

ΤΜΗΜΑ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ

ΠΟΣΟΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΤΗ ΛΗΨΗ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:

«Ο ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗ ΧΑΡΤΟΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ»

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΣΤ. ΨΑΡΑΚΗΣ

ΟΙΚΟΝΟΜΟΥ ΜΑΡΙΑ – ΔΑΦΝΗ

Α.Μ. 2013014

2017



Πίνακας περιεχομένων

1. ΤΟ ΧΑΡΤΙ **4**

1.1. Τι είναι το χαρτί; 4

1.2. Η ιστορία του χαρτιού 4

1.3. Κατηγορίες πολτού 7

1.3.1. Μηχανικός πολτός 7

1.3.2. Χημικός πολτός 8

1.3.3. Ημιχημικός πολτός 8

1.4. Επιχρίσματα 9

1.5. Υγρασία χαρτιού και περιβάλλοντος 9

1.6. Παραγωγική διαδικασία 10

2. ΠΟΙΟΤΗΤΑ 12

2.1. Διαστάσεις της ποιότητας 13

2.2. Ιστορική εξέλιξη του Στατιστικού Ελέγχου Ποιότητας 14

2.3. Κόστος και βελτίωση της ποιότητας 16

2.4. Διοίκηση ολικής ποιότητας και συστήματα ποιότητας 21

3. ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΡΙΩΝ ΣΥΝΙΣΤΩΣΩΝ 23

4. ΜΕΛΕΤΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗ ΧΑΡΤΟΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ 27

4.1. Εργασία 1 – Θέμα: Παρουσίαση της ποιότητας χαρτοπολτού 28

4.2. Εργασία 2 – Θέμα: Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών, διαγράμματα συνεισφοράς και χαρακτηριστικά βάρη στην παρακολούθηση δεδομένων στο υγρό μέρος χαρτοποιητικής μηχανής 32

4.3. Εργασία 3 – Θέμα: Ανάπτυξη προγράμματος παρακολούθησης αποβλήτων που ενσωματώθηκε στον έλεγχο της διαδικασίας για τη μείωση της απώλειας χημικών και ινών στην Bai Bang Paper Company (BAPACO), εργοστάσιο παραγωγής λευκού πολτού και χαρτιού στο Βιετνάμ 34

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ 37

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 38

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 43

ATHENS UNIVERSITY OF ECONOMICS & BUSINESS
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

1. ΤΟ ΧΑΡΤΙ

1.1. Τι είναι το χαρτί;

Το χαρτί είναι μία εξαιρετικά ευέλικτη ουσία που αποτελείται από φυτικές ίνες που ονομάζονται κυτταρίνη. Αρχικά φτιαχνόταν από κουρέλια υφασμάτων και φυτά ενώ πλέον κατασκευάζεται κατά κύριο λόγο από ξύλο (στην Ευρώπη ο πολτός που δεν προέρχεται από ξύλο είναι μόλις 1,3% της συνολικής παραγωγής πολτού.

Κατά το μεσαίωνα φτιαχνόταν από ίνες βαμβακιού και λιναριού που αναμιγνύονταν με νερό και την χρήση ενός κόσκινου, στην συνέχεια οι ίνες ανυψώνονταν από το νερό αφήνοντας ένα φύλλο μπερδεμένων ινών στην επιφάνεια. Το λεπτό αυτό στρώμα από ίνες ήταν το χαρτί.

