθοκυανινών, φλαβονοειδών και ασκορβικού οξέος από **φλοιούς δαμάσκημων** με εκχυλίσματα με ΠΗΠ, με υπερήχους και συμβατική εκχύλιση, όπου η απόδοση με ΠΗΠ βελτιώθηκε σε σχέση με τη συμβατική εκχύλιση στις φαινόλες, ενώ στο ασκορβικό οξύ η υδατική εκχύλιση έδωσε καλύτερη απόδοση σε σχέση με τα ΠΗΠ. Στο **Γράφημα 1** παρουσιάζεται η απόδοση βιοδραστικών

συστατικών (ανθοκυανίνες, φλαβονοειδή και ολικές φαινόλες) στην εκχύλιση με τη μέθοδο ΠΗΠ σε τέτοια δείγματα.



Γράφημα 1 Απόδοση ανθοκυανινών,φλαβονοειδών και ολικών φαινολικών σε φλούδες δαμάσκηνων (Medina-Meza & Barbosa-Cánonas, 2015)

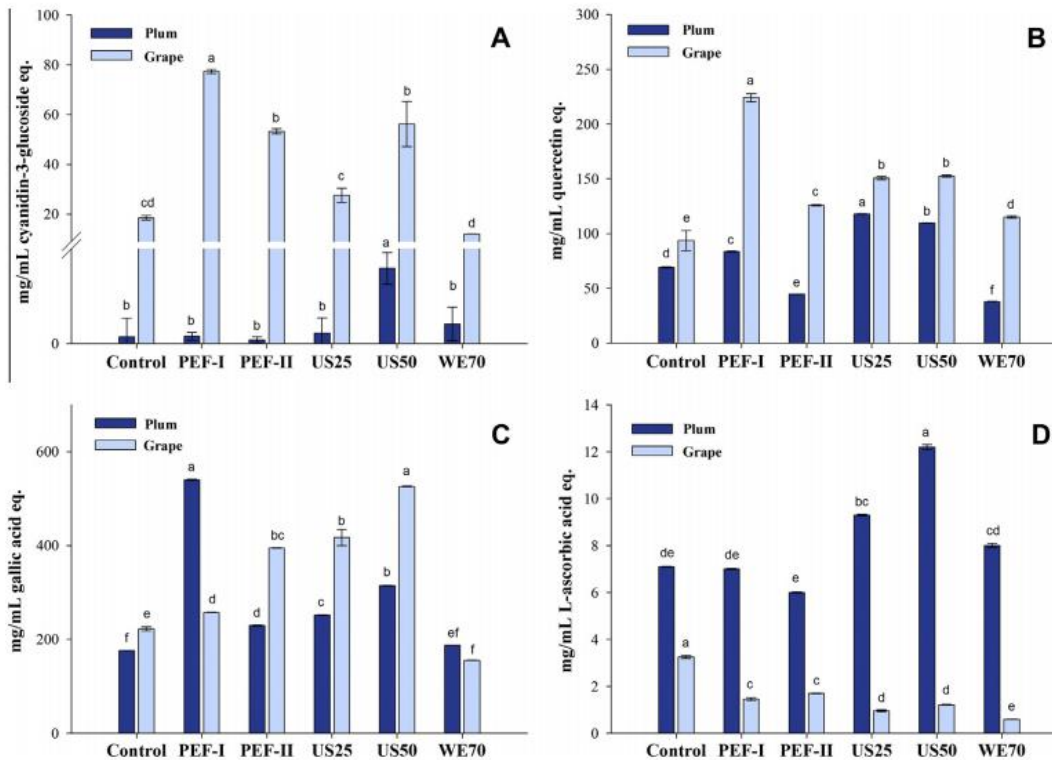


Fig. 1. Amounts of anthocyanins (A), flavonols (B), total phenols (C) and ascorbic acid (D) in plum and grape peels subjected to different extraction processes.

Γράφημα 2 Εκχύλιση βιοδραστικών συστατικών από φλοιούς δαμάσκηνων & σταφυλιών .Στο διάγραμμα Α) παρουσιάζονται οι ανθοκυανίνες ,στο διάγραμμα Β) τα φλαβονοειδή, στο Γ) οι ολικές φαινόλες και στο Δ) το ασκορβικό οξύ. Οι μέθοδοι εκχύλισης είναι η επεξεργασία με ΠΗΠ με δύο διαφορετικές διαμέτρους θαλάμων 25 mm και 7 mm (I & II), η επεξεργασία με υπερήχους (US) στους 25°C και 50°C καθώς και η συμβατική εκχύλιση στους 70°C για μία ώρα. (Medina-Meza & Barbosa-Cánovas, 2015)

Στα **Γραφήματα 2** φαίνεται η απόδοση εκχύλισης βιοδραστικών συστατικών από **φλοιούς δαμάσκηνων** (σκούρο μπλε χρώμα) και **σταφυλιών** (γαλάζιο χρώμα) που αναφέρθηκαν στους πιο πάνω πίνακες (**Πίνακας 5**). Συγκρίνοντας τις δύο μεθόδους ΠΗΠ για όλες τις βιοδραστικές ενώσεις που εκχυλίστηκαν (ανθοκυανίνες, φλαβονοειδή, ολικές φαινόλες και ασκορβικό οξύ), η συγκεκριμένη μελέτη έδειξε ότι η επεξεργασία με μεγαλύτερη διάμετρο θαλάμου οδήγησε σε υψηλότερα ποσοστά εκχύλισης και για τα δύο τρόφιμα, με εξαίρεση τις ολικές φαινόλες και το ασκορβικό οξύ. Σε σύγκριση με τη συμβατική εκχύλιση, η απόδοση σε βιοδραστικά συστατικά ήταν καλύτερη με τη μέθοδο ΠΗΠ και για τα δύο τρόφιμα, εκτός από την περίπτωση του ασκορβικού οξέος που εκχυλίστηκε σε μεγαλύτερο βαθμό σε υδατικό διάλυμα.

Στη συνέχεια, συγκρίνεται η απόδοση σε βιοδραστικά συστατικά από τη **σάρκα ροδάκινων** (Plazzotta et al., 2020) με την επεξεργασία ΠΗΠ και με τη συμβατική εκχύλιση. Τα αποτελέσματα είναι αντιπροσωπευτικά για τη μείωση του χρόνου επεξεργασίας με ΠΗΠ, καθώς η μέγιστη απόδοση για τη συμβατική εκχύλιση αποδόθηκε στα 40 min επεξεργασίας ενώ με ΠΗΠ χρειάστηκαν μόλις 16 μs. Στη συνέχεια μελετήθηκαν τα **φρέσκα τεμαχισμένα ροδάκινα** (Redondo et al., 2017) για την εκχύλιση πολυφαινόλων, φλαβονοειδών και αντιοξειδωτικών ενώσεων μειώνοντας τη χρήση μεθανόλης. Τα υψηλότερα ποσοστά βιοδραστικών συστατικών εκχυλίστηκαν χρησιμοποιώντας 80% μεθανόλη με συμβατική εκχύλιση και όχι ΠΗΠ. Η μεθανόλη συνδυασμένη με ΠΗΠ προκάλεσε αρνητική επίδραση στο βαθμό εκχύλισης. Παρόλα αυτά, χρησιμοποιώντας το νερό σαν διαλύτη αυξήθηκε το ποσοστό των βιοδραστικών συστατικών και των μεμονωμένων φαινόλων (χλωρογενικό, κουμαρικό και νεοχλωρογενικό οξύ). Επομένως, η υποβοηθούμενη με ΠΗΠ εκχύλιση των βιοδραστικών συστατικών από τεμαχισμένα ροδάκινα χρησιμοποιώντας ως διαλύτη το νερό είναι μια μέθοδος εκχύλισης εναλλακτική προς τη συμβατική, απαιτεί όμως ξηρά προϊόντα, μεγάλα ποσά οργανικών διαλυτών και μεγάλους χρόνους εκχύλισης. Σε μελέτη που έγινε στην επίδραση της τεχνολογίας ΠΗΠ **στα εσπεριδοειδή** από τους (Putnik et al., 2018) διαπιστώθηκε ότι η προεργασία αύξησε την απόδοση σε ναργινίνη και εσπεριδίνη. Η βελτίωση ήταν ανάλογη του χρόνου επεξεργασίας και της έντασης του πεδίου. Στη συνέχεια, σε μελέτη που έκαναν οι (Vincenzo Quagliariello et al., (2016) **σε καστανό ρύζι** διαπίστωσαν ότι η εκχύλιση με τη μέθοδο ΠΗΠ όχι μόνο αυξάνει την απόδοση αντιοξειδωτικών συστατικών (γ-ορυζανόλη, πολυφαινόλες και φαινολικά οξέα) αλλά επίσης αυξάνει την κυτταροτοξική επίδραση στα καρκινικά κύτταρα ενισχύοντας έτσι τη βιολογική δραστηριότητα.

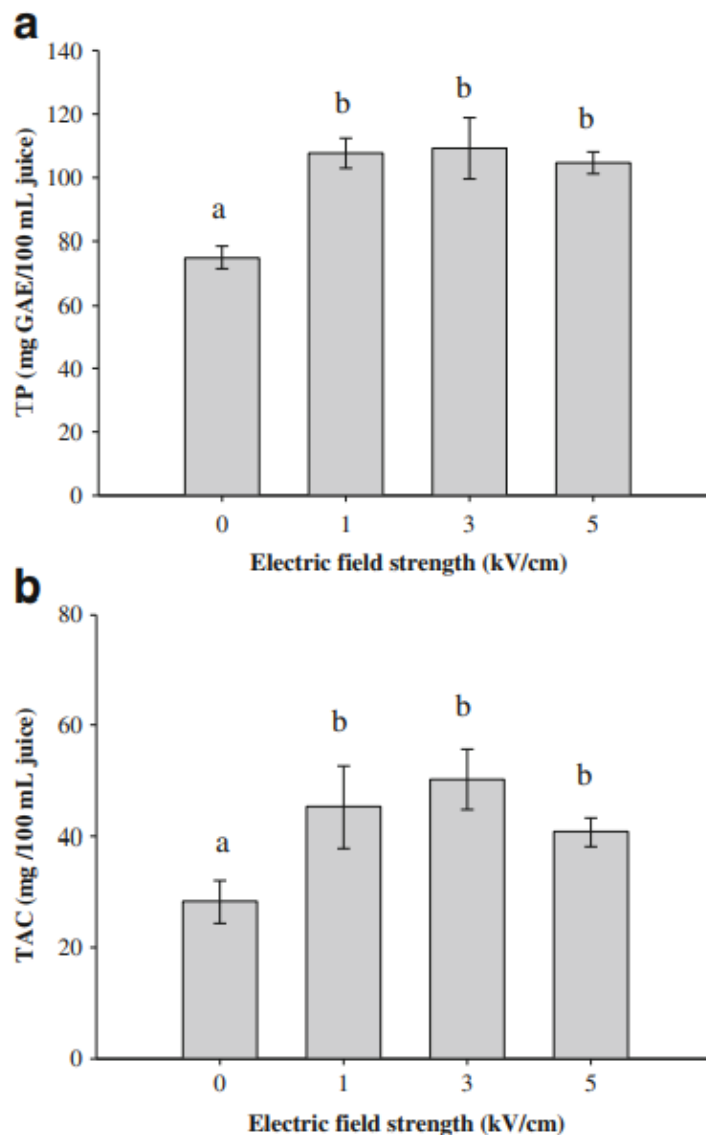
Καταληκτικά, στον [Πίνακα 6](#) που ακολουθεί, συγκρίνονται τα ΠΗΠ, οι υπέρηχοι και η συμβατική εκχύλιση ως μέθοδοι εκχύλισης βιοδραστικών ενώσεων από φυτικά τρόφιμα/καρπούς.

