

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ

Μεταπτυχιακή Εργασία

**ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ
ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΕ ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΟ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΧΥΜΩΝ ΚΑΙ
ΑΝΑΨΥΚΤΙΚΩΝ**

υπό

ΚΩΝ/ΝΟΥ ΤΕΝΤΖΕΡΑΚΗ

Διπλωματούχου Χημικού Μηχανικού Ε.Μ.Π., 2000

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των
απαιτήσεων για την απόκτηση του
Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης
2007



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»**

Αριθ. Εισ.: 5240/1
Ημερ. Εισ.: 23-03-2007
Δωρεά: Συγγραφέα
Ταξιθετικός Κωδικός: Δ
658.562
TEN

© 2007 Κων/νος Τεντζεράκης

Η έγκριση της μεταπτυχιακής εργασίας από το Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Βιομηχανίας της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (N. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).

Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Πενταμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:

Πρώτος Εξεταστής Γεώργιος Κοζανίδης

(Επιβλέπων) Λέκτορας, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Βιομηχανίας,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Δεύτερος Εξεταστής Δρ. Γεώργιος Λυμπερόπουλος

Αν. Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Βιομηχανίας,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Τρίτος Εξεταστής Γεώργιος Ζηλιασκόπουλος

Αν. Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Βιομηχανίας,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Τέταρτος Εξεταστής Δημήτρης Παντελής

Διδάσκων Π.Δ 407/80, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών
Βιομηχανίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Πέμπτος Εξεταστής Παναγιώτης Τσιακάρας

Επικ. Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών
Βιομηχανίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Ευχαριστίες

Πρώτα απ' όλα, θέλω να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της μεταπτυχιακής εργασίας μου, Λέκτορα κ. Γεώργιο Κοζανίδη, για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή του κατά τη διάρκεια της δουλειάς μου. Επίσης, είμαι ευγνώμων στα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής της μεταπτυχιακής εργασίας μου, Καθηγητές κκ. Γεώργιο Λυμπερόπουλο, Γεώργιο Ζηλιασκόπουλο, Δημήτριο Παντελή και Παναγιώτη Τσιακάρα για την προσεκτική ανάγνωση της εργασίας μου και για τις πολύτιμες υποδείξεις τους. Ευχαριστώ τους συναδέλφους μου στο Εργοστάσιο Πατρών της Coca Cola 3E για την πολύτιμη βοήθειά τους στη διεξαγωγή των μετρήσεων και για την συνδρομή τους στην αξιολόγηση των αποτελεσμάτων. Ευχαριστώ τους φίλους μου Κάτσικα Μιχαήλ, Γιαπράκη Χαράλαμπο και Κωτούλα Απόλλωνα για την ηθική υποστήριξή τους. Επίσης, ευχαριστώ την Κάτσικα Μαρία για την κατανόησή της, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια των τελευταίων μηνών της προσπάθειάς μου. Πάνω απ' όλα, είμαι ευγνώμων στους γονείς μου, Δημήτριο και Φωτεινή, τον αδερφό μου Σωκράτη για την ολόψυχη αγάπη και υποστήριξή τους όλα αυτά τα χρόνια. Αφιερώνω αυτήν την μεταπτυχιακή εργασία στην οικογένειά μου.

Κων/νος Τεντζεράκης

**ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ
ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΕ ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΟ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΧΥΜΩΝ ΚΑΙ
ΑΝΑΨΥΚΤΙΚΩΝ**

ΚΩΝ/ΝΟΣ ΤΕΝΤΖΕΡΑΚΗΣ

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Βιομηχανίας, 2007

Επιβλέπων Καθηγητής: Γεώργιος Κοζανίδης, Λέκτορας, Τμήμα Μηχανολόγων
Μηχανικών Βιομηχανίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Περίληψη

Οι στατιστικές μέθοδοι χρησιμοποιούνται ευρέως στη βιομηχανία για την εξαγωγή συμπερασμάτων όσον αφορά τα ποιοτικά χαρακτηριστικά προϊόντων. Σε αυτήν την μεταπτυχιακή εργασία αναπτύσσουμε στατιστικές μεθόδους για την εκτίμηση της απόδοσης του συστήματος ποιότητας του Εργοστασίου Πατρών της COCA COLA 3E. Αρχικά, πραγματοποιούνται οι έλεγχοι και στη συνέχεια γίνεται στατιστική ανάλυση σε συγκεκριμένα ποιοτικά χαρακτηριστικά του αναψυκτικού και της φιάλης PET.

Στη συνέχεια, αξιολογούμε τα αποτελέσματα των στατιστικών μεθόδων και προβαίνουμε σε σημαντικά συμπεράσματα για τον δείκτη ικανότητας του γεμιστικού μηχανήματος, την λειτουργία της ανθράκωσης και της ανάμειξης στη γραμμή PET και τέλος την δυνατότητα παραγωγής φιαλών PET 1,5lt με μειωμένο βάρος. Τα αριθμητικά αποτελέσματα συνοπτικά δείχνουν ότι:

- Το γεμιστικό μηχάνημα της γραμμής παραγωγής PET λειτουργεί αρκετά ικανοποιητικά.
- Διαπιστώνεται διακύμανση στην ανθράκωση στη γραμμή παραγωγής PET και πρέπει να ληφθούν άμεσα διορθωτικές ενέργειες. Αντίθετα η ανάμειξη λειτουργεί εντός προδιαγραφών.
- Οι δύο μηχανές εμφύσησης φιαλών ενώ μπορούν να παράξουν φιάλη που να αντέχει σε ικανοποιητικό βαθμό σε εσωτερική πίεση δεν μπορούν

να παράξουν φιάλη με ομοιόμορφη κατανομή. Αυτό το γεγονός είναι αρκετά δεσμευτικό σύμφωνα με τις προδιαγραφές της εταιρίας, κάτι που σημαίνει ότι πρέπει να γίνει αναβάθμιση των μηχανών προκειμένου να προκύψει το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Πίνακας Περιεχομένων

1 Εισαγωγή	1
1.1 Κίνητρο και Υπόβαθρο	1
2 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗΣ	3
3 Κατανόηση της διεργασίας	9
3.1 Μεταβλητές και μεταβλητότητα διεργασίας	11
3.2 Δείκτες δυνατότητας παραγωγικής διαδικασίας	12
3.3 Έλεγχος της διεργασίας	16
3.4 Αιτίες μεταβλητότητας και στατιστικός έλεγχος	18
3.5 Βασική στατιστική θεωρία του διαγράμματος ελέγχου	21
3.6 Μορφές χρονοσειρών και ερμηνεία	24
4 ΒΗΜΑΤΑ ΓΙΑ ΕΝΑ ΕΠΙΤΥΧΗΜΕΝΟ PROCESS CAPABILITY STUDY	29
5 ΜΕΛΕΤΗ ΓΙΑ ΤΟΝ ΔΕΙΚΤΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΓΕΜΙΣΤΙΚΟΥ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ PET	34
5.1 ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	35
5.2 Διαγράμματα ελέγχου για τις βαλβίδες του γεμιστικού της γραμμής PET	38
5.3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	41
6 ΜΕΛΕΤΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΑΝΘΡΑΚΩΣΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΑΝΑΜΕΙΞΗΣ ΣΤΗΝ ΓΡΑΜΜΗ PET	42
6.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	47
6.2 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	48
7 PET LIGHT WEIGHTING	50
7.1 ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	55
7.2 Διαγράμματα ελέγχου για section weight	56
7.3 Διαγράμματα ελέγχου για αντοχή της φιάλης σε εσωτερική πίεση	83
7.4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	89
8 ΠΙΝΑΚΕΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ	90
Βιβλιογραφία	91

1. Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο, παρουσιάζουμε πληροφορίες εισαγωγικού χαρακτήρα που δίνουν το κίνητρο και το υπόβαθρο αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας ενώ περιγράφουμε συνοπτικά τις βασικές ενότητες της.

1.1 Κίνητρο και Υπόβαθρο

Η διαδικασία εξαγωγής των πειραματικών αποτελεσμάτων εκπονήθηκε στο εργαστήριο Ποιοτικού Ελέγχου του εργοστασίου Πάτρας της COCA COLA 3E. Για την εκτέλεση της άσκησης απαιτήθηκε χρήση του προγράμματος QIAnalyst του στατιστικού πακέτου SPSS, καθώς επίσης και του Microsoft Excel 2003. Οι περαιτέρω γνώσεις αφορούσαν την διαδικασία της παραγωγής και τις μετρήσεις ποιοτικού ελέγχου. Από τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης εξετάστηκε ο δείκτης ικανότητας (Capability Index) του γεμιστικού μηχανήματος καθώς και τα αποτελέσματα της ανθράκωσης και της ανάμειξης του προϊόντος στη γραμμή εμφιάλωσης PET. Η επέκταση των αποτελεσμάτων αυτών θα οδηγήσει σε βελτιώσεις της παραγωγικής διαδικασίας, με στόχο τη μείωση των αστοχιών της παραγωγής. Με δεδομένο το γεγονός ότι η εταιρία προσβλέπει σε βελτίωση της βαθμολογίας ποιότητας των προϊόντων της, η μείωση των αστοχιών όσον αφορά το καθαρό βάρος των φιαλών, την ανθράκωση και την ανάμειξη κινείται προς αυτή την κατεύθυνση. Επιπλέον εξετάστηκε η δυνατότητα παραγωγής, βάσει συγκεκριμένων δοκιμών, φιαλών 1,5 λίτρου PET με βάρος 46,5 αντί 48 γραμμαρίων που χρησιμοποιούνται έως τώρα στην παραγωγική διαδικασία. Τα αποτελέσματα αυτών των δοκιμών θα αποτελέσουν κριτήριο για την εφαρμογή του προγράμματος «PET LIGHT WEIGHTING» στο εργοστάσιο Πατρών, το οποίο θα αποφέρει σημαντικά οφέλη στην εταιρία. Είναι κατανοητό ότι η μείωση του βάρους των φιαλών κατά 1,5 γραμμάρια πέρα από τα κέρδη που θα αποφέρει στην εταιρία θα πρέπει να γίνει αρκετά ελεγχόμενα. Φιάλη ελαφρύτερη είναι αρκετά πιο "ευαίσθητη" και εγκυμονεί περισσότερους κινδύνους για την ποιότητα του προϊόντος. Όλοι οι έλεγχοι που έγιναν

αποσκοπούν στο να διασφαλιστεί η παραγωγή φιάλης PET χωρίς αποκλίσεις για την ποιότητα του προϊόντος και της συσκευασίας.

Η συνεισφορά αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας είναι ότι μπορέσαμε να εκτιμήσουμε έγκαιρα τις δυνατότητες αρκετά κρίσιμων μηχανημάτων της παραγωγικής διαδικασίας (γεμιστικό, ανθράκωση, ανάμειξη, μηχανές εμφύσησης) έτσι ώστε να προβούμε σε αντίστοιχα πλάνα διορθωτικών ενεργειών σε περίπτωση απόκλισης της λειτουργίας τους από το επιθυμητό.

2. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗΣ

Το Εργοστάσιο Πάτρας της COCA COLA 3E είναι μέλος του ΟΜΙΛΟΥ ΕΤΑΙΡΕΙΩΝ COCA COLA 3E και βρίσκεται στο 7^ο χιλιόμετρο της Εθνικής Οδού Πατρών - Αθηνών. Η συνολική έκταση του οικοπέδου είναι 42.000 τ.μ., εκ της οποίας τα 12.500 τ.μ. καλύπτονται από κτιριακές εγκαταστάσεις. Στα κτίρια εδρεύουν η Γενική Διεύθυνση του Εργοστασίου Πάτρας, οι Διοικητικές Υπηρεσίες, οι Πωλήσεις και το Εργοστάσιο Παραγωγής και Εμφιάλωσης αναψυκτικών. Στο εργοστάσιο εφαρμόζεται Σύστημα Ποιότητας πιστοποιημένο κατά ISO 9002/94, Σύστημα Διαχείρισης Περιβάλλοντος πιστοποιημένο κατά ISO 14001 και Σύστημα Διαχείρισης Υγιεινής και Ασφάλειας πιστοποιημένο κατά OHSAS 18001.

Το Εργοστάσιο παράγει τα προϊόντα που φαίνονται στον παρακάτω πίνακα :

PRODUCT	TANK 9lt	TANK 18lt	250 ml	1.5 lt	2.0 lt
Coca – Cola	X	X	X	X	X
Coca – Cola Light			X	X	X
Coca Cola Light Post-	X				
Fanta Orange			X	X	
Fanta NC			X		
Fanta Λεμόνι			X	X	
Fanta Μανταρίνι				X	
Fanta Madness				X	
Sprite			X	X	
Sprite Post-Mix	X	X			
Tuborg Soda			X		
Tuborg Tonic			X		
Schweepes Soda			X		

Επίσης, διακινεί τα παραγόμενα από τρίτους προϊόντα :

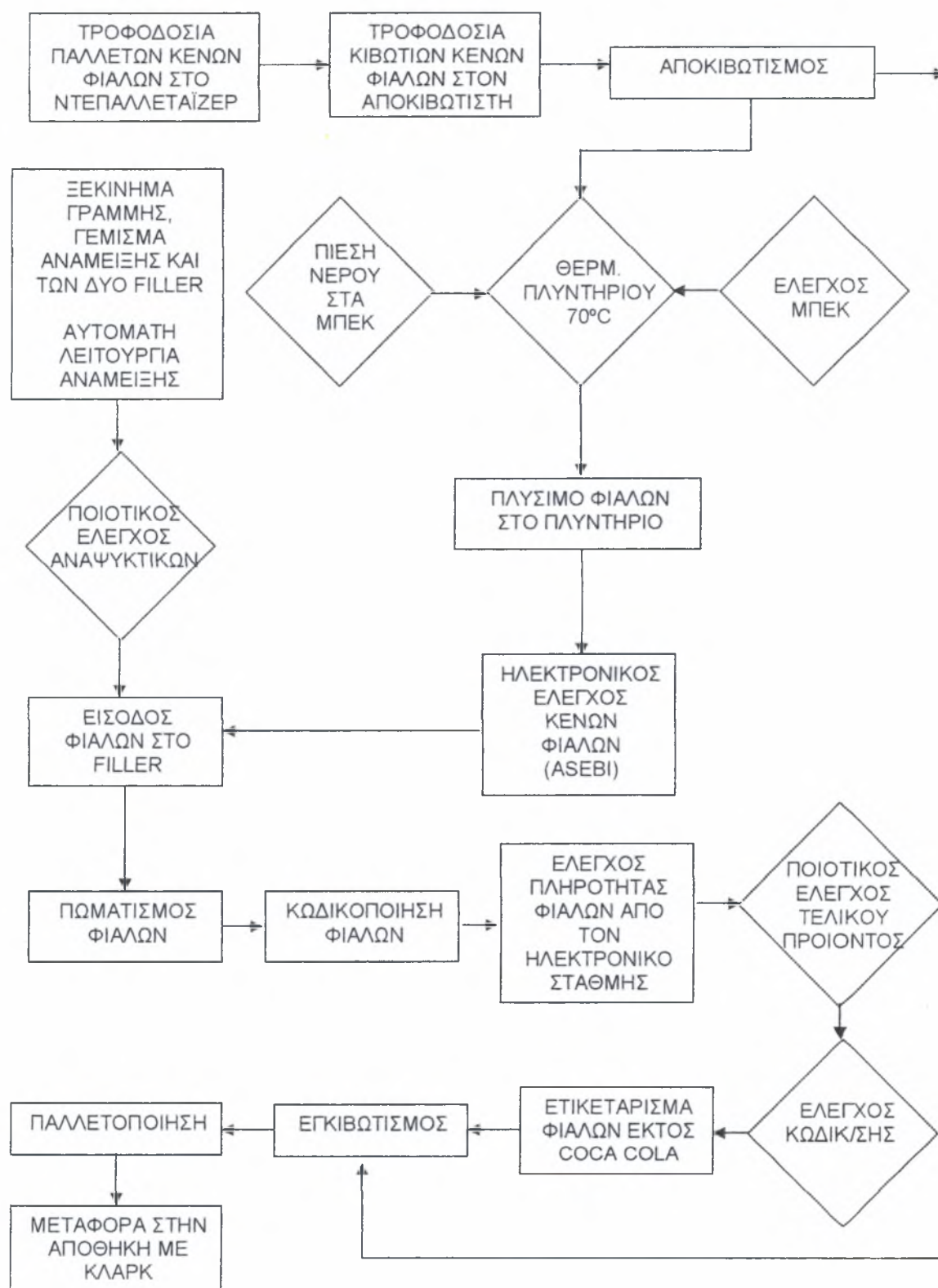
PRODUCT	TANK 9lt	TANK 18lt	250cc	330cc	500cc	0.5lt	1lt	1.5lt
Coca – Cola				X	X	X		
Coca – Cola Light				X				
Sprite				X				
Sprite Light				X				X
Fanta Orange				X				
Fanta NC				X				
Fanta Μανταρίνι				X				
Νερό "Αύρα"						X	X	X
Soda				X		X		
Tonic				X				
Nes tea				X				
Fanta Post-Mix	X	X						
Fanta Post-Mix	X	X						
Amita (T/P)			X				X	

Στο Εργοστάσιο Πάτρας απασχολούνται συνολικά 250 εργαζόμενοι.

Στην παραγωγική διαδικασία συμμετέχουν δύο γραμμές παραγωγής:

- η γραμμή των γυάλινων επιστρεφόμενων φιαλών 250cc (Returnable Glass Bottle)
- η γραμμή των μη επιστρεφόμενων πλαστικών φιαλών PET (0,5lt,1lt,2lt)

Η διαδικασία στη γραμμή των γυάλινων φιαλών αρχίζει με την εκφόρτωση των επιστρεφόμενων και εισερχομένων γυάλινων φιαλών, οι οποίες στη συνέχεια οδηγούνται σε αποκαλαμωτή και πλυντήριο καυστικής σόδας για πλύσιμο. Ακολούθως ελέγχονται για την καθαρότητά τους και την απόκλισή τους από τα πρότυπα που ορίζει η εταιρεία. Έπειτα οδηγούνται μέσω μεταφορικών ταινιών στον ηλεκτρονικό έλεγχο των κενών φιαλών (ASEBI), στο γεμιστικό (filler), την πωματέζα, τον κωδικοποιητή και την ετικετέζα. Τα γεμάτα μπουκάλια περνούν από έλεγχο εμφάνισης και ποιότητας, ώστε να οδηγηθούν για αυτόματο εγκιβωτισμό και τελικά για φόρτωση και διανομή. Η διαδικασία αυτή περιγράφεται συνοπτικά στο ροϊκό διάγραμμα που ακολουθεί .

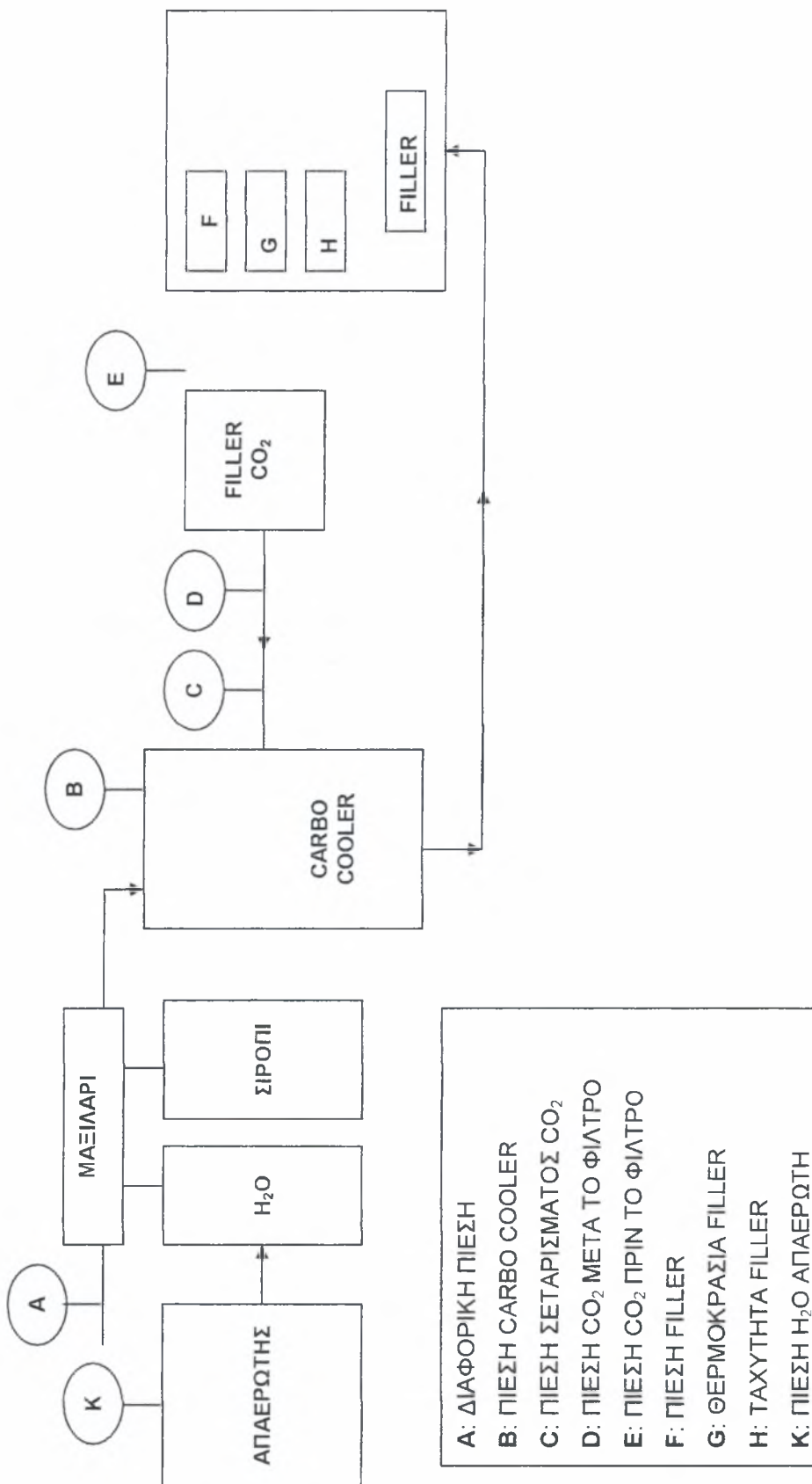


Ροϊκό διάγραμμα παραγωγής γραμμής RGB

Στη γραμμή των μη επιστρεφόμενων πλαστικών φιαλών PET αρχικά γίνεται παρασκευή των φιαλών με θέρμανση των προπλασμάτων (preforms) από λάμπες 20.000 volt και εφαρμογή πίεσης 40bar μέσα σε καλούπια. Στο εργοστάσιο υπάρχουν 2 μηχανές εμφύσησης (με 10 και 4 καλούπια αντίστοιχα). Οι φιάλες προωθούνται με αερογραμμή στην ετικετέζα και στην συνέχεια στο πλυντήριο (rinsing) , όπου πλένονται με αποσκληρωμένο νερό. Έπειτα οδηγούνται στο filler, την πωματέζα, κωδικοποιούνται και μετά τον τελικό έλεγχο συσκευάζονται και φορτώνονται .

Η παραγωγή του αναψυκτικού περιλαμβάνει τον έλεγχο και την επεξεργασία των πρώτων υλών (νερό, ζάχαρη, ισογλυκόζη, CO₂ και πυκνό σιρόπι), την παρασκευή του τελικού σιροπιού και αναψυκτικού. Συνοπτικά, το πυκνό σιρόπι αναμιγνύεται με την αρμόζουσα καθορισμένη αναλογία (βάσει συνταγών) με ανθρακωμένο νερό, ώστε να παραχθεί το αναψυκτικό που πίνουμε.

Για κάθε προϊόν υπάρχουν προκαθορισμένοι στόχοι, τόσο για την τιμή του Brix (σύνολο των διαλυτών στερεών σε γραμμάρια), όσο και για την ανθράκωση. Στο σχήμα που ακολουθεί φαίνεται το ροϊκό διάγραμμα της ανάμειξης της γραμμής παραγωγής PET.



3. Κατανόηση της διεργασίας

Οι επιχειρήσεις ανταγωνίζονται στην ποιότητα ,την προσφορά και την τιμή. Η ποιότητα καθορίζεται σύμφωνα με τις απαιτήσεις του πελάτη. Ξεκινώντας από την ερώτηση “Μπορούμε να κάνουμε τη δουλειά σωστά;” και όχι “ Έχουμε κάνει τη δουλειά σωστά;” δρούμε προληπτικά και όχι απολογιστικά. Ο απολογισμός που έπεται του αποτελέσματος είναι και δαπανηρός και μη αποδοτικός. Η πρόληψη είναι ο δρόμος για επιτυχημένη διαχείριση της ποιότητας.

Χρειαζόμαστε μια διεργασία για να διασφαλίσουμε ότι μπορούμε να συνεχίσουμε τη διαδικασία σωστά, ένα μοντέλο ελέγχου. Η μετατροπή ενός συνόλου εισροών σε ένα διαφορετικό σύνολο εκροών, χρησιμοποιώντας δεδομένα, είναι μία διεργασία. Ξεκινάμε καθορίζοντας τη διεργασία και συνεχίζουμε ερευνώντας τους δείκτες ικανότητάς της και τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται για να την παρακολουθούμε και να την ελέγχουμε.

Ο έλεγχος “Κάνουμε τη δουλειά σωστά;” είναι δυνατόν να γίνει όταν τα δεδομένα είναι αρκετά και μπορούν να αναλυθούν, ώστε οι εκροές να εξαρτώνται από τον έλεγχο των εισροών και της διεργασίας. Το τελευταίο μπορεί να συμβεί κατά τη στιγμή της μετατροπής·τότε η ποιότητα είναι διασφαλισμένη.

Υπάρχουν δύο διαφορετικές εκδοχές της ποιότητας, η ποιότητα σχεδιασμού και η ποιότητα κατασκευής. Ποιότητα σχεδιασμού σημαίνει κατά πόσο το προϊόν ή η υπηρεσία είναι προηγμένο σχεδιαστικά. Η ποιότητα κατασκευής καταδεικνύει το βαθμό που το προϊόν ή η υπηρεσία ανταποκρίνεται στην ποιότητα σχεδιασμού. Ξεκινάμε τη διαχείριση της ποιότητας καθορίζοντας τις απαιτήσεις του πελάτη, κρατώντας τες επικαιροποιημένες.

Το κόστος της ποιότητας πρέπει να διαχειριστεί, έτσι ώστε να είναι το επιθυμητό για την επιχείρηση. Η μέτρηση του σχετιζόμενου με την ποιότητα κόστους παρέχει ένα ισχυρό εργαλείο για να εντοπίσουμε προβληματικές περιοχές και να παρακολουθήσουμε τη λειτουργικότητα της διαχείρισης.

Το κόστος της ποιότητας προκύπτει από την εσωτερική και εξωτερική αποτυχία, από την πρόληψη και από την αποτίμηση. Το κόστος που σχετίζεται με την πρόληψη εμπεριέχει τον καθορισμό των απαιτήσεων, το σχεδιασμό, το κατάλληλο

σύστημα διαχείρισης για την ποιότητα και την εκπαίδευση. Το κόστος αποτίμησης περιλαμβάνει τις μετρήσεις, τις κατάλληλες επαληθεύσεις, τα αυτόματα συστήματα μέτρησης κ.α.. Η αποτυχία περιλαμβάνει μη συμμορφούμενα προϊόντα, ανασυσκευασίες, επανεξετάσεις, φύρες, εγγυήσεις, παράπονα, επιστροφές και ό,τι άλλο σχετίζεται με απώλεια της αξιοπιστίας του πελάτη, του πραγματικού και του εν δυνάμει.

Η ολική διαχείριση ποιότητας χρησιμοποιώντας στατιστικές μεθόδους στη λήψη αποφάσεων δείχνει την πορεία για τη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού, την αύξηση της συμμόρφωσης και τη μείωση του κόστους.

Ο στατιστικός έλεγχος της διεργασίας (SPC) είναι το σύνολο των εργαλείων διαχείρισης διεργασιών που καθορίζουν και παρακολουθούν τις εκροές της ποιότητας ενός οργανισμού. Είναι επίσης η στρατηγική μείωσης της μεταβλητότητας των προϊόντων, διεργασιών, υλικών, συμπεριφορών και εξοπλισμού. Το ερώτημα που πρέπει να τίθεται συνεχώς είναι 'Μπορούμε να κάνουμε τη δουλειά καλύτερα;''.

Ο στατιστικός έλεγχος της διεργασίας υφίσταται γιατί υπάρχει, και πάντα θα υπάρχει, μεταβλητότητα στα χαρακτηριστικά των υλικών, των υπηρεσιών και των ανθρώπων. Η μεταβλητότητα πρέπει να κατανοηθεί και να εκτιμηθεί προκειμένου να αντιμετωπιστεί.

Υπάρχουν κάποια βασικά εργαλεία στατιστικού ελέγχου. Αυτά είναι:

- τα διαγράμματα ροής της διεργασίας (τί έγινε;)
- τα έντυπα ελέγχου (πόσο συχνά έγινε;)
- τα ιστογράμματα (αποτύπωση της μεταβλητότητας)
- τα γραφήματα (απότυπωση της μεταβλητότητας σε σχέση με το χρόνο)
- οι αναλύσεις Pareto (ταξινόμηση)
- οι αναλύσεις αιτίας και αποτελέσματος (τί προκαλεί τα προβλήματα)
- τα διαγράμματα διασποράς (διερεύνηση συσχετισμών)
- τα διαγράμματα ελέγχου (παρακολούθηση της μεταβλητότητας σε συνάρτηση με το χρόνο)

Δεν χρειάζεται να υπάρχει ιδιαίτερο υπόβαθρο στην στατιστική για την κατανόηση και τη χρησιμοποίηση των παραπάνω εργαλείων.

3.1 Μεταβλητές και μεταβλητότητα διεργασίας

Υπάρχουν τρεις κύριες εκτιμήσεις για την κεντρική τιμή της κατανομής (ακρίβεια). Αυτές είναι : η μέση τιμή μ , η median (η μεσαία τιμή) και η mode (η πιο συχνά εμφανιζόμενη τιμή). Για συμμετρικές κατανομές οι παραπάνω τιμές είναι ταυτόσημες και για ασύμμετρες κατανομές η κατά προσέγγιση σχέση που τις συνδέει είναι: $\text{mean-mode}=3(\text{mean-median})$.

Υπάρχουν δύο εκτιμήσεις για την τιμή της διασποράς της κατανομής. Αυτές είναι το εύρος (το μεγαλύτερο – το μικρότερο) και η κύρια μεταβλητότητα σ . Το εύρος είναι περιορισμένο σε χρήση, αλλά είναι εύκολο στην κατανόηση. Το σ δίνει πιο ακριβείς μετρήσεις για την διασπορά αλλά είναι πιο δύσκολο στην κατανόηση.

Συνεχείς μεταβλητές συνήθως δημιουργούν κανονική ή συμμετρική κατανομή. Η κανονική κατανομή εξηγείται χρησιμοποιώντας την κλίμακα του σ γύρω από το μέσο. Χρησιμοποιώντας τα όρια της κανονικής κατανομής μπορούν να εκτιμηθούν οι δείκτες ικανότητας της διεργασίας ή να τεθούν στόχοι.

Η αποτυχία στην κατανόηση και τη διαχείριση της μεταβλητότητας συχνά οδηγεί σε αδικαιολόγητες αλλαγές στη στοχοθέτηση των διεργασιών που έχει ως αποτέλεσμα μη απαραίτητη αύξησή της.

Η μεταβλητότητα των μέσων τιμών των δειγμάτων θα εμφανίζει μικρότερη διασπορά απ'ότι τα ξεχωριστά αποτελέσματα. Το Κεντρικό Οριακό Θεώρημα δείχνει τη σχέση μεταξύ σ , μεγέθους δείγματος (n) και το σφάλμα των μέσων : $SE = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$.

Η ομαδοποίηση των αποτελεσμάτων των δεδομένων με αυξημένη ευαισθησία σε περιπτώσεις μεταβολών είναι η βάση του γραφήματος των μέσων τιμών. Το γράφημα του εύρους χρησιμοποιείται για να διαπιστωθεί και να διαχειριστεί η μεταβλητότητα.

Η επιλογή του μεγέθους του δείγματος είναι ζωτικής σημασίας για το διάγραμμα ελέγχου και εξαρτάται από τη διεργασία που εξετάζουμε.

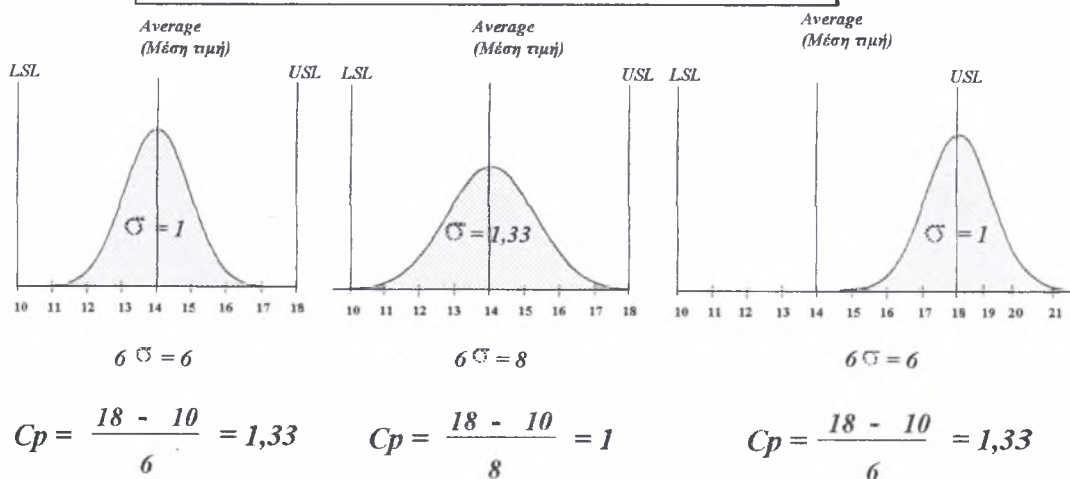
3.2 Δείκτες δυνατότητας παραγωγικής διαδικασίας

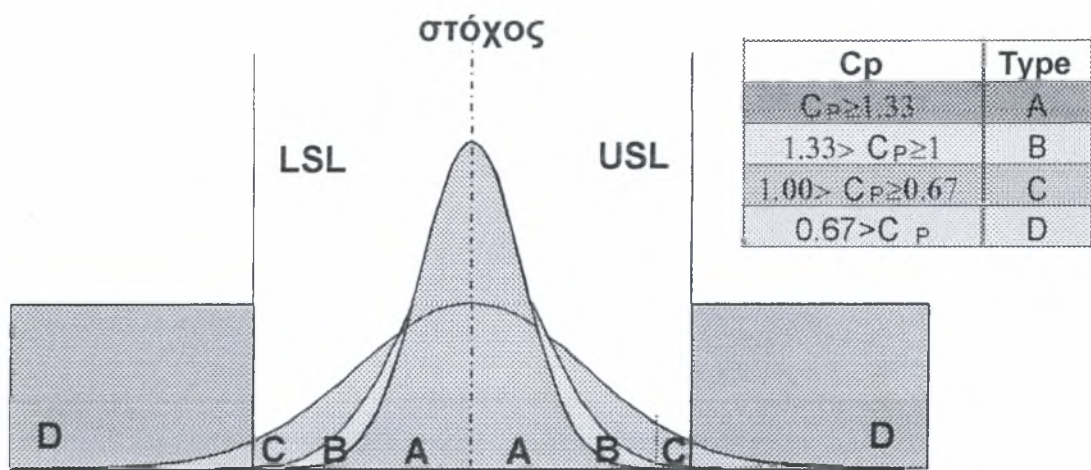
Οι τεχνικές προδιαγραφές ενός προϊόντος καθορίζονται αρχικά σύμφωνα με τις ποιοτικές απαιτήσεις από το προϊόν, ανεξάρτητα από την παραγωγική διαδικασία που θα το παράγει. Αντίθετα, τα φυσικά όρια ανοχών χαρακτηρίζουν την ίδια την παραγωγική διαδικασία και προσδιορίζονται κατά την πρώτη φάση της ανάλυσης δυνατοτήτων της παραγωγικής διαδικασίας, ανεξάρτητα από τεχνικές προδιαγραφές προϊόντων.