Η διαδικασία παρασκευής του χαρτιού είναι ίδια για όλες τις ποιότητες και χρήσεις: το ξύλο πρώτα τεμαχίζεται και αναμιγνύεται με νερό μέχρις ότου γίνει πολτός. Ο πολτός αυτός στη συνέχεια καθαρίζεται, εξευγενίζεται και αναδεύεται προτού αντληθεί σε ένα κινούμενο κόσκινο ή πλέγμα. Καθώς το μίγμα περνάει από τη γραμμή παραγωγής, η περίσσεια νερού στραγγίζεται και ανακυκλώνεται προκειμένου να ξαναχρησιμοποιηθεί. Το χαρτί στη συνέχεια κινείται μέσω της χαρτοποιητικής μηχανής και πιέζεται μεταξύ τεράστιων κυλίνδρων και στη συνέχεια μέσα από θερμαινόμενους κυλίνδρους προκειμένου να απομακρυνθεί τυχόν υπόλοιπο νερό. Μόλις το χαρτί έχει περάσει από τη διαδικασία ξήρανσης, πιέζεται και ολοκληρώνεται η επεξεργασία του με επιχρίσματα ή άλλα πρόσθετα, ανάλογα με την τελική του χρήση.

1.2. Η ιστορία του χαρτιού

Το χαρτί εφευρέθηκε στην Κίνα το 105 μ.Χ. από τον Κινέζο αυλικό Τσάι Λουν. Η ανάγκη προέκυψε όταν οι Κινέζοι θέλησαν να έχουν ένα υλικό πάνω στο οποίο θα μπορούσαν να γράφουν και να διατηρούν τις προσευχές τους. Έτσι αποτάθηκαν στον αυτοκράτορα ο οποίος και έδωσε την ανάλογη εντολή στον επιστήμονα αυλικό Τσάι Λουν. Το πρώτο αυτό χαρτί ήταν λεπτό, σχηματίζοντας επίπεδη πορώδη επιφάνεια σε καλούπια από μουλιασμένες φυτικές ίνες. Πριν από τον $3^{ο}$ αιώνα μ.Χ., το χαρτί φτιαχνόταν από λιωμένο ρουχισμό, φλοιούς δέντρων και βλάστηση.

Δεν μπορούμε να ξέρουμε πότε ακριβώς το νέο υλικό μπήκε σε ευρεία κυκλοφορία, όμως κάποια κομμάτια χαρτιού μπορούν να χρονολογηθούν στο $2^{ο}$ μ.Χ. αιώνα. Φαίνεται ότι η χρήση του χαρτιού άρχισε να κυριαρχεί κατά τον $3^{ο}$ και $4^{ο}$ αιώνα, χωρίς όμως αυτό να σημαίνει ότι το ξύλο και το μετάξι θεωρούνταν ξεπερασμένες γραφικές ύλες.

ATHENS UNIVERSITY OF ECONOMICS & BUSINESS
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

Γύρω στο 600 μ.Χ. οι Ιάπωνες μαθαίνουν την τέχνη της παρασκευής του χαρτιού, όμως μόνο μετά τον 8^{ο} αιώνα το μυστικό αυτό βρήκε από τα όρια της Άπω Ανατολής.

Το 751 μ.Χ., σε μια μάχη στη Σαμαρκάνδη μεταξύ Αράβων και Κινέζων, οι πρώτοι συνέλαβαν αιχμαλώτους δύο Κινέζους στρατιώτες, χαρτοποιούς στο επάγγελμα, και με τη βοήθειά τους, ο Κυβερνήτης της Βαγδάτης ίδρυσε μια χαρτοποιία στον τόπο της σύλληψής τους. Το μέρος ήταν κατάλληλο για την παραγωγή χαρτιού, λόγω της αφθονίας των πρώτων υλών (λινάρι, κάνναβη και νερό). Το αρχαιότερο χρονολογημένο αραβικό χειρόγραφο σε χαρτί είναι το 866.

Σύντομα το χαρτί έγινε πολύτιμο εμπόρευμα σε όλες τις χώρες της Μέσης Ανατολής και εργοστάσια παραγωγής χαρτιού ιδρύθηκαν σε Χαλέπι, Δαμασκό και άλλες αραβικές πόλεις.

