

**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΤΟΜΕΑΣ ΙΙ**

**ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΣΤΗ ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΤΙΣ**  
**ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΤΡΟΦΙΜΩΝ**  
**Βασιλική Οικονομοπούλου**

ΤΙΤΛΟΣ ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ: Ανάπτυξη Τροφίμων Πορώδους Δομής  
Συμβουλευτική Επιτροπή: Μ.Κ. Κροκίδα, Αναπλ. Καθ. ΕΜΠ (επιβλέπουσα)  
Z.B. Μαρούλης, Καθ. ΕΜΠ  
Δ. Μαρίνος-Κουρής, Ομότιμος Καθ. ΕΜΠ  
Ημερομηνία Έναρξης: 01 Απριλίου 2009

**ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΤΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ**

Αντικείμενο της συγκεκριμένης διατριβής αποτελεί η παραγωγή καινοτόμων προϊόντων καθορισμένης δομής. Στόχος είναι η μελέτη της επίδρασης διαφόρων μεθόδων παραγωγής, όπως είναι η ξήρανση και η εκβολή, καθώς και των συνθηκών παραγωγής, στις δομικές ιδιότητες των τελικών προϊόντων (φρούτα, λαχανικά, προϊόντα εκβολής) και την κατανομή πόρων στο εσωτερικό τους. Παράλληλα, εξετάζονται ορισμένες βασικές φυσικοχημικές ιδιότητες που σχετίζονται με τη δομή των υλικών, όπως ιδιότητες υψής, ρεολογικές ιδιότητες, θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης, ισόθερμες ρόφησης, λειτουργικές ιδιότητες και οργανοληπτικά χαρακτηριστικά. Μελετάται επίσης, η επίδραση της δομής στη διάχυση ορισμένων συστατικών (ζάχαρη, αλάτι) σε διαλύματα που προσομοιάζουν το ανθρώπινο γαστρικό υγρό και το σάλιο. Τέλος, βασικός στόχος είναι η ανάπτυξη και εφαρμογή μαθηματικών προτύπων βάσει των οποίων μπορεί να πραγματοποιηθεί συσχέτιση των συνθηκών παραγωγής των προϊόντων με τις ιδιότητές τους, καθώς και συσχέτιση των ιδιοτήτων μεταξύ τους.

**ΣΗΜΕΡΙΝΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΓΝΩΣΕΩΝ**

Η εντατικοποίηση του τρόπου ζωής έχει οδηγήσει στην αυξημένη κατανάλωση τυποποιημένων τροφίμων, τα οποία όμως ταυτόχρονα πρέπει να χαρακτηρίζονται από επιθυμητή εμφάνιση, αυξημένη διατηρησιμότητα, χαμηλό κόστος, και υψηλή διατροφική αξία. Τα αποξηραμένα φρούτα και λαχανικά, τα οποία είναι πλούσια σε αντιοξειδωτικά, βιταμίνες, κλπ., καθώς και τα σνακς τα οποία περιέχουν συστατικά υψηλής διατροφικής αξίας αποτελούν παραδείγματα τέτοιων κατηγοριών τροφίμων.

Οι ιδιότητες που αφορούν στην ποιότητα των επεξεργασμένων τροφίμων είναι απαραίτητες για την ανάπτυξη νέων προϊόντων και τη βελτίωση των υφιστάμενων. Μεταξύ των ιδιοτήτων αυτών, τα δομικά χαρακτηριστικά είναι κρίσιμα για το χαρακτηρισμό των υλικών και την αποδοχή τους από τους καταναλωτές, καθώς καθορίζουν την ποιότητα των προϊόντων, ελέγχουν τη γεύση και την εμφάνισή τους και επηρεάζουν σημαντικά πλήθος άλλων ιδιοτήτων όπως θερμικές ιδιότητες, ιδιότητες υψής, διάχυση μάζας, κ.λπ. [1, 2].