Πίνακας 6 Συγκριτικός πίνακας εκχύλισης βιοδραστικών συστατικών από φυτικά τρόφιμα/καρπούς

Προέλευση -Είδος φυτικού τροφίμου/καρπού	Συνθήκες επεξεργασίας		Βιοδραστικό συστατικό	Παρατήρηση	Απόδοση	Αναφορές
	Εκχύλιση με ΠΗΠ	Συμβατική Εκχύλιση				
Παραπροϊόντα επεξεργασίας ελιάς	Η διάταξη ΠΗΠ τοποθετήθηκε μετά το στάδιο της σύνθλιψης της ελιάς και πριν το στάδιο της ηρεμίας E= 2,5 kV/cm ειδική ενέργεια 3,4 kJ/Kg t _p =20 μs	✓	Ελαιόλαδο	Η διάταξη τόσο στην εκχύλιση με τα ΠΗΠ όσο και στη συμβατική ήταν η ίδια. Μοναδική διαφορά ήταν η επεξεργασία με ΠΗΠ	ΠΗΠ:Αύξηση της απόδοσης εκχύλισης ελαιολάδου 18,3 % w/w (Εκχυλίστηκαν 367,5 τόνοι ελαιολάδου από 2000 τόνους ελιών) Συμβατική μέθοδος εκχύλισης: Απόδοση 17,5% w/w (Εκχυλίστηκαν 350 τόνοι ελαιολάδου από την ίδια ποσότητα ελιών)	Ferreira et al., 2019
Επιδερμίδα και καρπός των μύρτιλων	<ul style="list-style-type: none"> E = 1 kV/cm E= 3 kV/cm E =5 kV/cm Ενέργεια=10 kJ/kg 	×	<ul style="list-style-type: none"> Ολικά φαινολικά συστατικά Ανθοκυανίνες 	Το εκχύλισμα των ανθοκυανινών από τα blueberries έχει πολλές κλινικές εφαρμογές στην οφθαλμιατρική και αγγειοπροστατευτική	<ul style="list-style-type: none"> 43% 60% Όσο αυξάνεται η ένταση του πεδίου αυξάνεται και η απόδοση Η μηχανική πίεση (1,32 bar για 8 min) αύξησε την εκχύλιση στο 28% 	Bobinaitè et al., 2015
Παραπροϊόν επεξεργασίας των μύρτιλων	E= 20 kV/cm, n= 10 παλμοί, Διαλύτης: 1:6 (60% αιθανόλη με 0.1% v/v HCl)	Εκχύλιση με υπερήχους	<ul style="list-style-type: none"> Πολυφαινόλες 		<ul style="list-style-type: none"> Η απόδοση της ανθοκυανίνης ήταν (223.13 mg/L) υψηλότερη σε σχέση με την εκχύλιση με υπερήχους 	Zhou et al.,2015

Άνθος καλαμποκιού	E=30 kV/cm t _{REF} = 6 μs αναλογία στερεού-υγρού: 1:50 (Water)	Εκχύλιση με ζεστό νερό και παραλαβή με μικροκύματα			Το ποσοστό εκχύλισης (7.31%) ήταν 1.95% και 1.13% υψηλότερα σε σχέση με αυτά που ανακτήθηκαν με μικροκύματα	Zhou et al., 2011b
Σκόνη καλαμποκιού	E = 30 kV/cm t _{ref} =6 μs Αναλογία υγρού/στερεός 50:1	×	Πολυσακχαρίτες		7%	Zhao et al., 2011
Ζυμός Μανιταριού που καλλιεργείται στο Θιβέτ	E = 40 kV/cm n=8 παλμοί pH=7	×	Εξωπολυσακχαρίτες	Η σημαντικότητα των παραμέτρων που επηρέασε την εκχύλιση είναι από το πιο σημαντικό στο λιγότερο σημαντικό: E > pH > αριθμός παλμών	84,3 %	Zhang et al., 2011

Στη μελέτη που έγινε από τους (Ferreira et al.,2019) αναλύθηκαν δύο παραγωγικές μονάδες. Στη μία που αφορά τα **παραπροϊόντα της ελιάς** η απόδοση εκχύλισης ελαιολάδου ήταν 18,3 w/w με ΠΗΠ σε σχέση με 17,5 w/w με τη συμβατική μέθοδο (Πίνακας 6). Η άλλη παραγωγική μονάδα αναλύεται παρακάτω στον (Πίνακα 8). Στο **παραπροϊόν επεξεργασίας των μύρτιλων** (Zhou et al., 2011 b), η εκχύλιση με ΠΗΠ έδωσε υψηλότερη απόδοση της ανθοκυανίνης σε σχέση με την εκχύλιση με υπερήχους. Σε επόμενο πείραμα (Bobinaité et al., 2015), σε ένταση ηλεκτρικού πεδίου $E=1,3,5$ kV/cm η απόδοση για τα ολικά φαινολικά συστατικά έφτασε στα 43,5 %, 45,5%, 39,4 % ενώ για ανθοκυανίνες 60,2 %, 77,5 %, 44,3%. Η απόδοση αυξήθηκε σε σχέση με το μη επεξεργασμένο δείγμα, δεν παρατηρήθηκε όμως αναλογικά αύξηση απόδοσης στη μέγιστη ένταση ηλεκτρικού πεδίου 5 kV/cm αλλά μείωση.



Γράφημα 3 Ολικά φαινολικά συστατικά (a) και ανθοκυανίνες (b) του χυμού των μύρτιλων κατόπιν επεξεργασίας με ΠΗΠ. Η πρώτη ράβδος αντιστοιχεί σε μη επεξεργασμένο δείγμα

Στα **Γραφήματα 3** φαίνεται η ανάκτηση των ολικών φαινολικών συστατικών (**1^ο γράφημα-a**) και των ανθοκυανινών (**2ο γράφημα-b**) από τον **χυμό των μύρτιλων** σε μη επεξεργασμένο δείγμα (1η ράβδος) και κατόπιν επεξεργασίας με ΠΗΠ με $E=1$ kV/cm , $E=3$ kV/cm, $E=5$ kV/cm (3η-5η ράβδος αντίστοιχα).Χωρίς την επεξεργασία ΠΗΠ τα ολικά φαινολικά συστατικά ήταν 75,0 mg/100 ml και το ολικό περιεχόμενο σε ανθοκυανίνες ήταν 28,3 mg/100 ml αντίστοιχα.

Οι (Zhang et al.,2011) μελέτησαν τέλος το ζωμό μανιταριού που καλλιεργείται στο Θηβέτ ως προς την εκχύλιση εξωπολυσακχαριτών και συμπέραναν ότι αυξήθηκε κατά 84% με εφαρμογή ηλεκτρικού πεδίου $E=40$ kV/cm, 8 παλμών και $pH=7$ σε σχέση με τα μη επεξεργασμένα δείγματα.

3.2.2 Παραπροϊόντα βιομηχανίας τροφίμων

Οι εφαρμογές της μεθόδου έχουν ευρέως μελετηθεί σε παραπροϊόντα βιομηχανίας τροφίμων όπως στην ανάκτηση ενώσεων από στέμφυλα, σπόρους (π.χ. σπόρους αραβοσίτου), φλοιούς (π.χ. φλοιούς σταφυλιών), πίτες από ελαιόσπορους κ.α. Μια ήπια επεξεργασία με παλμικά ηλεκτρικά πεδία (ΠΗΠ) απαιτεί χαμηλά ποσά ενέργειας και βελτιώνει την εκχυλιστικότητα των βιοδραστικών ουσιών από διάφορα τρόφιμα σχηματίζοντας νέες ενώσεις στους μεταβολικά ενεργούς ιστούς.

Εστιάζοντας στην εκχύλιση βιοδραστικών συστατικών και στην προκατεργασία με τη μέθοδο ΠΗΠ, συγκεντρώθηκαν στους παρακάτω πίνακες οι βασικές εφαρμογές της τεχνολογίας στα παραπροϊόντα βιομηχανίας τροφίμων συνοψίζοντας τις βασικές πειραματικές συνθήκες επεξεργασίας ανά περίπτωση. Τα δείγματα επεξεργασίας περιλαμβάνουν τα στέμφυλα (επιδερμίδα, καρπό, σάρκα, κουκούτσι, βλαστό και φλοιό), τα τμήματα κλιματιδίων, διάφορα είδη φύλλων, καρπών, φλοιών, σπόρων, περιβλημάτων φυτικών τροφίμων, παραπροϊόντα ζυθοποιίας, φλοιούς φρούτων, απόβλητα σοδειάς βιομηχανίας τροφίμων κ.α. Όλα τα παραπάνω είναι ιδιαίτερα πλούσια σε βιοδραστικά συστατικά και ως επί το πλείστον σε πολυφαινόλες (ανθουανίνες, κατεχίνες, φαινολικά οξέα, φλαβονοειδή) με αντιμικροβιακή, αντιοξειδωτική, αντιμυκητιακή, αντικαρκινική και αντική δράση. Εκτός από τις βιομηχανίες τροφίμων η μέθοδος εφαρμόζεται σε βιοδιυλιστήρια γεωργίας, υπολείμματα δασοπονίας, αγροδιατροφικά και δασικά απόβλητα (κορμούς, πριονίδια, φύλλα, φλοιούς δέντρων), αστικά απορρίματα κ.ο.κ.. Ακολούθως, γίνεται αναλυτική αναφορά στις συνθήκες επεξεργασίας για κάθε μελέτη μαζί με τα αποτελέσματα που τη συνοδεύουν. Στον [Πίνακα 7](#) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα εφαρμογής σε παραπροϊόντα βιομηχανίας οινοποίησης και στον [Πίνακα 8](#) γίνεται σύγκριση της απόδοσης πολυφαινολών με ΠΗΠ σε σχέση με άλλες μεθόδους εκχύλισης.

Πίνακας 7 Εφαρμογή των ΠΗΠ σε παραπροϊόντα βιομηχανίας οινοποίησης

Παραπροϊόντα βιομηχανίας οινοποίησης									
Είδος παραπροϊόντος βιομηχανίας οινοποίησης	ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΠΗΠ							Αποτελέσματα	Αναφορές
	E (ένταση ηλεκτρικού πεδίου),	n (αριθμός παλμών)	t _p (χρόνος παλμού)	Δt (χρόνος μεταξύ δύο παλμών)	N (αριθμός γραμμών παραγωγής)	Δt _i (χρόνος μεταξύ γραμμών παραγωγής)	T _{REF} (συνολικός χρόνος επεξεργασίας ΠΗΠ)		
Φλοιός σταφυλιού	30 kV/cm 60 kV/cm	9000 & 36.000		5 παλμοί /sec				f (συχνότητα παλμού)= 0,2 και 0,05 Hz • 16,7 % αύξηση απόδοσης πολυφαινολών	Takaki et al., 2012
Φλοιός σταφυλιού (ποικιλία <i>Vitis vinifera</i>)	Αύξηση από 5 -> 10 kV/cm				2 ms		f=1 Hz W=1,8-6,7 kJ/Kg (εισερχόμενη ενέργεια) Η εφαρμογή 20 παλμών των 7 kV/cm (3,9 kJ/Kg) αύξησε την απόδοση της σουκρόζης στους 20°C κατά 7 φορές και στους 40°C κατά 1,6 φορές σε σύγκριση με μη επεξεργασμένα δείγματα. Η απόδοση του ηλεκτρικού πεδίου ήταν μεγαλύτερη όσο μικρότερη ήταν η θερμοκρασία	Lopez et al., 2009	
Στέμφυλα	13,3 kV/cm		10 μs				f=0,5 Hz W=0-564 kJ/Kg (ενέργεια/παλμό) Χρησιμοποιήθηκαν υδατικά διαλύματα για την ανάκτηση ανθοκυανινών. Η απόδοση ανθοκυανινών/ολικών φαινολικών συστατικών ήταν 41,7% με προεργασία με ΠΗΠ σε σχέση με προεργασία εκχύλισης με υπερήχους (US) 34,9 % και εκκενώσεις υψηλού δυναμικού (HVED) 14,1%. Σε σχέση με τα δείγματα χωρίς προεργασία η ανάκτηση πολυφαινολών ήταν 3,4 φορές	Barba et al., 2015	

μεγαλύτερη στα δείγματα με προεργασία ΠΗΠ

Φλοιός Σταφυλιών (Ποικιλίες Syrah, Tempranillo, Grenache 1 & 2)	3 kV/cm		100 μs	Αύξηση ολικών πολυφαινολών σε σχέση με τα μη επεξεργασμένα δείγματα κατά 30,1%, 13,8% 19,1% και 33% αντίστοιχα για τις ποικιλίες που αναφέρονται	
Ποικιλία Grenache 1 & Syrah	5 kV/cm	5	20 μs	Αύξηση ολικού φαινολικού περιεχομένου κατά 40-45 %	Saldana et al., 2016
	5 kV/cm	1	100 μs	Αύξηση ολικού φαινολικού περιεχομένου κατά 60-70 %	
Grenache 2 & Tempranillo	5 kV/cm	1	100 μs	Αύξηση ολικού φαινολικού περιεχομένου κατά 46 % για την ποικιλία Grenache 2 και 25% για την Tempranillo	