Περσία, Αραβία και Αίγυπτος σε λίγα χρόνια έγιναν τα μεγάλα κέντρα παραγωγής χαρτιού υψηλής ποιότητας. Η χρήση του χαρτιού πέρασε στο Βυζάντιο, με την έναρξη των εχθροπραξιών μεταξύ Αράβων και Βυζαντινών.

Στη συνέχεια, η χαρτοποιία πέρασε στη Βόρεια Αφρική και από το Μαρόκο οι Άραβες την έφεραν στην Ισπανία. Κατά τα τέλη του 11^{ου} αιώνα Γάλλοι αιχμάλωτοι των Αράβων μεταφέρουν την τέχνης της χαρτοποιίας στις μεγάλες πρωτεύουσες της Ευρώπης. Στη Βαλένθια της Ισπανίας κατασκευάζεται η πρώτη παραγωγική μονάδα χαρτοποιίας της Ευρώπης.

Οι Άραβες ωστόσο κρατούσαν στα χέρια τους το εμπόριο χαρτιού για όλη τη Μεσόγειο, ενώ παράλληλα σε Σικελία, Βενετία, Φλωρεντία, Πάδοβα και Πάρμα ιδρύονταν εργοστάσια παρασκευής χαρτιού (το χαρτί του Φαμπριάνο ως σήμερα θεωρείται από τα καλύτερα).

Στο διάστημα των πέντε αιώνων που ακολούθησαν την κατασκευή χαρτιού από τους Άραβες στην Ανατολή, η παραγωγή χαρτιού αυξήθηκε και συστηματοποιήθηκε σε Ανατολή και Δύση.

Ως τα τέλη του 16^{ου} αιώνα, με την τυπογραφική μέθοδο του Γουτεμβέργιου, τυπώνονται πάνω από 6.000.000 βιβλία. Τον 17^{ο} αιώνα το ολλανδικό τριβείο αντικαθιστά τη μηχανή σφυριών για την παραγωγή του χαρτοπολτού.

Ως τότε το χαρτί παρασκευαζόταν από ίνες λιναριού, κάνναβης και ράκη. Για την κατασκευή του πολτοποιούσαν μέσα σε νερό την πρώτη ύλη (λινό, βαμβάκι, άχυρο, ξύλο) και για τη λείανση χρησιμοποιούσαν ένα ξύλινο χειροκίνητο μύλο. Κατόπιν, τοποθετούσαν τον πολτό μέσα σε έναν κάδο ενώ οι τεχνίτες κρατούσαν ένα καλούπι (ένα είδος δίσκου με συρμάτινο πλέγμα στη βάση του) το οποίο ρύθμιζε το μέγεθος και τις άκρες του χαρτιού. Βύθιζαν το καλούπι στον πολτό και το έβγαζαν κατόπιν με την επιφάνεια προς τα πάνω. Ο πολτός που περίσσευε στράγγιζε από το πλέγμα. Κουνούσαν το καλούπι για να στρώσει καλά ο πολτός πάνω στο πλέγμα, ενώ ένας εργάτης έβγαζε το ξύλινο πλαίσιο και έδινε το καλούπι σε έναν άλλο εργάτη που έβαζε το χαρτί με το καλούπι πάνω σε μια στοίβα από μάλλινα

ATHENS UNIVERSITY OF ECONOMICS & BUSINESS
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

υφάσματα (κετσέδες). Περίμενε ώσπου το χαρτί να στεγνώσει αρκετά και το έβγαζε κατόπιν από το καλούπι και το τοποθετούσε πάνω στα υφάσματα, βάζοντας από πάνω ένα άλλο φύλλο κετσέ, και συνέχιζαν την ίδια διαδικασία ώσπου να στοιβάξουν περίπου 100 φύλλα χαρτιού, που το κάθε φύλλο έμπαινε ανάμεσα σε δύο φύλλα κετσέ.