Δείκτης δυνατότητας παραγωγικής διαδικασίας (process capability index, process capability ratio) είναι ένας απλός δείκτης (λόγος δύο ποσοτήτων) που συνδέει τα φυσικά όρια ανοχών με τις προδιαγραφές. Αποτελεί δηλαδή ένα περιληπτικό μέτρο των δυνατοτήτων μιας παραγωγικής διαδικασίας σε σχέση με συγκεκριμένες τεχνικές προδιαγραφές L και U.

Ο παλαιότερος, απλούστερος και δημοφιλέστερος δείκτης δυνατότητας παραγωγικής διαδικασίας είναι ο δείκτης Cp που χρησιμοποιείται όταν ορίζονται αμφίπλευρα όρια προδιαγραφών (L,U) και εκφράζει ποσοτικά τη σχέση ανάμεσα στο εύρος U-L των προδιαγραφών και το εύρος 6σ των φυσικών ορίων ανοχών:

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} = \frac{\text{Ανοχή}}{6\sigma}$$





$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} = \frac{\text{ανοχή}}{6\sigma}$$

Τιμές του δείκτη C_p μικρότερες από τη μονάδα σημαίνουν ότι το εύρος των προδιαγραφών U-L είναι μικρότερο από το εύρος των φυσικών ορίων ανοχών με αποτέλεσμα την παραγωγή μεγάλου ποσοστού προϊόντων εκτός προδιαγραφών. Όταν ορίζεται μόνο κάτω ή μόνο άνω όριο προδιαγραφών, ο δείκτης δυνατότητας παραγωγικής διαδικασίας είναι αντίστοιχα

$$C_{pl} = (\mu - L) / 3\sigma$$

ή

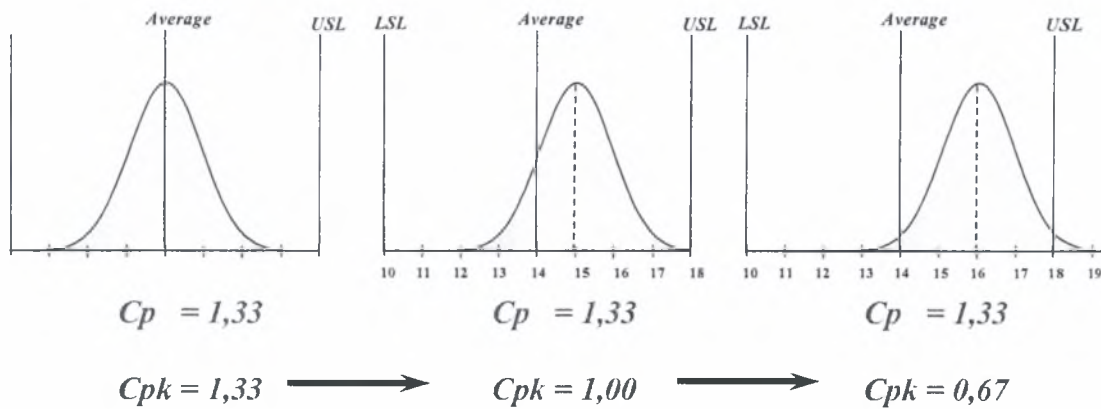
$$C_{pu} = (U - \mu) / 3\sigma$$

Αν η κατανομή του X είναι κανονική, οι τιμές των δεικτών C_p και C_{pl} ή C_{pu} αντιστοιχούν σε συγκεκριμένα ποσοστά ελαττωματικών, τα οποία προσδιορίζονται εύκολα από τους πίνακες της ανηγμένης κανονικής κατανομής. Ο δείκτης C_p αποδίδει τις δυνατότητες της παραγωγικής διαδικασίας με την προϋπόθεση ότι η μέση τιμή ταυτίζεται με το μέσο $M = (L+U)/2$ του διαστήματος (L,U). Όταν η μέση τιμή διαφέρει από το μέσο του διαστήματος προδιαγραφών, οι δυνατότητες της παραγωγικής διαδικασίας εκφράζονται από τον δείκτη C_{pk} που ορίζεται από τη σχέση

$$C_{pk} = \min(C_{pu}, C_{pl})$$

Ο δείκτης C_{pk} λαμβάνει υπόψη την εκκεντρότητα της κατανομής του X σε σχέση με το σημείο M και η τιμή του είναι μικρότερη ή ίση με την τιμή του δείκτη C_p . Οι δύο δείκτες έχουν την ίδια τιμή όταν $\mu = M$, οπότε ελαχιστοποιείται το ποσοστό των ελαττωματικών προϊόντων. Επομένως η διαφορά ανάμεσα στις τιμές των δεικτών C_p και C_{pk} όταν μ διάφορο του M είναι ένα μέτρο της εκκεντρότητας της κατανομής του X και παράλληλα προσδιορίζει έμμεσα τη βελτίωση που μπορεί να προκύψει από τη σωστή ρύθμιση της μέσης τιμής.

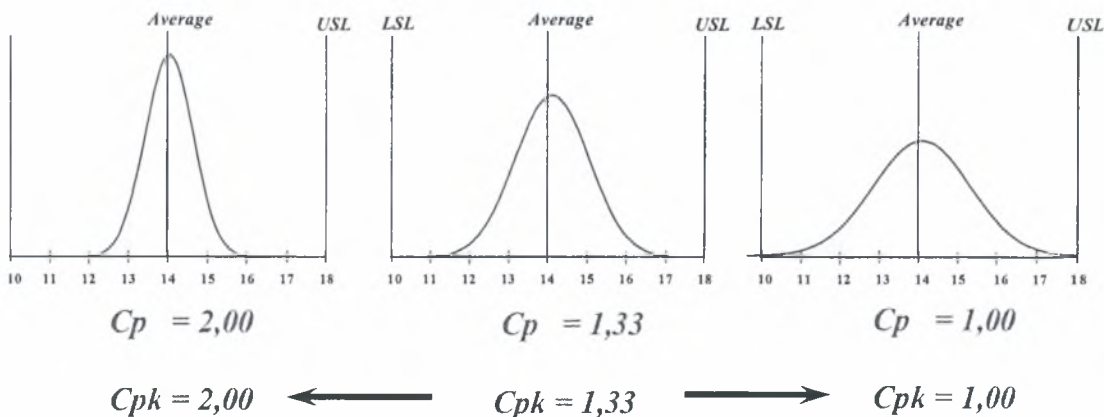
Πως επηρεάζει μια μετατόπιση της διεργασίας το Process Capability Control?



Η μετατόπιση της διεργασίας θα μειώσει το Process Capability Control

Αποδεκτή \longrightarrow Απλώς ικανή \longrightarrow Μη ικανή

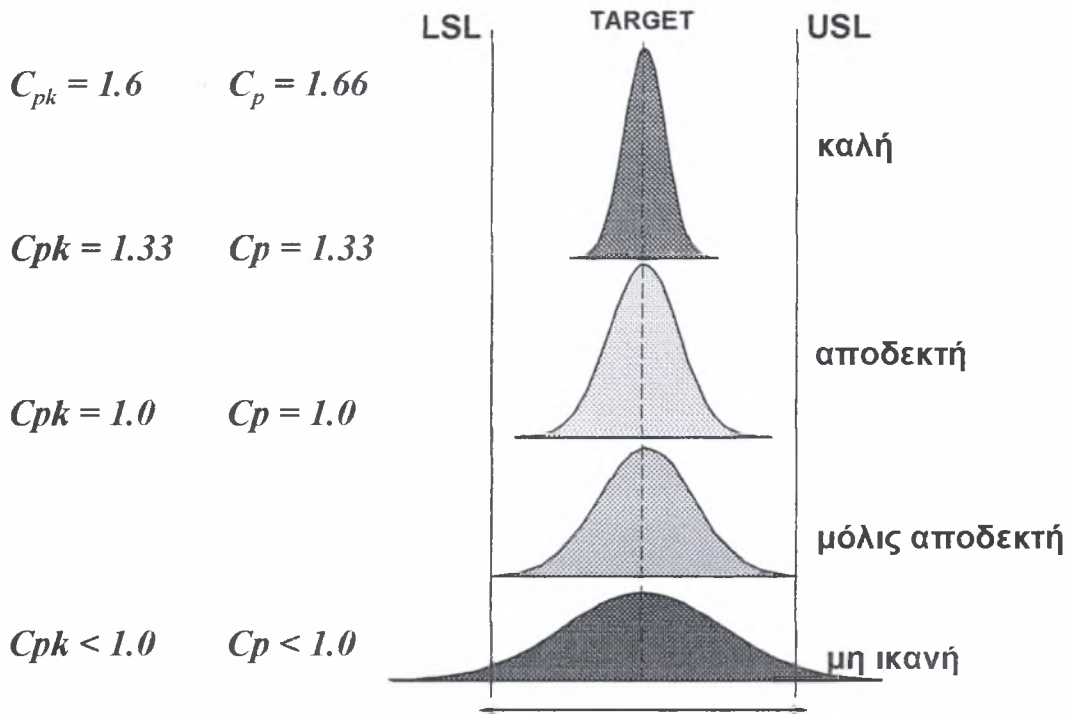
Πως επηρεάζει μια αλλαγή της ικανότητας διεργασίας το Process Capability Control?



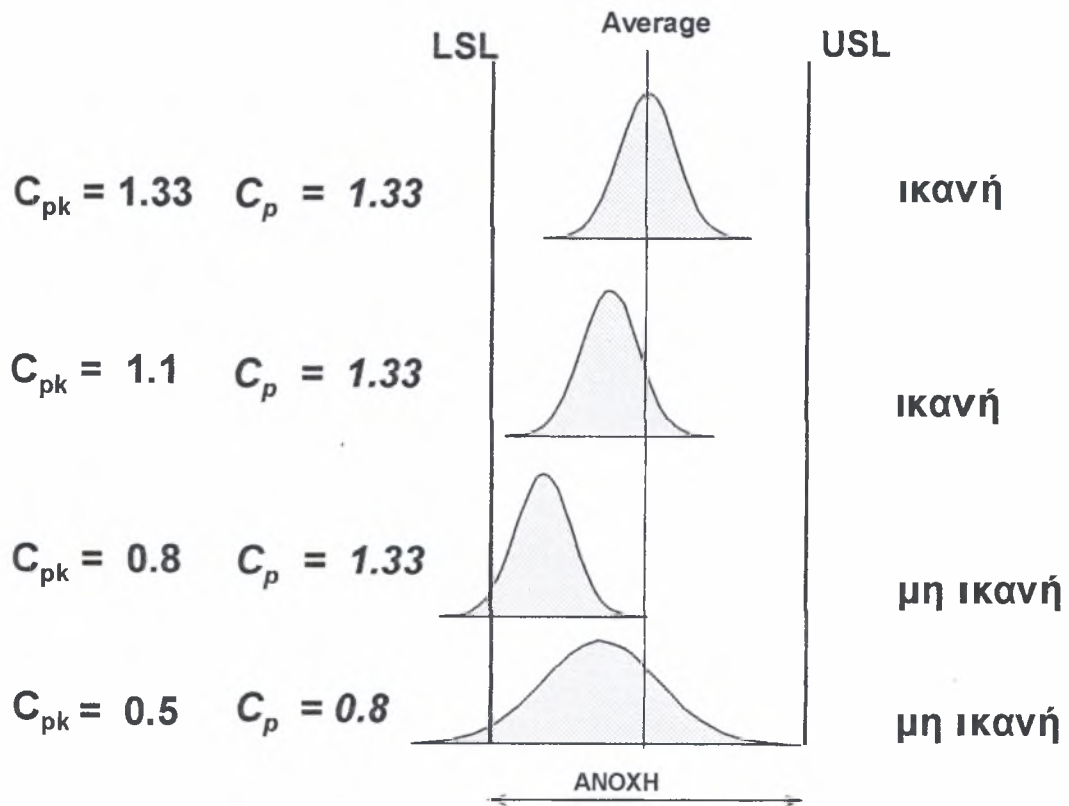
Η κατεύθυνση της αλλαγής θα αυξήσει ή θα μειώσει το Process Capability Control

Καλή \longleftarrow Αποδεκτή¹⁴ \longrightarrow Απλώς ικανή

Ικανότητα της διεργασίας αν η τιμή $C_p = C_{pk}$



Ικανότητα της διεργασίας αν $C_p \neq C_{pk}$

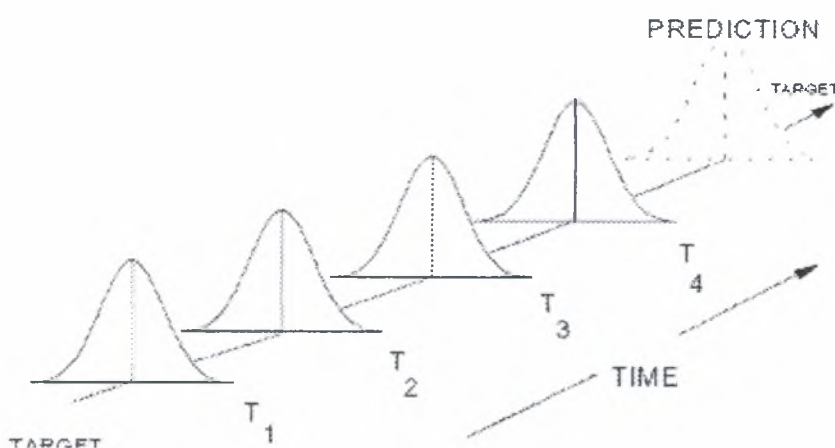


Ακόμη και όταν η κατανομή του X είναι κανονική, η τιμή ενός δείκτη δεν επαρκεί για τον πλήρη χαρακτηρισμό των δυνατοτήτων μιας παραγωγικής διαδικασίας, διότι αυτές εξαρτώνται από δύο παραμέτρους, που εκφράζουν τη θέση (μ) και τη διασπορά (σ) της κατανομής. Είναι αδύνατος π.χ ο υπολογισμός του παραγόμενου ποσοστού ελαττωματικού μόνο από την τιμή του δείκτη. Μόνο εφόσον είναι εξασφαλισμένη η ευχερής και ακριβής ρύθμιση της μέσης τιμής, οι δείκτες αποδίδουν με επάρκεια και κυριολεκτικά τις δυνατότητες της παραγωγικής διαδικασίας, είτε από την άποψη του ποσοστού των ελαττωματικών είτε από την άποψη του τετραγωνικού κόστους απόκλισης από την επιθυμητή τιμή. Βέβαια στην περίπτωση της γνωστής μέσης τιμής οι δείκτες ουσιαστικά εκφράζουν έμμεσα το μέγεθος της τυπικής απόκλισης σ , που είναι πλέον η μόνη άγνωστη παράμετρος.

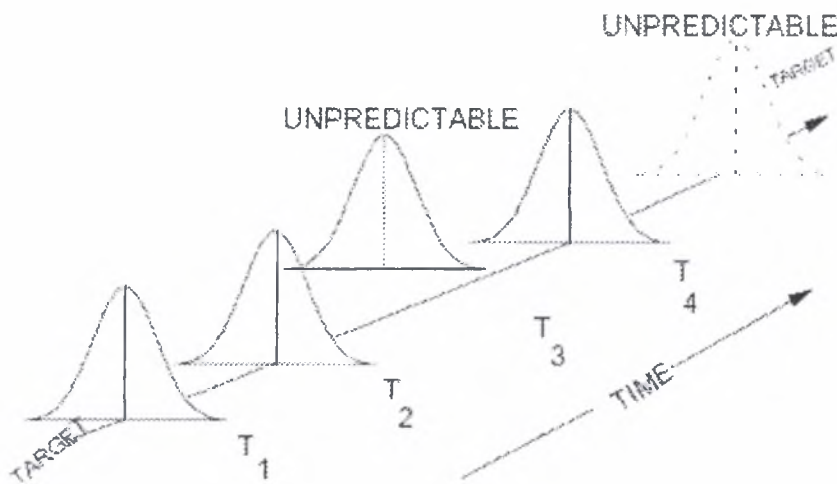
Συμπερασματικά, οι δείκτες προσφέρουν μια καταρχήν αίσθηση των δυνατοτήτων μιας παραγωγικής διαδικασίας σε σχέση με ορισμένες προδιαγραφές, αλλά είναι ανεπαρκείς όταν είναι άγνωστη η μέση τιμή και είναι ισοδύναμοι με την τυπική απόκλιση όταν η μέση τιμή είναι γνωστή.

3.3 Έλεγχος της διεργασίας

Βασικός λόγος για την παρακολούθηση της διεργασίας είναι να καθοριστεί η ακρίβειά της στο χρόνο. Σε κάθε χρόνο δειγματοληψίας T προκύπτει η ακόλουθη ερώτηση: Η διεργασία είναι κανονική (αναμενόμενη) ή κάτι έχει αλλάξει;

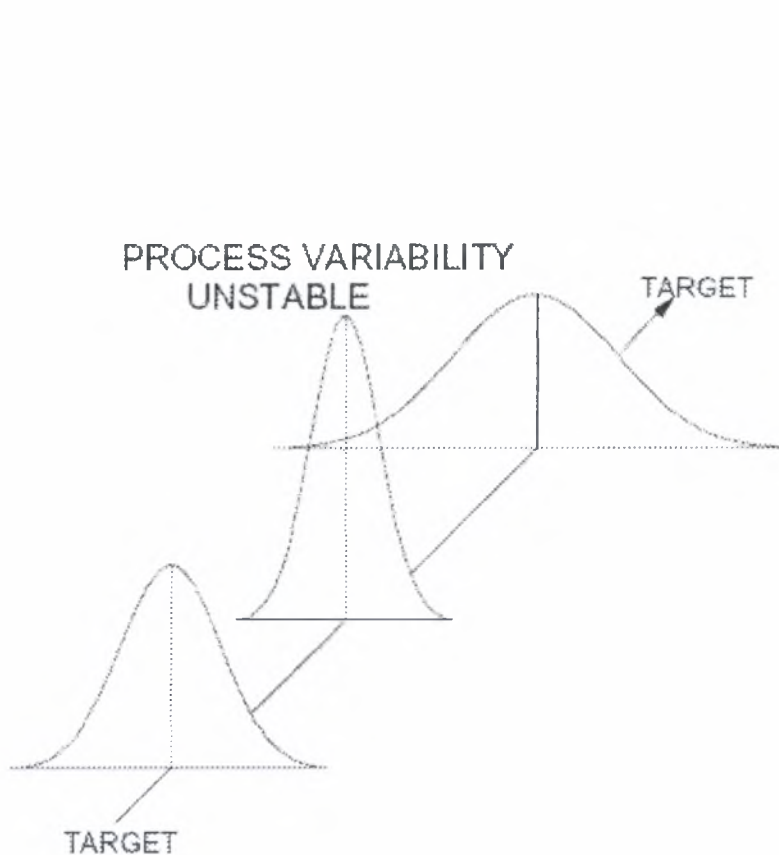


Παρατηρούμε πόσο αναμενόμενη είναι η διεργασία. Αυτό το είδος της διεργασίας λέμε ότι βρίσκεται σε στατιστικό έλεγχο (in control). Αυτό η διεργασία κατευθύνεται προς το στόχο και θεωρείται ακριβής, το μέσο αποτέλεσμα αυτής της διεργασίας είναι το επιθυμητό. Κάποιες στιγμές όμως η διεργασία αλλάζει. Στο παρακάτω σχήμα ο μέσος της διεργασίας αλλάζει τη χρονική στιγμή T3 και δεν είναι πλέον ακριβής.



Αυτού του είδους η διεργασία είναι εκτός στατιστικού ελέγχου (out of control). Παρατηρούμε ότι σε αυτά τα δύο παραδείγματα αγνοούνται τα όρια των προδιαγραφών τα οποία σχετίζονται με τον έλεγχο της διεργασίας. Η διεργασία καθορίζεται ότι είναι εντός η εκτός στατιστικού ελέγχου βασιζόμενοι εξολοκλήρου στην αναμενόμενη στατιστική της συμπεριφορά στη διάρκεια του χρόνου.

Ένας άλλος λόγος για την παρακολούθηση της διεργασίας είναι ο καθορισμός της αποτελεσματικότητάς της στο χρόνο.



Σ' αυτή την περίπτωση ο μέσος όρος της διεργασίας είναι ο επιθυμητός στόχος, αλλά είναι αρκετά μεταβαλλόμενη η διεργασία. Αυτή η διεργασία δεν είναι αρκετά αποτελεσματική, συνεχώς αλλάζει. Αυτό που χρειάζεται είναι ένα σύστημα παρακολούθησης έτσι ώστε να ελέγχεται η ακρίβεια και η αποτελεσματικότητά της.

Πολλά εργοστάσια χρησιμοποιούν την συνεχή παρατήρηση για να αποτυπώσουν τις δυνατότητες της παραγωγικής διαδικασίας. Μερικά παραδείγματα είναι η παρακολούθηση της πυκνότητας, της ανθράκωσης και του καθαρού βάρους των προϊόντων.

3.4 Αιτίες μεταβλητότητας και στατιστικός έλεγχος

Κοινό χαρακτηριστικό όλων των διαδικασιών παραγωγής προϊόντων ή παροχής υπηρεσιών είναι αναντίρρητα η ύπαρξη εγγενούς ή φυσικής μεταβλητότητας. Όσο καλά και αν σχεδιαστεί, συντηρηθεί και εποπτευθεί μια διαδικασία, θα υπάρχουν οπωσδήποτε κάποιες μικρές έστω, διαφορές στα χαρακτηριστικά ποιότητας προϊόντων ή υπηρεσιών. Εκείνο το οποίο διαφοροποιεί τις διαδικασίες ως προς την ποιότητά τους, δεν είναι η παρουσία ή απουσία της μεταβλητότητάς τους αλλά το μέγεθός της.

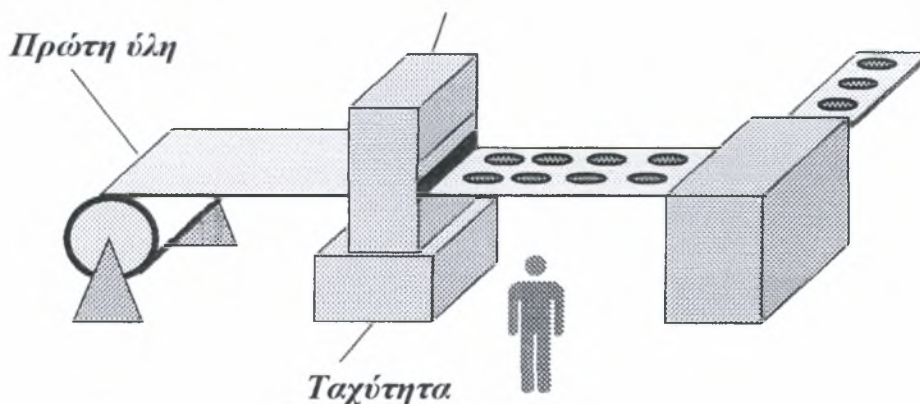
Η φυσική μεταβλητότητα αποτελεί τη συνισταμένη της επίδρασης πολλών αναπόφευκτων παραγόντων, που ονομάζονται τυχαίες αιτίες. Οι τυχαίες αιτίες, όπως π.χ αλλαγές του εξωτερικού περιβάλλοντος ή μικρές διαφοροποιήσεις μιας φυσικής πρώτης ύλης, είναι πρακτικά αδύνατο να απαλειφθούν κατά τη διαδικασία της παραγωγής.

Οι τυχαίες αιτίες δεν είναι οι μόνες που επηρεάζουν το αποτέλεσμα μιας παραγωγικής διαδικασίας. Η μεταβλητότητα αυξάνεται, λιγότερο ή περισσότερο συχνά, εξαιτίας της εμφάνισης και επίδρασης πρόσθετων παραγόντων που ονομάζονται συστηματικές αιτίες. Οι συστηματικές αιτίες οφείλονται συνήθως σε μηχανικές ή ηλεκτρικές βλάβες, ελαττωματικές πρώτες ύλες και ανθρώπινα σφάλματα κατά την ρύθμιση των μηχανών ή την εκτέλεση των εργασιών. Σε αντίθεση με τις τυχαίες αιτίες, οι συστηματικές αιτίες είναι δυνατό να απαλειφθούν μετά από κατάλληλη διορθωτική επέμβαση, π.χ ρύθμιση της μηχανής. Η επίπτωση των συστηματικών αιτιών στη διασπορά τιμών της διαδικασίας είναι γενικά μεγαλύτερη από την επίπτωση των τυχαίων αιτιών και κατά κανόνα οδηγεί σε μη αποδεκτή στάθμη ποιότητας της διαδικασίας.

Κοινές αιτίες

**Μόνιμες ---> πάντα παρούσες ---> κανονικά
κατανεμημένες**

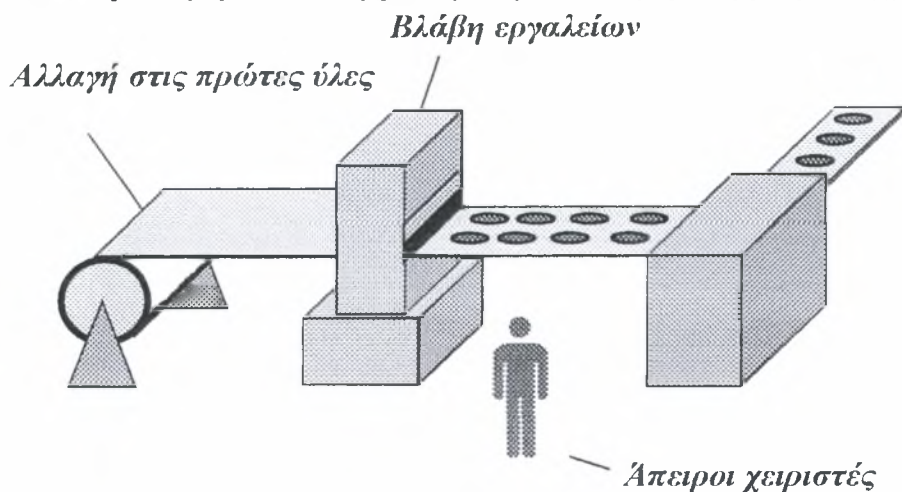
**Επηρεάζουν το αποτέλεσμα της διεργασίας με προβλέψιμους τρόπους
Σταθερή και επαναλήψιμη κατανομή μέσα στο χρόνο
Tool tolerance**



Ειδικές αιτίες

Σποραδικές ---> όχι πάντοτε παρούσες ---> ασταθής κατανομή

Επηρεάζουν το αποτέλεσμα της διεργασίας με απρόβλεπτους τρόπους. Ασταθείς και μη επαναλαμβανόμενη κατανομή στη ροή του χρόνου

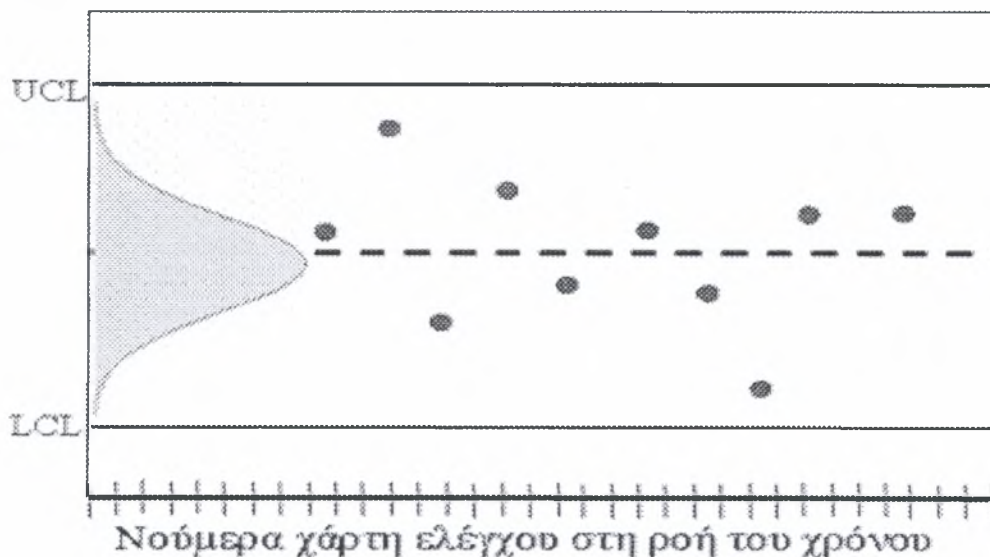


Σημειώνεται ότι ο όρος διασπορά τιμών έχει εδώ ευρύτερο περιεχόμενο από αυτό της μεταβλητότητας μιας στατιστικής κατανομής. Το αποτέλεσμα της επίδρασης μιας συστηματικής αιτίας είναι μερικές φορές η μετατόπιση της θέσης της κατανομής (αύξηση ή μείωση της μέσης τιμής) χωρίς ταυτόχρονη αύξηση της τυπικής απόκλισης.

Όταν μια παραγωγική διαδικασία είναι απαλλαγμένη από την παρουσία και επίδραση συστηματικών αιτιών, λέγεται ότι βρίσκεται σε κατάσταση στατιστικού ελέγχου, ή απλά σε κατάσταση ελέγχου. Σε αντίθετη περίπτωση η διαδικασία λέγεται ότι βρίσκεται εκτός στατιστικού ελέγχου, ή απλά εκτός ελέγχου. Η κατάσταση στατιστικού ελέγχου σημαίνει ότι η κατανομή του χαρακτηριστικού ποιότητας παραμένει σταθερή κατά τη διάρκεια της παραγωγής, με τη μικρότερη δυνατή μεταβλητότητα (φυσική μεταβλητότητα). Μια κατάσταση στατιστικού ελέγχου δεν είναι η φυσική κατάσταση μιας παραγωγικής διεργασίας, αντίθετα είναι ένα επίτευγμα, το οποίο επιτυγχάνεται με περιορισμό, μία προς μία, με καθορισμένη προσπάθεια, των ειδικών αιτιών των μεγάλων μεταβολών (W. E. Deming).

3.5 Βασική στατιστική θεωρία του διαγράμματος ελέγχου

Το διάγραμμα ελέγχου είναι γραφική παράσταση της πορείας μιας εκτιμήτριας σε συνάρτηση με το χρόνο ή τον αριθμό δείγματος. Η εκτιμήτρια αφορά ορισμένη παράμετρο της κατανομής του χαρακτηριστικού ποιότητας και υπολογίζεται από τα τυχαία δείγματα που λαμβάνονται κατά διαστήματα από την παραγωγική διαδικασία. Αν το χαρακτηριστικό ποιότητας είναι χαρακτηριστικό διαλογής, η εκτιμήτρια αφορά το ποσοστό των ελαττωματικών ή τον αριθμό ελαττωμάτων, ενώ αν είναι χαρακτηριστικό μέτρησης αφορά τη θέση ή τη διασπορά της κατανομής. Στην ορολογία του στατιστικού ελέγχου παραγωγικής διαδικασίας η εκτιμήτρια ονομάζεται γενικά στατιστική δείγματος.



Η στατιστική δείγματος είναι μια από τις ακόλουθες :

- A) σε χαρακτηριστικά διαλογής : το ποσοστό ή ο αριθμός ελαττωματικών στο δείγμα, ο αριθμός ελαττωμάτων στο δείγμα ή ο αριθμός ελαττωμάτων ανά μονάδα δείγματος
- B) σε χαρακτηριστικά μέτρησης : η μέση τιμή, η τυπική απόκλιση δείγματος ή το εύρος τιμών του δείγματος

Η κεντρική γραμμή (center line CL) του διαγράμματος αντιστοιχεί στην τιμή της παραμέτρου (π.χ ποσοστό ελαττωματικών, μέση τιμή) όταν η διαδικασία βρίσκεται σε στατιστικό έλεγχο. Εκφράζει δηλαδή την κατάσταση ομαλής λειτουργίας, όπου η μεταβλητότητα οφείλεται σε τυχαίες αιτίες. Οι άλλες δύο οριζόντιες γραμμές είναι τα όρια ελέγχου (control limits) και ειδικότερα το άνω όριο ελέγχου (upper control limit, UCL) και το κάτω όριο ελέγχου (lower control limit, LCL). Εφόσον τα σημεία του διαγράμματος, δηλαδή οι διαδοχικές τιμές της στατιστικής δείγματος, βρίσκονται μεταξύ των ορίων ελέγχου, η διαδικασία θεωρείται ότι βρίσκεται σε στατιστικό έλεγχο. Όταν ένα σημείο του διαγράμματος είναι εκτός των ορίων ελέγχου, η σχετικά μεγάλη απόστασή του από την κεντρική γραμμή αποτελεί ένδειξη μεταβολής της κατανομής του χαρακτηριστικού ποιότητας, που οφείλεται σε επίδραση συστηματικής αιτίας. Επομένως είναι σκόπιμη η διερεύνηση και αποκατάσταση του προβλήματος, αν πράγματι υπάρχει, ώστε να επανέλθει η διαδικασία σε κατάσταση στατιστικού ελέγχου. Ο παραπάνω κανόνας λειτουργίας του διαγράμματος είναι απλός αλλά ανεπαρκής. Είναι συχνό φαινόμενο όλα τα σημεία του διαγράμματος να βρίσκονται εντός των ορίων ελέγχου, αλλά η διάταξή τους να αποκαλύπτει την παρουσία μιας συστηματικής αιτίας. Αν π.χ 15 διαδοχικά σημεία είναι επάνω από την κεντρική γραμμή αλλά κάτω από το άνω όριο ελέγχου, είναι προφανές ότι η κατανομή του χαρακτηριστικού ποιότητας έχει μετατοπιστεί και επομένως η διαδικασία βρίσκεται εκτός στατιστικού ελέγχου. Στα περισσότερα διαγράμματα τα διαδοχικά σημεία ενώνονται μεταξύ τους με ευθύγραμμα τμήματα ώστε να γίνονται αντιληπτές παρόμοιες, μη τυχαίες διατάξεις. Όταν η διαδικασία είναι πραγματικά σε στατιστικό έλεγχο, τα σημεία του διαγράμματος εμφανίζονται κατά απολύτως τυχαίο τρόπο, με το μεγαλύτερο ποσοστό τους κοντά στην κεντρική γραμμή αλλά και από τις δύο πλευρές της.