Κουκούτσι σταφυλιού	8-20 kV/cm	2000		0-20 ms	F=0,33 Hz Υποβοηθούμενη εκχύλιση με μείγμα νερού - αιθανόλης στους 50°C, αύξηση της απόδοσης πολυφαινολών μετά από 60 min εφαρμογής. Η μέγιστη απόδοση ήταν 9 g/100 g GAE (ισοδύναμο γαλλικού οξέος).	Boussetta et al., 2011
	20 kV/cm	Max			Wp=0,37 J, W=5,2 J/Kg, θ=13 °C	Boussetta et al., 2013
	40 kV/cm	60.000			Wp=1,5 J, W=20,9 J/Kg, u=θ=25°C F=20 Hz Χαμηλή ενέργεια των 3-10 J Δεν παρατηρήθηκε καμία αλλαγή στη δομή των κουκουτσιών με την εφαρμογή του πεδίου. Η αποτελεσματικότητα της απόδοσης πολυφαινολών ήταν στο 50 % λόγω της απουσίας αιθανόλης στο διαλύτη	
Βλαστοί αμπελιού	13,3 kV/cm	0-1500	10 μs		T=50 °C Η ανάλυση με HPLC έδειξε ότι τα δείγματα με επεξεργασία ΠΗΠ και ενεργειακό περιεχόμενο W=762 kJ/kg απέδωσαν σε ολικές πολυφαινόλες 23 mg/g δείγματος, καιμφερόλη 0,156 mg/g δείγματος, επικατεχίνη 1,747 mg/g και ρεσβερατρόλη 0,032 mg/g. Οι τιμές αυτές είναι πολύ πιο υψηλές σε σχέση με τα ακατέργαστα δείγματα	Rajha et al., 2014
Γλεύκος- ποικιλία Alfalfa	1,25-2,5	200			F=1 Hz	Gachovska et al., 2009

kV/cm

$C=0,5-1,5 \mu\text{F}$

(χωρητικότητα πυκνωτή).

Για τα βέλτιστα αποτελέσματα απόδοσης εκχύλισης, η χωρητικότητα του πυκνωτή πρέπει να είναι στο $1 \mu\text{F}$ ή μεγαλύτερη. Οι λιγότεροι παλμοί αλλά υψηλότερης ενέργειας απαιτούνται για την κατανάλωση ελάχιστης ενέργειας με το μέγιστο όμως βαθμό διαπερατότητας της μεμβράνης

Πίνακας 8 Συγκριτικός πίνακας απόδοσης φλαβονοειδών, ανθοκυανινών, ολικών φαινολικών συστατικών και πολυφαινολών από τα στέμφυλα

Παραπροϊόν οينوποίησης	Συνθήκες επεξεργασίας		Βιοδραστικό συστατικό	Παρατήρηση	Απόδοση	Αναφορές
	Εκχύλιση με ΠΗΠ	Συμβατική Εκχύλιση				
Στέμφυλα	✓	Με διαλύτη EtOH 50% 20 ώρες στους 50-60 °C	Φλαβονοειδή, Ανθοκυανίνες, Ολικά φαινολικά συστατικά		Καλύτερη απόδοση με ΠΗΠ με μεγαλύτερο μέγεθος θαλάμου & περισσότερους παλμούς	Medina-Meza & Barbosa-Cánovas, 2015
					Καλύτερη απόδοση συμβατικής εκχύλισης σε σχέση με ΠΗΠ στους 50°C αντί για τους 70 °C των ΠΗΠ Μη ικανοποιητικά αποτελέσματα στους 25°C	
	Υπέρηχοι με υψηλότερη θερμοκρασία		Πολυφαινόλες	Οι θερμοκρασίες > 70°C μπορούν να προκαλέσουν ταχεία υποβάθμιση των ανθοκυανινών Η εκτεταμένη έκθεση σε αυξημένες θερμοκρασίες μπορεί να οδηγήσει σε υποβάθμιση των πολυφαινολών.	Χαμηλότερη απόδοση με συμβατική εκχύλιση σε σχέση με ΠΗΠ και υπερήχους	Putnik et al., 2018

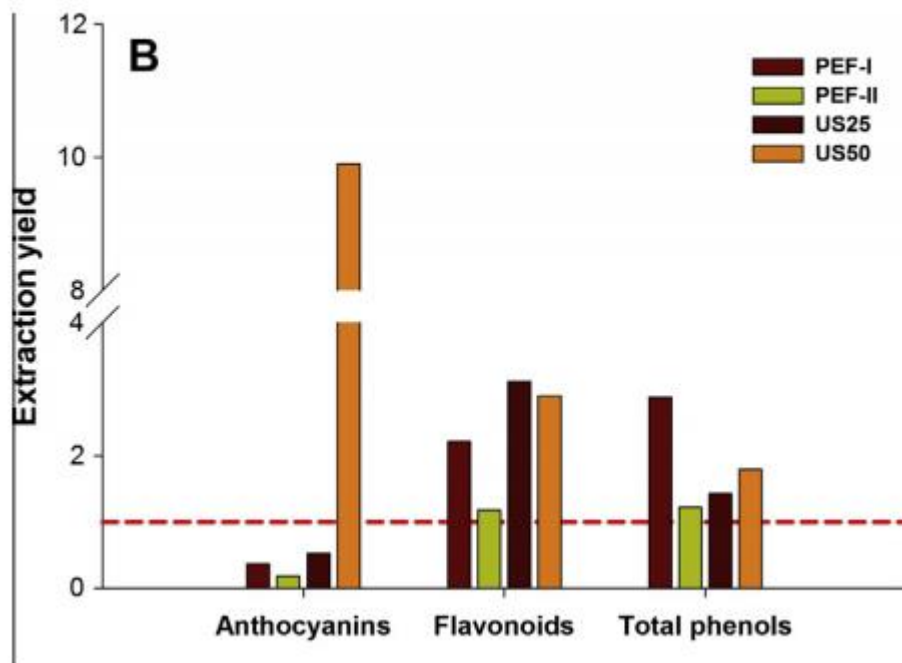
Παραπροϊόντα επεξεργασίας κρασιού (φλοιός σταφυλιού)	Θάλαμος επεξεργασίας με δύο μονάδες από ανοξείδωτο ατσάλι, συνδεδεμένες σε σειρά, επιφάνεια 100 cm ² και κενό 15 cm.	×	Πολυφαινόλες από το φλοιό των σταφυλιών	Ο χρόνος επαφής των στέμφυλων με το ζυμούμενο γλεύκος ήταν πολύ μικρός σε σχέση με οποιαδήποτε άλλη συμβατική μέθοδο εκχύλισης	Μείωση του χρόνου επεξεργασίας κατά 20% και αύξηση της απόδοσης πολυφαινολών σε βιομηχανικό επίπεδο	Ferreira et al., 2019
	Διάλυση-ζύμωση στους Θ=18°C, E= 6 kV/cm ενέργεια 8,3 kJ/Kg, t _p = 100 μs	✓	Πολυφαινόλες	Μειωμένος χρόνος διάλυσης πολυφαινολών για ΠΗΠ (από 5-10 ημέρες λιγότερο) σε σχέση με συμβατικές μεθόδους. Στη συμβατική μέθοδο εκχύλισης απαιτούνται 10 μέρες διάλυσης/ζύμωσης για εκχύλιση πολυφαινολών. Το ζυμούμενο γλεύκος με τα στέμφυλα βρίσκονται σε επαφή	10% εξοικονόμηση ενέργειας και αύξηση της παραγωγικότητας σε βιομηχανικό επίπεδο	

Οι πρόσφατες μελέτες που αναλύθηκαν παραπάνω επιβεβαιώνουν ότι η χρήση της επεξεργασίας με ΠΗΠ είναι η καταλληλότερη μέθοδος για εκχυλίσεις λόγω της ιδιότητας να απελευθερώνονται ενδοκυτταρικές ουσίες με χαμηλό ενεργειακό κόστος (Giacometti et al., 2018). Σύμφωνα με τα παραπάνω στοιχεία, σε πολλές μελέτες διερευνήθηκε η απόδοση πολυφαινολών με τη χρήση της μεθόδου σε **παραπροϊόντα βιομηχανίας οινοποίησης (Πίνακας 7)**, τα οποία είναι τα πρώτα παραπροϊόντα τροφίμων που μελετήθηκαν σε σχέση με την απόδοση με ΠΗΠ. Με την εκχύλιση ανακτώνται εκείνες οι ενώσεις που έχουν υψηλή διατροφική αξία ή μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πρόσθετα ή θρεπτικά στοιχεία (πολυφαινόλες και αντιοξειδωτικά), ενώ παραδοσιακά χρησιμοποιούνταν ως πηγή ινών και ενέργειας. Το βιοδραστικό συστατικό που έχει μελετηθεί αναλυτικά στα συγκεκριμένα παραπροϊόντα είναι οι ανθοκυανίνες (Puértolas & Barba, 2016). Στις μελέτες που έγιναν από τους (Boussetta et al., 2011; 2013) στα **κουκούτσια σταφυλιών**, η απόδοση ήταν μεγαλύτερη με υποβοηθούμενη εκχύλιση με μίγμα νερού-αιθανόλης στους 50°C κρατώντας χαμηλά την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου έως τα 20 kV/cm, σε σύγκριση με την απουσία διαλύτη που η απόδοση έπεσε στο 50 %. Η επεξεργασία **στο φλοιό του σταφυλιού** που μελετήθηκε από τους Lopez et al. (2009) σε $\theta=25^{\circ}\text{C}$ αύξησε την ένταση του χρώματος, τις ανθοκυανίνες και τις πολυφαινόλες με αλλαγή της έντασης του πεδίου από τα 5 kV/cm στα 10 kV/cm, ενώ σε άλλη μελέτη (Takaki et al., 2012) η απόδοση αυξήθηκε κατά 16,7 % και 84,2 % με αύξηση της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου από τα 30 kV/cm στα 60 kV/cm. Σε επόμενη μελέτη για τον **φλοιό του σταφυλιού** (Barba et al., 2015) η προκατεργασία με ΠΗΠ έδωσε αυξημένη απόδοση ανθοκυανινών 41,7 % σε σχέση με τα αντίστοιχα ποσοστά εκχύλισης με υπερήχους (34,9%) και με εκκενώσεις ηλεκτρικού πεδίου (14,1 %). Μελέτες για την ερυθρή οινοποίηση (El Darra et al., 2013) έδειξαν ότι η εκχύλιση πολυφαινολών είναι αποτελεσματικότερη σε χαμηλή ένταση ηλεκτρικού πεδίου με παλμούς μερικών ms με υψηλή όμως ειδική ενέργεια (50 kJ/Kg). Συμπληρωματικά, στη μελέτη που έγινε από τους Saldana et al. (2016) σε **στέμφυλα 4 ποικιλιών σταφυλιών κατά την ερυθρή οινοποίηση** διαπιστώθηκε ότι η καλύτερη απόδοση επιτεύχθηκε στη μεγαλύτερη ένταση πεδίου και με παλμούς μεγαλύτερης διάρκειας μικρότερους όμως σε αριθμό. Συγκεκριμένα, για τις ποικιλίες Syrah και Grenache 1 η απόδοση

σε πολυφαινόλες κατόπιν επεξεργασίας ΠΗΠ και διάλυσης σε διάλυμα αιθανόλης 30 % για 2 h ήταν υψηλότερη σε σχέση με την ποικιλία Grenache 2 και Tempranillo. Το ολικό φαινολικό περιεχόμενο αυξήθηκε μέχρι και 70 % για την ποικιλία Syrah σε σχέση με τα μη επεξεργασμένα δείγματα.

Σε επόμενες μελέτες **επεξεργασίας των στέμφυλων** η απόδοση ήταν καλύτερη σε φλαβονοειδή και ολικά φαινολικά συστατικά με μεγαλύτερο μέγεθος θαλάμου και περισσότερους παλμούς σε σχέση με τη συμβατική εκχύλιση και τους υπερήχους (Γράφημα 4).