Η στοίβα των υγρών χαρτιών με τα υφάσματα στη συνέχεια μεταφερόταν προκειμένου να περάσουν από πιεστήρια. Το χαρτί στέγνωνε κρεμασμένο σε σχοινιά. Τέλος, βουτούσαν τα κομμάτια του χαρτιού σε ένα διάλυμα ζελατίνας από οπλές, κέρατα και δέρματα ζώων.

Μέχρι και τον 18^{ο} αιώνα, η μέθοδος για την παραγωγή του χαρτιού παρέμεινε η ίδια, όμως οι πρώτες ύλες δεν επαρκούσαν, λόγω της αύξησης της ζήτησης, και η χειρωνακτική μέθοδος παρασκευής του το καθιστούσε οικονομικά ασύμφορο. Έτσι οι έρευνες στράφηκαν προς την ανακάλυψη νέων πρώτων υλών και στην προσπάθεια αυτοματοποίησης της διαδικασίας.

Ο Γερμανός Friedrich Gottlob Keller παρατήρησε ένα είδος σφήκας οι οποίες μασουλώντας κομμάτια ξύλου έφτιαχναν τις φωλιές τους, οι οποίες έμοιαζαν χάρτινες. Έτσι, το 1850 κατάφερε να συνθλίψει ξύλο μετατρέποντάς το σε ξυλοπολτό. Στα μέσα του 19^{ου} αιώνα, το ξύλο ήταν άφθονη και φθηνή πρώτη ύλη για την παραγωγή χαρτιού, λόγω του ότι είναι πλούσιο σε κυτταρίνη. Το 1851 ο Άγγλος Hugh Burgess χρησιμοποίησε χημικά για να πολτοποιήσει το ξύλο.

Η πρώτη μηχανή παρασκευής χαρτιού επινοήθηκε το 1798 από τον Γάλλο Nicholas Louis Robert, με πλέγμα με κινούμενο ιμάντα, το οποίο παραλάμβανε τον χαρτοπολτό και σχημάτιζε ένα συνεχές φύλλο υγρού χαρτιού το οποίο διερχόταν από ένα ζεύγος κυλίνδρων όπου συμπιεζόταν για την αποστράγγιση του νερού. Η αρχή λειτουργίας των σύγχρονων χαρτοποιητικών μηχανών βασίζεται στη μηχανή του Robert.

Στη συνέχεια, πολλές νέες μέθοδοι παρασκευής χαρτοπολτού αναπτύχθηκαν και αντικατέστησαν τις παλιές. Οι μέθοδοι αυτές διακρίνονται σε δύο κατηγορίες.

- Μηχανικές. Σ’ αυτήν τη μέθοδο ο διαχωρισμός των ινών και των τεμαχίων ξύλου γίνεται με τη βοήθεια μηχανικών μέσων.
- Χημικές. Σ’ αυτήν την περίπτωση το ξύλο εμβαπτίζεται σε διαλύματα χημικών μέχρι τη διάλυσή του.

Ο ξυλοπολτός που παρασκευαζόταν με μηχανικά μέσα, περιείχε όλα τα συστατικά το ξύλου και έτσι δεν ήταν κατάλληλος για την παρασκευή λευκού χαρτιού μεγάλης αντοχής. Αντίθετα, ο χημικός πολτός χρησιμοποιήθηκε με ικανοποιητικά αποτελέσματα για την παρασκευή λευκού χαρτιού, μεγάλης διάρκειας και αντοχής σε όλες τις χρήσεις.

Η βασική πρώτη ύλη για τη σύγχρονη χαρτοποιία είναι το ξύλο από έλατα και λεύκες καθώς και διάφορα βιομηχανικά φυτά όπως το βαμβάκι και το λινάρι.

Η σημερινή χαρτοποιία, αν και διατηρεί τις παλιές βασικές αρχές και τα βασικά στάδια, έχει εξελιχθεί σημαντικά.