Παρότι το διάγραμμα ελέγχου είναι φαινομενικά μια απλή γραφική τεχνική, υποστηρίζεται από στατιστική θεωρία, η οποία επιτρέπει τη βαθύτερη κατανόηση της λειτουργίας και των ιδιοτήτων του. Συγκεκριμένα το διάγραμμα ελέγχου αποτελεί ουσιαστικά εφαρμογή και γραφική απεικόνιση του στατιστικού ελέγχου υποθέσεων. Η σύγκριση κάθε σημείου με τα όρια ελέγχου του διαγράμματος είναι στατιστικός έλεγχος της υπόθεσης ότι η κατανομή του χαρακτηριστικού ποιότητας παραμένει

εκείνη ακριβώς που αναμένεται όταν η μεταβλητότητα οφείλεται αποκλειστικά σε τυχαίες αιτίες. Με άλλα λόγια, η μηδενική υπόθεση H_0 και η εναλλακτική υπόθεση H_1 είναι αντίστοιχα οι εξής:

H_0 : διαδικασία σε στατιστικό έλεγχο (απουσία συστηματικών αιτιών, φυσική μεταβλητότητα)

H_1 : διαδικασία εκτός στατιστικού ελέγχου (παρουσία συστηματικής αιτίας, πρόσθετη διασπορά)

Η μηδενική υπόθεση γίνεται δεκτή όταν η στατιστική δείγματος είναι μεταξύ των ορίων ελέγχου και απορρίπτεται όταν η στατιστική δείγματος είναι εκτός των ορίων ελέγχου. Σε πλήρη αναλογία με το στατιστικό έλεγχο υποθέσεων, πιθανότητα σφάλματος πρώτου είδους είναι η πιθανότητα η στατιστική του δείγματος να βρεθεί εκτός ορίων ελέγχου (απόρριψη της H_0) ενώ η διαδικασία είναι στην πραγματικότητα σε στατιστικό έλεγχο (η H_0 ισχύει). Πιθανότητα σφάλματος δεύτερου είδους είναι η πιθανότητα η στατιστική του δείγματος να βρεθεί μεταξύ των ορίων ελέγχου (αποδοχή της H_0), ενώ στην πραγματικότητα είναι εκτός στατιστικού ελέγχου (η H_0 δεν ισχύει). Χαρακτηριστική καμπύλη του διαγράμματος ελέγχου λέγεται η γραφική απεικόνιση της πιθανότητας σφάλματος δεύτερου είδους σε συνάρτηση με την πραγματική τιμή της ελεγχόμενης παραμέτρου.

Οι γενικές σχέσεις που προσδιορίζουν την κεντρική γραμμή και τα όρια ελέγχου του απλού διαγράμματος Shewhart για οποιαδήποτε στατιστική δείγματος w είναι:

$$UCL = \mu_w + k\sigma_w$$

$$CL = \mu_w$$

$$LCL = \mu_w - k\sigma_w$$

Όπου μ_w και σ_w είναι αντίστοιχα η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση της w σε κατάσταση στατιστικού ελέγχου και k είναι η παράμετρος θέσης των ορίων ελέγχου που καθορίζει την απόσταση των ορίων από την κεντρική γραμμή σε αριθμό τυπικών αποκλίσεων σ_w . Οι στατιστικές ιδιότητες του δείγματος και ειδικότερα οι πιθανότητες των σφαλμάτων πρώτου και δεύτερου είδους εξαρτώνται από την παράμετρο k και το μέγεθος δείγματος n .

Οι πραγματικές τιμές των μ και σ είναι άγνωστες. Η πρώτη εκτίμησή τους γίνεται με την ανάλυση δυνατοτήτων παραγωγικής διαδικασίας. Το διάγραμμα ελέγχου κατασκευάζεται αρχικά με βάση τα αποτελέσματα της ανάλυσης δυνατοτήτων, αλλά τα όρια ελέγχου θα πρέπει να θεωρούνται δοκιμαστικά επί όσο διάστημα χρειάζεται μέχρι να εξακριβωθεί ότι η διαδικασία λειτουργεί γενικά σε κατάσταση στατιστικού ελέγχου με σταθερή κατανομή του χαρακτηριστικού ποιότητας. Όταν αποκτηθεί αρκετή εμπειρία και βαθιά γνώση της διαδικασίας, το διάγραμμα αναθεωρείται και κατασκευάζεται με βάση τις νέες, περισσότερο αξιόπιστες εκτιμήσεις των παραμέτρων. Στην ιδανική περίπτωση, η μακρόχρονη και προσεκτική ενασχόληση με τη διαδικασία οδηγεί στη βελτίωσή της χάρη στην εξάλειψη των αιτιών μεταβολής που αρχικά θεωρούνται τυχαίες και αναπόφευκτες. Με τον τρόπο αυτό η φυσική μεταβλητότητα μειώνεται και τα όρια ελέγχου στενεύουν.

Ανάλογα με το προς μελέτην χαρακτηριστικό και το είδος της παραγωγής, γίνονται κάποιες εκτιμήσεις για το σύνολο της διεργασίας και για το αν αυτή μπορεί να χαρακτηριστεί “εντός ελέγχου”. Το κατά πόσον κάποια όρια ελέγχου (*control limits, CL*) είναι αποδεκτά ή όχι, εξαρτάται από το πόσο απέχουν από τα όρια των προδιαγραφών και το αν αφήνουν περιθώριο για διορθωτικές κινήσεις, καθώς επίσης και από το κόστος για την αλλαγή τους. Τα CL μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως βάση για την αξιολόγηση των ενεργειών που πιθανώς να χρειασθούν, προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί η παραγωγή ατελών (μη συμμορφούμενων) προϊόντων μετά την ολοκλήρωση της παραγωγής.

Η λειτουργία και οι στατιστικές ιδιότητες του απλού διαγράμματος ελέγχου προσδιορίζονται πλήρως από τις τιμές των παραμέτρων σχεδίασης, που είναι οι εξής :

- A) το χρονικό διάστημα h μεταξύ των λήψεων δύο διαδοχικών δειγμάτων
- B) το μέγεθος δείγματος n
- Γ) η παράμετρος θέσης των ορίων ελέγχου k

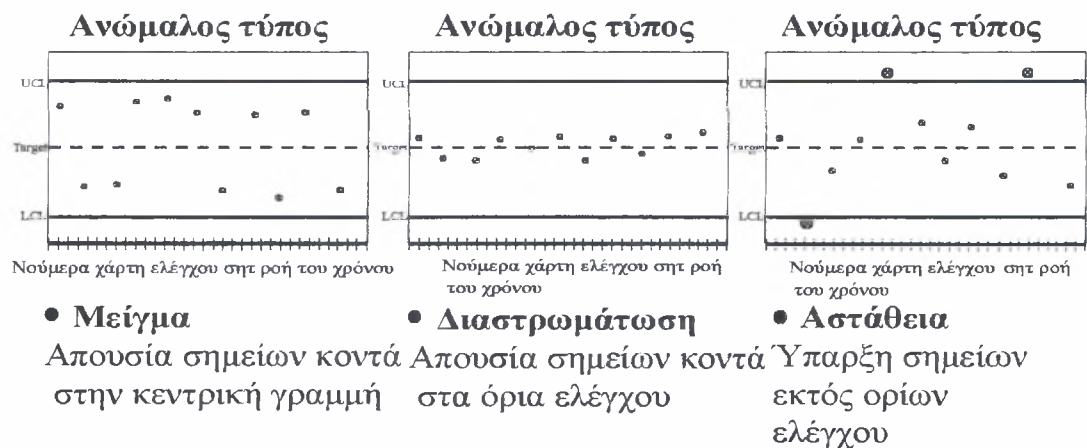
3.6 Μορφές χρονοσειρών και ερμηνεία

Ο απλός κανόνας ένδειξης διαδικασίας εκτός ελέγχου όταν η στατιστική δείγματος βρίσκεται εκτός των ορίων ελέγχου είναι επαρκής μόνο όταν οι

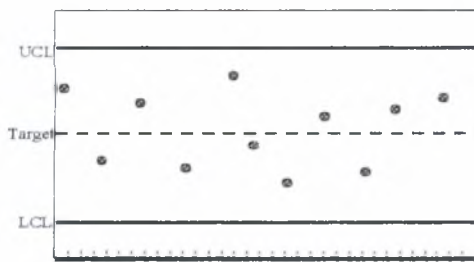
συστηματικές αιτίες προκαλούν σχετικά μεγάλες μεταβολές στην παραγωγική διαδικασία. Όταν η μεταβολή είναι σχετικά μικρή, ανάλογα μικρή είναι και η ισχύς του διαγράμματος με αποτέλεσμα καθυστέρηση στον εντοπισμό της κύριας αιτίας. Ακόμη ορισμένες συστηματικές αιτίες δεν επιφέρουν μόνιμη και σταθερή αλλαγή στην παράμετρο της κατανομής του ελεγχόμενου χαρακτηριστικού, αλλά προκαλούν σταδιακές μεταβολές που χαρακτηρίζονται από περιοδικότητα, τάση κλπ. και μεταφράζονται σε αντίστοιχες μορφές χρονοσειρών στο διάγραμμα ελέγχου, τις οποίες ο υπεύθυνος μηχανικός ποιοτικού ελέγχου θα πρέπει να είναι σε θέση να αναγνωρίζει. Για τους παραπάνω λόγους θεωρείται αναγκαία η παρουσίαση ορισμένων χρήσιμων κανόνων λειτουργίας του διαγράμματος που βασίζονται στην ανάλυση και ερμηνεία σειρών σημείων. Άλλωστε η συνολική εικόνα μιας χρονοσειράς που συντίθεται από πολλά διαδοχικά δείγματα παρέχει ασφαλώς περισσότερες πληροφορίες από όσες παρέχει κάθε μεμονωμένο σημείο του διαγράμματος, που προέρχεται από ένα μόνο δείγμα.

Τις διάφορες μορφές μη τυχαίων χρονοσειρών μπορούμε να τις κατατάξουμε σε δύο κατηγορίες ανάλογα με τον τύπο της μεταβολής που τις δημιουργεί: α) χρονοσειρές που οφείλονται σε στιγμιαία μεταβολή της τιμής μιας παραμέτρου, η οποία διατηρείται στη συνέχεια σταθερή στη νέα της τιμή β) χρονοσειρές που οφείλονται σε συνεχή μεταβολή μιας παραμέτρου.

Μερικά παραδείγματα χρονοσειρών φαίνονται παρακάτω :



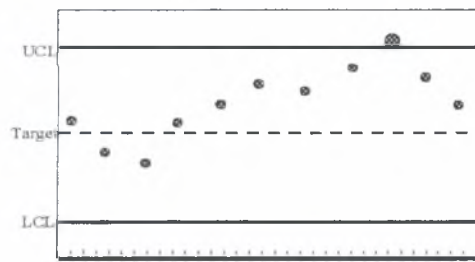
Διάγραμμα εντός ορίων



Νούμερα χάρτη ελέγχου στη ροή του χρόνου

Συμπέρασμα
Η διεργασία είναι ελεγχόμενη

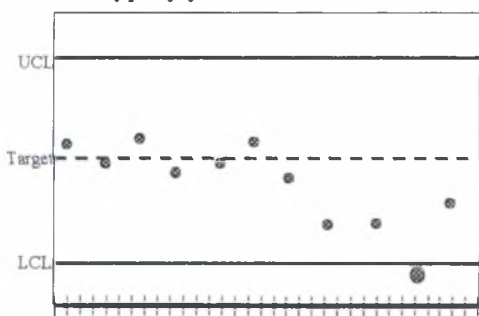
Διάγραμμα πάνω από το UCL



Νούμερα χάρτη ελέγχου στη ροή του χρόνου

Συμπέρασμα
Η διεργασία έχει αλλάξει
Κατάσταση εκτός ελέγχου

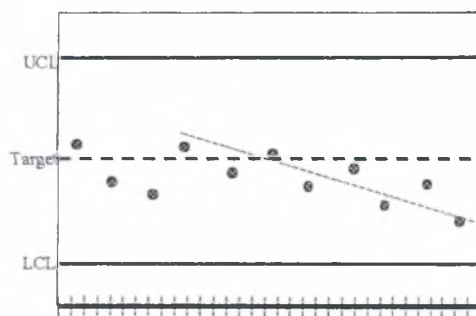
Διάγραμμα κάτω από το LCL



Νούμερα χάρτη ελέγχου στη ροή του χρόνου

Συμπέρασμα
Η διεργασία έχει αλλάξει
Κατάσταση εκτός ελέγχου

Διάγραμμα - Μετατόπιση



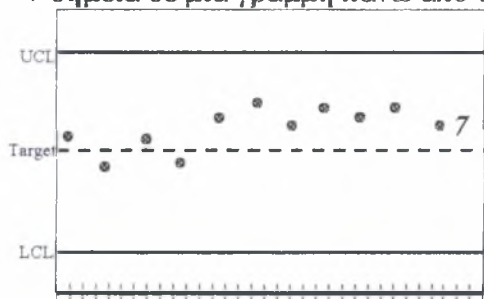
Νούμερα χάρτη ελέγχου στη ροή του χρόνου

Συμπέρασμα
Ίσως δείχνει μια ανάγκη να επαναπροσδιορίσουμε το στόχο της διεργασίας

Στη βιβλιογραφία αναφέρονται πολλοί κανόνες σειρών, μερικοί από τους οποίους φαίνονται παρακάτω:

Χάρτης ελέγχου

7 σημεία σε μια γραμμή πάνω από το μ.ο.



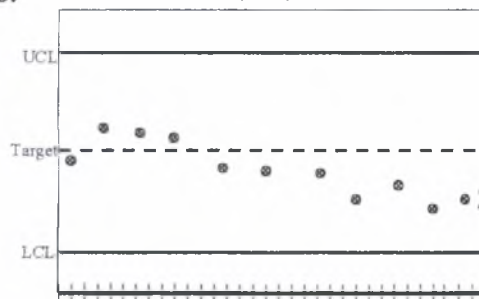
Νούμερα χάρτη ελέγχου στη ροή του χρόνου

Συμπέρασμα :

Ίσως δείχνει μια ανάγκη για μια νέα process capability study που θα εντοπίσει τις αιτίες του φαινομένου

Χάρτης ελέγχου

7 σημεία σε μια γραμμή κάτω από το μ.ο.



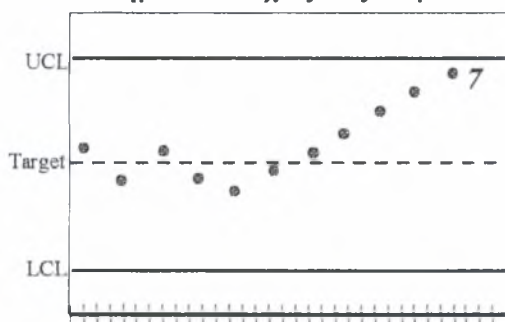
Νούμερα χάρτη ελέγχου στη ροή του χρόνου

Συμπέρασμα :

Ίσως δείχνει μια ανάγκη για μια νέα process capability study που θα εντοπίσει τις αιτίες του φαινομένου

Χάρτης ελέγχου

7 σημεία συνεχώς αυξανόμενα



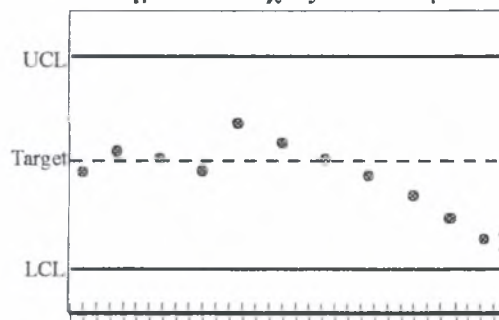
Νούμερα χάρτη ελέγχου στη ροή του χρόνου

Συμπέρασμα :

Ίσως δείχνει μια ανάγκη για μια νέα process capability study που θα εντοπίσει τις αιτίες του φαινομένου

Χάρτης ελέγχου

7 σημεία συνεχώς ελαττούμενα



Νούμερα χάρτη ελέγχου στη ροή του χρόνου

Συμπέρασμα :

Ίσως δείχνει μια ανάγκη για μια νέα process capability study που θα εντοπίσει τις αιτίες του φαινομένου

Οι κυριότερες μορφές χρονοσειρών που εμφανίζονται σε διαγράμματα ελέγχου είναι οι ακόλουθες:

A) Τάσεις

Συνεχείς κινήσεις πάνω ή κάτω, μεγάλη σειρά σημείων χωρίς αλλαγή κατεύθυνσης

- φθορά εργαλείου
- παλαίωση
- ελλιπούς συντήρηση
- αυξήσεις στα πλάνα παραγωγής
- βαθμιαία αλλαγή σε στάνταρτ
- ακατάλληλη συντήρηση

B) Περιοδικότητα – επαναλαμβανόμενοι κύκλοι

Οι κύκλοι είναι βραχείες τάσεις των δεδομένων οι οποίες συμβαίνουν με επαναλαμβανόμενους τρόπους

- εποχιακές επιδράσεις :θερμοκρασία/υγρασία
- φθαρμένες θέσεις ή σπειρώματα
- εκκενρικότητα κυλίνδρου
- κόπωση χειριστή
- κυκλική εναλλαγή θέσεων εργασίας
- διαφορά μεταξύ συσκευών
- διακυμάνσεις τάσης
- έντονες διαφορές μεταξύ ημέρας και νύχτας

Γ) Άλματα

Δ) Μεγάλο ποσοστό σημείων κοντά στα όρια ελέγχου

Ε) Έλλειψη μεταβλητότητας

Συνοπτικά :

- Το διάγραμμα διαδικασίας διευκολύνει τον προσδιορισμό των σημείων της παραγωγικής διαδικασίας στα οποία είναι σκόπιμο να χρησιμοποιηθούν διαγράμματα ελέγχου
- Το διάγραμμα αιτίας – αποτελέσματος χρησιμεύει στην καταγραφή των πιθανών αιτιών μεταβολής και στη διάκριση ανάμεσα σε τυχαίες και συστηματικές αιτίες

- Το φύλλο καταχώρησης διευκολύνει τη συλλογή και καταγραφή στοιχείων και μετρήσεων από την παραγωγική διαδικασία, ιδιαίτερα κατά το στάδιο της ανάλυσης των δυνατοτήτων
- Το ιστόγραμμα χρησιμοποιείται βοηθητικά στον προσδιορισμό της μορφής της κατανομής των χαρακτηριστικών ποιότητας, στην ανάλυση δυνατοτήτων παραγωγικής διαδικασίας και στην αξιολόγηση σειρών σημείων του διαγράμματος ελέγχου (κατανομή στατιστικής δείγματος σε σχέση με την κεντρική γραμμή)
- Το διάγραμμα Pareto χρησιμεύει στην ανάλυση της συχνότητας επίδρασης διαφόρων συστηματικών αιτιών με στόχο τον εντοπισμό και εξάλειψη των συχνότερων προβλημάτων
- Το διάγραμμα διασποράς διευκολύνει τη διερεύνηση σχέσεων μεταξύ παραμέτρων της διαδικασίας και των χαρακτηριστικών ποιότητας με στόχο τη βελτίωση της διαδικασίας.

4 ΒΗΜΑΤΑ ΓΙΑ ΕΝΑ ΕΠΙΤΥΧΗΜΕΝΟ PROCESS CAPABILITY STUDY

Στόχοι μας είναι:

1. Καθορισμός του βαθμού αποτελεσματικότητας της διεργασίας και εξήγηση της μαθηματικής βάσης της
2. Καθορισμός βήμα βήμα στη διεξαγωγή της μελέτης του βαθμού αποτελεσματικότητας στην παραγωγική διαδικασία για το καθαρό βάρος των προϊόντων
3. Περιγραφή της ανάλυσης των δεδομένων

Το *PROCESS CAPABILITY STUDY* περιλαμβάνει στατιστικούς ελέγχους της διεργασίας προκειμένου να καθοριστεί ο βαθμός μεταβλητότητας της καθώς και αν αυτός βρίσκεται εντός συγκεκριμένων προδιαγραφών.

Η ακρίβεια είναι το «κλειδί» για ένα *PROCESS CAPABILITY STUDY*. Εάν ο εξοπλισμός είναι ακριβής και έχουμε στοχεύσει στη μελέτη έχουμε το καλύτερο αποτέλεσμα. Γενικά μπορούμε να θέσουμε στόχους στη διεργασία. Πρωταρχικά ενδιαφερόμαστε για την εξακρίβωση μέρους του εξοπλισμού. Η ακρίβεια εκφράζεται μαθηματικά με το σ (s χρησιμοποιείται αντί του σ για δείγμα δεδομένων)

Με άλλα λόγια, το συνολικό μέγεθος της παρατηρούμενης μεταβλητότητας αποτελείται από τη μεταβλητότητα του ελέγχου, τη μεταβλητότητα της διεργασίας και τη μεταβλητότητα ενός λάθους που δεν μπορεί να καθοριστεί. Η όλη μέθοδος είναι να διαχωρίσουμε τη μεταβλητότητα της διεργασίας απ'όλες τις άλλες. Η ακόλουθη μαθηματική σχέση είναι αληθής όταν δηλώνει ακριβείς καταστάσεις.

$$\sigma_{process}^2 = \sigma_{total}^2 - \sigma_{testing}^2 - \sigma_e^2$$

$$\sigma_{total}^2 = \sigma_{process}^2 + \sigma_{testing}^2 + \sigma_{ret\ arg\ etprocess}^2 + \sigma_{techdiff.}^2 + \sigma_{inputs}^2 + \sigma_{error}^2$$

Θέλουμε να ελαχιστοποιήσουμε τις πηγές λαθών που βρίσκονται στην παραπάνω σχέση. Αυτό θα συμβεί κάνοντας τα ακόλουθα:

1. Σταθεροποιώντας την διεργασία σε συγκεκριμένο στόχο και χωρίς διαταραχές κατά την διάρκεια των μετρήσεων. Τότε έχουμε ελαχιστοποιήσει τις πηγές της ακόλουθης μεταβλητότητας:

$$\sigma_{total}^2 = \sigma_{process}^2 + \sigma_{testing}^2 + \sigma_{ret\ arg\ etprocess}^2 + \sigma_{techdiff.}^2 + \sigma_{inputs}^2 + \sigma_{error}^2$$

2. Κρατώντας σταθερές τις συνθήκες για την πραγματοποίηση του ελέγχου. Έτσι διεξάγουμε τις μετρήσεις από την ίδια δεξαμενή παραγωγής (για να μην μεταβάλλονται τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του προϊόντος) ενώ οι παράμετροι του filler (πιέσεις, ταχύτητα κλπ.) παραμένουν σταθερές. Με αυτόν τον τρόπο μειώνεται η παρακάτω μεταβλητότητα :

$$\sigma_{total}^2 = \sigma_{process}^2 + \sigma_{testing}^2 + \sigma_{ret\ arg\ etprocess}^2 + \sigma_{tech.diff}^2 + \sigma_{inputs}^2 + \sigma_{error}^2$$

3. Διατηρούμε έναν χειριστή στη διεξαγωγή των μετρήσεων. Με αυτόν τον τρόπο μειώνεται η παρακάτω μεταβλητότητα:

$$\sigma_{total}^2 = \sigma_{process}^2 + \sigma_{testing}^2 + \sigma_{ret\ arg\ etprocess}^2 + \sigma_{techdiff}^2 + \sigma_{inputs}^2 + \sigma_{error}^2$$

$$\sigma_{total}^2 = \sigma_{process}^2 + \sigma_{testing}^2 + \sigma_{error}^2$$

Εάν ο σχεδιασμός είναι ο κατάλληλος τότε η τελική σχέση της μεταβλητότητας είναι η ακόλουθη:

$$\sigma_{process}^2 = \sigma_{total}^2 - \sigma_{testing}^2$$

Για να αφαιρεθεί η μεταβλητότητα του test μπορούμε να κάνουμε επανειλημμένους ελέγχους με τον ίδιο εξοπλισμό. Όταν εμφανίζεται το ίδιο αποτέλεσμα πολλές φορές τότε ο εξοπλισμός υπόκειται σε μικρό σφάλμα. Η ελεγχόμενη μεταβλητότητα μπορεί να καθοριστεί και να εξαληφθεί με τον παραπάνω τρόπο. Πάντως τα μαθηματικά που χρειάζονται για να καθοριστούν και να αφαιρέσουν τη μεταβλητότητα του test είναι αρκετά πολύπλοκα. Μια απλή και πιο θετική προσέγγιση είναι να γίνει συντήρηση και διακρίβωση του εξοπλισμού για την διεξαγωγή του PROCESS CAPABILITY STUDY. Επιπλέον όπου είναι δυνατό να γίνουν πολλαπλοί έλεγχοι και με διαφορετικές μεθόδους στο ίδιο δείγμα. Εάν δεν έχουμε το ίδιο αποτέλεσμα χρησιμοποιώντας το ίδιο δείγμα τότε ο εξοπλισμός μας δεν λειτουργεί με σωστό τρόπο. Απαιτείται άμεση συντήρηση του εξοπλισμού για να εξαληφθεί αυτός ο παράγοντας. Η ακρίβεια και η αποτελεσματικότητα του εξοπλισμού είναι ο καλύτερος σύμμαχος στη διεξαγωγή της μελέτης.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα βήματα του PROCESS CAPABILITY STUDY για τη μελέτη του καθαρού βάρους σε μια γραμμή παραγωγής:

1. Καθορισμός του δείγματος παραγωγής έτσι ώστε να είναι επαρκές το μέγεθος για τη διεξαγωγή της μελέτης.
2. Υπολογισμός κατά προσέγγιση του χρόνου πειράματος.
3. Διαίρεση του χρόνου πειράματος με το 30. Αυτό γίνεται γιατί θέλουμε να έχουμε τουλάχιστον 30 δείγματα. Διαιρώντας με το 30 προκύπτει το μέσο μέγεθος του χρόνου μεταξύ των σημείων δειγματοληψίας. Προκειμένου να έχουμε ένα μέσο καθορισμένο χρόνο μεταξύ των δειγματοληψιών κάποιες

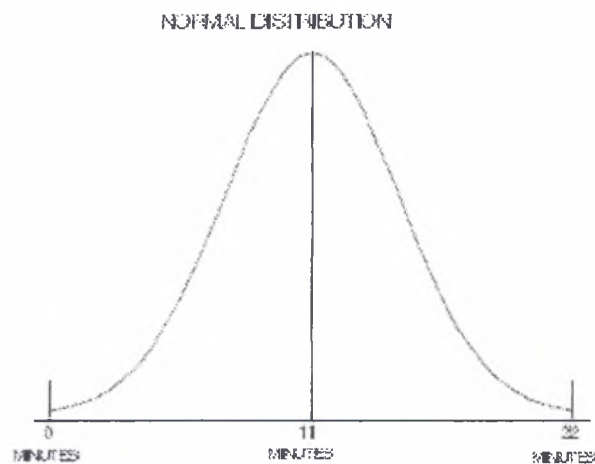
δειγματοληψιών κάποιες φορές ο χρόνος θα είναι μικρότερος του μέσου και κάποιες μεγαλύτερες. Γι'αυτό θα χρησιμοποιήσουμε τον πίνακα τυχαίων αριθμών.

4. Καθορισμός του χρόνου δειγματοληψιών ξεκινώντας από ένα σημείο εκκίνησης στον πίνακα τυχαίων αριθμών.
5. Έλεγχος καλής λειτουργίας, διακρίβωση και συντήρηση του εξοπλισμού που θα χρησιμοποιηθεί.
6. Επιλογή ενός χειριστή για την διεξαγωγή των μετρήσεων και γενικότερα για τον έλεγχο της διεργασίας.
7. Σχεδιασμός της παραγωγικής διαδικασίας
8. Αποτύπωση των μετρήσεων σε στατιστικό πακέτο ανάλυσης
9. Το PROCESS CAPABILITY STUDY διεξάγεται αφού έχει ολοκληρωθεί το start up της παραγωγικής διαδικασίας και κυλάει ομαλά χωρίς διακοπές. Οποιοι χειρισμοί-ρυθμίσεις γίνονται στο γεμιστικό μηχάνημα κατά την διάρκεια διεξαγωγής της μελέτης θα οδηγήσουν σε εσφαλμένα συμπεράσματα.
10. Ετικετοποίηση των δειγμάτων και καταγραφή στο έντυπο συλλογής δεδομένων.
11. Λήψη τουλάχιστον 30 τυχαίων δειγμάτων από τα υλικά συσκευασίας. (π.χ ετικέτα, πόμα, κενή φιάλη). Ζυγίζουμε τα υλικά συσκευασίας για να καθοριστεί το ποσοστό συνεισφοράς τους στην ακρίβεια και αποτελεσματικότητα.
12. Ανάλυση των δεδομένων

Χρήση του πίνακα τυχαίων αριθμών

Υποθέτουμε ότι για να κάνουμε ένα PROCESS CAPABILITY STUDY σε παραγωγή π.χ Coca Cola θα διαρκέσει περίπου 5.5 ώρες. Για να συλλέξουμε 30 δείγματα σε 5,5 ώρες θα πρέπει να πέρνουμε δείγματα κατά μέσο όρο κάθε 11 λεπτά. Είναι πολύ σημαντικό να κάνουμε τυχαία λήψη δειγμάτων για να αποφύγουμε την εμφάνιση "κύκλων" ή άλλων αποκλίσεων. Είναι εξίσου σημαντικό ότι κατά μέσο όρο θα πέρνουμε δείγμα κάθε 11 λεπτά : αυτό σημαίνει ότι κάποιες φορές ο χρόνος

μεταξύ δύο δειγματοληψιών θα είναι κάτω από 11 λεπτά και κάποιες άλλες θα τα υπερβαίνει. Για να γίνει αυτό χρησιμοποιούμε τον πίνακα τυχαίων αριθμών. Καταρχήν πρέπει να αποφασιστεί το ελάχιστο και το μέγιστο χρονικό διάστημα μεταξύ δειγμάτων έτσι ώστε ο μέσος όρος να είναι το δείγμα που παίρνουμε κάθε 11 λεπτά. Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε το μοντέλο της κανονικής κατανομής για να καθοριστεί το εύρος έτσι ώστε οι τυχαίοι δειγματοληπτικοί χρόνοι να έχουν μέση τιμή 11 λεπτά.



Στο παραπάνω σχήμα το μικρότερο χρονικό διάστημα μεταξύ δύο δειγμάτων είναι 0, κάτι το οποίο είναι λογικό όταν παίρνεις δύο δείγματα μαζί. Θεωρώντας ως ελάχιστο χρόνο το 0 και θέλοντας να έχουμε μέσο χρόνο 11 λεπτά μεταξύ των δειγμάτων, με την προϋπόθεση κανονικής κατανομής των τυχαίων δειγματοληπτικών χρόνων, τότε ο μέγιστος χρόνος μεταξύ δύο διαδοχικών δειγμάτων θα είναι 22 λεπτά. Χρησιμοποιώντας το παραπάνω μοντέλο μπορούμε να πάρουμε δύο τυχαία δείγματα μεταξύ χρόνων 0 έως 22 λεπτά. Μπορούμε να καθορίσουμε τους χρόνους μεταξύ των δειγμάτων τυχαία χρησιμοποιώντας τον πίνακα τυχαίων αριθμών ξεκινώντας από ένα starting point.

5 ΜΕΛΕΤΗ ΓΙΑ ΤΟΝ ΔΕΙΚΤΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΓΕΜΙΣΤΙΚΟΥ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ PET

ΣΚΟΠΟΣ

Η διερεύνηση της αποτελεσματικότητας του γεμιστικού μηχανήματος της γραμμής PET έτσι ώστε να εντοπισθούν σημεία βελτίωσης του μηχανήματος.

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΟΣ

Το γεμιστικό μηχάνημα της γραμμής PET είναι περιστροφικό και αποτελείται από 90 γεμιστικές βαλβίδες. Έχει μέγιστη ταχύτητα 15000 φιάλες την ώρα αλλά η δυνατότητα του φθάνει τις 20000 φιάλες ανά ώρα. Οι φιάλες αφού περάσουν από το filler καταλήγουν στα μηχανήματα συσκευασίας όπου και συσκευάζονται σε δάδες.

Το μηχάνημα έχει την δυνατότητα μέσω ενός αυτοματισμού by pass να βγάζει 90αδες από το filler με σκοπό να γίνονται διάφοροι έλεγχοι στα μπουκάλια.

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΣΚΗΣΗΣ

Μέσω του αυτοματισμού by pass το γεμιστικό μηχάνημα βγάζει 90αδες που αντιστοιχούν σε φιάλες από τις αντίστοιχες βαλβίδες. Στην συνέχεια ζυγίζονται οι φιάλες (με διακριβωμένη συσκευή), με την σειρά που βγαίνουν από το filler, και βρίσκεται το μικτό βάρος τους σε γραμμάρια. Στη συνέχεια ζυγίζοντας την άδεια φιάλη και το πώμα της ξεχωριστά προκύπτει το απόβαρο. Οι μετρήσεις καταγράφονται ανά γεμιστική βαλβίδα και ανά προϊόν και κάνοντας χρήση του τύπου (μικτό βάρος (gr) – βάρος φιάλης (gr) – βάρος πώματος (gr)) / την πυκνότητα του προϊόντος, προκύπτει το καθαρό περιεχόμενο σε ml. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων μεταφέρθηκαν στο πρόγραμμα QI Analyst μέσω του οποίου προέκυψαν διαγράμματα για κάθε προϊόν και κάθε γεμιστική βαλβίδα.