I.G. Medina-Meza, G.V. Barbosa-Cánovas /Jo



Γράφημα 4 Απόδοση ανθοκυανινών, φλαβονοειδών και ολικών φαινολών σε φλούδες σταφυλιών (Medina-Meza & Barbosa-Cánovas, 2015)

Ομοίως για τους **βλαστούς της** αμπέλου (Rajha et al., 2014) η χρήση ΠΗΠ απέδωσε σε ολικές πολυφαινόλες 23 mg/g δείγματος, καμπφερόλη 0,156 mg/g δείγματος, επικατεχίνη 1,747 mg/g και ρεσβερατρόλη 0,032 mg/g. Οι τιμές αυτές είναι πολύ πιο υψηλές σε σχέση με τα ακατέργαστα δείγματα. Για το γλεύκος της ποικιλίας **Alfalfa** και την κατάρρευση της μεμβράνης, η εφαρμογή ΠΗΠ (Gachonska et al., 2009) δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα αυξάνοντας την ένταση του πεδίου στο 1,5 kV/cm, μειώνοντας έτσι την ενέργεια που εφαρμόζεται.

Σε επόμενες μελέτες (Medina-Meza & Barbosa-Cánovas, 2015; Putnik et al., 2018; Ferreira et al., 2019), συγκρίθηκε η απόδοση πολυφαινολών από τα στέμφυλα μέσω εκχύλισης με τα ΠΗΠ με τη συμβατική εκχύλιση και την εκχύλιση με υπερήχους. Τα αποτελέσματα αναφέρονται στον [Πίνακα 7](#). Η μελέτη που έγινε από τους Ferreira et al. (2019) στη δεύτερη παραγωγική μονάδα, αφορούσε **τα παραπροϊόντα επεξεργασίας κρασιού (στέμφυλα) (Πίνακας 8)** - η άλλη αφορούσε τα **παραπροϊόντα επεξεργασίας ελιάς** τα αποτελέσματα της οποίας αναλύθηκαν παραπάνω στον [Πίνακα 6](#). Στα **στέμφυλα**, η επεξεργασία με ΠΗΠ μείωσε κατά 20% το χρόνο επεξεργασίας καθώς η διάλυση των πολυφαινολών έγινε σε μικρότερο διάστημα 5-10 ημερών σε σχέση με τη συμβατική εκχύλιση. Η απόδοση σε πολυφαινόλες αυξήθηκε και εξοικονομήθηκε ενέργεια κατά 10 %. Σε άλλη μελέτη για την απόδοση πολυφαινολών από **τα στέμφυλα** (Medina-Meza & Barbosa-Cánovas, 2015), η συμβατική εκχύλιση στους 50 °C κρίθηκε ως προτιμότερη σε σχέση με τα ΠΗΠ στους 70 °C ενώ ίσως μία διάταξη με περισσότερους θαλάμους επεξεργασίας μπορεί να δώσει καλύτερα αποτελέσματα για τα ΠΗΠ. Επίσης για τις πολυφαινόλες σε άλλη μελέτη που έγινε (Ferreira et al., 2019) ο χρόνος επεξεργασίας μειώθηκε κατά 20 % και αυξήθηκε η απόδοση πολυφαινολών σε βιομηχανικό επίπεδο .

Στον [Πίνακα 9](#) παρουσιάζονται 3 έρευνες για παραπροϊόντα βιομηχανίας ζυθοποιίας.

Πίνακας 9 Εφαρμογή των ΠΗΠ σε παραπροϊόντα ζυθοποιίας

Είδος παραπροϊόντος ζυθοποιίας	ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΠΗΠ							Αποτελέσματα	Αναφορές
	E (ένταση ηλεκτρικού πεδίου),	n (αριθμός παλμών)	Tp (χρόνος παλμού)	Δt (χρόνος μεταξύ δύο παλμών)	N (αριθμός γραμμών παραγωγής)	Δtt (χρόνος μεταξύ γραμμών παραγωγής)	TPEF (συνολικός χρόνος επεξεργασίας ΠΗΠ)		
Παραπροϊόντα ζύθου -μαγιά	19.97 kV/cm	6						Αναλογία διαλύτη εκχύλισης υγρού-στερεού 30:1, η απόδοση τρεαλόζης έφτασε στο 2,635 %. Σε σύγκριση με την εκχύλιση με μικροκύματα και υπερήχους η απόδοση με ΠΗΠ ήταν 15,96 φορές υψηλότερη και 34,08 αντίστοιχα για ΠΗΠ σε σχέση με τις άλλες δύο	Jin et al. ,2011
	10-30 kV/cm	4-8						Εκχύλιση πρωτεΐνης, αναλογία εκχύλισης υγρού στερεού 30:1.έως 50:1. Απόδοση 2,788 % για τις βέλτιστες συνθήκες 10 kV/cm, 8 παλμοί, αναλογία εκχύλισης 40:1	Liu et al.,2012
Παραπροϊόντα υπολειμμάτων ζυθοποιίας (σκούρα & ανοιχτόχρωμα)	2,5 kV/cm	3000	20 μs			14,5 sec	F=50 Hz Η συγκέντρωση των ολικών ελεύθερων & δεσμευμένων φαινολικών συστατικών ήταν 1,7 και 2,7 φορές υψηλότερη σε σχέση με την εκχύλιση χωρίς προεργασία. Παρατηρήθηκε επίσης καλύτερη απόδοση στην εκχύλιση πρωτεϊνών σε σχέση με μη	Martin-Garcia et al., 2020	

επεξεργασμένα. Ακολούθησε υδατική εκχύλιση στους 55°C, στις 220 rpm για 16 ώρες

Σκούρα υπολείμματα: Απόδοση εκχύλισης d-γλυκόζης και σε ολικά ελεύθερα αμινοξέα: 5- 1,2mg/g σε ξηρή βάση. Συνολικά φαινολικά συστατικά: 3,97-4,88 mg/g πιο υψηλά σε σχέση με του σκούρου χρώματος

Ανοιχτού χρώματος υπολείμματα: απόδοση εκχύλισης της d-γλυκόζης και των ολικών ελεύθερων αμινοξέων 18,5- 33,3 και 21-25mg/g σε ξηρή βάση. Τα ολικά φαινολικά συστατικά ήταν 0,83 - 1,40 mg/g λιγότερα σε σχέση με τα σκούρου χρώματος.

Οι δύο έρευνες του [Πίνακα 9](#) αφορούν τη **μαγιά της μύρας (παραπροϊόν βιομηχανίας ζύθου)** (Jin et al., 2011; Liu et al., 2012) και έδειξαν ότι η απόδοση της τρεαλόζης ήταν περίπου 2,635 φορές υψηλότερη σε σχέση με επίδραση πεδίου 19,97 kV/cm και 6 παλμούς και αναλογία υγρού διαλύτη: στερεού 30:1. Συγκρινόμενη με την επεξεργασία με μικροκύματα και υπερήχους έδωσε πάλι καλύτερη απόδοση. Την επόμενη χρονιά (Liu et al., 2012), η μελέτη για την εκχύλιση πρωτεϊνών έδωσε λίγο μεγαλύτερη απόδοση (2,788 %), με μικρότερη ένταση πεδίου (10kV), αλλά περισσότερους παλμούς (8) σε σχέση με τις πολυφαινόλες. Η πιο πρόσφατη έρευνα (Martin-Garcia et al., 2020) αφορά τα **στερεά υπολείμματα ζυθοποιίας** που είναι ένα παραπροϊόν της βιομηχανίας ζυθοποιίας το οποίο λαμβάνεται σε αφθονία και αντιστοιχεί στο 85 % των συνολικών αποβλήτων της. Αυτά διαχωρίζονται σε σκούρα στερεά υπολείμματα ζυθοποιίας και σε ανοιχτόχρωμα. Στα σκούρα στερεά υπολείμματα ζυθοποιίας παρατηρήθηκε μεγαλύτερη απόδοση εκχύλισης σε d-γλυκόζη και σε ολικά ελεύθερα αμινοξέα (5-1,2mg/g σε ξηρή βάση) σε σχέση με τα ανοιχτού χρώματος. Τα συνολικά φαινολικά συστατικά είναι πιο υψηλά (3,97-4,88 mg/g), ενώ στα ανοιχτού χρώματος στερεά υπολείμματα παρατηρήθηκε καλύτερη απόδοση εκχύλισης της d-γλυκόζης και των ολικών ελεύθερων αμινοξέων (18,5-33,3 και 21-25mg/g σε ξηρή βάση) με αντίστοιχη απόδοση σε d-γλυκόζη. Η απόδοση ήταν καλύτερη σε άμυλο και πρωτεΐνη, ενώ τα συνολικά φαινολικά συστατικά ήταν 0,83-1,40 mg/g, λιγότερα δηλαδή σε σχέση με τα σκούρου χρώματος. Η επόμενη κατηγορία ([Πίνακας 10](#)) είναι τα παραπροϊόντα φυτικών τροφίμων (**φλοιός πορτοκαλιού, καρπός παπάγια, φλοιός παπάγια και φλοιός mango**). Από την μελέτη των (Luengo et al., 2012), η απόδοση σε πολυφαινόλες όπως η ναρινγκίνη και η εσπεριδίνη από τους φλοιούς πορτοκαλιού έφτασε στα 4,6 mg/100 g με επεξεργασία ΠΗΠ και E=5 kV/cm. Με αύξηση της έντασης στα 7 kV/cm και συνδυαστική εφαρμογή πίεσης για 30 min, η απόδοση αυξήθηκε στο 159 %. Ο καρπός της παπάγια έδωσε ισοθειοκυανικές ενώσεις, συνδυάζοντας συμβατική εκχύλιση στους 50 °C (Parniakon et al., 2015). Ίδιο αποτέλεσμα είχαμε και για τον φλοιό της παπάγια (Parniakon et al., 2014). Τα αποτελέσματα για τον φλοιό μάνγκο από τους (Parniakon et al., 2015) ήταν θεαματικά καθώς η απόδοση σε βιοδραστικά συστατικά έφτασε το 400 %.

Πίνακας 10 Εφαρμογή των ΠΗΠ σε παραπροϊόντα φυτικών τροφίμων

Παραπροϊόντα φυτικών τροφίμων									
Είδος παραπροϊόντος φυτικού τροφίμου	ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΠΗΠ							Αποτελέσματα	Αναφορές
	E (ένταση ηλεκτρικού πεδίου),	n=αριθμός παλμών	t _p =χρόνος παλμού	Δt=χρόνος μεταξύ δύο παλμών	N=αριθμός γραμμών παραγωγής	Δt _i =χρόνος μεταξύ γραμμών παραγωγής	T _{PEF} =συνολικός χρόνος επεξεργασίας ΠΗΠ		
Φλοιός πορτοκαλιού	1-7 kV/cm	5-50	3 μs					F=1 Hz W=0,06-3,77 KJ/kg P=5 bar Η απόδοση σε πολυφαινόλες όπως η ναρινγκίνη και εσπεριδίνη αυξήθηκε αντίστοιχα από τα 1 στα 3,1 mg/100 g δείγματος φλοιού πορτοκαλιών και από 1,3 στο 4,6 mg/100 g με επεξεργασία ΠΗΠ και E=5 kV/cm. Με συνδυασμό πίεσης έως και 30 min η απόδοση αυξήθηκε στο 159 % στη μέγιστη ένταση πεδίου στα 7 kV/cm.	Luengo et al., 2012
Καρπός παπάγια	13,3 kV/cm	1-2000	8,3 μs	2 s				Συμπληρωματική υδατική εκχύλιση στους 50°C, pH=7, 3 ώρες μετά τα ΠΗΠ έδωσε συνδυαστικά με τα ΠΗΠ καλύτερη απόδοση σε ισοθειοκυανικές ενώσεις	Parniakov et al., 2015
Φλοιός παπάγια	13,3 kV/cm	1-2000	10 μs	6,8 s				Συμπληρωματική υδατική εκχύλιση στους 50°C, pH=7, 3 ώρες μετά τα ΠΗΠ αποδίδει καλύτερα για τα	Parniakov et al., 2014

				εκχυλιζόμενα συστατικά	
Φλοιός Mango	13,3 kV/cm	1-2000	10 μs	Συμπληρωματική υδατική εκχύλιση στους 50°C, pH=7, 3 ώρες μετά τα ΠΗΠ. Αύξηση απόδοσης έως και 400 % σε σχέση με την υδατική εκχύλιση	Parniakon et al., 2015

Στον Πίνακα 11 που ακολουθεί εμφανίζονται τα αποτελέσματα της εφαρμογής ΠΗΠ σε εκχύλιση βιοδραστικών ενώσεων από τα παραπροϊόντα επεξεργασίας σπόρων.