Οι διεργασίες που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή τροφίμων επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό τις ιδιότητες αυτές. Η παραγωγή επεξεργασμένων τροφίμων πραγματοποιείται βιομηχανικά με διάφορες μεθόδους, εκ των οποίων η ξήρανση και η εκβολή είναι ιδιαίτερα σημαντικές. Ανάλογα με τις συνθήκες επεξεργασίας που

εφαρμόζονται κατά τις διεργασίες αυτές, τα τρόφιμα υπόκεινται σε μεταβολές στη χημική τους σύσταση όπως επίσης, στη δομή τους [2-5].

Στη διεθνή βιβλιογραφία υπάρχουν πολλές αναφορές που αφορούν σε προϊόντα ξήρανσης και εκβολής. Η επίδραση όμως της δομής σε ποικίλα χαρακτηριστικά, όπως φυσικοχημικές ιδιότητες, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά και διαθεσιμότητα συστατικών στον ανθρώπινο οργανισμό χρήζει περαιτέρω μελέτης. Παράλληλα, η παρασκευή προϊόντων εκβολής από άλευρα και λαχανικά αποτελεί ένα ακόμη πεδίο το οποίο παρουσιάζει σημαντική καινοτομία. Τα προϊόντα αυτά χρήζουν μελέτης έτσι ώστε να αναλυθούν τα στάδια παραγωγής τους και να προσδιορισθούν τα χαρακτηριστικά τους, για να καταστεί δυνατή η ανάπτυξη νέων καινοτομικών προϊόντων με ευέλικτο εξοπλισμό, να διατηρηθούν ή/και να βελτιωθούν ποιοτικά χαρακτηριστικά τους και να αυξηθεί η ασφάλεια και η σταθερότητά τους.

Τα αναμενόμενα αποτελέσματα από την υλοποίηση της διατριβής είναι η παραγωγή πρωτοποριακών προϊόντων πορώδους δομής, η εμβάθυνση της θεωρίας των μηχανισμών που διέπουν την ανάπτυξη δομής των προϊόντων ξήρανσης και εκβολής, η παραγωγή εγχώριας τεχνογνωσίας για τις προτεινόμενες διεργασίες, η μελέτη της επίδρασης των συνθηκών παραγωγής και των χαρακτηριστικών των πρώτων υλών στη δομή και την ποιότητα των τελικών προϊόντων και η ανάπτυξη προτύπων των εξεταζόμενων ιδιοτήτων που περιέχουν φυσικές σταθερές και που μπορούν μεταγενέστερα να χρησιμοποιηθούν για το σχεδιασμό και τυποποίηση τροφίμων υψηλής θρεπτικής αξίας.

## **ΣΥΝΤΟΜΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ**

Από την έναρξη της διδακτορικής διατριβής έως σήμερα, έχει πραγματοποιηθεί επισκόπηση της διεθνούς βιβλιογραφίας σχετικά με: α) την επεξεργασία διαφόρων κατηγοριών τροφίμων με τις διεργασίες της ξήρανσης (ξήρανση υπό κατάψυξη, υπό κενό, σε ρεύμα αέρα, ωσμωτική αφυδάτωση) και της εκβολής, β) τους μηχανισμούς και τις μεθόδους μέτρησης και επεξεργασίας δεδομένων που αφορούν στην περιγραφή της πορώδους δομής των τροφίμων, γ) τις ιδιότητες των παραγόμενων προϊόντων. Με βάση τον πειραματικό σχεδιασμό επιλέχθηκαν οι μεταβλητές και τα υλικά που μελετήθηκαν. Τα εξεταζόμενα τρόφιμα αφορούν σε φράουλα, μπανάνα, ρύζι και μανιτάρι και πατάτα, τα οποία υπόκεινται ξήρανση, και σε προϊόντα εκβολής με βάση το ρυζάλευρο. Κατά την εκβολή, οι παράμετροι που καθορίστηκαν περιλαμβάνουν τη θερμοκρασία εκβολής, το ρυθμό περιστροφής των κοχλιών, την περιεκτικότητα υγρασίας και τη σύσταση του μίγματος τροφοδοσίας.