5.1 ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στάθμη φιαλών PET ανά προϊόν									
Προϊόν	Target	LSL	USL	LCL	CL	UCL	Target-LCL	UCL-Target	Cpk
Coca Cola	1500	1477.5	1522.5	1484.7	1498.5	1512.3	15.3	12.3	1.521
Coca Cola Light	1500	1477.5	1522.5	1484	1496.3	1508.7	16	8.7	1.521
Sprite	1500	1477.5	1522.5	1482.2	1499.2	1516.3	17.8	16.3	1.272
Fanta OR	1500	1477.5	1522.5	1489	1496.6	1504.3	11	4.3	2.478
Fanta Lemon	1500	1477.5	1522.5	1486	1500.1	1514.4	14	14.4	1.573
Fanta Mandarin	1500	1477.5	1522.5	1481.6	1493.5	1505.3	18.4	5.3	1.347

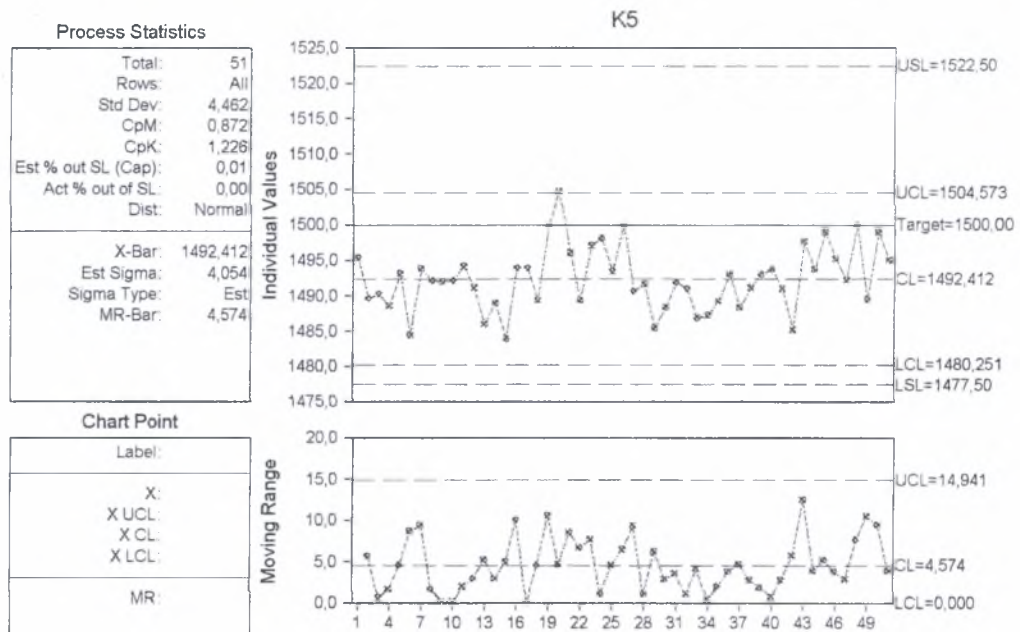
Στάθμη φιαλών PET ανά κεφαλή του γεμιστικού μηχανήματος									
	Target	LSL	USL	LCL	CL	UCL	Target-LCL	UCL-Target	Cpk
K1	1500	1477.5	1522.5	1484.4	1495.4	1506.4	15.6	6.4	1.625
K2	1500	1477.5	1522.5	1485.3	1496	1506.6	14.7	6.6	1.735
K3	1500	1477.5	1522.5	1475.7	1492.3	1508.8	24.3	8.8	0.895
K4	1500	1477.5	1522.5	1481	1494.5	1508.1	19	8.1	1.263
K5	1500	1477.5	1522.5	1480.2	1492.4	1504.5	19.8	4.5	1.226
K6	1500	1477.5	1522.5	1478.8	1491.2	1503.6	21.2	3.6	1.109
K7	1500	1477.5	1522.5	1481.5	1493.4	1505.3	18.5	5.3	1.342
K8	1500	1477.5	1522.5	1475.7	1491.3	1507	24.3	7	0.886
K9	1500	1477.5	1522.5	1481.4	1492.7	1504	18.6	4	1.351
K10	1500	1477.5	1522.5	1480.8	1493	1505	19.2	5	1.280
K11	1500	1477.5	1522.5	1474.4	1488.8	1503	25.6	3	0.789
K12	1500	1477.5	1522.5	1484.2	1497.5	1510.7	15.8	10.7	1.506
K13	1500	1477.5	1522.5	1484.5	1496	1507.3	15.5	7.3	1.620
K14	1500	1477.5	1522.5	1478	1493.4	1506.8	22	6.8	1.185
K15	1500	1477.5	1522.5	1476.7	1492.5	1508.3	23.3	8.3	0.955
K16	1500	1477.5	1522.5	1484.6	1497	1509.5	15.4	9.5	1.575
K17	1500	1477.5	1522.5	1477.5	1494.8	1512	22.5	12	1.0
K18	1500	1477.5	1522.5	1463.6	1492.6	1521.5	36.4	21.5	0.521
K19	1500	1477.5	1522.5	1484.6	1504	1523.6	15.4	23.6	0.943
K20	1500	1477.5	1522.5	1480	1497.3	1514.6	20	14.6	1.145
K21	1500	1477.5	1522.5	1485.5	1498.5	1511.5	14.5	11.5	1.622
K22	1500	1477.5	1522.5	1485.9	1499.8	1513.7	14.1	13.7	1.607
K23	1500	1477.5	1522.5	1488.7	1500.5	1512.3	11.3	12.3	1.858

K24	1500	1477.5	1522.5	1489.8	1501	1512.3	10.2	12.3	1.904
K25	1500	1477.5	1522.5	1482.2	1495.7	1509.2	17.8	9.2	1.356
K26	1500	1477.5	1522.5	1486.5	1500.7	1515	13.5	15	1.526
K27	1500	1477.5	1522.5	1486.6	1501.9	1517.3	13.4	17.3	1.339
K28	1500	1477.5	1522.5	1490.1	1501.9	1513.6	9.9	13.6	1.748
K29	1500	1477.5	1522.5	1490.1	1501.5	1512.9	9.9	12.9	1.837
K30	1500	1477.5	1522.5	1487.4	1500.3	1513.2	12.6	13.2	1.720
K31	1500	1477.5	1522.5	1486.1	1498.7	1511.3	13.9	11.3	1.692
K32	1500	1477.5	1522.5	1484.9	1497.9	1510.9	15.1	10.9	1.576
K33	1500	1477.5	1522.5	1487.5	1499	1510.5	12.5	10.5	1.877
K34	1500	1477.5	1522.5	1484.4	1495.3	1506.2	15.6	6.2	1.635
K35	1500	1477.5	1522.5	1484.4	1496.3	1508.1	15.6	8.1	1.589
K36	1500	1477.5	1522.5	1486.3	1498.2	1510.1	13.7	10.1	1.737
K37	1500	1477.5	1522.5	1484.4	1497.2	1510	15.6	10	1.547
K38	1500	1477.5	1522.5	1489.2	1498.9	1508.7	10.8	8.7	2.214
K39	1500	1477.5	1522.5	1483.5	1497.7	1511.9	16.5	11.9	1.422
K40	1500	1477.5	1522.5	1479.6	1492.3	1505.1	20.4	5.1	1.166
K41	1500	1477.5	1522.5	1483.8	1495.8	1507.8	16.2	7.8	1.526
K42	1500	1477.5	1522.5	1483.9	1495.2	1506.4	16.1	6.4	1.574
K43	1500	1477.5	1522.5	1485.5	1496.5	1507	14.5	7	1.725
K44	1500	1477.5	1522.5	1484.6	1496.1	1507.7	15.4	7.7	1.623
K45	1500	1477.5	1522.5	1488.4	1499.2	1509.9	11.6	9.9	2.013
K46	1500	1477.5	1522.5	1489.4	1499.7	1510	10.6	10	2.155
K47	1500	1477.5	1522.5	1486.6	1498.8	1510.9	13.4	10.9	1.756
K48	1500	1477.5	1522.5	1486.5	1499.2	1511.8	13.5	11.8	1.716
K49	1500	1477.5	1522.5	1489	1499.9	1510.8	11	10.8	2.055
K50	1500	1477.5	1522.5	1488.6	1498.9	1509.2	11.4	9.2	2.085
K51	1500	1477.5	1522.5	1485.6	1497.5	1509.6	14.4	9.6	1.660
K52	1500	1477.5	1522.5	1484	1497.6	1511.1	16	11.1	1.486
K53	1500	1477.5	1522.5	1486.5	1499.2	1511.9	13.5	11.9	1.709
K54	1500	1477.5	1522.5	1485	1496.3	1507.5	15	7.5	1.672
K55	1500	1477.5	1522.5	1488.4	1499.7	1511	11.6	11	1.968
K56	1500	1477.5	1522.5	1484.4	1497	1509.5	15.6	9.5	1.557
K57	1500	1477.5	1522.5	1486.1	1496	1506	13.9	6	1.871
K58	1500	1477.5	1522.5	1483.4	1496.5	1509.6	16.6	9.6	1.452
K59	1500	1477.5	1522.5	1486.6	1498.7	1510.8	13.4	10.8	1.758
K60	1500	1477.5	1522.5	1480.9	1494.7	1508.4	19.1	8.4	1.247
K61	1500	1477.5	1522.5	1485.5	1496.7	1508	14.5	8	1.714

K62	1500	1477.5	1522.5	1486.6	1497.4	1508.1	13.4	8.1	1.856
K63	1500	1477.5	1522.5	1484.7	1496.8	1508.9	15.3	8.9	1.601
K64	1500	1477.5	1522.5	1483.3	1498.1	1513	16.7	13	1.394
K65	1500	1477.5	1522.5	1489.9	1499.1	1508.3	10.1	8.3	2.351
K66	1500	1477.5	1522.5	1486.4	1497.8	1509.2	13.6	9.2	1.784
K67	1500	1477.5	1522.5	1486.2	1498	1509.8	13.8	9.8	1.742
K68	1500	1477.5	1522.5	1484.7	1498.9	1513.2	15.3	13.2	1.507
K69	1500	1477.5	1522.5	1488.7	1501.4	1514.1	11.3	14.1	1.660
K70	1500	1477.5	1522.5	1489.5	1501	1512.6	10.5	12.6	1.859
K71	1500	1477.5	1522.5	1489.5	1501	1512.4	10.5	12.4	1.881
K72	1500	1477.5	1522.5	1488.1	1501.1	1514	11.9	14	1.648
K73	1500	1477.5	1522.5	1484.8	1498.8	1512.9	15.2	12.9	1.522
K74	1500	1477.5	1522.5	1490.6	1501.9	1513.2	9.4	13.2	1.818
K75	1500	1477.5	1522.5	1491.7	1502.3	1513	8.3	13	1.890
K76	1500	1477.5	1522.5	1492.9	1502.5	1512	7.3	12	2.091
K77	1500	1477.5	1522.5	1491.5	1503.6	1515.7	8.5	15.7	1.552
K78	1500	1477.5	1522.5	1491.5	1501.2	1510.9	8.5	10.9	2.184
K79	1500	1477.5	1522.5	1488.6	1502.3	1516	11.4	16	1.474
K80	1500	1477.5	1522.5	1490.9	1503.9	1517	9.1	17	1.422
K81	1500	1477.5	1522.5	1491.9	1502.4	1512.9	8.1	12.9	1.913
K82	1500	1477.5	1522.5	1490.4	1500.5	1510.6	9.6	10.6	2.177
K83	1500	1477.5	1522.5	1490.2	1500.6	1511	9.8	11	2.097
K84	1500	1477.5	1522.5	1488.5	1499.4	1510.3	11.5	10.3	2.015
K85	1500	1477.5	1522.5	1488.5	1501.7	1514.8	11.5	14.8	1.578
K86	1500	1477.5	1522.5	1490.6	1499.7	1508.8	9.4	8.8	2.449
K87	1500	1477.5	1522.5	1484.9	1499	1513.1	15.1	13.1	1.531
K88	1500	1477.5	1522.5	1486.7	1498.1	1509.4	13.3	9.4	1.818
K89	1500	1477.5	1522.5	1487.7	1501	1514.2	12.3	14.2	1.620
K90	1500	1477.5	1522.5	1486.6	1497.7	1508.9	13.4	8.9	1.813

Να σημειωθεί ότι τα όρια των προδιαγραφών (USL,LSL) προκύπτουν από την νομοθεσία.

5.2 Διαγράμματα ελέγχου για τις βαλβίδες του γεμιστικού της γραμμής PET



Process Statistics

Total:	51
Rows:	All
Std Dev:	7,995
CpM:	0,966
CpK:	1,000
Est % out SL (Cap):	0,13
Act % out of SL:	1,96
Dist:	Normal
<hr/>	
X-Bar:	1494,806
Est Sigma:	5,766
Sigma Type:	Est
MR-Bar:	6,506

K17

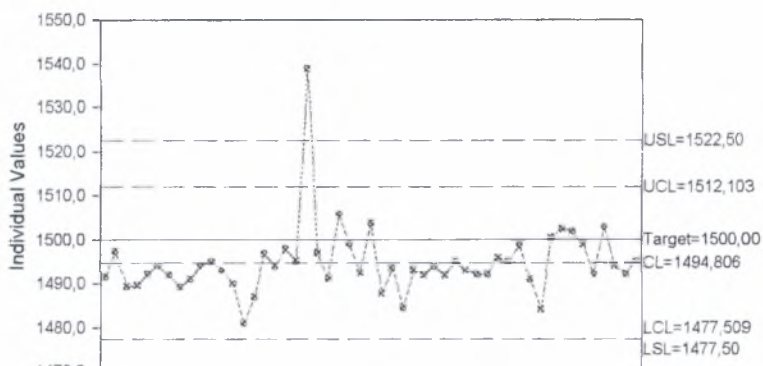
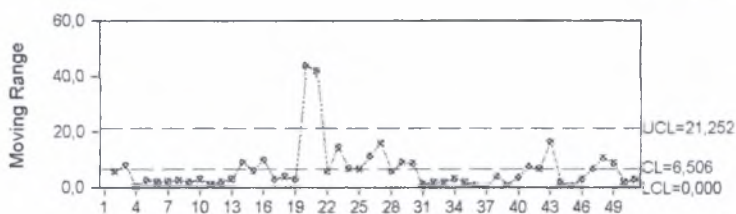


Chart Point

Label:	
X:	
X UCL:	
X CL:	
X LCL:	
<hr/>	
MR:	



Process Statistics

Total:	51
Rows:	All
Std Dev:	5,208
CpM:	1,560
CpK:	1,526
Est % out SL (Cap):	0,00
Act % out of SL:	0,00
Dist:	Normal
<hr/>	
X-Bar:	1500,780
Est Sigma:	4,743
Sigma Type:	Est
MR-Bar:	5,352

K26

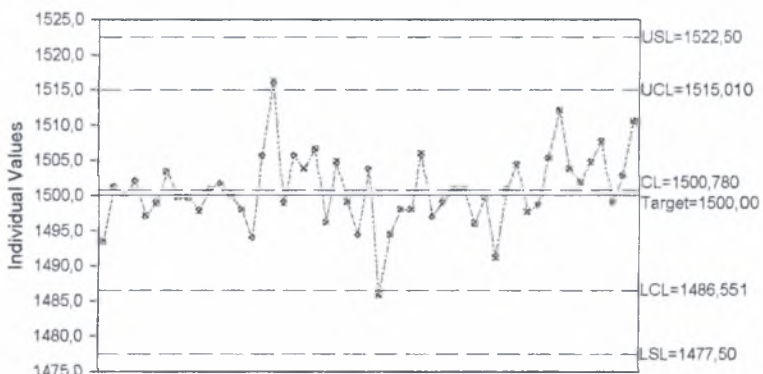
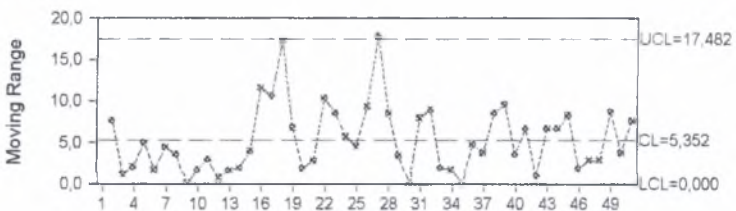


Chart Point

Label:	
X:	
X UCL:	
X CL:	
X LCL:	
<hr/>	
MR:	



Process Statistics

Total:	51
Rows:	All
Std Dev:	5,000
CpM:	1,374
CpK:	1,552
Est % out SL (Cap):	0,00
Act % out of SL:	0,00
Dist:	Normal
<hr/>	
X-Bar:	1503,663
Est Sigma:	4,045
Sigma Type:	Est
MR-Bar:	4,564

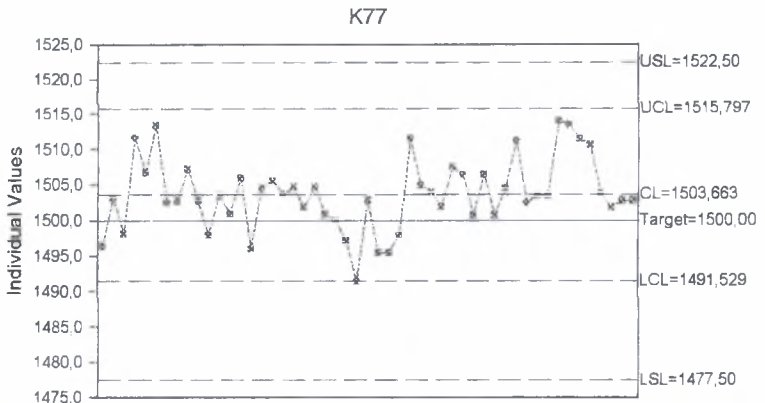
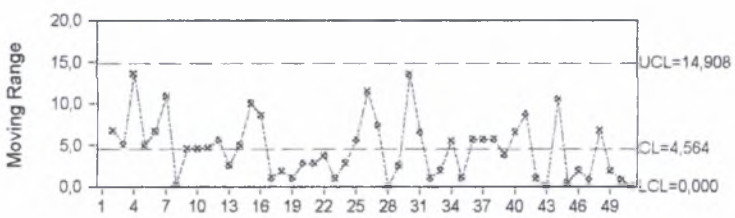


Chart Point

Label:	
X:	
X UCL:	
X CL:	
X LCL:	
<hr/>	
MR:	



Process Statistics

Total:	51
Rows:	All
Std Dev:	5,072
CpM:	0,860
CpK:	1,166
Est % out SL (Cap):	0,02
Act % out of SL:	0,00
Dist:	Normal
<hr/>	
X-Bar:	1492,382
Est Sigma:	4,254
Sigma Type:	Est
MR-Bar:	4,800

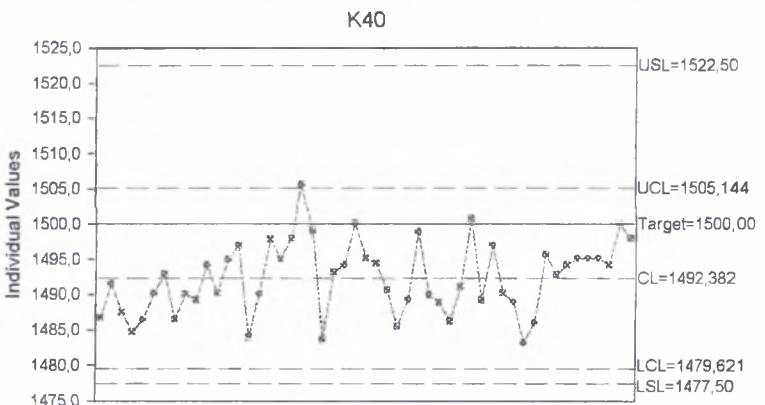
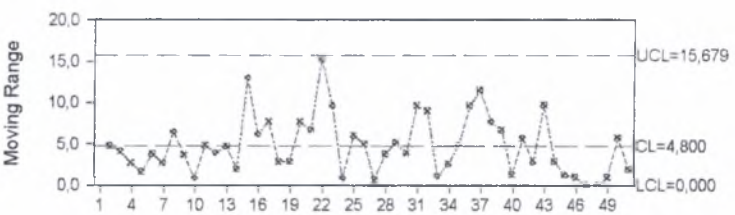


Chart Point

Label:	
X:	
X UCL:	
X CL:	
X LCL:	
<hr/>	
MR:	



5.3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σε όλα τα προϊόντα ο δείκτης C_{PK} (capability index) είναι αρκετά μεγαλύτερος του 1, κάτι που σημαίνει ότι η λειτουργία του μηχανήματος είναι αρκετά ικανοποιητική. Παρατηρείται επίσης ότι ο δείκτης είναι μικρότερος στο Sprite και μεγαλύτερος στη Fanta Orange. Οι αιτίες αυτού θα διερευνηθούν από την τεχνική ομάδα του εργοστάσιου και στην συνέχεια θα διερευνηθούν οι παράμετροι που μπορούν να επηρεάζουν την συμπεριφορά του γεμιστικού (π.χ. πιέσεις, αφρισμός) κατά την παραγωγή αυτών των προϊόντων.

Με βάση τον 2^ο πίνακα παρατηρούμε ότι ορισμένες βαλβίδες έχουν C_{PK} αρκετά μικρότερο του 1. Αυτό καθιστά αναγκαίο ότι στις συγκεκριμένες βαλβίδες πρέπει να γίνει συγκεκριμένος έλεγχος και συντήρηση.

Από το διάγραμμα των τιμών του CL παρατηρούμε ότι οι πρώτες κεφαλές έχουν χαμηλό μέσο όρο. Στις κεφαλές 20-30 ο μέσος όρος αναβαίνει, στις κεφαλές 30-60 ξανακατεβαίνει, και στις κεφαλές 60-80 ο μέσος όρος ανεβαίνει πιο ψηλά.

6 ΜΕΛΕΤΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΑΝΘΡΑΚΩΣΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΑΝΑΜΕΙΞΗΣ ΣΤΗΝ ΓΡΑΜΜΗ PET

ΣΚΟΠΟΣ

Εξαιτίας των αποτελεσμάτων της βαθμολογίας ποιότητας προϊόντος στη γραμμή παραγωγής PET, όπου προέκυψαν αποκλίσεις στην ανθράκωση, αποφασίστηκε να πραγματοποιηθεί περαιτέρω έλεγχος. Για να βρεθεί λοιπόν η γενεσιουργός αιτία του προβλήματος έγινε μελέτη για τον έλεγχο της διεργασίας. Παράλληλα ελέγχθηκε και η λειτουργία της ανάμειξης.

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

Τα στάδια που ακολούθησε η μελέτη φαίνονται παρακάτω:

- Αποφασίστηκε να γίνει σε προϊόν Coca Cola 2lt, όπου παρουσιάζονται και οι μεγαλύτερες αποκλίσεις και να έχει διάρκεια περίπου 5 ώρες.
- Ο μέσος χρόνος των 10 λεπτών μεταξύ των δειγμάτων υπολογίστηκε ως εξής:
$$(5h*60min/h)/30 \text{ δείγματα} = 10min$$
- Τα δείγματα θα αντιστοιχούν σε μια δεξαμενή έτοιμου προϊόντος.
- Θα γίνει χρήση του πίνακα τυχαίων αριθμών για τη λήψη των δειγμάτων. Παρακάτω φαίνονται αναλυτικά οι χρόνοι για τη λήψη των δειγμάτων.

<u>Sample #</u>	<u>Random Time</u>
1	0
2	03
3	15
4	04
5	09
6	10
7	08
8	08
9	06
10	05
11	18
12	02
13	03
14	05
15	04
16	10
17	05
18	09
19	07
20	03
21	07
22	06
23	01
24	14
25	09
26	05
27	04
28	06
29	07
30	10

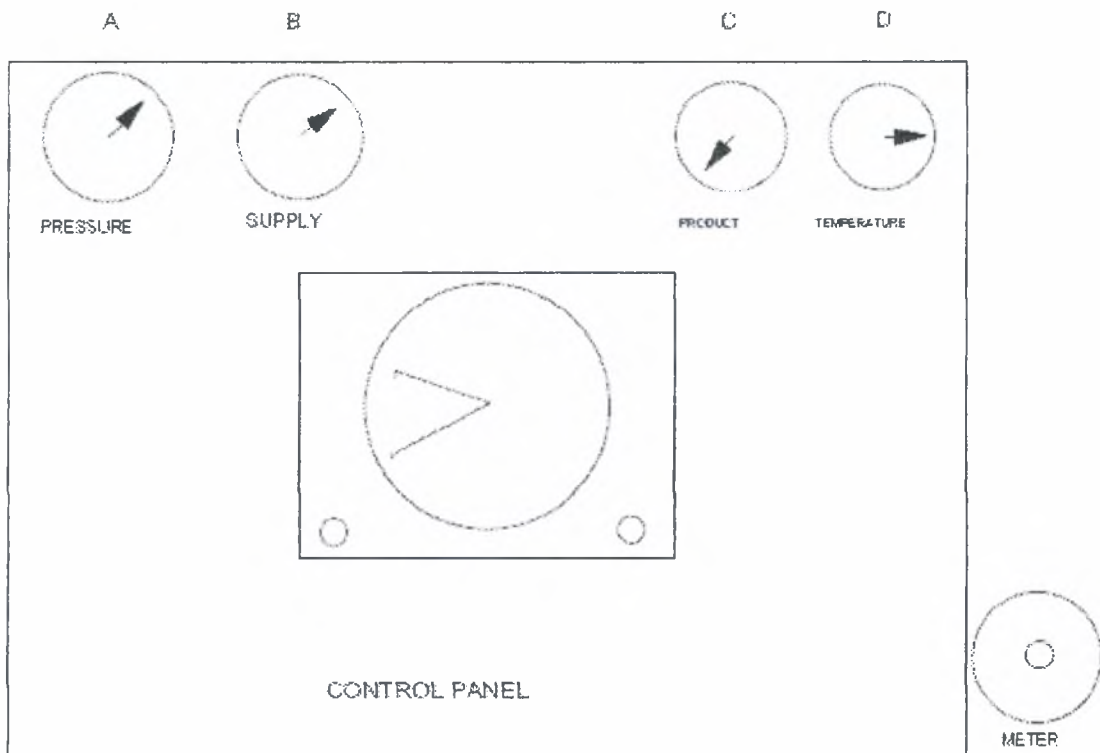
- Επιλέχθηκε ένας χειριστής για να πραγματοποιήσει τους ελέγχους. Επίσης του δόθηκαν οδηγίες για την διακρίβωση και τον έλεγχο καλής λειτουργίας του πυκνόμετρου και του tester διοξειδίου.
 1. Το πυκνόμετρο καθαρίστηκε και διακριβώθηκε. Επίσης καθαρίστηκε το μπάνιο του νερού και ελέγχθηκε για την δυνατότητά του να κρατά σταθερή τη θερμοκρασία. Στη συνέχεια έγιναν αρκετές μετρήσεις για να ελεγχθεί η καλή λειτουργία του πυκνόμετρου.
 2. Ο tester διοξειδίου αρχικά καθαρίστηκε. Στη συνέχεια διακριβώθηκε το μανόμετρο και το θερμόμετρο της συσκευής.

Κατόπιν ζητήθηκε από τον χειριστή να ελέγξει 30 δείγματα από προϊόν όπου δεν παρουσιάζει διακυμάνσεις στην ανθράκωση. Τα αποτελέσματα φαίνονται παρακάτω:

	<u>BRIX</u>	<u>CARBONATION</u>
	10.92	3.93
	10.96	3.93
	10.92	3.93
	10.96	3.93
	10.96	3.93
	10.96	3.91
	10.96	3.94
	10.96	3.94
	10.92	3.94
	10.96	3.93
	10.96	3.94
	10.96	3.94
	10.96	3.94
	10.96	3.99
	10.96	3.93
	10.96	3.96
	10.96	3.94
	10.96	3.94
	10.96	3.88
	10.96	3.91
	10.92	3.93
	10.96	3.93
	10.96	3.93
	10.96	3.97
	10.96	3.94
	10.96	3.91
	10.96	3.97
	10.96	3.93
	10.96	3.94
	10.96	3.93
# SAMPLES	30	30
AVERAGE	10.955	3.935
STD. DEVIATION	0.014	0.020

Όπως διαπιστώνουμε η διασπορά είναι εξαιρετικά μικρή και ο συνδυασμός μετρήσεων χειριστή και εξοπλισμού φαίνεται να δίνει αξιόπιστα αποτελέσματα. Επίσης τα αποτελέσματα διασταυρώθηκαν και από εξωτερικό εργαστήριο

- Δημιουργήθηκε ένα γράφημα που περιλαμβάνει τον εξοπλισμό της ανθράκωσης. Τα γράμματα που φαίνονται στο γράφημα που ακολουθεί θα μας βοηθήσουν στη συνέχεια.



Οι μετρητές που φαίνονται στο γράφημα συντηρήθηκαν πρόσφατα και δεν χρειάστηκε να γίνει κάποια επιπλέον επισκευή.

- Δημιουργήθηκε ένα φύλλο ελέγχου όπου φαίνονται όλοι οι παράμετροι της ανθράκωσης του προϊόντος

TIME	SAMPLE #	A	B	C	D	E	F	Result "Brix" Ratio	Result Carbona- tion	Special Events
0	1									
03	2									
15	3									
04	4									
09	5									
10	6									
08	7									
08	8									
06	9									
05	10									
18	11									
02	12									
03	13									
05	14									
04	15									

GAUGE IDENTIFICATION

A = Running Bowl Pressure D = Carbonation Tank Pressure
 B = Stop Bowl Pressure E = Product Temperature
 C = CO₂ Supply Pressure F = Water Micrometer Setting

- Τα δείγματα θα παρθούν μετά το ξεκίνημα της γραμμής και κατά την διάρκεια του ελέγχου δεν θα γίνεται καμία επιπλέον ρύθμιση σε όργανα που επηρεάζουν την ανθράκωση. Επίσης στην στήλη special events θα καταγράφονται πιθανά σταματήματα ή άλλες παρατηρήσεις που μπορεί να βοηθήσουν στην εξήγηση των αποτελεσμάτων.

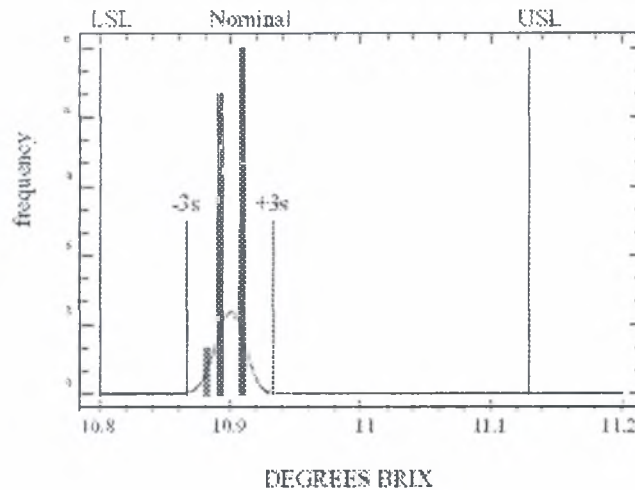
6.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Παρακάτω φαίνονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την μελέτη μας:

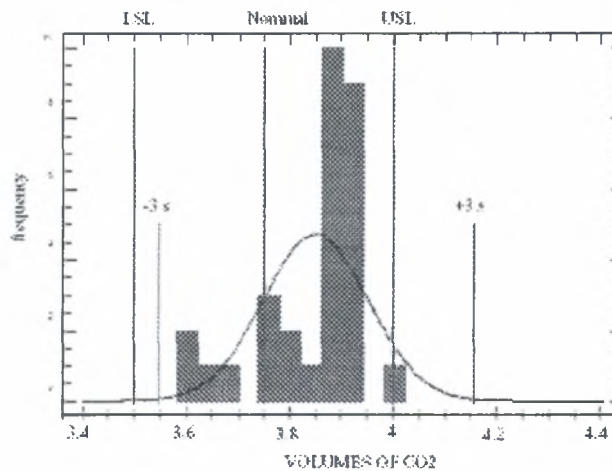
BRIX PRODUCT	CO ₂	A	B	C	D	E	F
		RUNNING BOWL PRESSURE	STOP BOWL PRESSURE	CO ₂ SUPPLY PRESSURE	CARBONATION TANK PRESSURE	WATER MICRO- METER	TEMP
10.88	3.75	62	68	280	49	18	47.5
10.89	3.87	61	68	280	49	18	45.7
10.89	3.82	62	68	285	49	18	46.5
10.89	3.62	61	68	280	49	18	45.3
10.91	3.93	61	68	280	49	18	45.4
10.89	3.93	62	68	275	49	18	45.6
10.91	3.82	61	68	280	49	18	45.5
10.89	3.87	61	68	270	49	18	45.4
10.89	3.76	61	68	275	49	18	44.9
10.89	3.70	62	68	270	49	18	45
10.89	3.88	62	68	285	49	18	44.5
10.89	3.76	62	68	280	49	18	45.3
10.89	3.59	61	68	285	49	18	44.8
10.89	3.93	62	67	280	49	18	45.3
10.89	3.66	61	68	275	49	18	44.9
10.91	3.88	61	68	280	49	18	45.1
10.89	3.93	62	67	275	49	18	45.1
10.91	3.94	62	67	280	49	19	45.3
10.91	3.88	61	68	275	49	18	46
10.91	3.94	62	67	275	49	18	44.6
10.91	3.90	60	67	270	49	18	44.4
10.91	3.94	61	67	275	49	18	44.5
10.91	3.88	61	67	275	49	18	45.4
10.91	3.94	61	67	280	49	18	45.3
10.91	3.85	62	67	275	49	18	45.1
10.91	3.88	62	67	275	49	18	45.3
10.91	3.85	61	67	275	49	18	45.4
10.91	3.83	60	67	280	49	18	45.4
10.88	3.88	61	67	275	49	18	45
10.91	3.93	62	67	275	49	18	45.5
n: 30	30	30	30	30	30	30	30
AVERAGE: 10.899	3.850	61.367	67.533	277.333	49.000	18.000	45.300
STANDARD DEVIATION: 0.011	0.100	0.605	0.499	4.028	0.000	0.000	0.594

Στη συνέχεια κατασκευάζουμε τα ιστογράμματα για τα αποτελέσματα σε brix και διοξείδιο, όπου περιλαμβάνονται οι προδιαγραφές και οι στόχοι.