Πίνακας 11 Εφαρμογή των ΠΗΠ σε παραπροϊόντα επεξεργασίας σπόρων

Παραπροϊόντα επεξεργασίας σπόρων										
ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΠΗΠ										
Είδος παραπροϊόντος σπόρων	E (ένταση ηλεκτρικού πεδίου),	n=αριθμός παλμών	t _p =χρόνος παλμού	Δt=χρόνος μεταξύ		N-αριθμός γραμμών παραγωγής	Δt _i =χρόνος μεταξύ γραμμών παραγωγής	T _{REF} =συνολικός χρόνος επεξεργασίας ΠΗΠ	Αποτελέσματα	Αναφορές
				δύο παλμών	μεταξύ					
Παραπροϊόν επεξεργασίας σπόρου σουσαμιού	13,3 kV/cm	0-700	10 μs					1-7 ms	Η απόδοση πολυφαινολών, λιγνάνων και πρωτεϊνών ήταν μεγαλύτερη σε χαμηλές θερμοκρασίες (20°C) με προεργασία με ΠΗΠ και εκκενώσεις υψηλού δυναμικού (ΕΥΔ) σε σχέση με τους 40 και 60 °C που δεν υπήρχε στατιστικά σημαντική διαφορά σε σχέση με τα μη επεξεργασμένα δείγματα.	Sarkis et al., 2015
Λιταρό παραπροϊόν επεξεργασίας σπόρων κάνναβης		900	20 μs					10 sec	Ενέργεια: 10 kJ,V=30V F=30Hz 10% αιθανόλη Μέγιστη απόδοση πολυφαινολών με μικρό χρόνο επεξεργασίας	Teh et al., 2014

Συγκεκριμένα, για το **παραπροϊόν επεξεργασίας σπόρων σουσαμιού**, η μελέτη από τους (Sarkis et al., 2015) έδειξε την πλούσια σύσταση σε λιγνάνες γλυκοζιτών, αντιοξειδωτικές υδρόφιλες ενώσεις οι οποίες δεν εκχυλίζονται με το λάδι του σουσαμιού. Η προεργασία της εκχύλισης με ΠΗΠ έδωσε αυξημένη απόδοση σε πολυφαινόλες, λιγνάνες και πρωτεΐνες από το συγκεκριμένο παραπροϊόν. Συγκεκριμένα, η βέλτιστη ενέργεια ήταν 83 KJ/Kg και οι διαλύτες με την καλύτερη απόδοση σε εκχύλισμα ήταν 10% αιθανόλη για τις πολυφαινόλες, 50% για τις λιγνάνες και η θερμοκρασία στους 60°C για τις πολυφαινόλες και 40°C για τις πρωτεΐνες, βιοδραστικά συστατικά που εκχυλίζονται τα πρώτα 20 min της διάχυσης. Σε χαμηλότερες θερμοκρασίες (20°C) η προεργασία με ΠΗΠ και εκκενώσεις υψηλού δυναμικού (ΕΥΔ) έδωσε συγκρίσιμα αποτελέσματα σε σχέση με τα μη επεξεργασμένα δείγματα, ενώ με αύξηση της θερμοκρασίας δεν υπήρχαν διαφορές. Προγενέστερη μελέτη (Teh et al., 2014), από τις λίγες που έχουν γίνει σε αυτό το παραπροϊόν, επικεντρώθηκε **στο παραπροϊόν επεξεργασίας σπόρων κάνναβης** και στην απόδοση πολυφαινολών με ΠΗΠ μέσα από 27 πειράματα που έγιναν. Η μεγαλύτερη απόδοση επιτεύχθηκε με το μικρότερο χρόνο επεξεργασίας (10 s), διάλυμα αιθανόλης 10% κρατώντας την ισχύ στα 30 V, η οποία μειωνόταν με αύξηση του χρόνου επεξεργασίας. Το διάλυμα αιθανόλης 10% που ήταν και το υψηλότερο που χρησιμοποιήθηκε, αύξησε την πολικότητα του διαλύτη βοηθώντας την κατάρρευση της κυτταρικής μεμβράνης. Στο **παραπροϊόν επεξεργασίας σπόρου σουσαμιού** (Sarkis et al., 2015), η προεργασία πριν την εκχύλιση με ΠΗΠ και εκκενώσεις υψηλού δυναμικού στους 40°C και τους 60°C δεν έδωσαν στατιστικά σημαντικές διαφορές σε πολυφαινόλες και λιγνάνες σε σχέση με μη επεξεργασμένα δείγματα.

Πίνακας 12 Εφαρμογή των ΠΗΠ σε παραπροϊόντα επεξεργασίας φυτικών τροφίμων/καρπών

Παραπροϊόντα επεξεργασίας φυτικών τροφίμων/καρπών

Είδος παραπροϊόντος φυτικού τροφίμου/καρπών	ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΠΗΠ						Αποτελέσματα	Αναφορές
	E (ένταση ηλεκτρικού πεδίου),	n=αριθμός παλμών	t _p =χρόνος παλμού	Δt=χρόνος μεταξύ δύο παλμών	N-αριθμός γραμμών παραγωγής	Δt _i =χρόνος μεταξύ γραμμών παραγωγής		
Φλοιός πατάτας	0,75 kV/cm	5 - 500	3 μs			600 μs	f=10 Hz Ακολούθησε εκχύλιση στερεάς-υγρής φάσης με μεθανόλη Απόδοση σε αλκακοειδή στεροειδών, αύξηση κατά 99,9 % σε σχέση με τα μη επεξεργασμένα δείγματα.	Hossain et al., 2014
Φλοιός Λιναρόσπορου	10-20 kV/cm	1000	10 μs			1-10 ms	f= 0,33 Hz Στις μέγιστες τιμές χρόνου επεξεργασίας και έντασης πεδίου επιτεύχθηκε μέχρι και 80% απόδοση πολυφαινολών.	Boussetta et al., 2014
Παραπροϊόντα επεξεργασίας ελιών - Πυρηνέλαιο (Olea europaea)	13,3 kV/cm	0-300	10 μs			0-3 ms	f=0,5 Hz Οι παλμοί που χρησιμοποιήθηκαν ήταν εκθετικά μειούμενοι. Η καθαρότητα των πολυφαινολών έφτασε στο 88% με προκατεργασία με ΠΗΠ ή αλλιώς 146 mg GAE/l (ισοδύναμα γαλλικού οξέος)	Roselló-Soto et al., 2014

Για τον **φλοιό της πατάτας**, παραπροϊόν το οποίο απορρίπτεται από τις βιομηχανίες και δεν μπορεί να αξιοποιηθεί ως φυσική ζωοτροφή από το περιβάλλον, έγινε μελέτη (Hossain et al., 2014) (**Πίνακας 12**) για την εκχύλιση στεροειδών με τη χρήση της μεθόδου σε συνδυασμό με εκχύλιση στερεής υγρής φάσης. Η εκχύλιση βελτιώθηκε και μειώθηκαν τόσο ο χρόνος επεξεργασίας όσο και η χρήση διαλύτη σε σχέση με τη συμβατική εκχύλιση. Συνδυαστικά, η επεξεργασία με ΠΗΠ και ΠΗΦ (Παλμικό Ηλεκτρικό Φως) δίνει πολύ καλύτερα αποτελέσματα. Συγκεκριμένα, η απόδοση σε σολανιδίνη (γλυκολακαλοειδές) ήταν 130,86 % μεγαλύτερη και σε ντεμισιδίνη (επίσης γλυκοαλκαλοειδές) 56,37% υψηλότερη σε σχέση με μη επεξεργασμένα δείγματα.

Οι Boussetta et al. (2014) μελέτησαν την επίδραση των ΠΗΠ στην ανάκτηση λειτουργικών συστατικών, όπως είναι οι τοκοφερόλες, οι πολυφαινόλες και οι φυτοστερόλες από τον **φλοιό του λιναρόσπορου** στο πλαίσιο των ερευνών που γίνονται για την επαναχρησιμοποίηση αγροτικών αποβλήτων, μετατρέποντάς τα σε συστατικά τροφίμων, βιοκαύσιμα και σε άλλες εφαρμογές. Με επεξεργασία 10 ms οι ολικές πολυφαινόλες ήταν 2,7 φορές περισσότερες σε σχέση με το μη επεξεργασμένο δείγμα. Η εφαρμογή έντασης πεδίου στα 20 kV/cm για 20 min απέδωσε 4 φορές υψηλότερο ποσοστό πολυφαινολών σε σχέση με το πρότυπο δείγμα χωρίς ανάμειξη και χωρίς επίδραση ηλεκτρικού πεδίου. Με μείωση της έντασης του πεδίου υπήρξε και μείωση της απόδοσης πολυφαινολών. Οι βέλτιστες συνθήκες απόδοσης πολυφαινολών ήταν η διάλυση των λιναρόσπορων για 40 min με ακόλουθη επεξεργασία με ΠΗΠ με ενέργεια 300 kJ/Kg σε ένταση 20 kv/cm και συνακόλουθη εκχύλιση με 20% αιθανόλη και 0,3 mol/lit NaOH. Οι (Roselló-Soto et al., 2014) μελέτησαν το **πυρηνέλαιο-συμπαγές παραπροϊόν επεξεργασίας της ελιάς**-για την απόδοση φαινολικών ενώσεων ύστερα από εφαρμογή ΠΗΠ σαν προκατεργασία για την εκχύλιση. Δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές για αντιοξειδωτικές ουσίες όπως τα καροτενοειδή και η χλωροφύλλη σε σχέση με το ακατέργαστο δείγμα. Τα αποτελέσματα για τις πολυφαινόλες ήταν αντίστοιχα με αυτά της επεξεργασίας των βλαστών του αμπελιού.

Στον Πίνακα που ακολουθεί (**Πίνακας 13**) παρατίθενται η απόδοση σε βιοδραστικά συστατικά μέσω εκχύλισης με ΠΗΠ **για την πάπρικα, τη γαρίδα και**

τα οστά ψαριών (μπαχαρικά και λοιπά παραπροϊόντα τροφίμων) σε σχέση με τις συμβατικές μεθόδους. Η μέγιστη δυνατή απόδοση ήταν από τη γαρίδα (Barba et al., 2015) όπου με ΠΗΠ έφτασε στο 92,3 % στην παραλαβή της χιτοζίνης. Η ίδια ομάδα μελέτησε επίσης και δείγματα πάπρικας όπου ο συνδυασμός προεπεξεργασίας με ενζυματική εκχύλιση και ΠΗΠ έδωσε απόδοση μέχρι και 60 % σε β καροτένιο.

Πίνακας 13 Συγκριτικός πίνακας εκχύλισης βιοδραστικών συστατικών από μπαχαρικά και λοιπά παραπροϊόντα βιομηχανίας τροφίμων

Μπαχαρικά-λοιπά παραπροϊόντα τροφίμων						
Προέλευση -Είδος ΛΟΙΠΑ ΠΑΡΑΠΡΟΪΟΝΤΑ ΒΙΟΜ.ΤΡΟΦΙΜΩΝ	Συνθήκες επεξεργασίας		Βιοδραστικό συστατικό	Παρατήρηση	Απόδοση	Αναφορές
	Εκχύλιση με ΠΗΠ	Συμβατική Εκχύλιση				
Πάπρικα	E = 1,7 kV/cm	x	----	Ίδια απόδοση και με τις δύο μεθόδους εκχύλισης	9 % -10 %	Barba et al., 2015
	Ενζυμική εκχύλιση E = 1,7 kV/cm		----			
	E = 1,7 kV/cm	x	B-καροτένιο	60 %		
	Ενζυμική εκχύλιση E = 1,7 kV/cm			44 %		
Γαρίδα	E = 20,5 kV/cm	✓	Χιτοσίνη	92,32 % η μέγιστη δυνατή απόδοση σε σχέση με συμβατικές μεθόδους εκχύλισης		
Οστά ψαριών	E = 25 kV/cm	Εκχύλιση με υπερήχους	Ασβέστιο	Μέγιστη απόδοση 84,2 % σε σχέση με την κλασική απόδοση με υπερήχους		

Κεφάλαιο 4: Αποτελέσματα - Συζήτηση

Η επεξεργασία με Παλμικά Ηλεκτρικά Πεδία για όλα τα βιοδραστικά συστατικά που εκχυλίστηκαν στα πειράματα που αναφέρονται στις προηγούμενες ενότητες έδωσε ίση ή και καλύτερη απόδοση σε χρόνο μερικών μς σε σχέση με το χρόνο εκχύλισης με τις συμβατικές μεθόδους. Είναι πολύ σημαντικό να τονιστεί ότι η απόδοση αυτή είναι σε συνδυασμό με τις χαμηλές θερμοκρασίες επεξεργασίας που είναι μη καταστροφικές για τα δείγματα και τους ιστούς.