Οι χαρτοποιητικές μηχανές είναι πλέον πολύ παραγωγικές, με πολύ υψηλή ποιότητα παραγόμενου προϊόντος και σε πολύ μεγάλο βαθμό αυτοματοποιημένες. Το βασικό στοιχεί όμως που επέτρεψε στο χαρτί να εξελιχθεί είναι το φυσικό του χάρισμα να μπορεί να δημιουργεί πλέγμα ινών χωρίς την προσθήκη κόλλας ή άλλων μέσων. Η ίνα, που αποτελεί το βασικό συστατικό στοιχείο του χαρτιού, ενώνεται με άλλες ίνες σχηματίζοντας δεσμούς υδρογόνου, παρουσία νερού, κατά την παραγωγική διαδικασία.

Αυτή είναι και η βασική αρχή της χαρτοποιίας.

Στις μέρες μας οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή χαρτιού είναι:

- Πολτός ξύλου
- Παλιά χαρτιά
- Ράκη (βαμβάκι, λινό, μετάξι)
- Φυτικά προϊόντα (άχυρο, μπαμπού, καλάμι κ. ά.)
- Διάφορα ανακυκλώσιμα υλικά μαζί με φυτικής προέλευσης πρώτη ύλη

1.3. Κατηγορίες πολτού

1.3.1. ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ ΠΟΛΤΟΣ

Παρασκευάζεται από ξύλα λεύκας, κωνοφόρων δέντρων κ.ά. τα οποία αφού αποφλοιωθούν, αλέθονται σε μικρά κομματάκια, παρουσία άφθονου νερού. Με τη χρήση του νερού και με μηχανικό τρόπο διαχωρίζονται οι ίνες από τα υπόλοιπα συστατικά του ξύλου, κατακρατούνται σε ειδικό πλέγμα και αποτελούν τη βάση για την παρασκευή του χαρτιού. Τα υπόλοιπα συστατικά, χάρη στην οξείδωση αυτοκαταστρέφονται, λόγω της επαφής τους με τον αέρα κατά τη διαδικασία παραγωγής. Το χαρτί που προέρχεται από μηχανικό πολτό έχει λιγότερη γυαλάδα και αντοχή, κιτρινίζει με το πέρασμα του χρόνου και γίνεται εύθραυστο. Συνήθως στον μηχανικό πολτό προστίθενται βελτιωτικά λεύκανσης και μέρος χημικού πολτού για την αναβάθμιση της ποιότητας του παραγόμενου χαρτιού. Γι’ αυτόν το λόγο, τα χαρτιά από μηχανικό πολτό χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις που δεν μας ενδιαφέρει η διατήρησή τους για μεγάλο χρονικό διάστηκα (π. χ. για εφημερίδες).
Στην ίδια κατηγορία εντάσσεται και ο ανακυκλωμένος πολτός.

1.3.2. ΧΗΜΙΚΟΣ ΠΟΛΤΟΣ

Κατά το πρώτο στάδιο της παρασκευής ακολουθείται η ίδια διαδικασία με αυτήν του μηχανικού πολτού. Στη συνέχεια χρησιμοποιούνται χημικά για να διαλύσουν τα μη ινώδη συστατικά του ξύλου και να διατηρηθεί ακέραιη η κυτταρίνη. Ακολουθεί η επεξεργασία του πολτού με χημικά (όπως καυστικό νάτριο, διοξείδιο του άνθρακα, διοξείδιο του θείου κ.ά.) σε ειδικό κλίβανο σε κενό αέρος. Στο επόμενο στάδιο ο πολτός παίρνει την τελική του μορφή στην χαρτομηχανή, όπου στη συνέχεια γίνεται η απομάκρυνση ρητινών και λιγνίνης.
Τα χαρτιά από χημικό πολτό δεν επηρεάζονται από τον ήλιο, η απόχρωση παραμένει λευκή και γενικά το χαρτί από λευκασμένο χημικό πολτό ανθίσταται πολύ περισσότερο στη γήρανση. Λόγω αυτών των ιδιοτήτων χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις που είναι σημαντική η διατήρησή του για μεγάλα χρονικά διαστήματα (π.χ. βιβλία).