PROCESS CAPABILITY FOR COCA-COLA BEVERAGE BRIX



PROCESS CAPABILITY FOR COCA-COLA BEVERAGE CARBONATION IN VOLUMES OF CO₂



6.2 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την εξέταση των παραπάνω ιστογραμμάτων προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

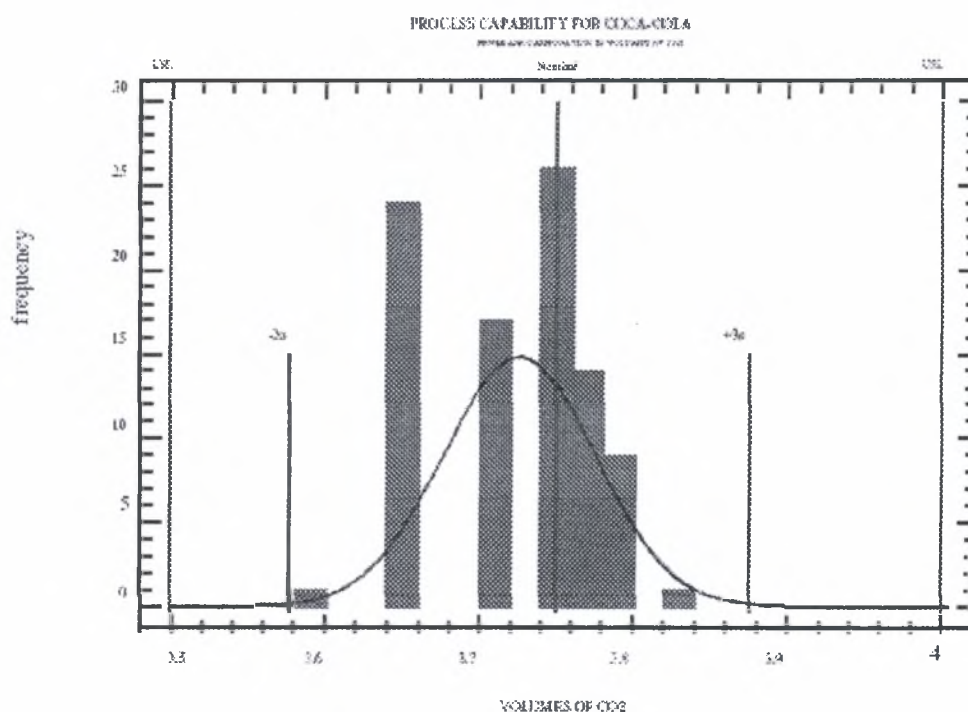
- Τα αποτελέσματα όσον αφορά την ανάμειξη (brix) είναι αρκετά ικανοποιητικά.
- Η διακύμανση στους όγκους του διοξειδίου είναι αρκετά μεγάλη, ενώ υπάρχουν και μετρήσεις πέραν του πάνω ορίου των προδιαγραφών.

- Οι παράμετροι που σχετίζονται με την ανθράκωση παρουσιάζουν πολύ μικρή διακύμανση.
- Παρατηρήθηκε περισσότερος αφρισμός στο προϊόν.

Με βάση τις παραπάνω παρατηρήσεις αποφασίστηκαν τα ακόλουθα:

- Αγορά και εγκατάσταση in line monitor μεταξύ ανθρακωτή και filler. Το όργανο αυτό θα βοηθήσει έτσι ώστε η διακύμανση του διοξειδίου να μην υπερβαίνει τους 0,05 όγκους.
- Συντήρηση των γεμιστικών βαλβίδων.
- Επανάληψη της μελέτης μετά την εφαρμογή των διορθωτικών ενεργειών

Τα αποτελέσματα της νέας μελέτης φαίνονται παρακάτω:



Όπως παρατηρούμε οι διορθωτικές ενέργειες απέδωσαν και οι μετρήσεις σε όγκους διοξειδίου είναι πλέον εντός προδιαγραφών.

7 PET LIGHT WEIGHTING

Με δεδομένη την προσπάθεια της εταιρείας να εξοικονομήσει κόστος παραγωγής, πρώτων υλών χωρίς να τίθεται θέμα αμφισβήτησης της ποιότητας των προϊόντων της ξεκίνησε το πρόγραμμα του «PET LIGHT WEIGHTING». Το πρόγραμμα αυτό περιλαμβάνει την παραγωγή φιαλών PET με μειωμένο βάρος κατά 1,5 gr. Στα πλαίσια της κανονικής παραγωγής το εργοστάσιο χρησιμοποιεί performs (προπλάσματα) βάρους 48gr ενώ θα γίνει δοκιμαστική παραγωγή με εμφύσηση performs βάρους 46,5gr. Σκοπός είναι η αξιοποίηση των αποτελεσμάτων των μετρήσεων, μέσα από στατιστική επεξεργασία, για αποτελεσματικό έλεγχο της διεργασίας εμφύσησης.

Στις δοκιμαστικές φιάλες θα γίνει

- έλεγχος για αντοχή στην πίεση μέσω του οργάνου burst test
- και προσδιορισμός της κατανομής (section weights) μέσω του hot wire cutter

- **ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΠΙΕΣΗ (Burst pressure)**



Ο έλεγχος αυτός γίνεται ώστε να προσδιοριστεί το επίπεδο εσωτερικής πίεσης στο οποίο οι φιάλες σκάνε (burst pressure). Αρα, παρέχει σημαντική πληροφορία για τις αντοχές της φιάλης και την διεργασία φουσκώματος (blowing). Το όργανο ελέγχου, ταυτόχρονα παρέχει την % διαστολή του όγκου της φιάλης (volume expansion), και τη μέγιστη εξασκούμενη πίεση (peak pressure)

Όργανα ελέγχου-εξοπλισμός

- Plastics Burst Pressure Tester (AGR TopWave)
- Παροχή νερού για τη τροφοδοσία του οργάνου
- Παροχή αέρα / αερίου υψηλής πίεσης για τη τροφοδοσία του οργάνου
- Αποχέτευση



Περιγραφή

Εισάγουμε και ασφαλίζουμε τη φιάλη στη θέση ελέγχου του οργάνου. Κλείνουμε τη προστατευτική θυρίδα και ξεκινάμε τη διαδικασία αύξησης της πίεσης που περιλαμβάνει τα κάτωθι βήματα :

1. Πρεσσάρουμε τη φιάλη με νερό, το δυνατόν συντομότερα μέχρι τα 9.18 bar (135 psi). Κρατάμε αυτή τη πίεση για 13 seconds.
2. Αυξάνουμε τη πίεση με ρυθμό 0.68 bar (10 psi) ανά second μέχρι το maximum 20.4 bar (300 psi) ή μέχρις ότου σκάσει η φιάλη.

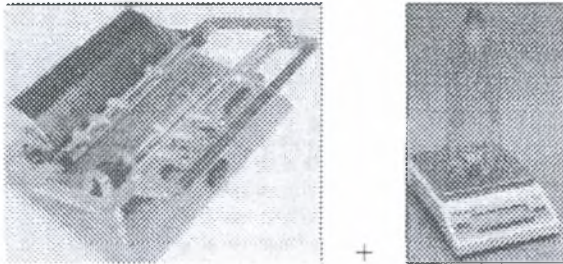
Προδιαγραφή

Φιάλες όγκου > 1000 mL

Min burst pressure \geq 6,8 bar

Average burst pressure \geq 8,6 bar

- **ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΜΗΜΑΤΙΚΟΥ ΒΑΡΟΥΣ (Section weights)**



Στόχος της μέτρησης είναι η επίτευξη στο blower ,του καλύτερου δυνατού θερμικού προφίλ για το pfeofm. Είναι ένας γενικός δείκτης εκτίμησης του συνόλου των επιδόσεων αντοχών της φιάλης, και αποτελεί το κατ'έξοχην εργαλείο άμεσης ανίχνευσης αλλαγών στις παραμέτρους της διεργασίας φουσκώματος (process parameters)

Όργανα ελέγχου-εξοπλισμός

- Hot – wire cutter
- Ηλεκτρονικός ζυγός ακρίβειας 0,1gr

Γενική περιγραφή

Η φιάλη κόβεται με το cutter σε 3 τουλάχιστον τμήματα , που το καθένα ζυγίζεται και καταγράφεται ξεχωριστά.

Περιγραφή (για 3 τμηματικά βάρη)

Οι προς εξέταση φιάλες κόβονται σε 2 σημεία εγκάρσια με το hot- wire cutter οπότε προκύπτουν τρία τμήματα ανά φιάλη :

Το τμήμα που περιλαμβάνει το λαιμό και τον ώμο της φιάλης (Shoulder section)

Το τμήμα που περιλαμβάνει το κορμό της φιάλης (Body section)

Το τμήμα που περιλαμβάνει τη βάση της φιάλης (Base section)

Ακολουθεί ζύγισμα του κάθε τμήματος.

Για κάθε μία φιάλη , καταγράφουμε τον αριθμό καλουπιού και τα 3 τμηματικά βάρη που μετρήθηκαν. Υπολογίζουμε το άθροισμά τους ανά καλούπι.

Για κάθε τμήμα υπολογίζουμε το μέγιστο ,ελάχιστο και μέσο βάρος επί του συνολικού δείγματος των φιαλών που ελέγχθηκαν. Επίσης υπολογίζουμε το εύρος διακύμανσης (Range) των μετρήσεων ανά τμήμα.

- base section – Min , Max , Average , $R=(Max-Min)$
- body section – Min , Max , Average , $R=(Max-Min)$
- shoulder section – Min , Max , Average, $R=(Max-Min)$

Ανα είδος και μέγεθος φιάλης τα τμήματα αυτά περιλαμβάνονται μεταξύ των εξής σημείων που ορίζουν και τις αντίστοιχες θέσεις κοπής που πρέπει να ρυθμιστούν στο wire-cutter :

Ξεκινώντας από κάτω προς τα επάνω κατά ύψος της φιάλης,

Φιάλες 1,5L Contour Coca Cola

- Το base section , περιλαμβάνεται μεταξύ ύψους 0mm και 36mm
- Το body section περιλαμβάνεται μεταξύ ύψους 36mm και 216(215,8)mm
- Το shoulder section, περιλαμβάνεται μεταξύ ύψους 216mm και 336mm

Φιάλες 1,5L Sprite Dimple

- Το base section , περιλαμβάνεται μεταξύ ύψους 0mm και 36mm
- Το body section περιλαμβάνεται μεταξύ ύψους 36mm και 218mm
- Το shoulder section, περιλαμβάνεται μεταξύ ύψους 218mm και 336mm

Φιάλες 1,5L Fanta Splash

- Το base section , περιλαμβάνεται μεταξύ ύψους 0mm και 36mm
- Το body section περιλαμβάνεται μεταξύ ύψους 36mm και 132(131,7)mm
- Το shoulder section, περιλαμβάνεται μεταξύ ύψους 132mm και 336mm

Για καθορισμό ορίων ελέγχου παραμέτρων , και έλεγχο τους ακολουθήθηκε η παρακάτω μεθοδολογία

- Προδιαγραφές (USL-LSL)

[specification : Π.χ. για section weights ο μ.ο. όλων των μετρήσεων του Capability ,με ανοχή $\pm 0,5g$]

- Υπο-ομάδες δεδομένων (subgroup nr= K) μεγέθους n (subgroup size= n) π.χ. 25 στροφές μίας μηχανής εμφύσησης των 16 καλουπιών , παράγουν 25 υποομάδες των 16 φιαλών ($K=25$, $n=16$)
- Για κάθε υποομάδα υπολογισμός των μεγεθών Min , Max , \bar{x} , R , $stdev$, \bar{X} , R , \bar{avg} , R , \bar{avg}
- Εντοπισμός του συντελεστή d_2 από πίνακες
- Υπολογισμός τυπικής απόκλισης s estimate από τον τύπο $\sigma = R / d_2$
- Εντοπισμός του συντελεστή A_2 από πίνακες
- Υπολογισμός του UCL $\bar{x} = \bar{X}_{avg} + A_2 * R_{avg}$
- Υπολογισμός του LCL $\bar{x} = \bar{X}_{avg} - A_2 * R_{avg}$
- Εντοπισμός των συντελεστών D_3 και D_4 από πίνακες
- Υπολογισμός του UCL $R = D_4 * R_{avg}$ και LCL $R = D_3 * R_{avg}$
- Κατασκευή των διαγραμμάτων ελέγχου R και \bar{x}
- Υπολογισμός των δεικτών C_p και C_{pK} από τους τύπους $C_p = (USL - LSL) / 6 * \sigma$, $C_{pL} = (\bar{X}_{avg} - LSL) / 3\sigma$, $C_{pU} = (USL - \bar{X}_{avg}) / 3\sigma$
- *Δείκτες εκτίμησης επιδόσεων σε ένα οποιοδήποτε χρονικό πλαίσιο (overall performance assessment)*
 - Δεν χρειάζεται επεξεργασία δεδομένων σε υποομάδες
 - Υπολογισμός τυπικής απόκλισης s από τον γνωστό μαθηματικό τύπο (των δεδομένων που αντιστοιχούν στο χρονικό διάστημα αναφοράς)
 - Υπολογισμός μ.ο. όλων των δεδομένων του ίδιου διαστήματος
 - Κατασκευή ιστογράμματος συχνοτήτων
 - Υπολογισμός των δεικτών P_p και P_{pK} από τους τύπους $P_p = (USL - LSL) / 6 * s$, $P_{pL} = (\bar{X}_{avg} - LSL) / 3s$, $P_{pU} = (USL - \bar{X}_{avg}) / 3s$

7.1 ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Παρακάτω παρατίθενται συνοπτικά τα αποτελέσματα και για τις δύο μηχανές εμφύσησης (SBO10, SBO4) για τον έλεγχο τμηματικού βάρους

Section weight capability summary 46,5g / Patras SBO10

		sample size	average	min	max	R	σ	s	Cp	CpK	Target	Tolerance	Unit
Coke	Shoulder	400	15,84	15,4	16,5	1,1	0,223	0,207	0,7	0,7	15,8	±0,5	g
	Body	400	20,61	20	21,1	1,1	0,210	0,201	0,8	0,8	20,6	±0,5	g
	Base	400	10,10	9,4	10,9	1,5	0,306	0,288	0,5	0,5	10,1	±0,5	g
Sprite	Shoulder	400	15,30	14,7	15,9	1,2	0,216	0,221	0,8	0,8	15,3	±0,5	g
	Body	400	21,29	20,6	22,1	1,5	0,292	0,297	0,6	0,5	21,2	±0,5	g
	Base	400	9,98	8,9	11,0	2,1	0,386	0,365	0,4	0,4	10,0	±0,5	g
Splash	Shoulder	400	24,59	23,8	25,5	1,7	0,383	0,370	0,4	0,4	24,6	±0,5	g
	Body	400	11,72	11,0	12,2	1,2	0,283	0,278	0,6	0,6	11,7	±0,5	g
	Base	400	10,22	9,4	11,7	2,3	0,374	0,335	0,4	0,4	10,2	±0,5	g

Section weight capability summary 46,5g / Patras SBO4

		sample size	average	min	max	R	σ	s	Cp	CpK	Target	Tolerance	Unit
Coke	Shoulder	400	15,62	15,1	16,0	0,9	0,160	0,165	1,0	1,0	15,6	±0,5	g
	Body	400	20,93	20,3	21,6	1,3	0,299	0,258	0,6	0,5	20,9	±0,5	g
	Base	400	10,01	9,2	10,8	1,6	0,351	0,325	0,5	0,5	10,0	±0,5	g
Sprite	Shoulder	400	16,66	14,2	15,1	0,9	0,139	0,144	1,2	1,0	14,6	±0,5	g
	Body	400	21,56	20,8	22	1,2	0,214	0,219	0,8	0,7	21,5	±0,5	g
	Base	400	10,35	9,6	11,6	2,0	0,270	0,288	0,6	0,6	10,4	±0,5	g
Splash	Shoulder	400	25,09	24,3	25,9	1,6	0,298	0,273	0,6	0,6	25,1	±0,5	g
	Body	400	12,04	11,6	12,4	0,8	0,152	0,157	1,1	1,0	12,0	±0,5	g
	Base	400	9,41	8,50	10,4	1,9	0,402	0,356	0,4	0,4	9,4	±0,5	g

Ακολουθούν τα αποτελέσματα και για τις δύο μηχανές εμφύσησης (SBO10, SBO4) για την αντοχή σε εσωτερική πίεση

Burst pressure performance summary 46,5g / Patras SBO4

	sample size	average	min	max	R	s	PpK	LSL ind	LSL avg	Unit
Coke	400	13,00	11,9	14,2	2,30	0,277	7,45	6,8	8,6	bar
Sprite	400	12,76	11,2	13,6	2,40	0,308	6,46	6,8	8,6	bar
Splash	400	13,40	9,8	14,2	4,40	0,490	4,49	6,8	8,6	bar

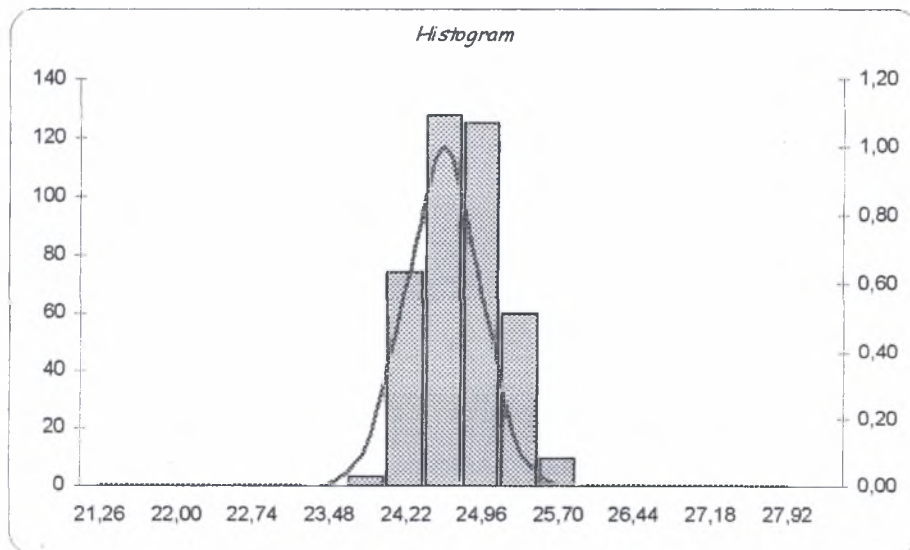
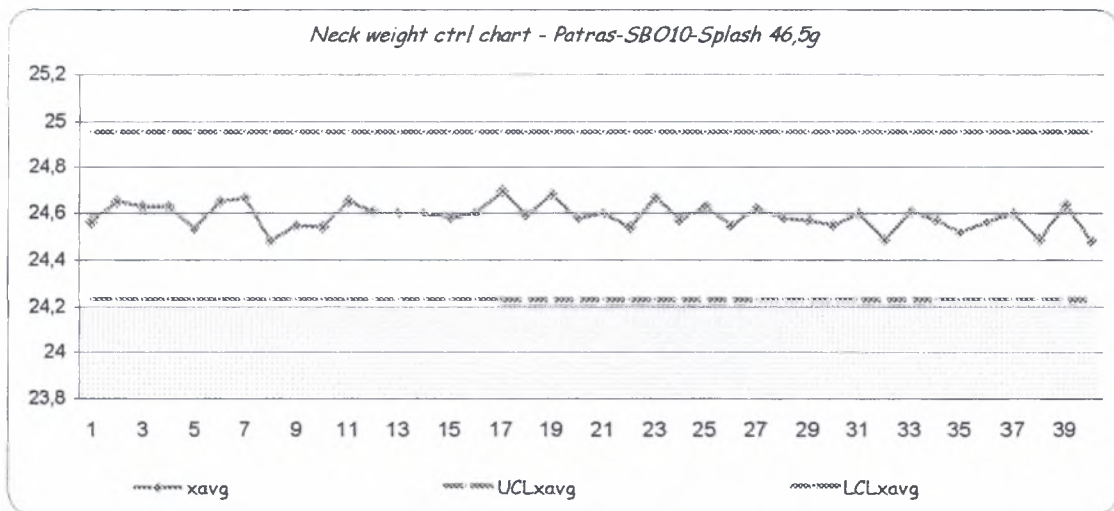
Burst pressure performance summary 46,5g / Patras SBO10

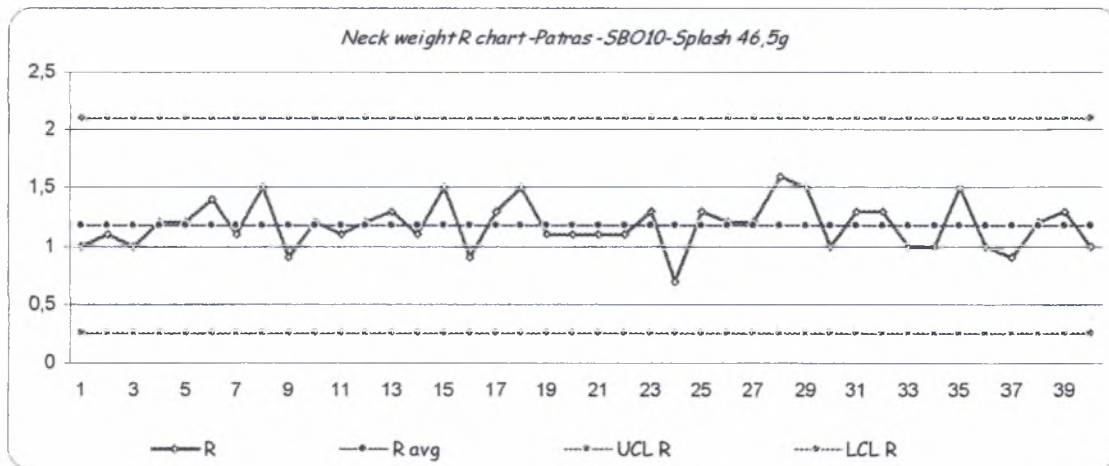
	sample size	average	min	max	R	s	PpK	LSL ind	LSL avg	Unit
Coke	400	13,05	11,7	13,8	2,10	0,284	7,34	6,8	8,6	bar
Sprite	400	12,76	11,9	13,5	1,60	0,280	7,07	6,8	8,6	bar
Splash	400	11,57	10,0	12,7	2,70	0,388	4,10	6,8	8,6	bar

7.2 Διαγράμματα ελέγχου για section weight

Φιάλες 1,5L Fanta Splash (μηχανή εμφύσησης SBO10)

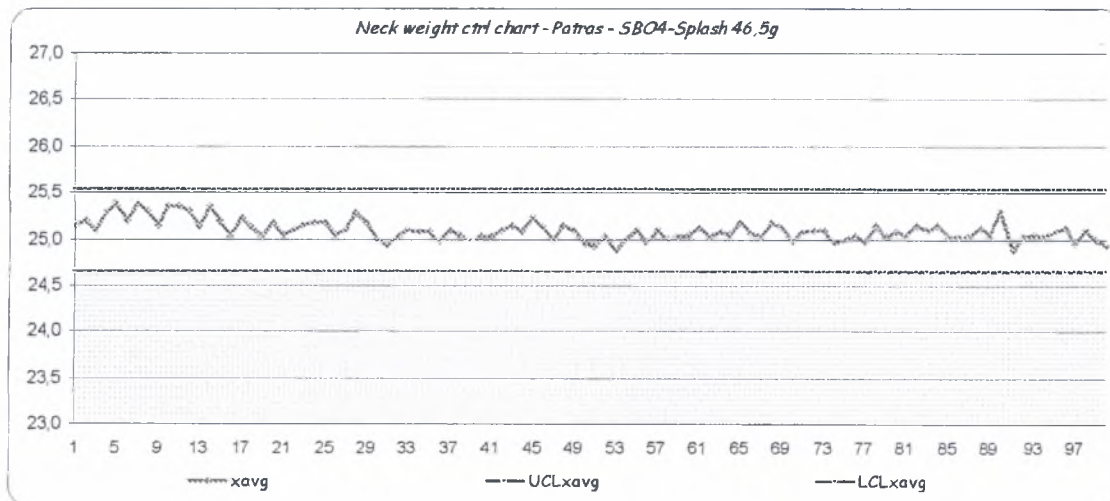
- Shoulder section

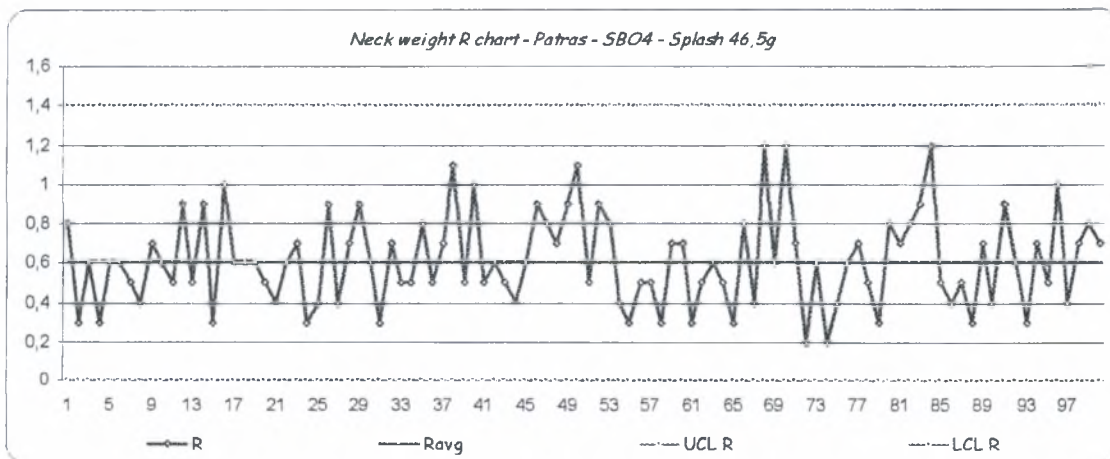
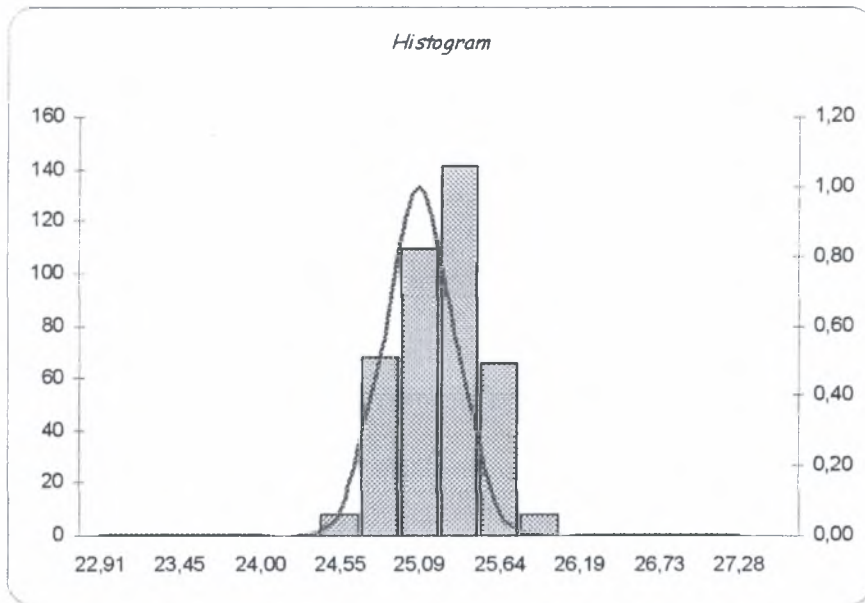




Φιάλες 1,5L Fanta Splash (μηχανή εμφύσησης SBO4)

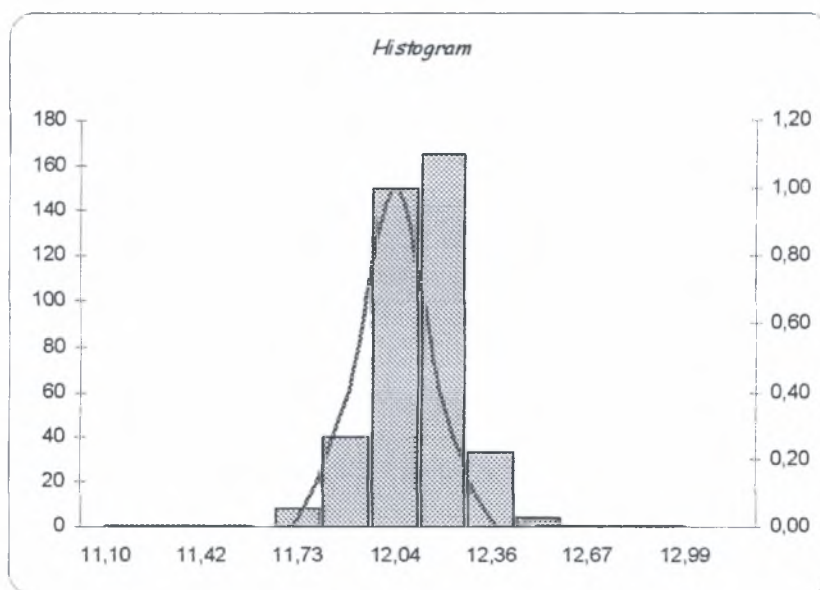
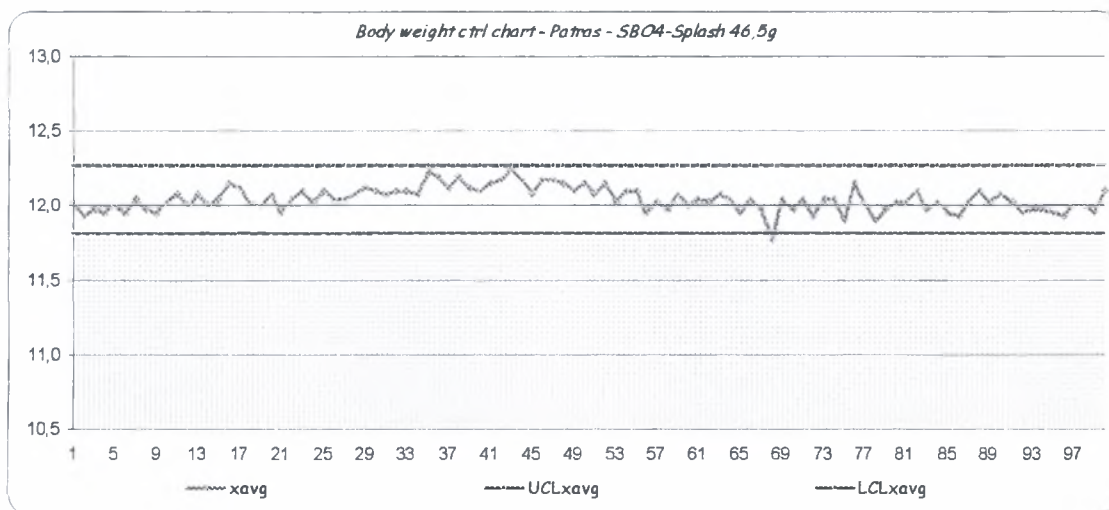
- Shoulder section

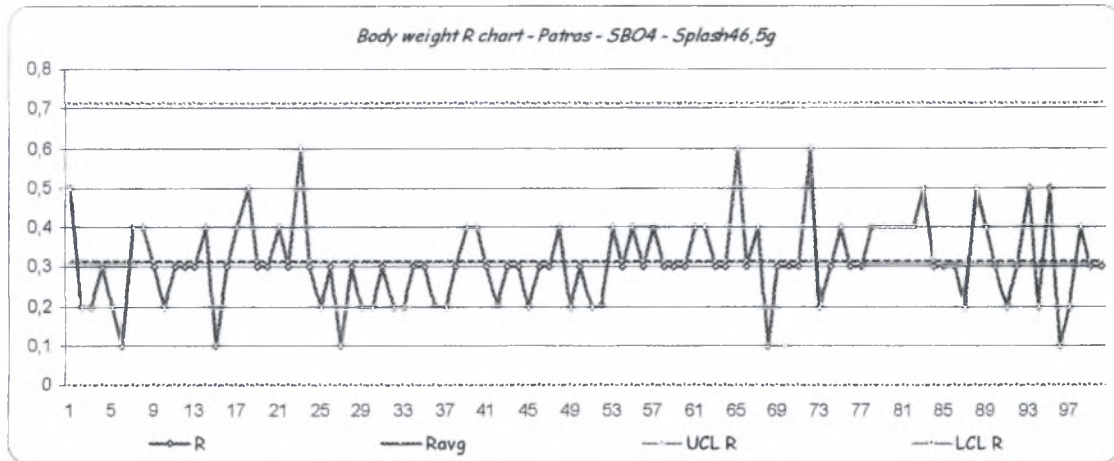




Φιάλες 1,5L Fanta Splash (μηχανή εμφύσησης SBO4)