Συγκεκριμένα, συνοψίζουμε στα παρακάτω συμπεράσματα ανά κατηγορία τροφίμου/παραπροϊόντος.

Στην εκχύλιση βιοδραστικών συστατικών από τα φυτά παρατηρήθηκαν τα εξής:

- Σε χαμηλές θερμοκρασίες (30-40°C) (σε κάποιες περιπτώσεις ακόμα και 10°C) η απόδοση σε πολυφαινόλες, ανθοκυανίνες, ελαγικό οξύ κλπ ήταν ακόμα και 10 φορές μεγαλύτερη σε σχέση με τα μη επεξεργασμένα δείγματα. Σε κάποιες άλλες περιπτώσεις (πχ. ελαιοκράμβη) έπαιξε ρόλο και η ωριμότητα του δείγματος
- Σε φυτά όπως ο δυόσμος, τα ΠΗΠ είχαν επίδραση ακόμα και στις οργανοληπτικές ιδιότητες του δείγματος (ενίσχυση χρώματος και αρώματος)
- Σε υψηλές θερμοκρασίες ($\theta=80^{\circ}\text{C}$) στα δείγματα παντζαριού, η βεταλαΐνη καταστράφηκε, ενώ σε σχετικά χαμηλή ένταση πεδίου και $\theta=30^{\circ}\text{C}$ η απόδοση έφτασε μέχρι το 95%
- Σε νωπά ροδάκινα, τα ΠΗΠ συνδυαζόμενα με διαλύτη την αιθανόλη έδωσαν αρνητική επίδραση στο βαθμό εκχύλισης ενώ με διαλύτη το νερό είχαμε βελτίωση
- Άλλοι παράγοντες που επηρέασαν την απόδοση βιοδραστικών συστατικών από φυτικά τρόφιμα και καρπούς είναι ο συνδυασμός μηχανικής πίεσης στο δείγμα και η αύξηση της έντασης του πεδίου. Η

μέθοδος υπερτερεί σε σχέση με την ανάκτηση βιοδραστικών συστατικών με υπερήχους και μικροκύματα

- Στην εκχύλιση βιοδραστικών συστατικών από παραπροϊόντα φυτικών τροφίμων η απόδοση έφτασε έως και το 159% όταν τα ΠΗΠ συνδυάστηκαν με πίεση ή με συμπληρωματική υδατική εκχύλιση
- Η απόδοση εκχύλισης στα παραπροϊόντα οινοποίησης αυξήθηκε σε όλες τις περιπτώσεις σε σύγκριση με τη συμβατική εκχύλιση και τα δείγματα που δεν έχουν υποστεί οποιοδήποτε είδους επεξεργασία
- Οι ευνοικότερες συνθήκες εκχυλισης ήταν σε χαμηλές θερμοκρασίες κάτω των 50°C (25-50 °C)
- Για τα στέμφυλα, η εκχύλιση με ΠΗΠ υπερτερεί από 10 έως 30% σε σχέση με την εκχύλιση με υπερήχους και εκχύλιση με Εκκενώσεις Πεδίου Υψηλού Δυναμικού
- Όσο υψηλότερη είναι η ενέργεια του συστήματος και λιγότεροι οι παλμοί, τόσο αυξάνεται η διαπερατότητα της μεμβράνης των κυττάρων
- Σε κάποιες περιπτώσεις μέτριων θερμοκρασιών (50°C) η συμβατική εκχύλιση υπερτερεί στα στέμφυλα
- Ο χρόνος επεξεργασίας μειώνεται σε όλες τις περιπτώσεις σε σχέση με τη συμβατική εκχύλιση
- Για τα παραπροϊόντα ζυθοποιίας η κατανάλωση διαλύτη έφτασε σε αναλογία 50:1, συνθήκη που καθιστά τη μέθοδο οικονομικότερη σε σχέση με τη συμβατική εκχύλιση
- Η απόδοση πολυφαινόλων, λιγνανών και πρωτεϊνών ήταν μεγαλύτερη σε θερμοκρασίες έως 20°C γεγονός που ενισχύει την οικολογική διάσταση της μεθόδου
- Στα παραπροϊόντα καρπών, μπαχαρικά και λοιπά παραπροϊόντα η απόδοση σε αλκαλοειδή και πολυφαινόλες έφτασε έως και το 99,9% σε

σχέση με τη συμβατική εκχύλιση αλλά και με τους υπερήχους

Η τεχνολογία ΠΗΠ μπορεί να δώσει πολύ καλά αποτελέσματα στην εκχύλιση βιοδραστικών συστατικών εφόσον συνδυαστεί και με άλλες μεθόδους, όπως εκκένωση υψηλού δυναμικού με πλάσμα, μικροκύματα ή υπερήχους και εν συνεχεία υποβοηθούμενη εκχύλιση. Με τους παραπάνω συνδυασμούς ανακτώνται αρχικά ευαίσθητες ενώσεις και στη συνέχεια οι πιο ανθεκτικές (Barba et al., 2015).

Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα και υποδείξεις για περαιτέρω έρευνα

Η τεχνολογία επεξεργασίας και εκχύλισης βιοδραστικών συστατικών με τα Παλμικά Ηλεκτρικά Πεδία συνέβαλε στην ανάπτυξη ενεργειακά αποδοτικότερων μεθόδων φιλικών προς το περιβάλλον. Η συγκεκριμένη τεχνολογία συνδυαζόμενη με ή χωρίς συμπληρωματικές υδατικές εκχυλίσεις ή με τη χρήση οικολογικών διαλυτών (EtOH/DMSO) καθίσταται ένα χρήσιμο εργαλείο για την ανάκτηση πολύτιμων ουσιών διαφορετικής προέλευσης, μειώνοντας τη θερμοκρασία και το χρόνο εκχύλισης όπως και την κατανάλωση διαλύτη και ενέργειας, αυξάνοντας έτσι την αποτελεσματικότητά της τη σχετιζόμενη με οικονομικά κριτήρια. Έχουν μελετηθεί αρκετές διαφορετικές τεχνικές και αποδεικνύεται ότι οι μέθοδοι αυτές πλεονεκτούν στη λήψη υψηλότερης ποιότητας εκχυλισμάτων φυτών σε σύντομο χρονικό διάστημα.

Είναι μία πολλά υποσχόμενη μέθοδος εκχύλισης που θα μπορούσε να αντικαταστήσει τις συμβατικές μεθόδους. Ωστόσο, στην περίπτωση που εφαρμόζεται με νερό δεν έχει περιθώρια εξέλιξης γιατί δεν μπορούν να διαχωριστούν οι υδατοδιαλυτές ενώσεις χωρίς σύστημα διαχωρισμού και καθαρότητας. Επιπρόσθετα, απαιτείται αρκετά μεγάλη ισχύς για να επιτευχθεί η διαπερατότητα των μεμβρανών. Συνδυαστικά με τη συμβατική εκχύλιση (με παρόμοιας πολικότητας διαλύτες με τις ενώσεις), η επεξεργασία με την μέθοδο ΠΗΠ δίνει καλύτερα αποτελέσματα στην αύξηση της διαπερατότητας της κυτταρικής μεμβράνης. Επειδή όμως και αυτός ο συνδυασμός παρουσιάζει μειονεκτήματα (μόλυνση και οργανικά υπολλείματα), προτείνεται να μελετηθεί ο συνδυασμός προεργασίας ΠΗΠ με υποβοηθούμενη ενζυμική εκχύλιση.

Ο συνδυασμός μη θερμικών μεθόδων επεξεργασίας είναι απαραίτητος για τη λήψη βιώσιμων εκχυλισμάτων βιοδραστικών συστατικών από φυτά/φυτικά τρόφιμα και από παραπροϊόντα βιομηχανίας τροφίμων. Απαιτείται λοιπόν περαιτέρω έρευνα που θα οδηγήσει σε οικολογικές και περιβαλλοντικά φιλικές μεθόδους για την εκχύλιση βιοδραστικών συστατικών. Παρά τις διαφωνίες που υπάρχουν ως προς τον κοστοβόρο βιομηχανικό εξοπλισμό που απαιτείται προσβλέποντας σε καλύτερες λύσεις, οι πηγές αυτές μαζί με τα παραπροϊόντα

βιομηχανίας τροφίμων αποτελούν τις πρώτες ύλες που θα δώσουν θρεπτικά, οικονομικά, οικολογικά λειτουργικά τρόφιμα.

Βιβλιογραφία-Αναφορές

- Abbas, Q., Syed, Ubaid, U., & Anum. (2017). Pulsed electric field technology in food preservation: a review. *Journal Of Nutritional Health & Food Engineering*, Volume 6-Issue 6.
- Anagnostopoulou, Kefalas, Papageorgiou, Assimopoulou, & Boskou. (2006). Radical Scavenging Activity of Various Extracts and Fractions of Sweet Orange Peel (*Citrus sinensis*). *Food Chemistry*, Volume 94,p.19-25.
- Anticona, M., Blesa, J., Lopez-Malo, D., Frigola, A., & Esteve, M. (2021). Effects of ultrasound-assisted extraction on physicochemical properties, bioactive compounds, and antioxidant capacity for the valorization of hybrid Mandarin peels. *Food Bioscience*, volume 42,p.101185.
- Arshad, R., Abdul-Malek, Z., Munir, A., Buntat, Z., Ahmad, M., Jusoh, Y., . . . Aadil, M. (2020). Electrical Systems for pulsed electric field applications in the food industry: An engineering perspective. *Trends in food science and technology*, volume 87,p.1-13.
- Astrain-Redin, L., Raso, J., Cebrian , G., & Alvarez, I. (2019, 12 1). <https://www.nature.com/>. Retrieved 12 1, 2019, from <https://www.nature.com/>: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85074621968&origin=inward>
- Bai , Y., Li, C., Zhao, J., Zheng, P., Li, Y., Pan, Y., & Wang, Y. (2013). A High Yield Method of Extracting Alkaloid from *Aconitum coreanum* by Pulsed Electric Field. *Chromatographia*, volume 76,p.635-642.
- Bansal , V., Sharma, A., Ghanshyam , C., & Singla, M. (2014). Optimization and characterization of pulsed electric field parameters for extraction of quercetin and ellagic acid in *emblica officinalis* juice. *Food Measure*, volume 8,p.225-233.
- Barba, F., Brianceau, S., Turk, M., Boussetta, N., & Vorobiev, E. (2015). Effect of Alternative Physical Treatments (Ultrasounds, Pulsed Electric Fields, and High-Voltage Electrical Discharges) on Selective Recovery of Bio-compounds from Fermented Grape Pomace . *Food and Bioprocess Technology*, volume 8,p.1139-1148.
- Barba, F., Galanakis, C., Esteve, M., Frigola, A., & Vorobiev, E. (2015). Potential use of pulsed electric technologies and ultrasounds to improve the recovery of high-added value compounds from blackberries. *Journal of food Engineering*, volume 167,p.38-44.
- Barba, F., Grimi, N., & Vorobiev, E. (2014). Evaluating the potential of cell disruption technologies for green selective extraction of antioxidant compounds from *Stevia rebaudiana* Bertoni leaves. *Journal of Food Engineering*, Volume 149, P. 222-228.
- Barba, F., Parniakov, O., Pereira, S., Grimi, N., Boussetta, N., Saraiva, J., . . . Vorobiev, E. (2020). Pulsed Electric Fields to Obtain Healthier and Sustainable food for tomorrow. In *Pulsed Electric Fields to Obtain Healthier and Sustainable food for tomorrow* (p. 3). United Kingdom: Academic Press.
- Barba, F., Parniakov, O., Pereira, S., Wiktor, A., Grimi, N., Boussetta, N., . . . Vorobiev, E. (2015). Current applications and new opportunities for the use of pulsed electric fields in food science and industry. *Food Research International*, volume 77,p.773-798.
- Barba, F., Zhu, Z., Koubaa, M., Sant'Ana, A., & Orlie, V. (2016). Green alternative methods for the extraction of antioxidant bioactive compounds from winery wastes and by-products: A review. *Trends in food science and technology*, volume 49,p.96-109.
- Bekhit, A.-D., Van de Ven, R., Suwandy, V., Fahri , F., & Hopkins, D. (2014). Effect of Pulsed Electric Field Treatment on Cold-Boned Muscles of Different Potential Tenderness. *Food and Bioprocess Technology*, volume 7,p.3136-3146.
- Bibha Kumaria, d. B. (2019). Impact of pulsed electric field pre-treatment on nutritional and