Τα πειράματα ξήρανσης και εκβολής έχουν ολοκληρωθεί, καθώς επίσης έχει πραγματοποιηθεί ο προσδιορισμός των δομικών ιδιοτήτων, των ιδιοτήτων υφής, των ρεολογικών χαρακτηριστικών, των θερμικών μεταπτώσεων, των ισόθερμων ρόφησης, των λειτουργικών ιδιοτήτων και των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών. Έχει ολοκληρωθεί επίσης, η μαθηματική επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων και η εφαρμογή προτύπων που περιέχουν σταθερές με φυσική σημασία για την πρόβλεψη των ιδιοτήτων συναρτήσει των συνθηκών επεξεργασίας. Παράλληλα, έχει μελετηθεί η επίδραση υδατικών διαλυμάτων, όπου προσομοιάζουν το γαστρικό υγρό και το σάλιο, στο χρόνο αποικοδόμησης των συστατικών στο περιβάλλον του γαστρεντερικού συστήματος με στόχο την προτυποποίηση της αποικοδόμησης των τροφίμων κατά την πέψη και τη συσχέτισή της με τις δομικές ιδιότητες των προϊόντων.

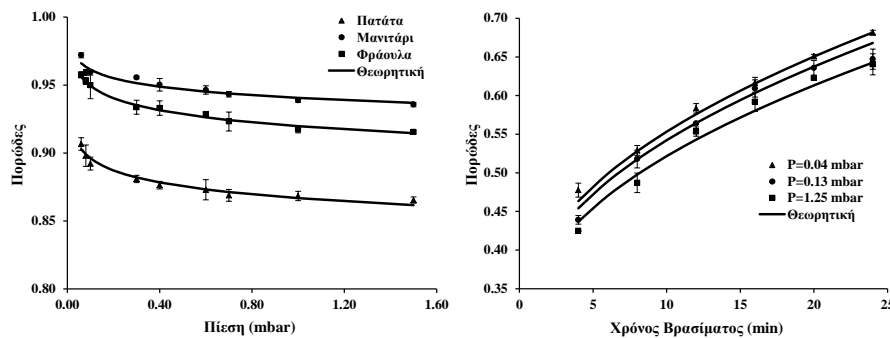
Τα βασικά αποτελέσματα από τη συγκεκριμένη έρευνα περιγράφονται στη συνέχεια:

- Οι δομικές ιδιότητες επηρεάστηκαν σημαντικά από τις συνθήκες ξήρανσης και εκβολής. Το πορώδες των αφυδατωμένων υπό κατάψυξη υλικών αυξήθηκε με τη

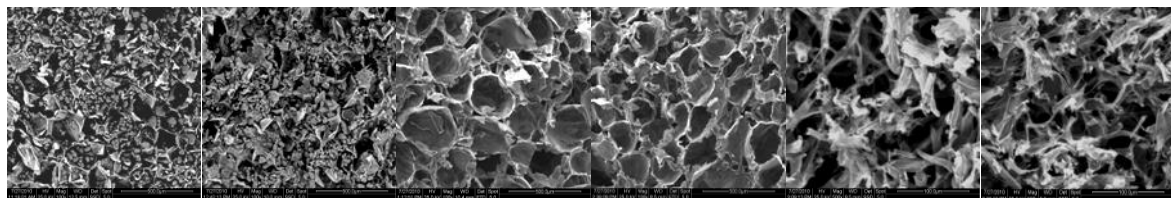
μείωση της πίεσης λειτουργίας. Τα προϊόντα εκβολής που εμφάνισαν το υψηλότερο πορώδες παρήχθησαν σε υψηλές θερμοκρασίες και ταχύτητες περιστροφής των κοχλιών του εκβολέα, ενώ το μίγμα τροφοδοσίας περιείχε χαμηλή υγρασία. Τα παραπάνω αποτελέσματα ενισχύονται με απεικόνιση της πορώδους δομής με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης και ποροσίμετρο υδραργύρου.