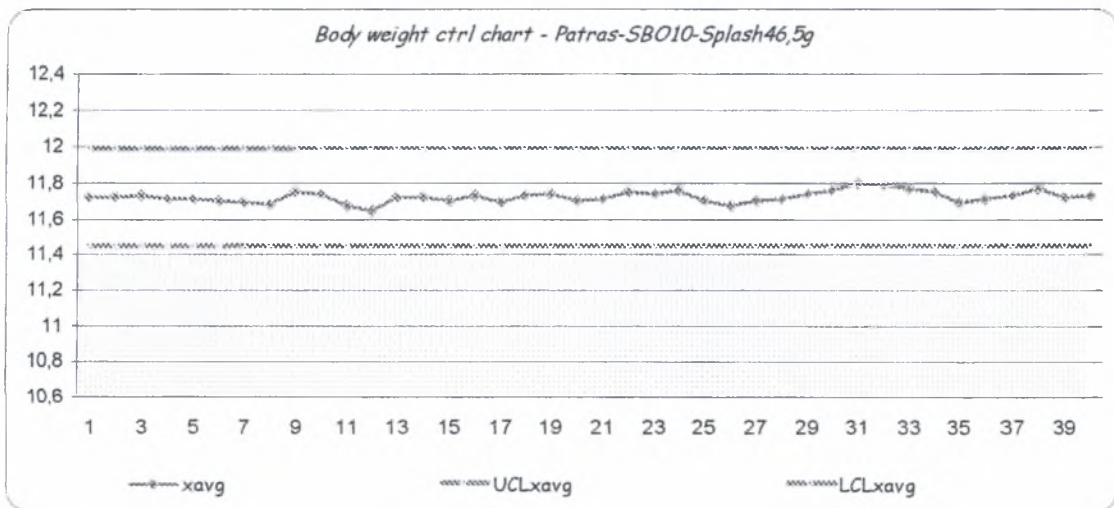
- Body section

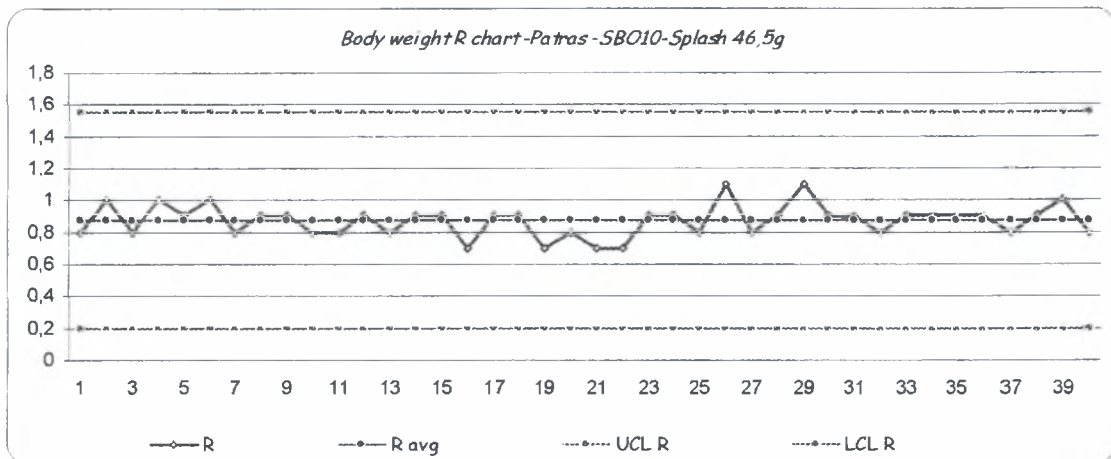
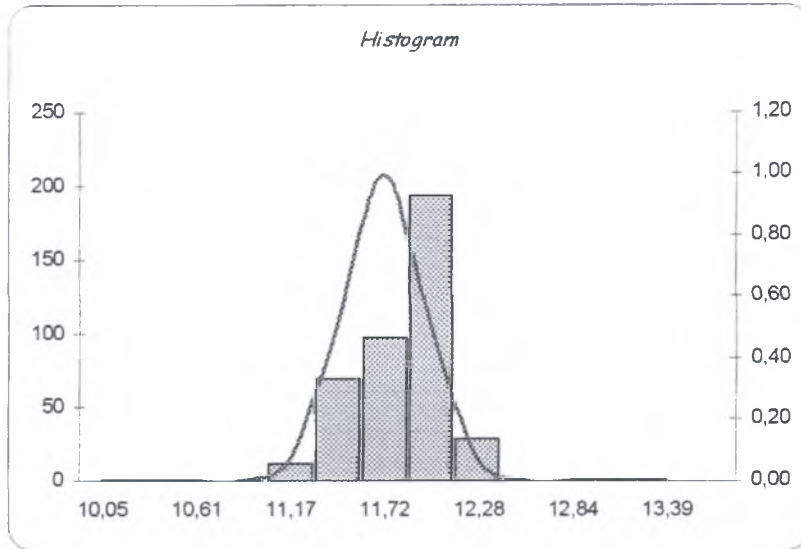




Φιάλες 1,5L Fanta Splash (μηχανή εμφύσησης SBO10)

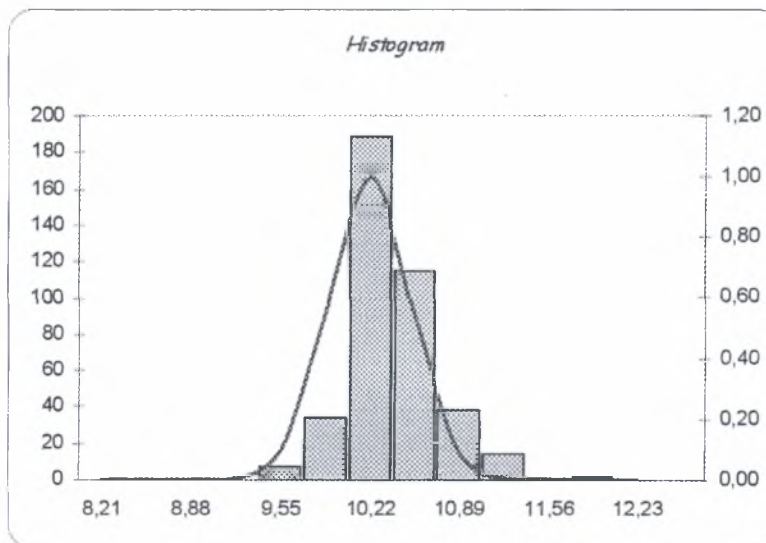
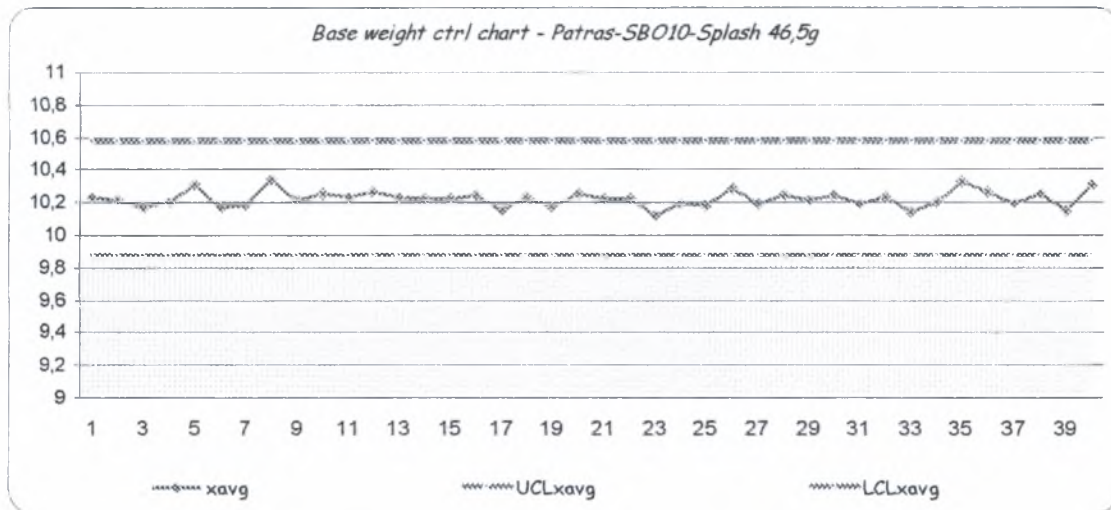
- Body section

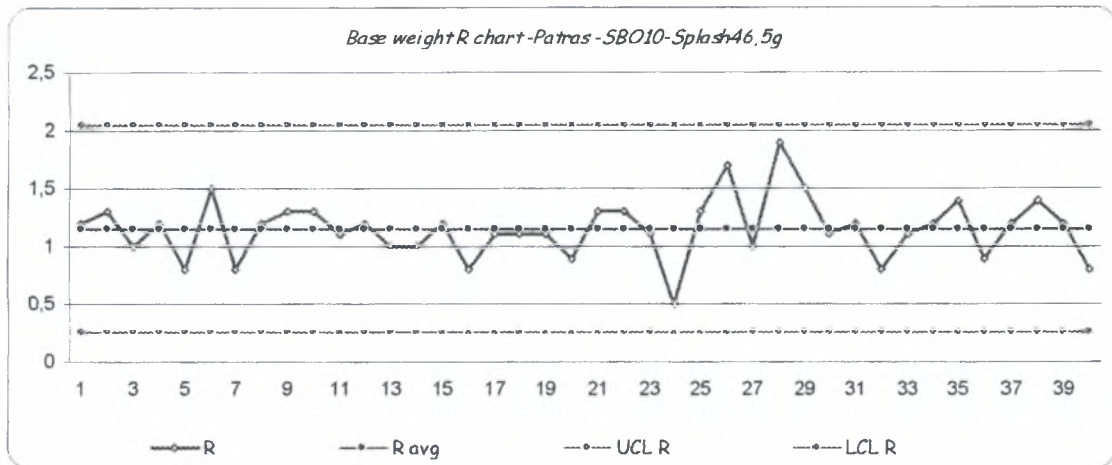




Φιάλες 1,5L Fanta Splash (μηχανή εμφύσησης SBO10)

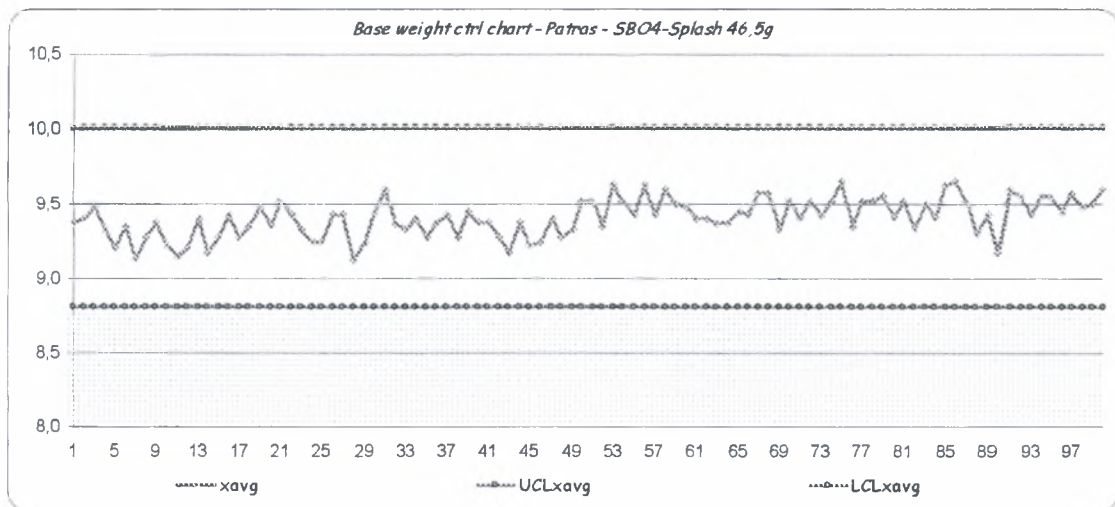
- Base section

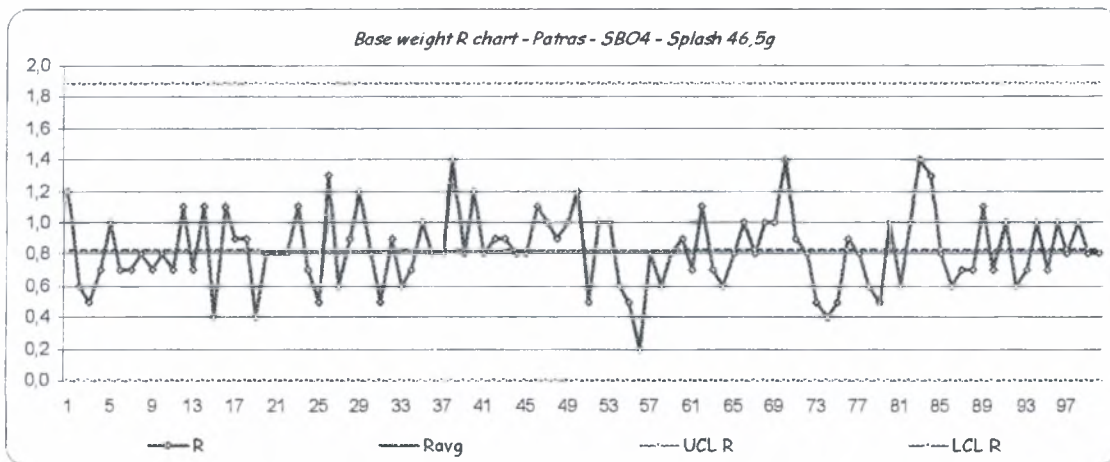
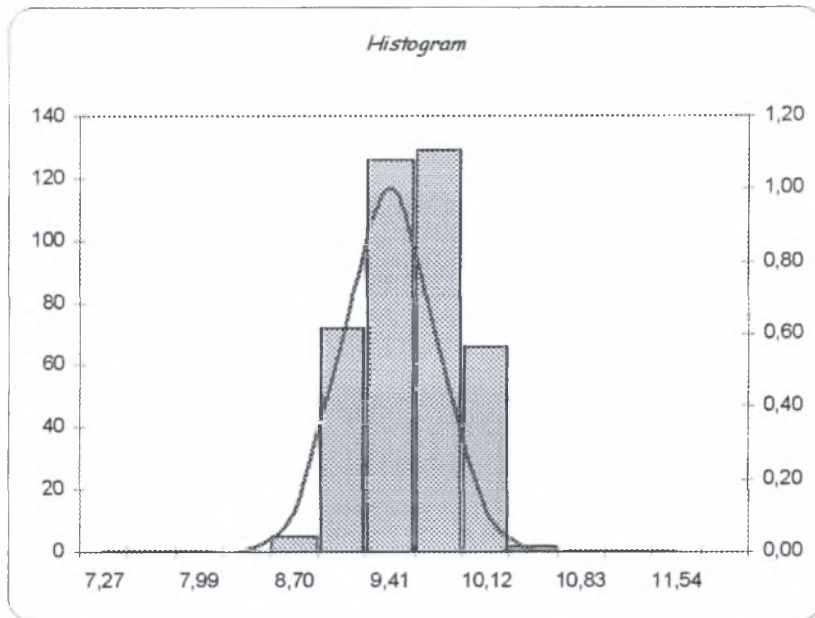




Φιάλες 1,5L Fanta Splash (μηχανή εμφύσησης SBO4)

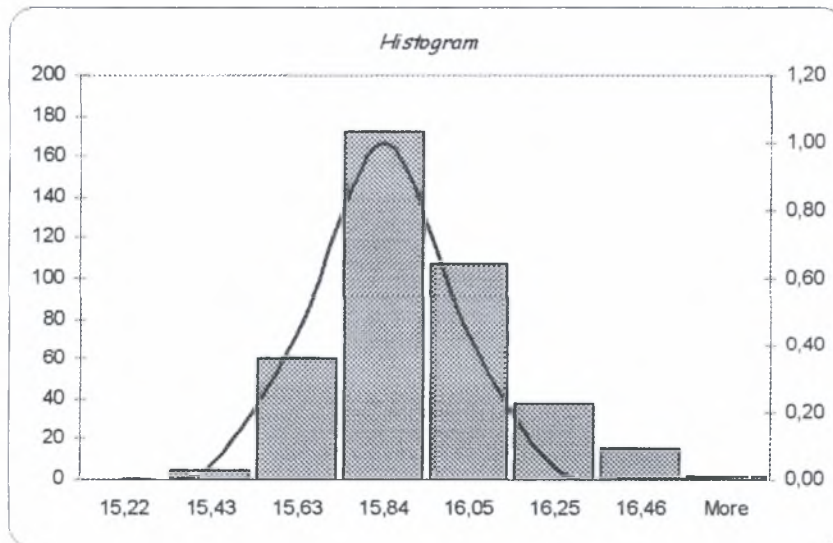
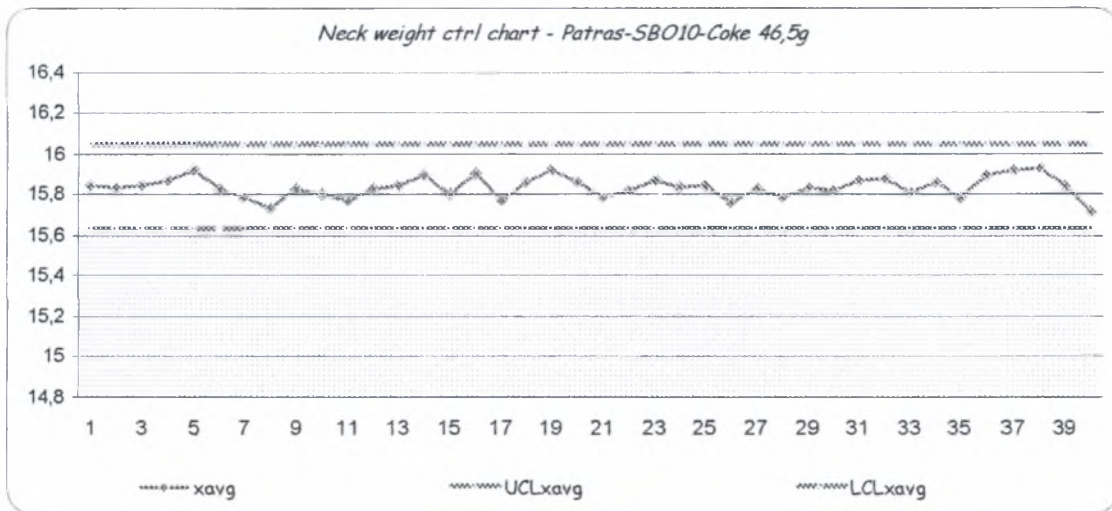
- Base section

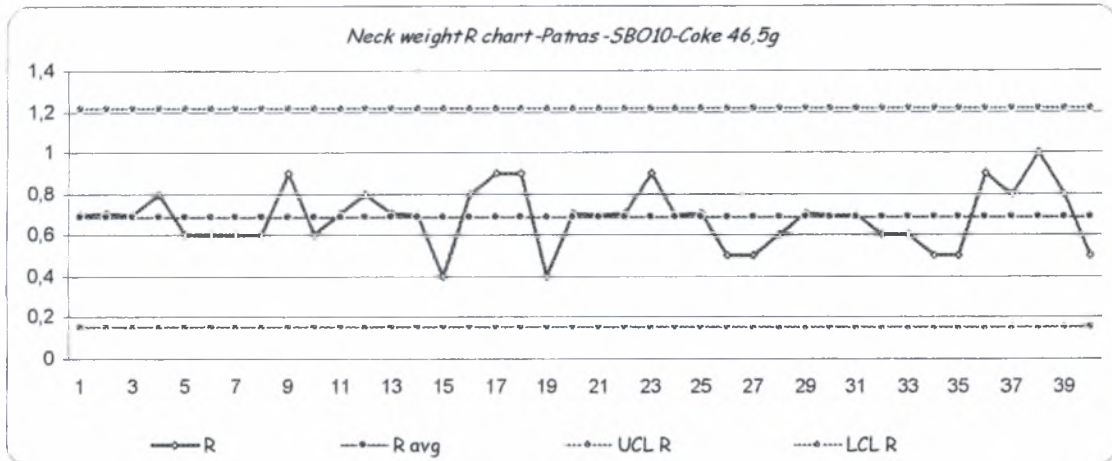




Φιάλες 1,5L Contour Coca Cola (μηχανή εμφύσησης SBO10)

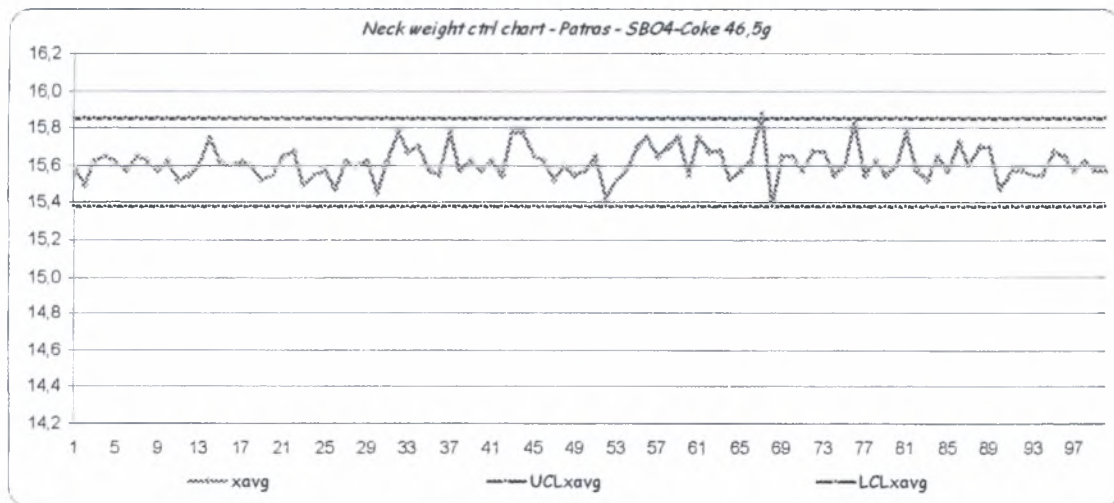
- Shoulder section

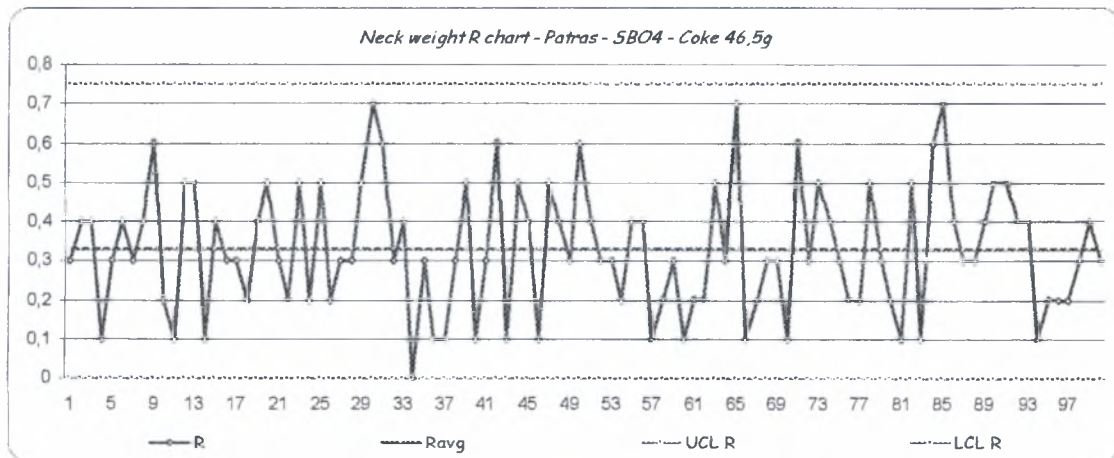
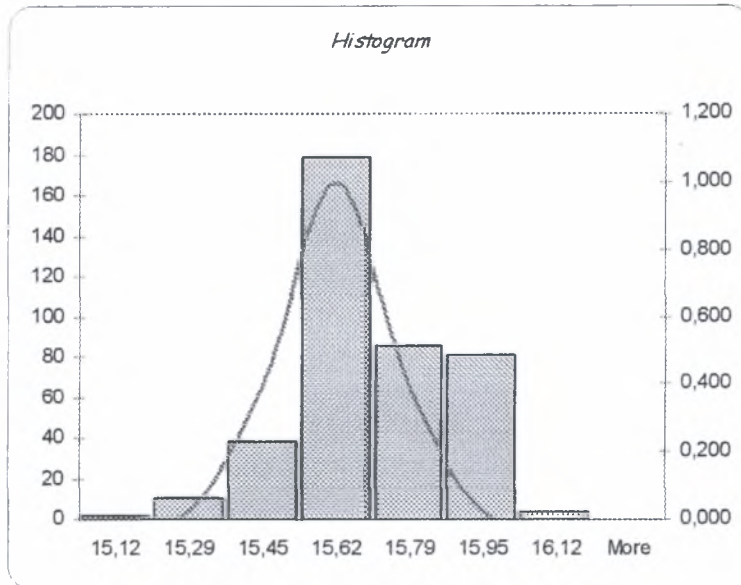




Φιάλες 1,5L Contour Coca Cola (μηχανή εμφύσησης SBO4)

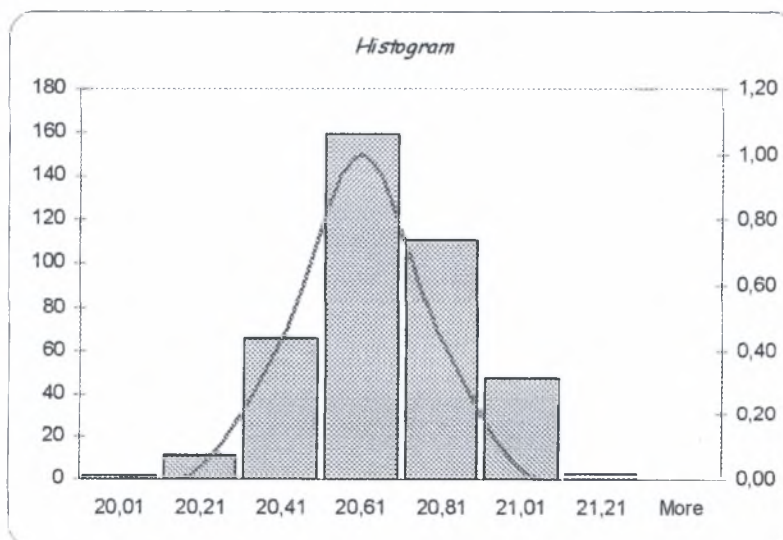
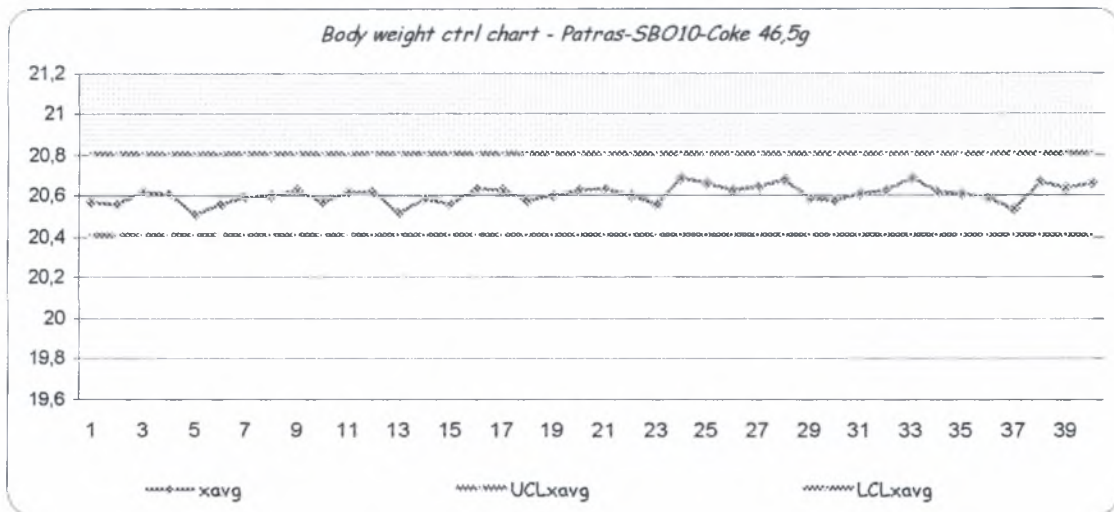
- Shoulder section

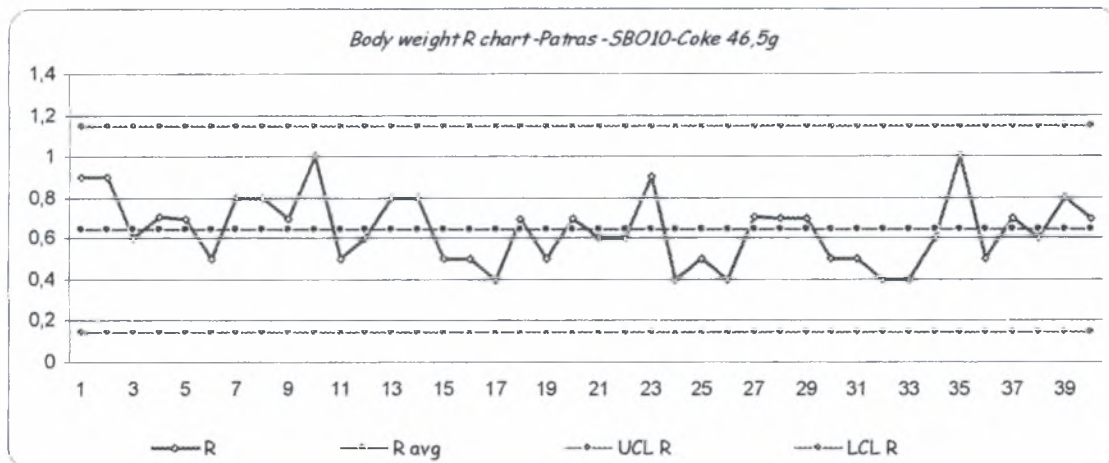




Φιάλες 1,5L Contour Coca Cola (μηχανή εμφύσησης SBO10)

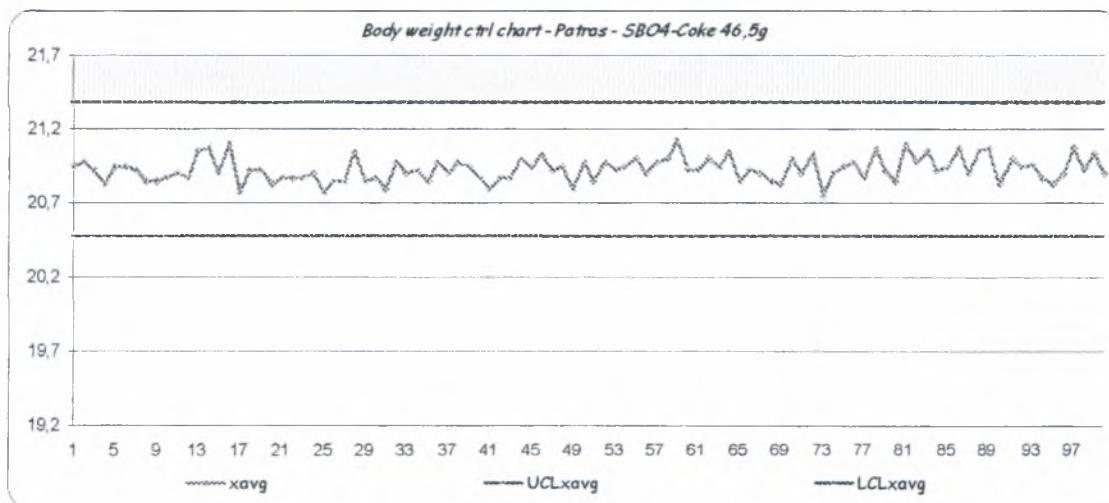
- Body section

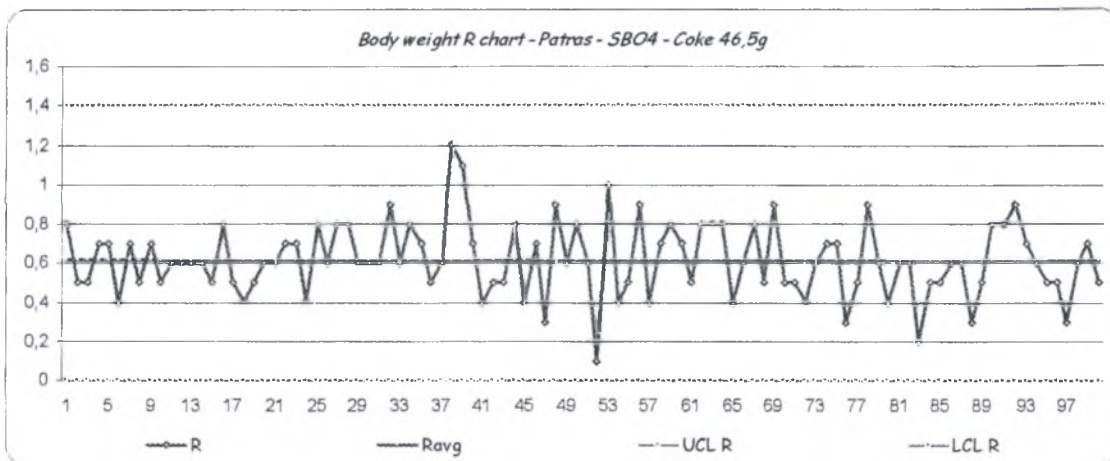
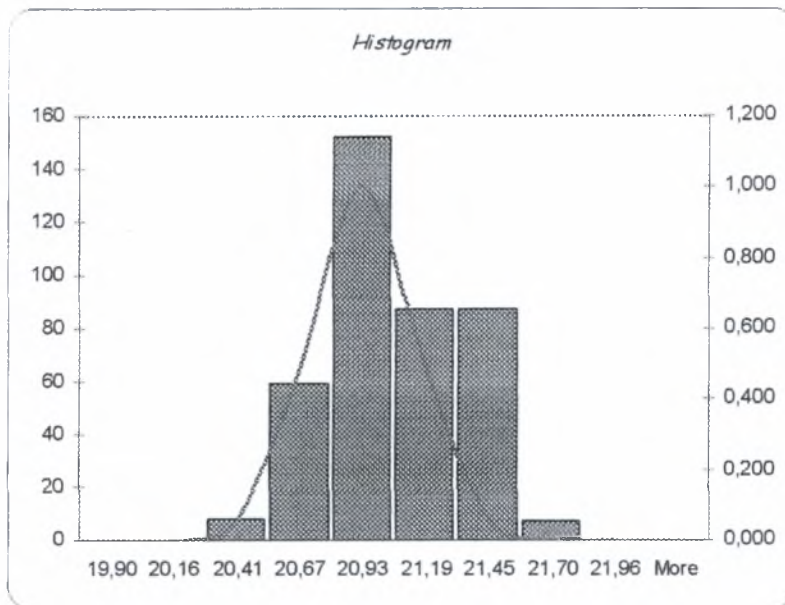




Φιάλες 1,5L Contour Coca Cola (μηχανή εμφύσησης SBO4)