- polyphenolic contents and bioactives of light and dark brewer's spent grains. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, volume 54,p.200-210.
- Bobinaitè, R., Pataro, G., Lamanuskas, N., Šatkauskas, S., Viškelis, P., & Ferrari, G. (2015). Application of pulsed electric field in the production of juice and extraction of bioactive compounds from blueberry fruits and their by-products. *Journal of Food Science and Technology*, volume 52,p.5898-5905.
- Bot, F., Verkerk, R., Mastwijk, H., Anese, M., Fogliano, V., & Capuano, E. (2018). The effect of pulsed electric fields on carotenoids bioaccessibility: The role of tomato matrix . *Food Chemistry* , volume 240,p.415-421.
- Boussetta, N., Lesaint, O., & Vorobiev, E. (2013). A study of mechanisms involved during the extraction of polyphenols from grapeseeds by pulsed electrical discharges. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, volume 19,p.124-132.
- Boussetta, N., Soichi, E., Lanoisellé, J.-L., & Vorobiev, E. (2014). Valorization of oilseed residues: Extraction of polyphenols from flaxseed hulls by pulsed electric fields. *Industrial Crops and Products*, volume 52,p.347-353.
- Boussetta, N., Vorobiev, E., Le, L., Cordin-Falcimaigne, A., & Lanoisellé, J.-L. (2011). Application of electrical treatments in alcoholic solvent for polyphenols extraction from grape seeds. *LWT - Food Science and Technology*, volume 46, p.127-134.
- Buckow, R., Ng, S., & Toepfl, S. (2013). Pulsed Electric Field Processing of Orange Juice:A Review on Microbial, Enzymatic, Nutritional, and Sensory Quality and Stability . *Comprehensive Reviews In Food Science and food safety*, pp. volume 12,p.455-467.
- Cholet, C., Delsart, C., Petrel, M., Gontier, E., Grimi, N., L'Hyvernay, A., & Gény, L. (2014). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Volume 62,p.2925-2934.
- Craft, B., Kerrihard, A., Amarowicz, R., & Pegg, R. (2012). Phenol-Based Antioxidants and the In Vitro Methods Used for Their Assessment. *Comprehensive reviews in Food Science and Food Safety*, volume 11,p.148-173.
- Dara, E., Maroun, N., Louka, R., & Vorobiev, N. (2013). Pulsed Electric Field Ultrasound and thermal pretreatments for better Phenolic Extraction during red fermentation. *European Food Research & Technology*, volume 236,p.47-56.
- Darra, N., Turk, M., Ducasse, M.-A., Grimi, N., Maroun, R., Louka, N., & Vorobiev, E. (2016). Changes in polyphenol profiles and color composition of freshly fermented model wine due to pulsed electric field, enzymes and thermal vinification pretreatments . *Food Chemistry*, volume 194,p.944-950.
- Fernandez-Diaz, M., Barsotti, L., Dumay, E., & Cheftel, J. (2000). Effects of pulsed electric fields on ovalbumin solutions and dialyzed egg white. *Agric Food Chemistry*, volume 48,p.2332–2339.
- Ferreira, V., Arnal, A., Royo, P., García-Armingol, T., Lopez-Sabiron, A., & Ferreira, G. (2019). Energy and resource efficiency of electroporation-assisted extraction as an emerging technology towards a sustainable bio-economy in the agri-food sector. *Journal of Cleaner Production*, volume 233,p.1123-1132.
- Fincan, M. (2015). Extractability of phenolics from spearmint treated with pulsed electric field. *Journal of Food Engineering*, Volume 162,p. 31-37.
- Gachovska, T., Adedeji, A., & Ngadi, M. (2009). Influence of pulsed electric field energy on the damage degree in alfalfa tissue . *Journal of Food Engineering*, volume 95,p.558-563.
- Gagneten, M., Salvatori, D., Schebor, C., & Olaiz, D. (2019). Optimization of pulsed electric field treatment for the extraction of bioactive compounds from blackcurrant. *Food and Bioprocess Technology*, volume 12,p.1102-1109.
- Giacometti, J., Bursać Kovačević, D., Putnik, P., Gabrić, D., Bilušić, T., Krešić, G., . . . Režek Jambrak, A. (2018). Extraction of bioactive compounds and essential oils from mediterranean herbs by conventional and green innovative techniques: A review. *Food Research International*, volume 113,p.245-262.
- Guderjan, Topfl, Angerbach, & Knorr. (2005). Impact of pulsed electric field treatment on the

- recovery and quality of plant oils. *Journal of Food Engineering*, volume 67,p.281–287.
- Guerrero-Beltrán, J., & Welte-Chanes, J. (2016). Pulsed Electric Fields. In *Encyclopedia of food & Health*.
- Han, S.-F., Jin, W., Yang, Q., Abomohra, A.-F., Zhou, X., Tu, R., . . . Wang, Q. (2019). Application of pulse electricfield pretreatment for enhancing lipid extraction from *Chlorella pyrenoidosa* grown in waste water. *Renewable Energy*, volume 133,p.233-239.
- Heinz, Alvarez, Angersbach, & Knorr. (2001).
- Hossain, M., Aguiló-Aguayo, I., Lyng, J., Brunton, N., & Rai, D. (2014). Effect of pulsed electric field and pulsed light pre-treatment on the extraction of steroidal alkaloids from potato peels . *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, volume 29,p.9-14.
- Hou, J., He, S., Ling, M., Li, W., Dong, R., Pan, Y., & Zheng, Y. (2010). A method of extracting ginsenosides from *Panax ginseng* by pulsed electric field. *Journal of seperation Science*, volume 33,p.17-18.
- Ilce, Gabriela Medina-Mesa, Gustavo, V., & Barbosa-Canovas. (2015). Assisted extraction of bioactive compounds from plum and grape peelsby ultrasonics and pulsed electric fields. *Journal Of Food Engineering*, volume 166,p.268-275.
- Jin, Y., Wang , M., Lin., S., Guo, Y., Liu, J., & Yin, Y. (2011). Optimization of extraction parameters for trehalose from beer waste brewing yeast treated by high-intensity pulsed electric fields (PEF). *African Journal of Biotechnology*, volume 10,issue 82,p. 19144 - 19152.
- Kantar, S., Boussetta, N., Lebovka, N., Foucart, F., Rajha, H., Maroun , R., . . . Vorobiev, E. (2017). Pulsed electric field treatment of citrus fruits: Improvement of juice and polyphenols extraction. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, volume 46,p.153-161.
- Kim, Y.-N., Kwon, H.-J., & Lee, D.-U. (2019). Effects of pulsed electric field (PEF) treatment on physicochemical properties of *Panaxginseng*. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, volume 58.
- Kumar , M., Dahuja, A., Tiwari, S., Punia, S., Tak, Y., Amarowicz, R., . . . Kaur, C. (2021). Recent trends in extraction of plant bioactives using green technologies: A review . *Food Chemistry*, volume 353,p.129431.
- Kumar, P., Barrett, D., Delwiche, M., & Stroeve, P. (2011). Pulsed Electric Field Pretreatment of Switchgrass and Wood Chip Species for Biofuel Production. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, volume 11,p.10996-11001.
- Kumaria, B., Tiwaria, B., Walshb, D., Griffinc, T., Islamc, N., Lyngd, J., . . . Raia, D. (2019). Impact of pulsed electric field pre-treatment on nutritional and polyphenolic contents and bioactives of light and dark brewer's spent grains. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, volume 54,p.200-210.
- Lebovka, N., & Vorobiev, E. (2011). Pulsed Electric field-Assisted Extraction. In N. Lebovka, E. Vorobiev, & F. Chemat, *Enhancing Extraction Processes in the Food Industry* (pp. 25-84). New York: CRC Press.
- Lebovka, N., Vorobiev, E., & Chemat, F. (2011). In V. E. Lebovka Nicolai, *Enhancing Extraction Processes in the Food Industry* (pp. 25-83). U.K: CRC Press.
- Liang, R., Zhang, Z., & Lin, S. (2017). Effects of pulsed electric field on intracellular antioxidant activity and antioxidant enzyme regulating capacities of pine nut (*Pinus koraiensis*) peptide QDHCH in HepG2 cells. *Food Chemistry*, volume 237,p.793-802.
- Liu, M., Zhang, M., Lin, S., Liu, J., Yang , Y., & Jin, Y. (2012). Optimization of extraction parameters for protein from beer waste brewing yeast treated by pulsed electric fields (PEF). *African Journal of Microbiology Research*, vol. 6 (22),p.4739-4746.
- Liu, Z.-W., Zeng, X.-A., & Ngadi, M. (2018). Enhanced extraction of phenolic compounds from onion by pulsed electric field (PEF). *Journal of Food Processing & Preservation*, volume 42:e13755.
- Loginova, K., Shynkaryk, M., Lebovka, N., & Vorobiev , E. (2009). Acceleration of soluble matter extraction from chicory with pulsed electric fields . *Journal of Food Engineering*],volume 96,p.374-379, volume 96,p.374-379.

- Loginova, K., Vorobiev, E., Bals, O., & Lebovka, N. (2011). Pilot study of countercurrent cold and mild heat extraction of sugar from sugar beets, assisted by pulsed electric fields . *Journal Of Food Engineering*, volume 102, Issue 4,p.340-347.
- Lopez, N., Puertolas, E., Condon, S., Raso, J., & Ivarez, I. (2009). Enhancement of the solid-liquid extraction of sucrose from sugar beet (*Beta vulgaris*) by pulsed electric fields . *LWT - Food Science and Technology*, volume 42,p.1674-1680.
- Lorenzo, J. M., Pateiro, M., Domínguez, R., Barba, F. J., Putnik, P., Kovačević, D. B., . . . Franco, D. (2017). Berries extracts as natural antioxidants in meat products A review. *Food Research International*, volume 106,1095-1104.
- Luengo, E., Álvarez, I., & Raso, J. (2012). Improving the pressing extraction of polyphenols of orange peel by pulsed electric fields . *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, volume 17,p.79-84.
- Luengo, E., & Raso, J. (2017). Pulsed Electric Field-Assisted Extraction of Pigments from *Chlorella vulgaris* . In J. Elisa Luengo, *Handbook of Electroporation* (pp. 2939-2954). Springer.
- Maged, E., Mohamed, Ayman Amer, H., & Eissa. (2012). Pulsed Electric Fields for Food Processing Technology. *Structure and Function of Food Engineering*, volume 65,p.337-343.
- Mannozi, C., Rompoonpol, K., Fauster, T., Tylewicz, U., Romani, S., Rosa, M., & Jaeger, H. (2019). Influence of Pulsed Electric Field and Ohmic Heating Pretreatments on Enzyme and Antioxidant Activity of Fruit and Vegetable Juices. *Foods*, volume 8,p.247.
- Maranillo, L. E. (2015). Evaluación de la tecnología de pulsos eléctricos de alto voltaje para la mejora de distintos procesos de extracción. *Thesis Doctoral*.
- Martínez, J. M., Delso, C., Álvarez, I., & Raso, J. (2019). Pulsed electric field-assisted extraction of valuable compounds from microorganisms. *Wiley (Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, volume 19, Issue 2 ,p.530-552.
- Martin-Garcia, B., Tylewicz, U., Verardo, V., Pasini, F., Gómez-Caravaca, A. M., Caboni, M. F., & Rosa, M. D. (2020). Pulsed Electric field as a pretreatment to improve the phenolic compounds recovery from brewers' spent grains. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, volume 64.
- Maza, Andres, M., Martinez, Juan, M., Camargo, A., Raso, J., . . . Carlota. (2020). PEF-dependency on polyphenol extraction during maceration/fermentation of Grenache grapes. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, volume 60.
- Medina-Meza, I., & Barbosa-Cánovas, G. (2015). Assisted extraction of bioactive compounds from plum and grape peels by ultrasonics and pulsed electric fields. *Journal Of Food Engineering*, volume 166,p.268-275.
- Mohamed, M., & Amer Eissa, A. (2012). Pulsed Electric Fields for Food Processing Technology. In *Structure and function of food engineering* (pp. 276-301). Intech.
- Moubarik, A., El-Belghiti, K., & Vorobiev, E. (2011). Kinetic model of solute aqueous extraction from Fennel (*Foeniculum vulgare*) treated by pulsed electric field, electrical discharges and ultrasonic irradiations . *Food and Bioproducts Processing*, volume 89,p.356-361.
- Nair, I. (2018). The field food project - exploring the use of pulsed electric field . *The Journal of the Institute of Food* .
- Niu, D., Zeng, X.-A., Ren, E.-F., Xu , F.-Y., Li, J., Wang, M.-S., & Wang, R. (2020). Review of the application of pulsed electric fields (PEF) technology for food processing in China. *Food Research International*, volume 137.
- Noelia, L., Eduardo, P., Santiago, C., Javier, R., & Ignacio, A. (2009). Enhancement of the solid-liquid extraction of sucrose from sugar beet (*Beta vulgaris*) by pulsed electric fields. *LWT - Food Science and Technology*, volume 42,p.1674-1680.
- Parniakov , O., Lebovka , N., Van Hecke , E., & Vorobiev, E. (2013). Pulsed Electric Field Assisted Pressure Extraction and Solvent Extraction from Mushroom (*Agaricus Bisporus*). *Food Bioprocess Technology*, volume 7,p.174–183.
- Parniakov, O., Barba, F., Grimi, N., Lebovka, N., & Vorobiev, E. (2014). Impact of pulsed electric fields and high voltage electrical discharges on extraction of high-added value compounds from