- Οι ιδιότητες υφής επηρεάστηκαν σημαντικά από τις συνθήκες επεξεργασίας και τη δομή των παραγόμενων προϊόντων. Η αύξηση του πορώδους οδήγησε σε μείωση των μηχανικών παραμέτρων και αύξηση της τραγανότητας των προϊόντων.
- Δείγματα τα οποία παρουσίασαν αυξημένο πορώδες και μεγάλη ειδική επιφάνεια χαρακτηρίστηκαν από αυξημένη απελευθέρωση της γλυκιάς ή αλμυρής γεύσης κατά τη μάσηση.
- Η θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης μειώθηκε με την αύξηση της ενεργότητας ύδατος και την αύξηση του πορώδους, ενώ μελετήθηκαν οι ισόθερμες ρόφησης των παραγόμενων προϊόντων και προσαρμόστηκε το πρότυπο GAB στα αποτελέσματα.
- Για τη συσχέτιση των ιδιοτήτων με τις συνθήκες επεξεργασίας όπως επίσης και των ιδιοτήτων μεταξύ τους αναπτύχθηκαν απλά μαθηματικά πρότυπα εκθετικής μορφής, τα οποία βοηθούν στην πρόβλεψη των ιδιοτήτων ανάλογα με τις συνθήκες επεξεργασίας.

Ενδεικτικά παρουσιάζονται διαγράμματα μεταβολής του πορώδους των προϊόντων ως προς τις συνθήκες ξήρανσης υπό κατάψυξη, καθώς και φωτογραφίες SEM που αποτυπώνουν τη μεταβολή του πορώδους.



**Σχήμα 1.** Εξάρτηση του πορώδους από την πίεση ξήρανσης υπό κατάψυξη, α) γεωργικά προϊόντα, β) ρύζι.



**Σχήμα 2.** Μικροδομή αφυδατωμένων προϊόντων συναρτήσει της πίεσης ξήρανσης υπό κατάψυξη, α) Πατάτα,  $P=0,06$  mbar, β) Πατάτα,  $P=1,00$  mbar, γ) Φράουλα,  $P=0,06$  mbar, δ) Φράουλα,  $P=1,00$  mbar, ε) Μανιτάρι,  $P=0,06$  mbar, στ) Μανιτάρι,  $P=1,00$  mbar.

## **ΔΗΜΟΣΙΕΥΜΕΝΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ**

1. Oikonomopoulou, V.P., Krokida, M.K., Karathanos, V.T., Structural properties of freeze-dried rice, *Journal of Food Engineering*, 2011, 107(3-4), p. 326-333.
2. Oikonomopoulou, V.P., Krokida, M.K., Structural Properties of Dried Potatoes, Mushrooms, and Strawberries as a Function of Freeze-Drying Pressure, *Drying Technology*, 2012, 30(4), p. 351-361.
3. Oikonomopoulou, V., Krokida, M., Karathanos, V., 2013, Influence of Structure on Saltiness and Sweetness of Dehydrated Food Products, *Drying Technology*, 31 (7), pp. 837-847.
4. Bisharat, G.I., Oikonomopoulou, V.P., Panagiotou, N.M., Krokida, M.K., Maroulis, Z.B., 2013, Effect of extrusion conditions on the structural properties of corn extrudates enriched with dehydrated vegetables, *Food Research International*, 53 (1), pp. 1-14.
5. Oikonomopoulou, V.P., Krokida, M.K., 2013, Novel Aspects of Formation of Food Structure during Drying, *Drying Technology*, 31 (9), pp. 990-1007.
6. Oikonomopoulou, V., Bakolas, A., Krokida, M., Physical and sensory properties of high added value rice extrudates, submitted.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

1. Mayor, L., R.L. Cunha, and A.M. *Food Research International*, 2007. **40**(4): p. 448-460.
2. Krokida, M.K., V.T. Karathanos, and Z.B. Maroulis, *Journal of Food Engineering*, 1998. **35**(4): p. 369-380.
3. Rahman, M.S. and S.S. Sablani, *Food and Bioproducts Processing*, 2003. **81**(4): p. 309-315.
4. Koxsel, H., et al., *Nahrung - Food*, 2004. **48**(1): p. 19-24.
5. Ding, Q.B., et al., *Journal of Food Engineering*, 2006. **73**(2): p. 142-148.