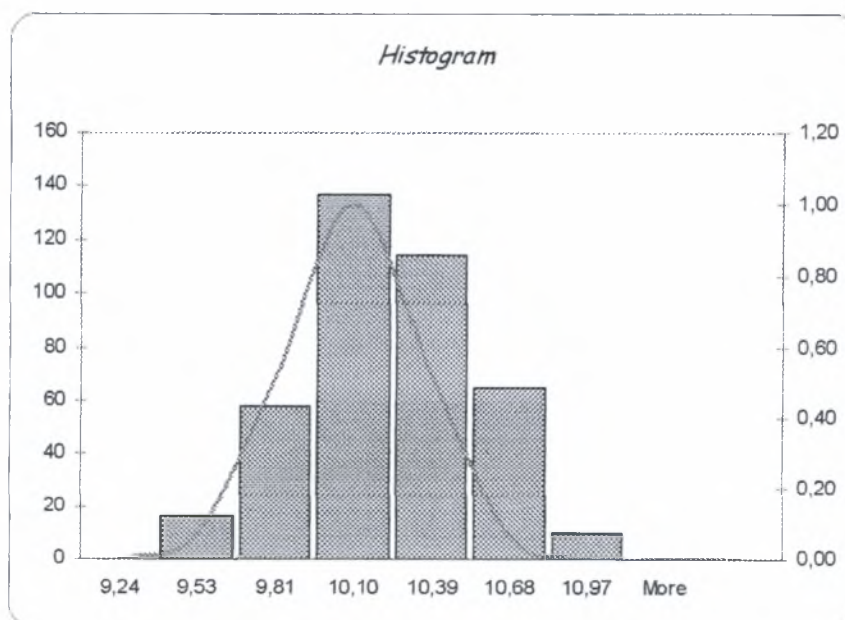
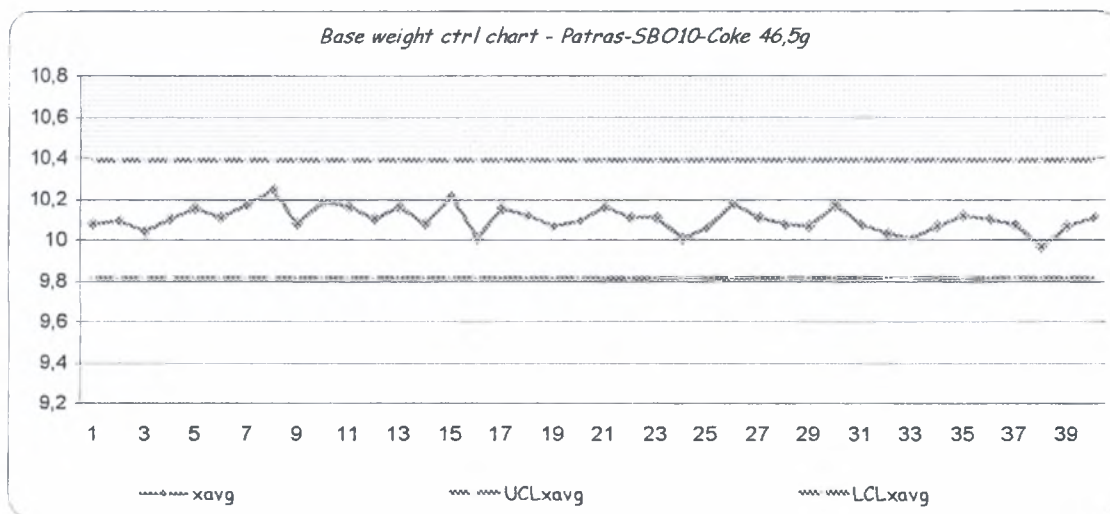
- Body section

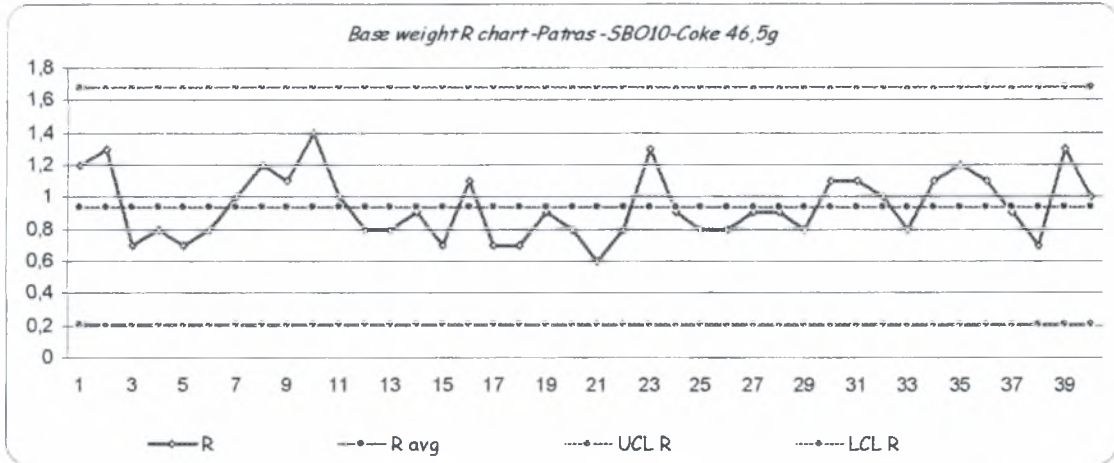




Φιάλες 1,5L Contour Coca Cola (μηχανή εμφύσησης SBO10)

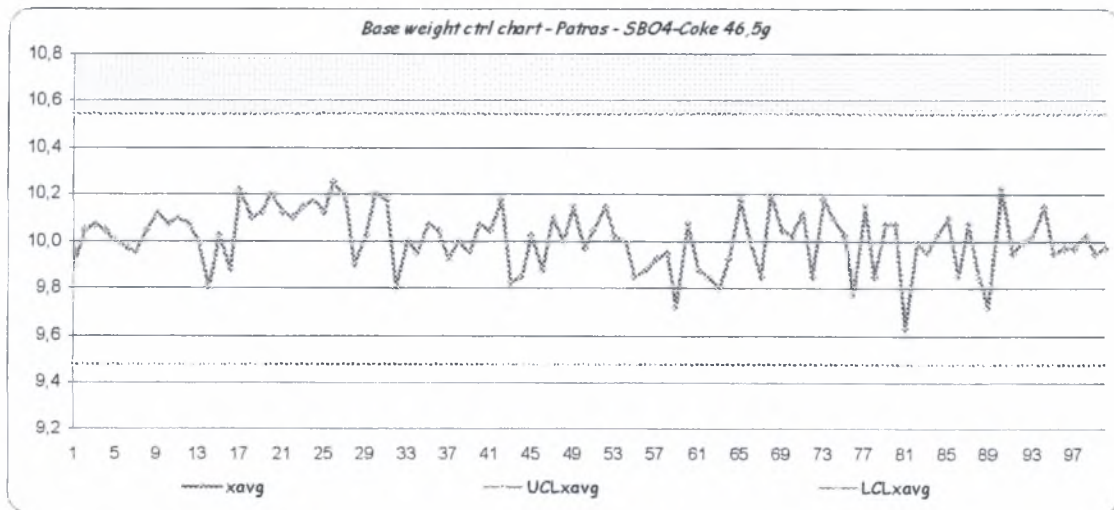
- Base section

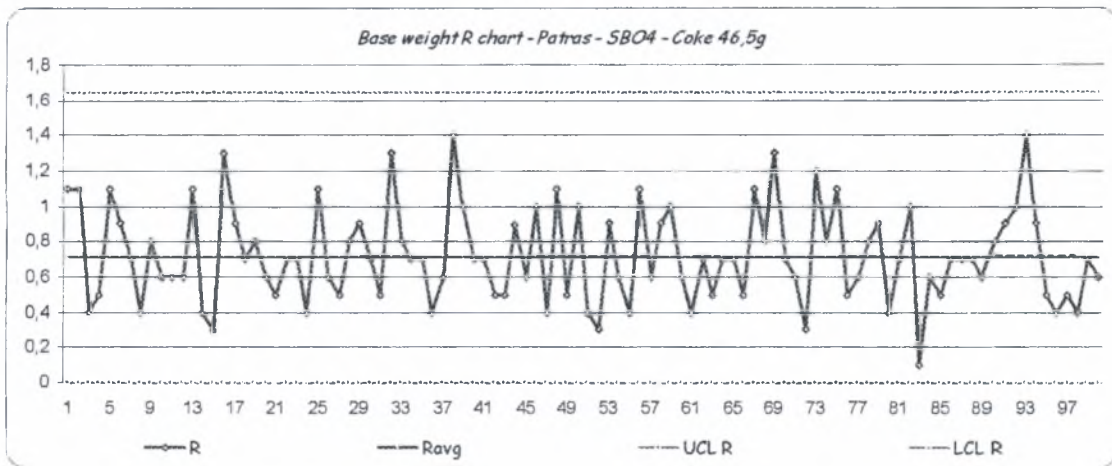
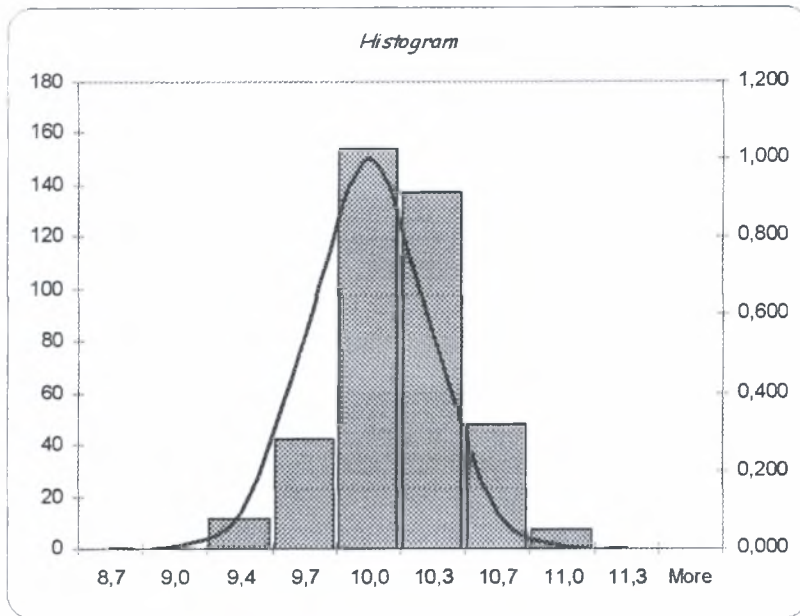




Φιάλες 1,5L Contour Coca Cola (μηχανή εμφύσησης SBO4)

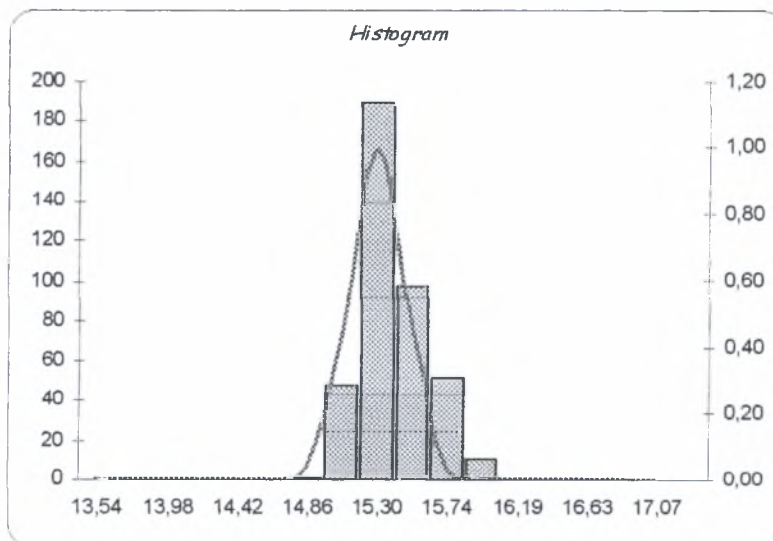
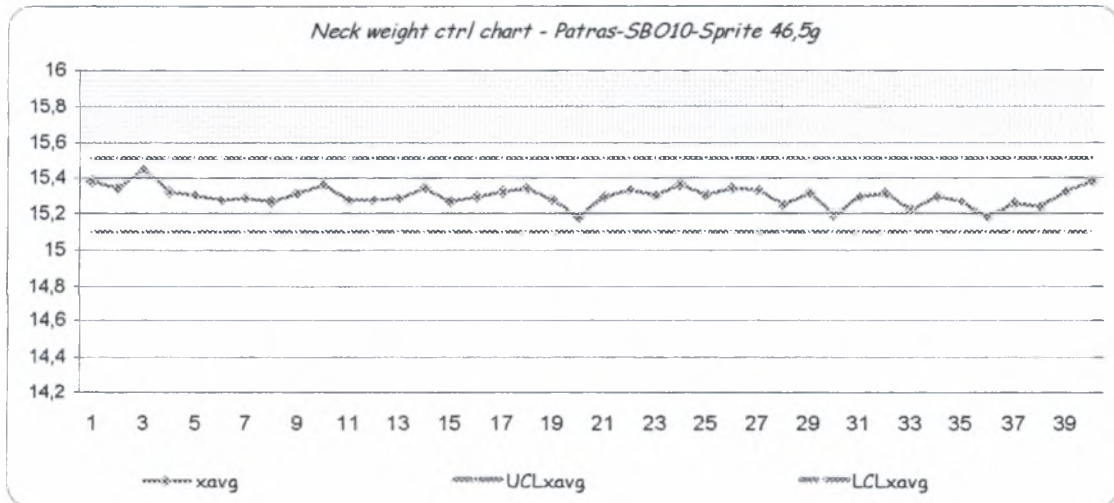
- Base section

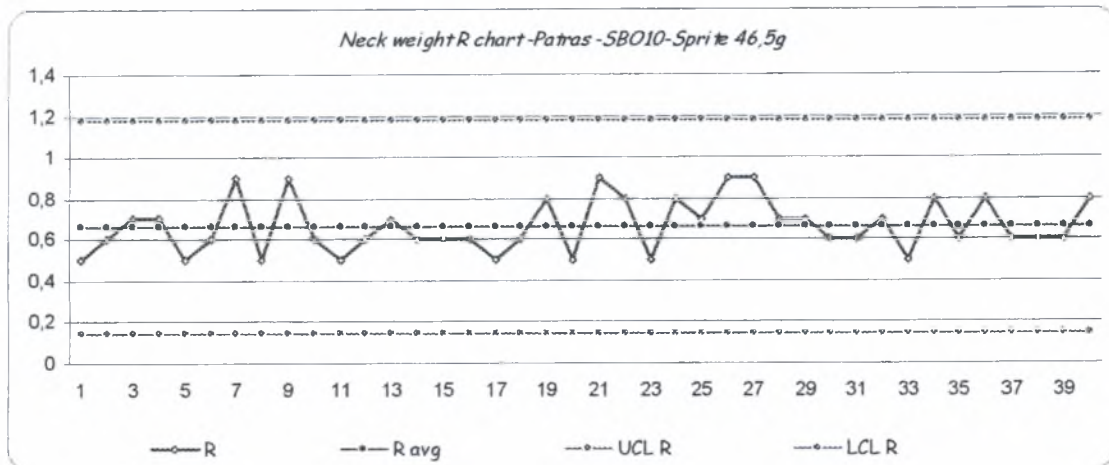




Φιάλες 1,5L Sprite Dimple (μηχανή εμφύσησης SBO10)

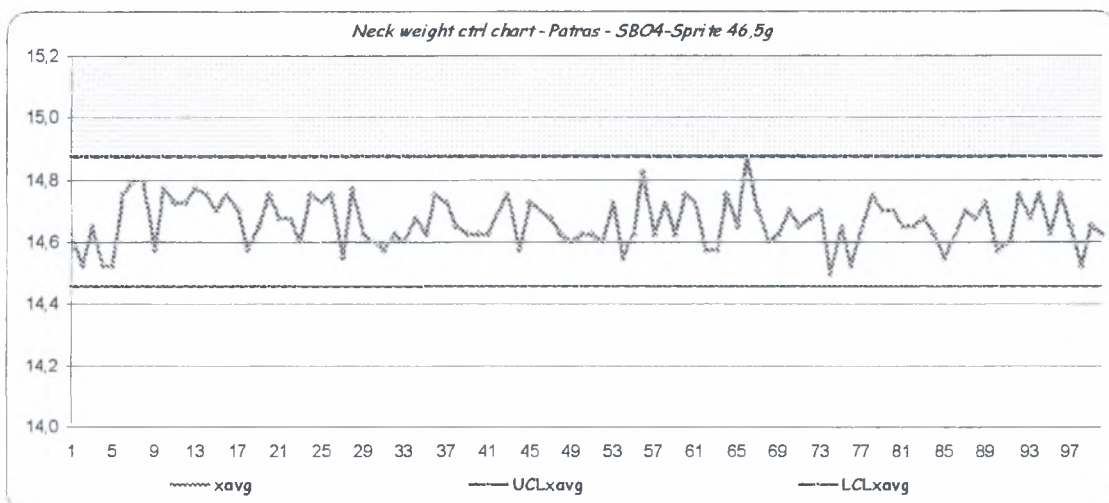
- Shoulder section

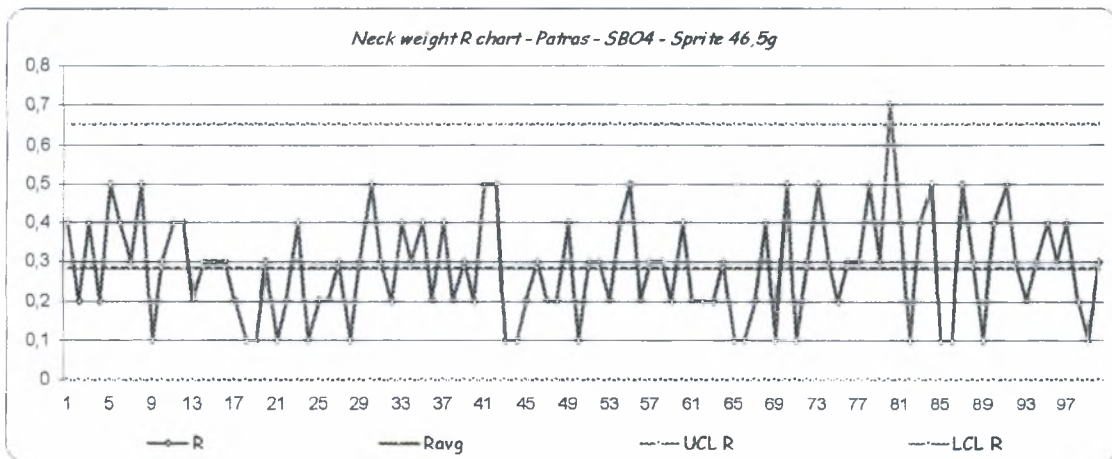
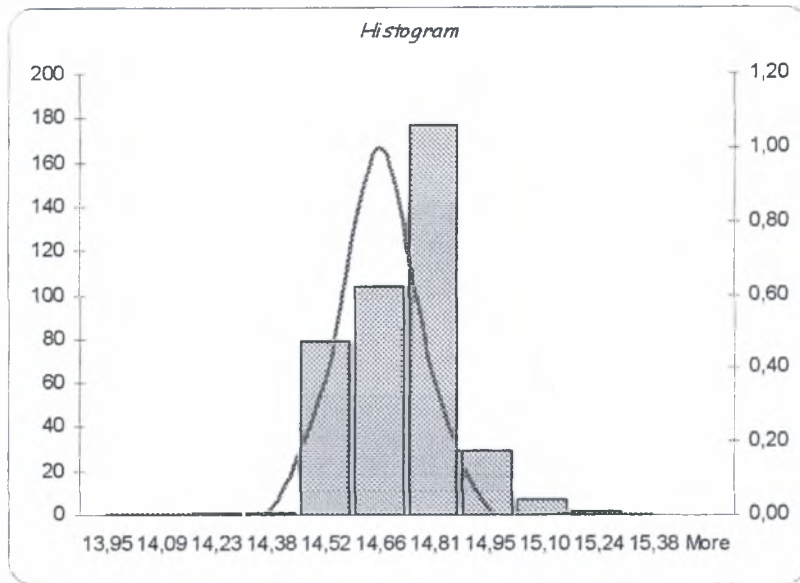




Φιάλες 1,5L Sprite Dimple (μηχανή εμφύσησης SBO4)

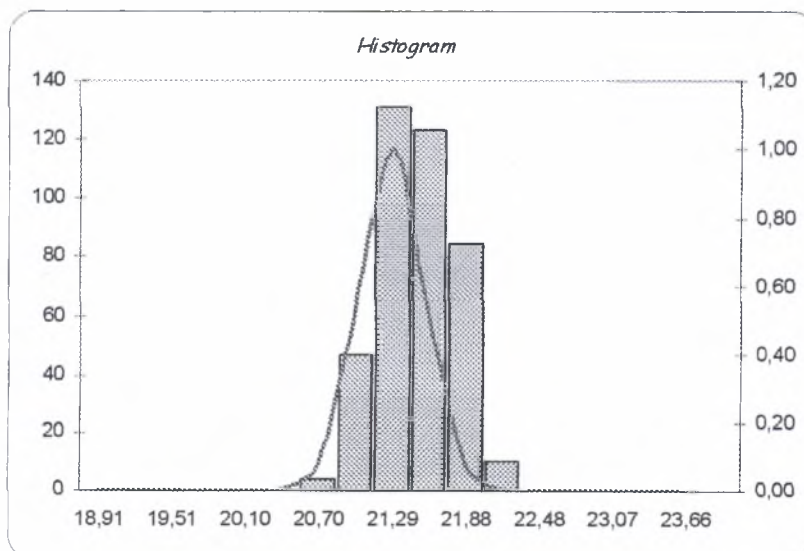
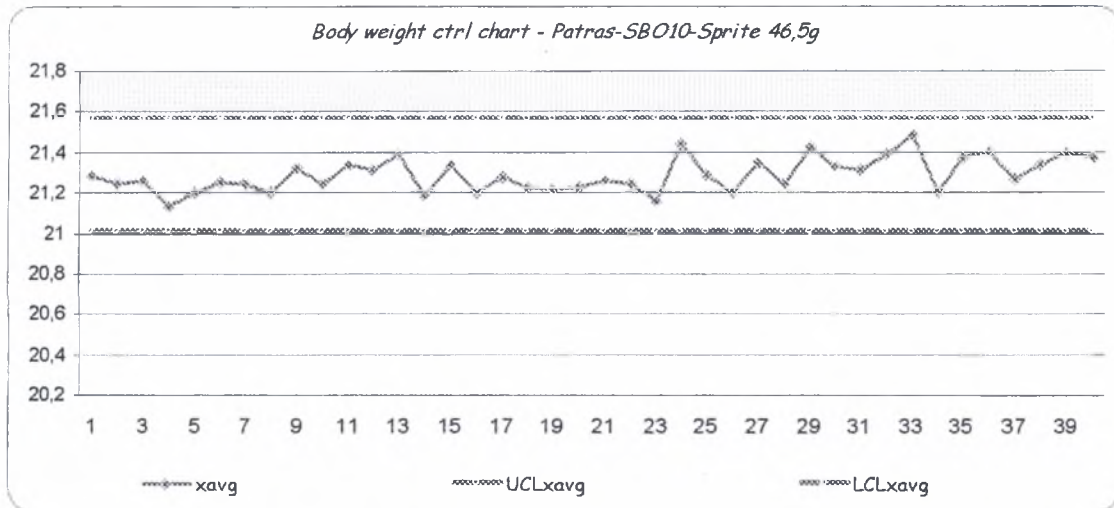
- Shoulder section

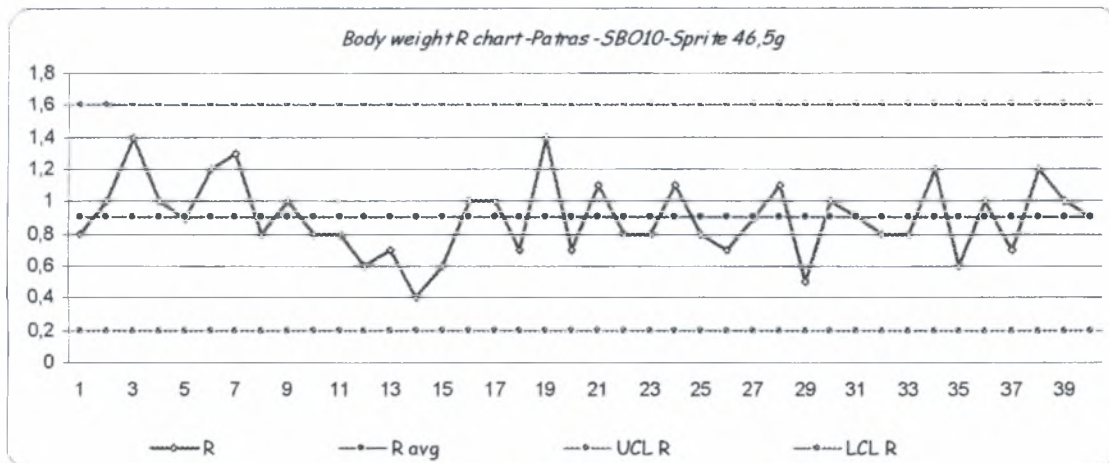




Φιάλες 1,5L Sprite Dimple (μηχανή εμφύσησης SBO10)

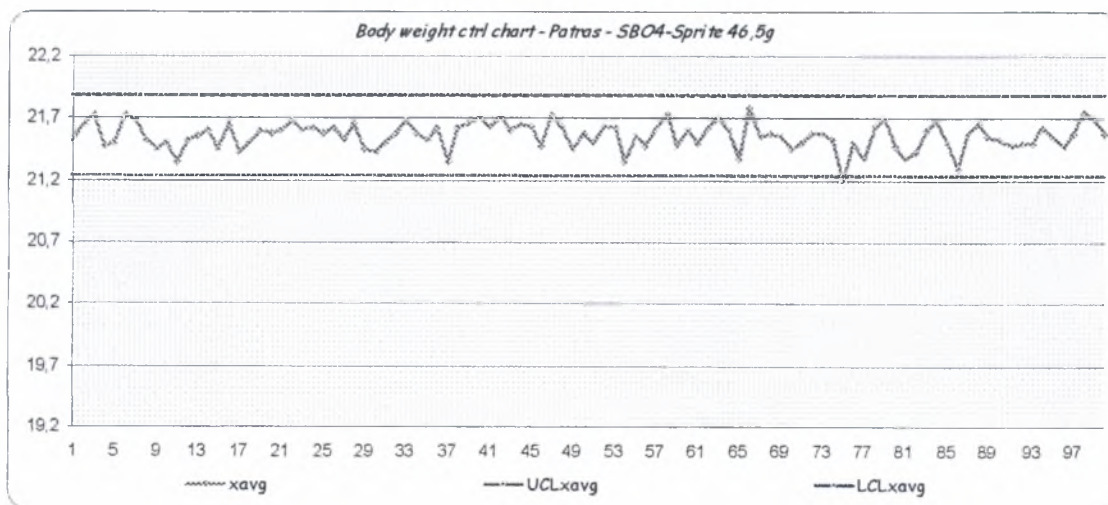
- Body section

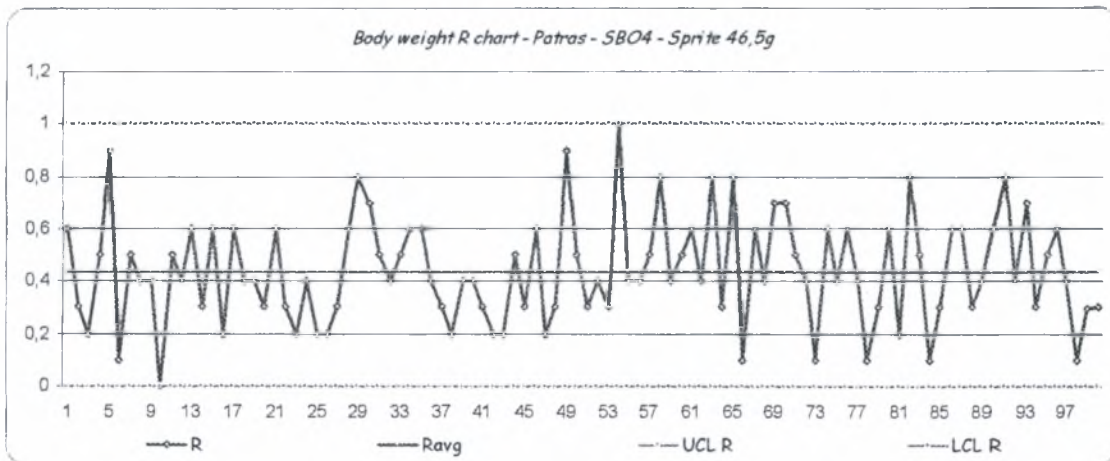
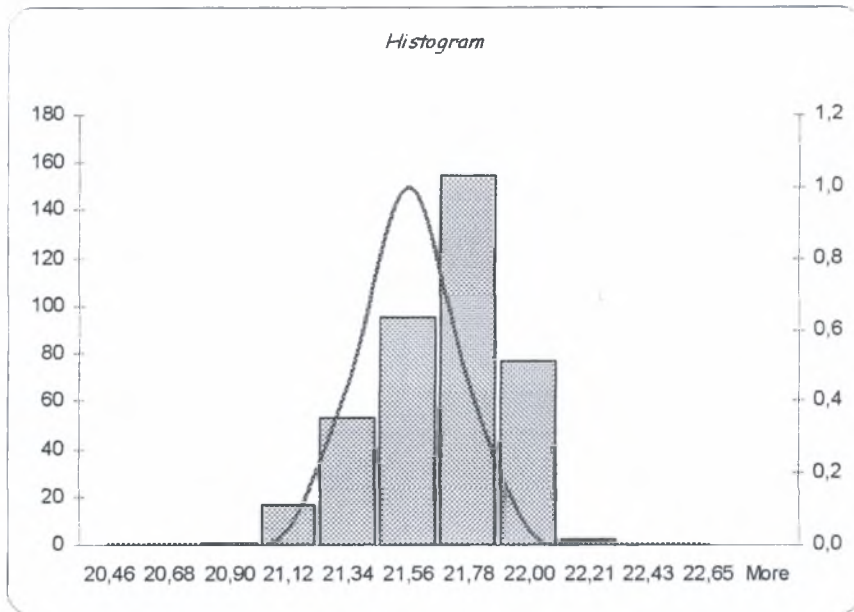




Φιάλες 1,5L Sprite Dimple (μηχανή εμφύσησης SBO4)

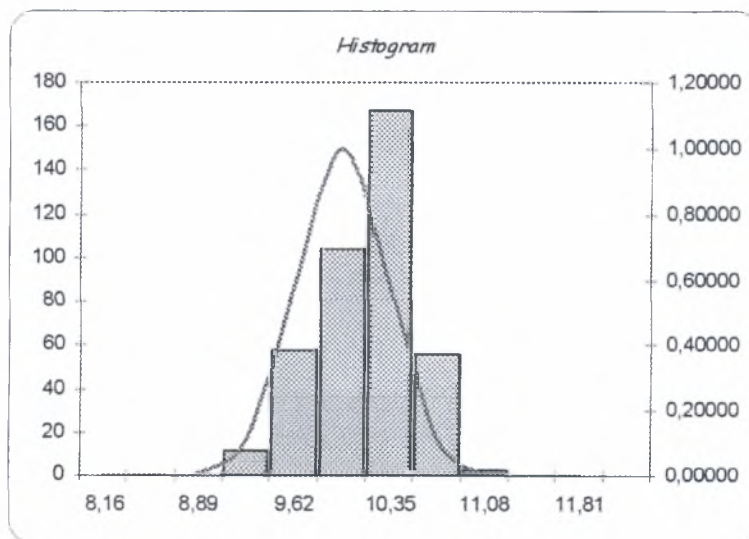
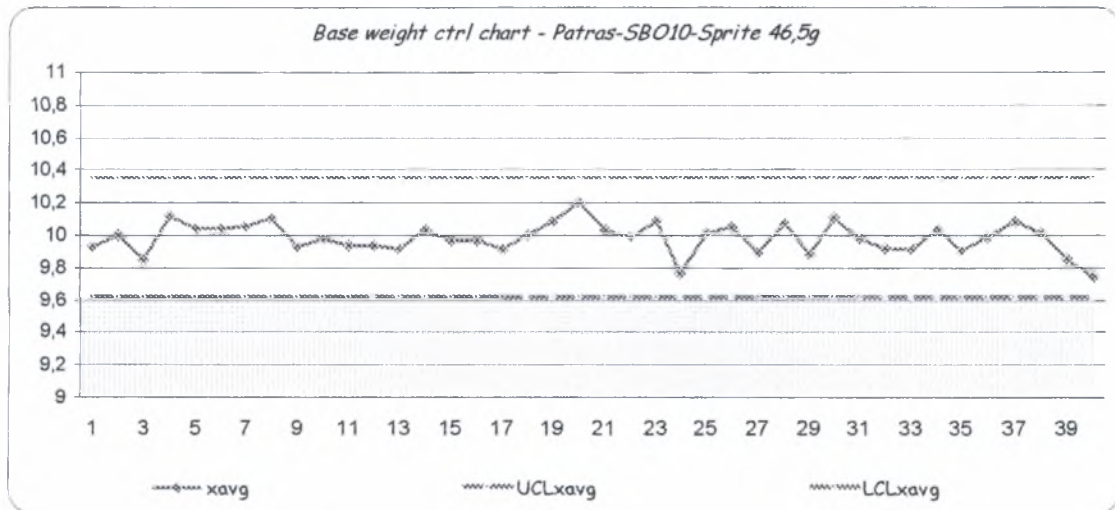
- Body section

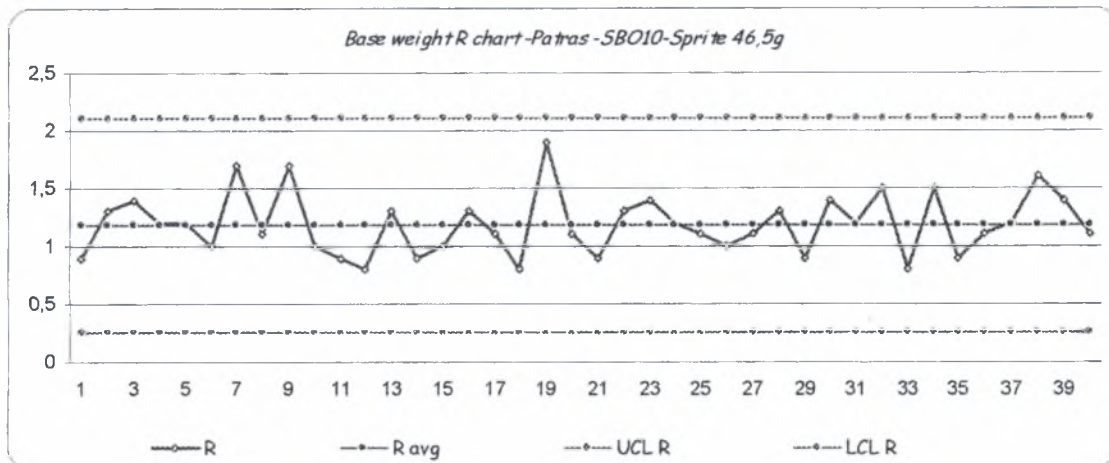




Φιάλες 1,5L Sprite Dimple (μηχανή εμφύσησης SBO10)