- papaya peels . *Food Research International*, volume 65,p.337-343.
- Parniakov, O., Barba, F., Grimi, N., Marchal,, L., Jubeau, S., Lebovka, N., & Vorobiev, E. (2015). Pulsed electric field and pH assisted selective extraction of intracellular components from microalgae *Nannochloropsis* . *Algal Research*, volume 8,p.128-134.
- Parniakov, O., Barba, F., Nabil , G., Lebovka, N., & Vorobiev, E. (2015). Extraction assisted by pulsed electric energy as a potential tool for greenand sustainable recovery of nutritionally valuable compounds frommango peels. *Food Chemistry*, volume 192,p.842-848.
- Parniakov, O., Roselló-Soto, E., Barba, F., Grimi, N., Lebova, N., & Vorobiev, E. (2015). New approaches for the effective valorization of papaya seeds: Extraction of proteins, phenolic compounds, carbohydrates, and isothiocyanates assisted by pulsed electric energy . *Food Research International*, volume 77,p.711-717.
- Picot-Allain, C., Mahomoodally, M., & Zengin, G. (2021). Conventional versus green extraction techniques — a comparative perspective. *Current Opinion in Food Science*, volume 34,p. 144–156.
- Pizzichemi, M. (2009). Pulsed Electric Field inactivation of microbial cells: the use of ceramic layers to increase the efficiency of treatment. *Nuclear Physics B Proceedings Supplements*, volume 197,p.374–37.
- Plazzotta, S., Ibarz, R., Manzocco, L., & Martín-Belloso , O. (2020). Modelling the recovery of biocompounds from peach waste assisted by pulsed electric fields or thermal treatment. *Journal of Food Engineering*, volume 290.
- Pourzaki, A., Mirzaee, H., & Hemmati Kakhki, A. (2012). USING PULSED ELECTRIC FIELD FOR IMPROVEMENT OF COMPONENTS EXTRACTION OF SAFFRON (*CROCUS SATIVUS* STIGMA AND ITS POMACE). *Journal of Food Processing and Preservation*, volume 37 ,p.1008–1013.
- Puértolas. (2012).
- Puertolas E., L. N. (2010a). Potential Application of PEF to improve red wine quality. *Trends in Food Science & Technology*,21, 247-255.
- Puértolas, E., & Barba, F. J. (2016). Electrotechnologies applied to valorization of by-products from food industry: Main findings, energy and economic cost of their industrialization. *Food and Bioproducts Processing*, volume 100,p.172-184.
- Putnik , P., Lorenzo, J., Barba, F., Roohinejad , S., Jambrak, A., Granato, D., . . . Bursac Kovacevic, D. (2018). Novel Food Processing and extraction Technologies of High-Added Value Compounds from Plant Materials. *Foods*, volume 7,Issue 7.
- Qin, B., Zhang, Q., & Barbosa-Canovas, G. (1995). Pulsed electric field treatment chamber design for liquid food pasteurization using finite element method. volume 38,p. 557-565.
- Quagliariello, V., Iaffaioli, R., Falcone, M., Ferrari, G., Pataro, G., & Donsì , F. (2016). Effect of pulsed electric fields – assisted extraction on anti-inflammatory and cytotoxic activity of brown rice bioactive compounds. *Food Research International*, volume 87,p.115-124.
- R.A.H. Timmermans, H. M. (2019). Moderate intensity Pulsed Electric Fields (PEF) as alternative mild preservation technology for fruit juice. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, volume 39,p.179-187.
- Rajha , H., Abi-Khattar, A.-M., El Kantar , S., Boussetta, N., Lebovka , N., Maroun, R., . . . Vorobiev, E. (2019). Comparison of aqueous extraction efficiency and biological activities of polyphenols from pomegranate peels assisted by infrared, ultrasound, pulsed electric fields and high-voltage electrical discharges. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, volume 58.
- Rajha, H., Boussetta, N., Louka, N., Maroun, R., & Vorobiev, E. (2014). A comparative study of physical pretreatments for the extraction of polyphenols and proteins from vine shoots. *Food Research International*, volume 65,p.462-468.
- Redondo, D., Venturini, M. E., Luengo, E., Raso, J., & Arias, E. (2017). Pulsed Electric fields as a green technology for the extraction of bioactive compounds from thinned peach by - products. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, volume 45,p.335-343.
- Roselló-Soto, E., Barba, F., Parniakov, O., Galanakis, C., Lebovka, N., Grimi, N., & Vorobiev, E.

- (2014). High Voltage Electrical Discharges, Pulsed Electric Field and Ultrasound Assisted Extraction of Protein and Phenolic Compounds from Olive Kernel. *Food Bioprocess Technol*, volume 8,p.885–894.
- S. Plazzotta a, R. I.-B. (2020). Modelling the recovery of biocompounds from peach waste assisted by pulsed electric fields or thermal treatment. *Journal Of Food Engineering*, volume 290,0260-8774.
- Sain, R., & Keum, Y.-S. (2018). Carotenoid extraction methods: A review of recent developments. *Food Chemistry*, volume 240,p.90-103.
- Saldana, G., Cebrian, G., Abenoza, M., Sanchez-Gimeno, C., Alvarez, I., & Raso, J. (2016). Assessing the efficacy of PEF treatments for improving polyphenolextraction during red wine vinification. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, volume 39,p.179-187.
- Sally El Kantara, c. . (2017). Pulsed electric field treatment of citrus fruits: Improvement of juice and polyphenols extraction. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, volume 46,p.153-161.
- Sarkis, J., Boussetta, N., Blouet , C., Tessaro, I., Damasceno Ferreira Marczak, L., & Vorobiev, E. (2015). Effect of pulsed electric fields and high voltage electrical discharges on polyphenol and protein extraction from sesame cake. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, volume 29,p.170-177.
- Segovia, F., Luengo, E., Corral-Pérez, J., Raso, J., & Almajano, M. (2014). Improvements in the aqueous extraction of polyphenols from borage (*Borago officinalis* L.) leaves by pulsed electric fields: Pulsed electric fields (PEF) applications . *Industrial Crops and Products*, volume 65,p.390-396.
- Simin Zhang a, L. S.-a. (2020). Research advances and application of pulsed electric field on proteins and peptides in food. *Food Research International*, volume 139.
- Soliva-Fortuny, B. &.-B. (2009). Effects of pulsed electric fields on bioactive compounds in foods: a review . *Trends in Food Science & Technology*, Volume 20, Issues 11–12,p.544-556.
- Song-Fang, H., Wenbiao, J., Qian, Y., Abomohra, A.-F., Zhou, X., Tu, R., . . . WanG, Q. (2018). Application of pulse electric field pretreatment for enhancing lipid extraction from *Chlorella pyrenoidosa* grown in wastewater. *Renewable Energy*, volume 133,p.233-239.
- Starodubtseva, G., Livinskiy, S., Gabrielyan, S., Lubaya, S., & Afanacev, M. (2018). Process control of pre-sowing seed treatment by pulsed electric field. *Acta Technologica Agriculturae*, Vol.21 No.1 pp.28-32 ref.23.
- Sun , Y., Zhang, M., & Fang, Z. (2019). Efficient physical extraction of active constituents from edible fungi and their potential bioactivities A review. *Trends in Food Science & Technology*, volume 105,p. 468-482.
- Takaki, K., Hatayama, H., Koide, S., & Kawamura, Y. (2012). Improvement of polyphenol extraction from grape skin by pulse electric field. *2011 IEEE Pulsed Power Conference*. Chicago, IL, USA: IEEE.
- Teh, S.-S., Niven, B., Bekhit, A.-D., Carne, A., & Birch, E. (2014). The Use of Microwave and Pulsed Electric Field as a Pretreatment Step in Ultrasonic Extraction of Polyphenols from Defatted Hemp Seed Cake (*Cannabis sativa*) Using Response Surface Methodology. *Food Bioprocess Technology*, volume 7,p.3064-3076.
- Thamkaew, G., & Galindo, F. (2020). Influence of pulsed and moderate electric field protocols on the reversible permeabilization and drying of Thai basil leaves. *Innovative food science and Emerging Technologies*, volume 64.
- Timmermans, R., Mastwijk, H., Berendsen, L., Nederhoff, A., Matser, A., Van Boekel, M., & Nierop Groot, M. (2019). Moderate intensity Pulsed Electric Fields (PEF) as alternative mild preservation technology for fruit juice . *International Journal of Food Microbiology*, volume 298,p.63-73, volume 298,p.63-73.
- Wan, Coventry, Swiergon, Sanguansri, & Versteeg. (2009). Advances in innovative processing technologies for microbial inactivation and enhancement of food safety – pulsed electric

- field and low-temperature plasma. *Trends in Food Science & Technology*, Volume 20, Issue 9, p.414-424].
- Yan. (2017).
- Yang, Huang, Lyu, & Wang. (2016). Pulsed electric field technology in the manufacturing processes of wine, beer, and rice wine: A review. *Food Control*, volume 61, p.28-38.
- Yu, X., Bals, O., Grimi, N., & Vorobiev, E. (2015). A new way for the oil plant biomass valorization: Polyphenols and proteins extraction from rapeseed stems and leaves assisted by pulsed electric fields. *Industrial Crops & Products*, Volume 74, p. 309-318.
- Zhang, T.-H., Wang, S.-J., Liu, D.-R., Yuan, Y., Yu, Y.-L., & Yin, Y.-G. (2011). Optimization of exopolysaccharide extraction process from Tibetan spiritual mushroom by pulsed electric fields. *Jilin Daxue Xuebao (Gongxueban)/Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition)*, volume 41, p.882-886.
- Zhang, R., Chen, J., Xiao, J., Liao, X., Wang, L., & Guan, Z. (2011). Pulsed electric fields system and its application in non-thermal food processing. *High Voltage Engineering*, volume 37, p. 777–786.
- Zhang, S., Liangzi, S., Huapeng, J., Zhijie, B., Xin-an, Z., & Songyi, L. (2020). Research advances and application of pulsed electric field on proteins and peptides in food. *Food Research International*, volume 139.
- Zhao, W., Yu, Z., Liu, J., Yu, Y., Yin, Y., Lin, S., & Chen, F. (2011). Optimized extraction of polysaccharides from corn silk by pulsed electric field and response surface quadratic design. *Journal of the science of food and Agriculture*, volume 91, p.2201-2209.
- Zhu, Z., Wang, F., Xia, Q., Li, Y., Roohinejad, S., Marszalek, K., . . . Barba, F. (2020). Health promoting Benefits of PEF: bioprotective capacity against the oxidative stress and its impact on nutrient and bioactive compound bioaccessibility. In F. J. Barba, O. Parniakov, & A. Wiktor, *Pulsed Electric Fields to Obtain Healthier and Sustainable food for Tomorrow* (pp. 53-56). London, United Kingdom: Academic Press.