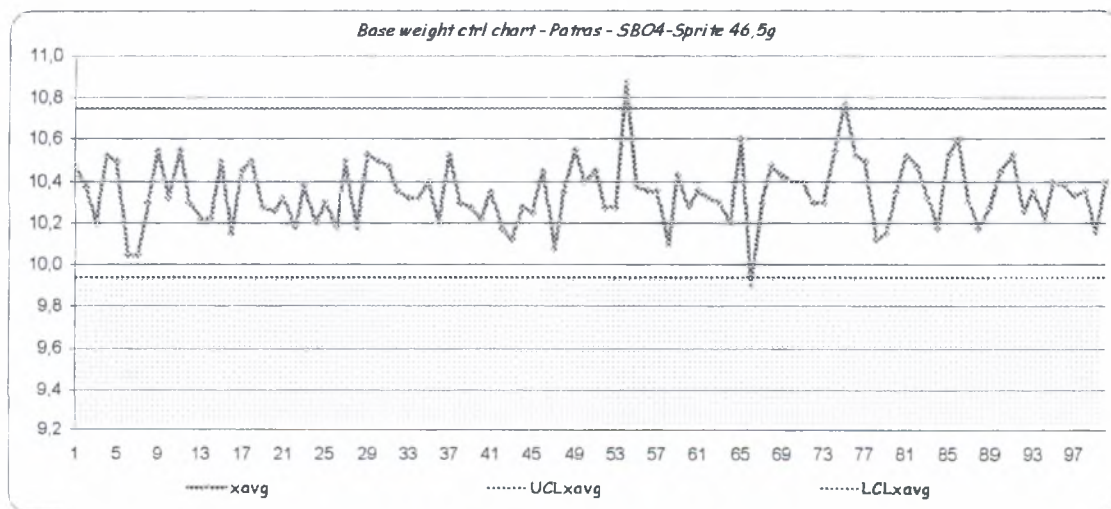
- Base section

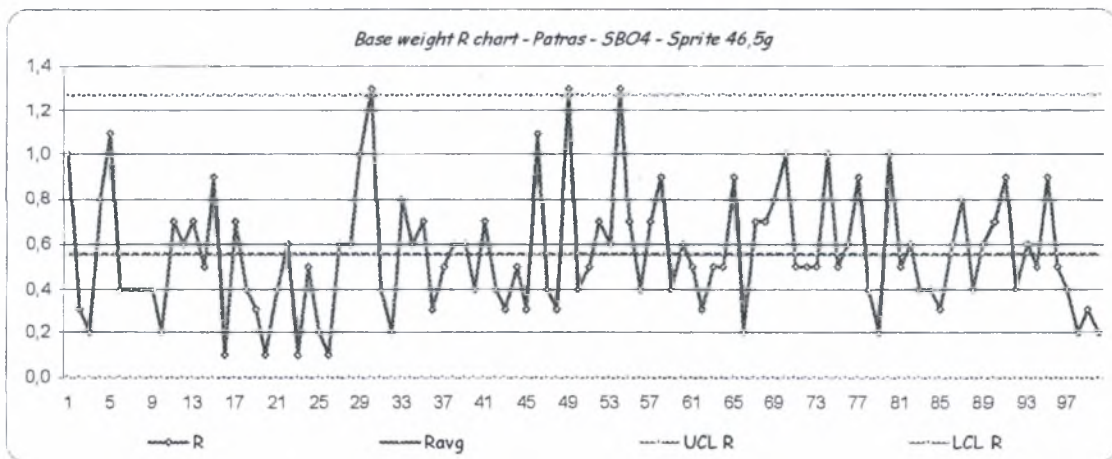
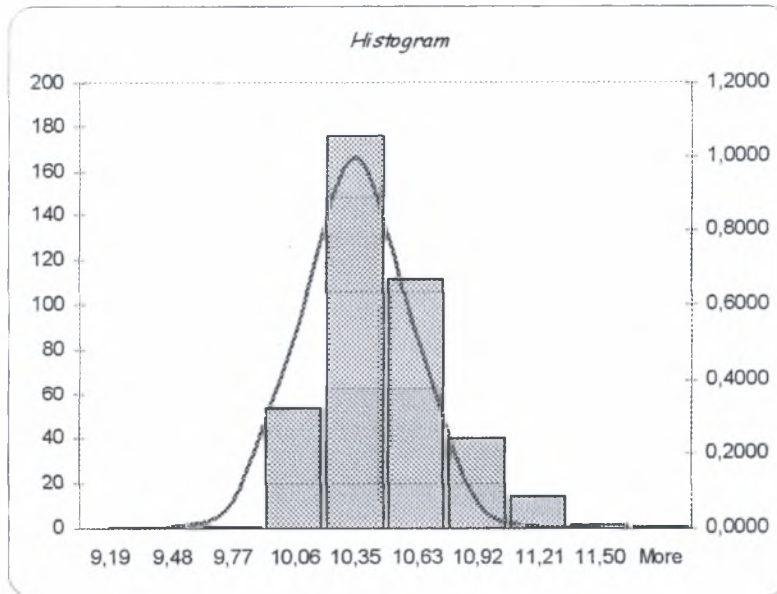




Φιάλες 1,5L Sprite Dimple (μηχανή εμφύσησης SBO4)

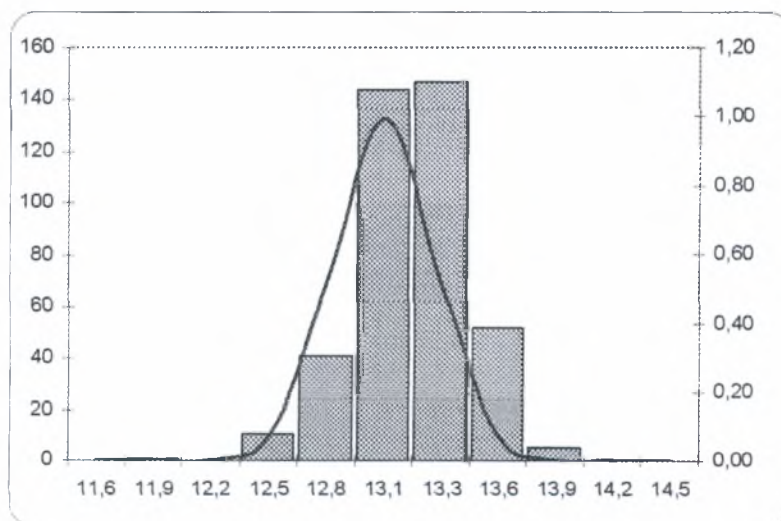
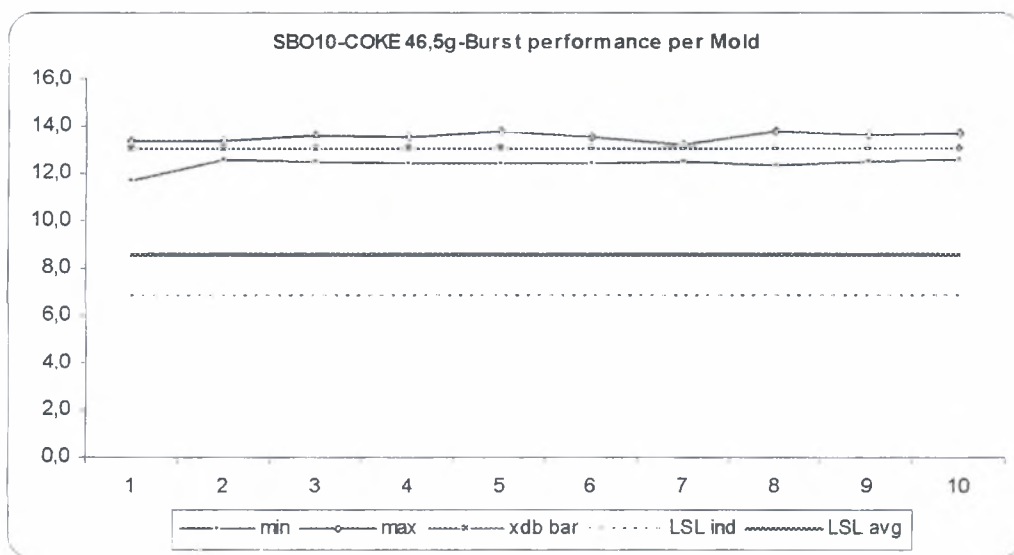
- Base section



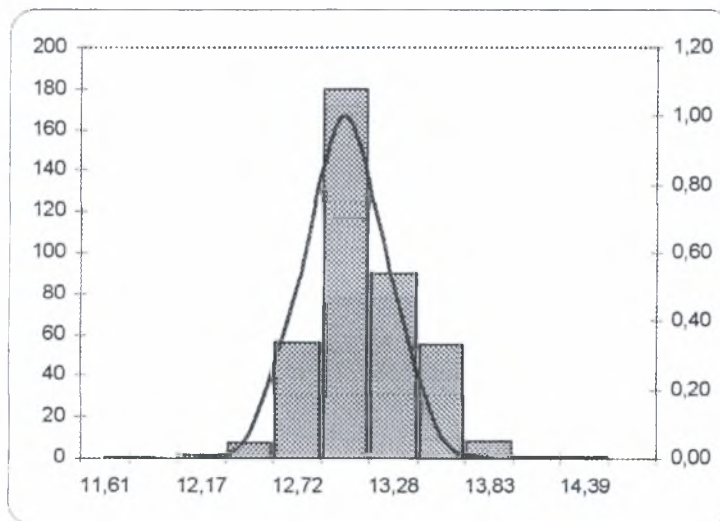
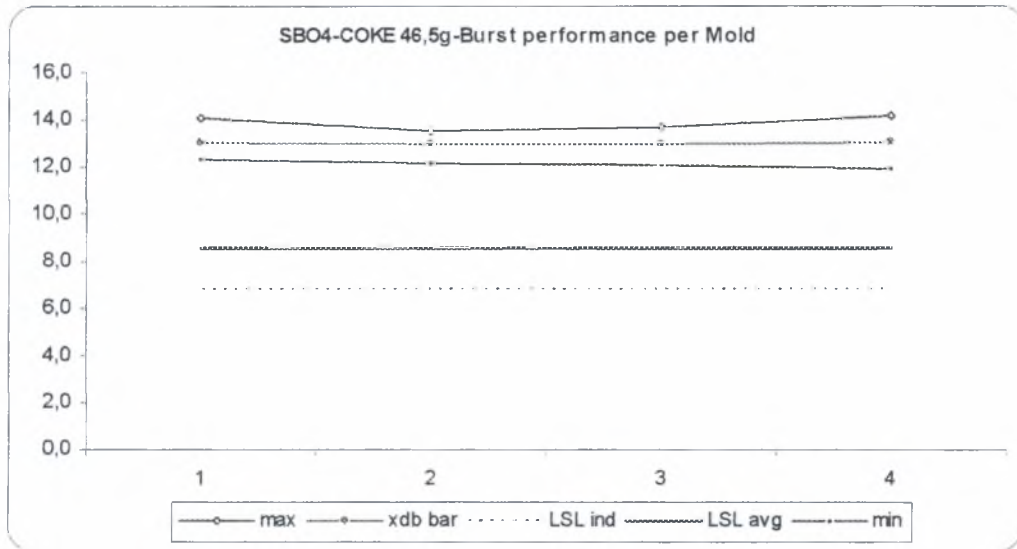


7.3 Διαγράμματα ελέγχου για αντοχή της φιάλης σε εσωτερική πίεση

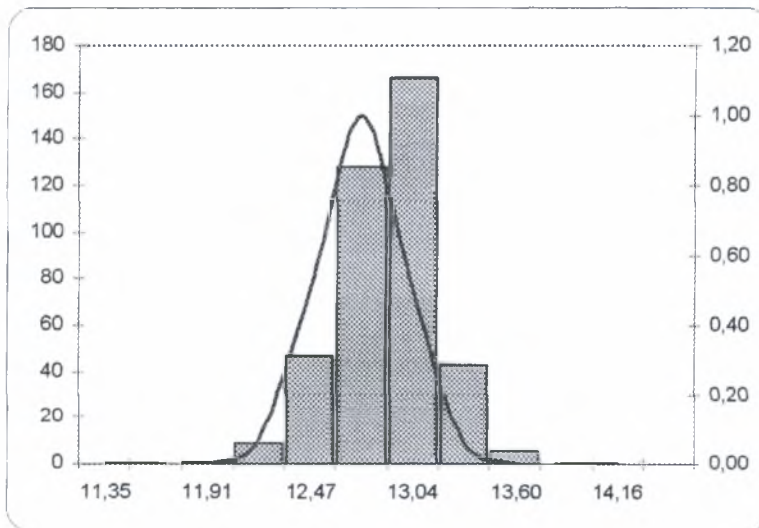
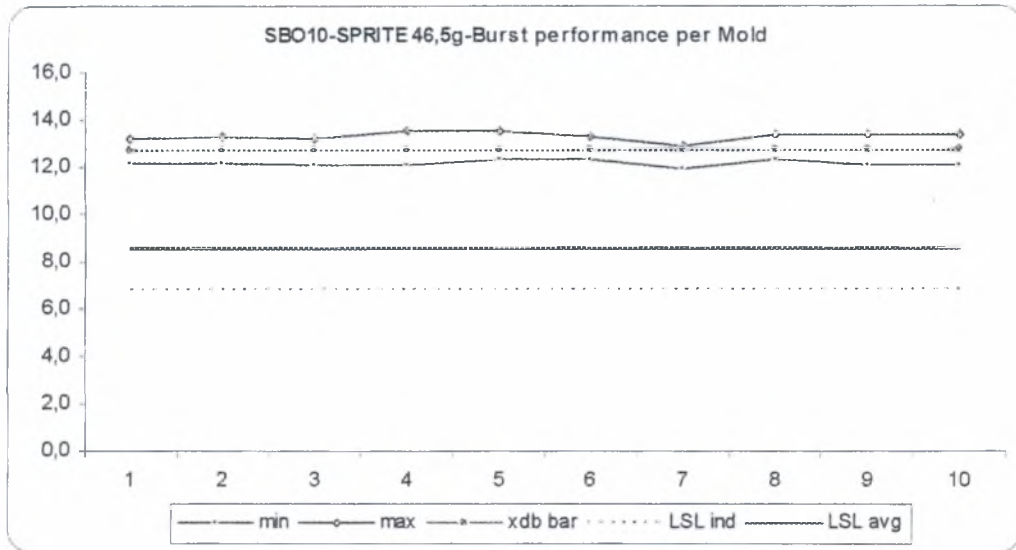
Φιάλες 1,5L Contour Coca Cola (μηχανή εμφύσησης SBO10)



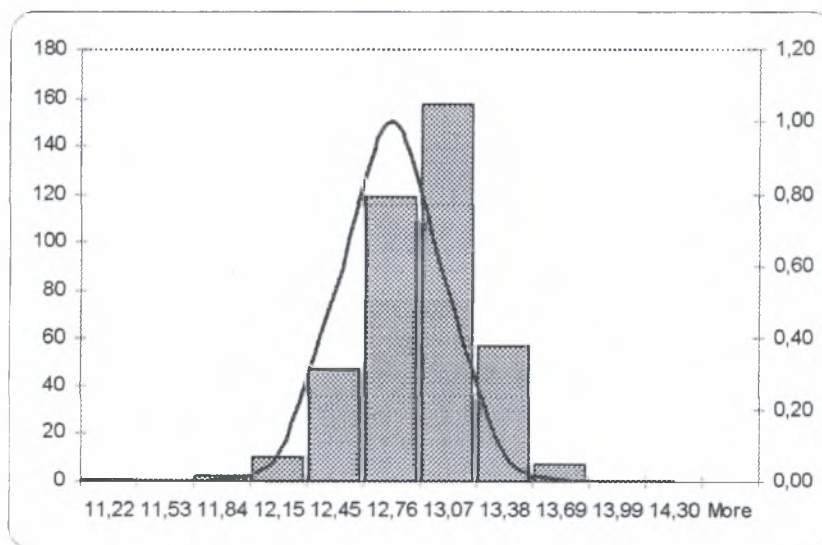
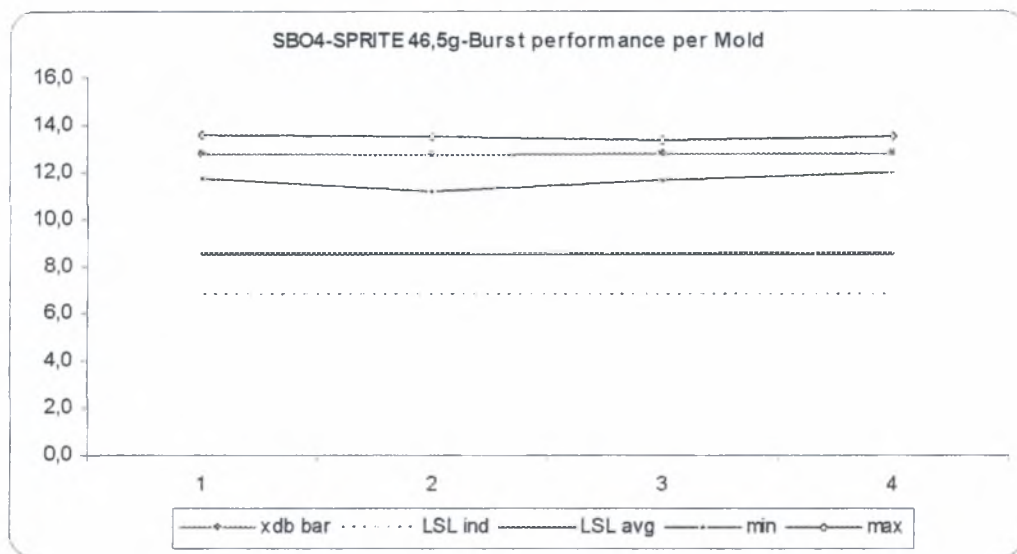
Φιάλες 1,5L Contour Coca Cola (μηχανή εμφύσησης SBO4)



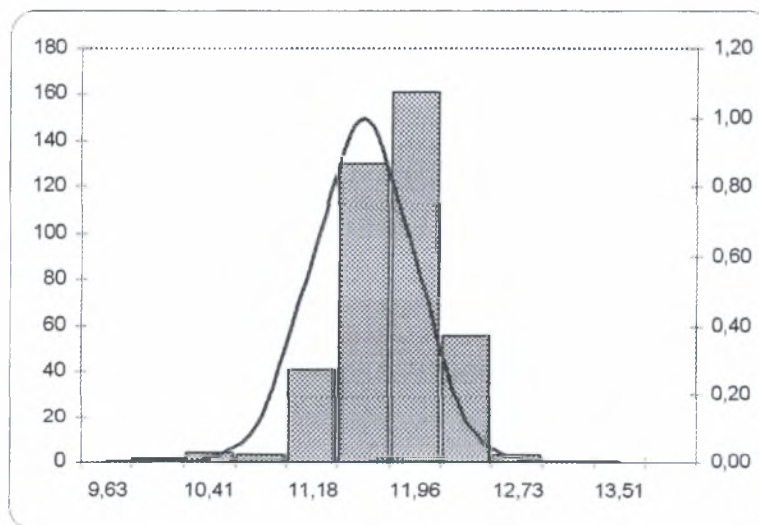
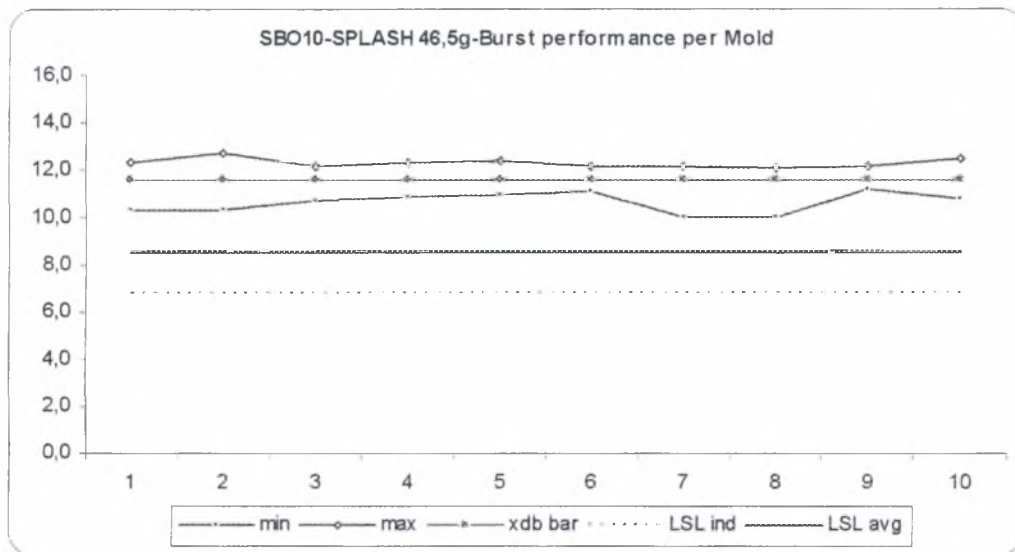
Φιάλες 1,5L Sprite Dimple (μηχανή εμφύσησης SBO10)



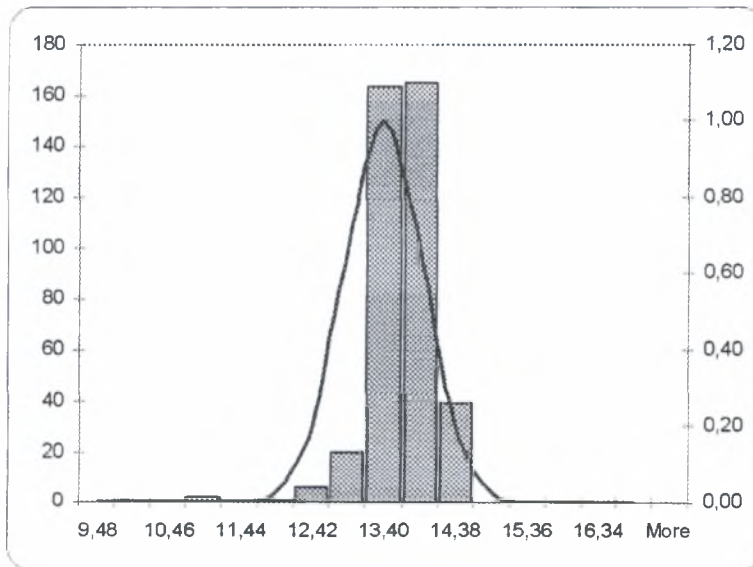
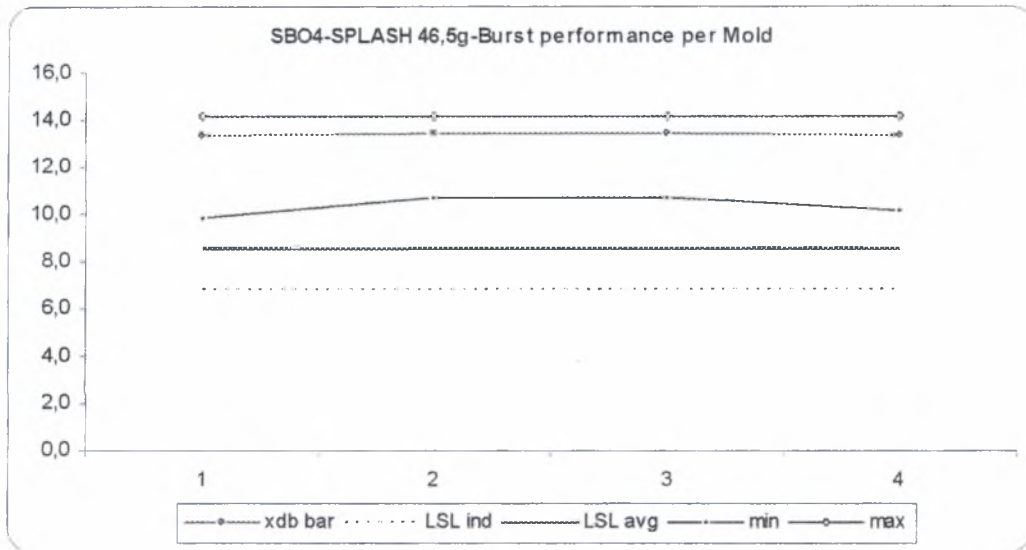
Φιάλες 1,5L Sprite Dimple (μηχανή εμφύσησης SBO4)



Φιάλες 1,5L Fanta Splash (μηχανή εμφύσησης SBO4)



Φιάλες 1,5L Fanta Splash (μηχανή εμφύσησης SBO4)



7.4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Απ'ότι προκύπτει από τα αποτελέσματα για τον έλεγχο του τμηματικού βάρους ο δείκτης C_{pk} είναι αρκετά χαμηλός και ουσιαστικά εκτός προδιαγραφών και για τις δύο μηχανές εμφύσησης. Ουσιαστικά αυτά τα αποτελέσματα οφείλονται κυρίως στο ότι και οι δύο μηχανές παράγουν φιάλη με αρκετά μεγάλη διακύμανση (εύρος), κάτι το οποίο καθιστά δύσκολο έως αδύνατο να σταθεροποιηθεί η κατανομή της φιάλης βάσει συγκεκριμένης συνταγής. Με βάσει τα παραπάνω δεδομένα κρίνεται απαραίτητο από την τεχνική ομάδα του εργοστασίου η άμεση συντήρηση και των δύο μηχανών εμφύσησης και η επανάληψη των δοκιμών προκειμένου να παραχθεί με ασφάλεια φιάλες μειωμένου βάρους.

Σε αντίθεση με τα αποτελέσματα του ελέγχου τμηματικού βάρους οι μετρήσεις για αντοχή σε εσωτερική πίεση είναι αρκετά ικανοποιητικές αφού ο δείκτης είναι εντός προδιαγραφών.

8. ΠΙΝΑΚΕΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ

Observations in Sample, n	Control Chart μ (Subgroup Averages)			Control Chart Τυμωών/Ανομοιογενών (subgroup s)						Control Chart για Εύρη (subgroup Ranges)					
	Συντελεστής υπολογισμού Control Limits			Συντελεστής υπολογισμού Center Line		Συντελεστής υπολογισμού Control Limits				Συντελεστής υπολογισμού Center Line		Συντελεστής υπολογισμού Control			
	A	A ₂	A ₃	c ₄	1/c ₄	B ₃	B ₄	B ₅	B ₆	d ₂	1/d ₂	d ₃	D ₁	D ₂	D ₃
2	2.121	1.880	2.659	0.7979	1.2533	0	3.267	0	2.606	1.128	0.8865	0.853	0	3.686	0
3	1.732	1.023	1.954	0.8862	1.1284	0	2.558	0	2.276	1.693	0.5907	0.688	0	4.358	0
4	1.500	0.729	1.628	0.9213	1.0854	0	2.285	0	2.088	2.059	0.4857	0.680	0	4.698	0
5	1.342	0.577	1.427	0.9400	1.0538	0	2.089	0	1.934	2.326	0.4289	0.664	0	4.918	0
6	1.225	0.483	1.287	0.9515	1.0510	0.030	1.970	0.029	1.874	2.534	0.3946	0.848	0	5.078	0
7	1.134	0.419	1.182	0.9594	1.04230	0.118	1.882	0.113	1.806	2.704	0.3689	0.833	0.204	5.204	0.076
8	1.061	0.373	1.099	0.9660	1.0363	0.185	1.815	0.179	1.751	2.847	0.3512	0.820	0.368	5.306	0.136
9	1.000	0.337	1.032	0.9699	1.0317	0.239	1.761	0.232	1.707	2.970	0.3367	0.808	0.547	5.393	0.184
10	0.949	0.308	0.975	0.9727	1.0281	0.284	1.716	0.276	1.669	3.078	0.3249	0.797	0.667	5.469	0.223
11	0.905	0.285	0.927	0.9754	1.0252	0.321	1.679	0.313	1.637	3.173	0.3182	0.787	0.811	5.535	0.256
12	0.866	0.266	0.886	0.9776	1.0229	0.354	1.646	0.346	1.610	3.258	0.3089	0.778	0.922	5.594	0.283
13	0.832	0.249	0.850	0.9794	1.0210	0.382	1.618	0.374	1.585	3.336	0.2998	0.770	1.025	5.647	0.307
14	0.802	0.235	0.817	0.9810	1.0194	0.406	1.594	0.399	1.563	3.407	0.2905	0.763	1.118	5.695	0.328
15	0.775	0.223	0.789	0.9823	1.0180	0.428	1.572	0.421	1.544	3.472	0.2880	0.756	1.203	5.741	0.347
16	0.750	0.212	0.763	0.9835	1.0168	0.448	1.552	0.440	1.526	3.532	0.2831	0.750	1.282	5.782	0.363
17	0.728	0.203	0.739	0.9845	1.0157	0.466	1.534	0.458	1.511	3.588	0.2787	0.744	1.355	5.820	0.378
18	0.707	0.194	0.718	0.9854	1.0148	0.482	1.518	0.475	1.496	3.640	0.2747	0.739	1.424	5.855	0.391
19	0.688	0.187	0.698	0.9862	1.0140	0.497	1.503	0.490	1.483	3.689	0.2711	0.734	1.487	5.891	0.403
20	0.671	0.180	0.680	0.9869	1.0133	0.510	1.480	0.504	1.470	3.735	0.2677	0.729	1.549	5.921	0.415
21	0.655	0.173	0.667	0.9876	1.0126	0.523	1.477	0.516	1.459	3.778	0.2647	0.724	1.605	5.951	0.425
22	0.640	0.167	0.652	0.9882	1.0119	0.534	1.466	0.528	1.448	3.819	0.2618	0.720	1.659	5.979	0.434
23	0.626	0.162	0.637	0.9887	1.0114	0.546	1.455	0.539	1.438	3.868	0.2592	0.716	1.710	6.006	0.443
24	0.612	0.157	0.622	0.9892	1.0109	0.555	1.446	0.549	1.429	3.915	0.2567	0.712	1.759	6.031	0.451
25	0.600	0.153	0.606	0.9896	1.0105	0.565	1.435	0.559	1.420	3.961	0.2544	0.708	1.805	6.056	0.459

Control Chart Formulas

Variable Control Charts			
Chart Type	Center Line	Control Limits	Estimate of Sigma
\bar{X} and R	$\bar{\bar{Y}} = \frac{\sum \bar{Y}}{k}$ $\bar{R} = \frac{\sum R}{k}$	$CL_{\bar{Y}} = \bar{\bar{Y}} \pm A_2 \bar{R}$ $UCL_{\bar{Y}} = \bar{\bar{Y}} + D_4 \bar{R}$ $LCL_{\bar{Y}} = \bar{\bar{Y}} - D_3 \bar{R}$	\bar{R}/d_2
\bar{X} and s	$\bar{\bar{X}} = \frac{\sum \bar{X}}{k}$ $\bar{s} = \frac{\sum s}{k}$	$CL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} \pm A_3 \bar{s}$ $UCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + B_3 \bar{s}$ $LCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - B_4 \bar{s}$	\bar{s}/c_4
\bar{X} and MR	$\bar{\bar{X}} = \frac{\sum \bar{X}}{k}$ $\overline{MR} = \frac{\sum MR}{k-1}$	$CL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} \pm 3 \left(\frac{\overline{MR}}{d_3} \right)$ $UCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + D_4 \overline{MR}$ $LCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - D_3 \overline{MR}$	\overline{MR}/d_3
\tilde{X} and R	Median $\bar{R} = \frac{\sum R}{k}$	$CL_{\tilde{X}} = \tilde{\bar{X}} \pm A_2 \bar{R}$ $UCL_{\tilde{X}} = \tilde{\bar{X}} + D_4 \bar{R}$ $LCL_{\tilde{X}} = \tilde{\bar{X}} - D_3 \bar{R}$	\bar{R}/d_2

Βιβλιογραφία

- [1] Ψωινός, Δ.Π. (1999). Στατιστική, Εκδ. Ζήτη.
- [2] Ταγαράς, Γ.Ν. (2001). Στατιστικός Έλεγχος Ποιότητας, Εκδ. Ζήτη.
- [3] Τσιότρας, Γ. Δ. (1995). Βελτίωση Ποιότητας, Εκδ. Μπένου.
- [4] QA Six Sigma Suite, (2001) Quality America, Inc.
- [5] John S. Oakland, (2003). Statistical Process Control, Fifth Edition
- [6] W.J. DeCoursey, (2003). Statistics and Probability for Engineering Applications
- [7] Bissell, A.F. (1991) ‘Getting more from Control Chart Data – Part 1’, Total Quality Management, Vol. 2, No. 1.
- [8] Box, G.E.P., Hunter, W.G. and Hunter, J.S. (1978) Statistics for Experimenters, John Wiley & Sons, New York, USA.
- [9] Caulcutt, R. (1995) ‘The Rights and Wrongs of Control Charts’, Applied Statistics, Vol. 44, No. 3.
- [10] Caulcutt, R. and Coates, J. (1991) ‘Statistical Process Control with Chemical Batch Processes’, Total Quality Management, Vol. 2, No. 2.
- [11] Caulcutt, R. and Porter, L.J. (1992) ‘Control Chart Design – A review of standard practice’, Quality and Reliability Engineering International, Vol. 8.
- [12] Duncan, A.J. (1974) Quality Control and Industrial Statistics, 4th Edn, Richard D. Irwin IL, USA.
- [13] Grant, E.L. and Leavenworth, R.W. (1996) Statistical Quality Control, 7th Edn, McGraw-Hill, New York, USA.

- [14] Owen, M. (1993) SPC and Business Improvement, IFS Publications, Bedford, UK.
- [15] Pyzdek, T. (1990) Pyzdek's Guide to SPC, Vol. 1 – Fundamentals, ASQC Quality Press, Milwaukee WI, USA.
- [16] Deming, W.E. (1993) The New Economics, MIT, Cambridge MA, USA.
- [17] Feigenbaum, A.V. (1991) Total Quality Control, 3rd Edn., McGraw-Hill, New York, USA.
- [18] Garvin, D.A. (1988) Managing Quality, Free Press, New York, USA.
- [19] Hammer, M. and Champy, J. (1993) Re-engineering the Corporation – a manifesto for business evolution, Nicholas Brealey, London, UK.
- [20] Ishikawa, K. (translated by David J. Lu) (1985) What is Total Quality Control? – the Japanese Way, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New York, USA.



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



004000085871