1.3.3. ΗΜΙΧΗΜΙΚΟΣ ΠΟΛΤΟΣ

Είναι ο πολτός που παρασκευάζεται με αναλογίες χημικού και μηχανικού πολτού στην τελική του επεξεργασία.



Εικόνα 1: Μη λευκασμένος πολτός.

ATHENS UNIVERSITY OF ECONOMICS & BUSINESS
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

1.4. Επιχρίσματα

Η κάθε μία από τις παραπάνω κατηγορίες έχει και άλλες υποδιαιρέσεις, η πιο βασική αφορά στην επίχριση της επιφάνειας, το εάν δηλαδή το χαρτί είναι επιχρισμένο (coated) ή όχι.

Η πλέον συνηθισμένη επίχριση γίνεται με καολίνη (λευκό πέτρωμα) που προσδίδει στο χαρτί λευκότητα, ομοιόμορφη επιφάνεια (ματ ή γυαλιστερή) και καλύτερη ποιότητα εκτύπωσης (απόδοση χρωμάτων κ.λπ.)
Άλλο είδος επίχρισης είναι αυτή που γίνεται για την παραγωγή χημικού αυτογραφικού χαρτιού. Σ' αυτήν την περίπτωση η πίσω όψη του χαρτιού επικαλύπτεται με μικροκάψουλες οι οποίες περιέχουν ποσότητα μελάνης. Το επόμενο φύλλο, στο οποίο επιθυμούμε να εμφανιστεί η μελάνη, επιστρώνεται με ένα υλικό, το οποίο βοηθάει στη διάρρηξη της μικροκάψουλας με την άσκηση πίεσης, με αποτέλεσμα τη διάχυση της μελάνης στο κάτω φύλλο.
Το φινίρισμα της επιφάνειας του χαρτιού γίνεται σε διάφορα στάδια, με χημικούς και μηχανικούς τρόπους, ενώ σημασία δίνεται και στην απόχρωσή του, για την καλύτερη απόδοση των χρωμάτων. Η ποιότητα του χαρτιού στην παραγωγή του είναι ένα σύνθετο θέμα. Πολλοί παράγοντες επηρεάζουν την ποιότητα, όπως η σωστή επιλογή πρώτων υλών και χημικών, η επιτυχής παρασκευή του μίγματος, το είδος των ινών και η επεξεργασίας του κατά τη διάρκεια της παραγωγής, όπως επίσης και το είδος της χαρτοποιητικής μηχανής.

1.5. Υγρασία χαρτιού και περιβάλλοντος

Ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά του χαρτιού είναι και η υγρασία του.

Το χαρτί είναι ζωντανό υλικό, εγκλιματίζεται στο χώρο μέσα στον οποίο βρίσκεται εκτεθειμένο. Σε σχέση με την υγρασία, αυτό σημαίνει πως όταν εκτίθεται σε ξηρό περιβάλλον τείνει να αποβάλλει την υγρασία του ενώ όταν βρίσκεται σε περιβάλλον με υψηλό ποσοστό σχετικής υγρασίας απορροφά υγρασία.

Για παράδειγμα, για το χαρτί εκτύπωσης, η συνηθισμένη του περιεκτικότητα σε υγρασία πριν από τη συσκευασία του είναι περίπου 6% και η εμπειρία έχει δείξει ότι οι ιδανικές συνθήκες εκτύπωσης είναι σε θερμοκρασία 21 – 23 βαθμούς Κελσίου και σχετική υγρασία 45 – 55%, προκειμένου να αποφευχθούν προβλήματα στη διαδικασία της εκτύπωσης.

ATHENS UNIVERSITY OF ECONOMICS & BUSINESS
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

1.6. Παραγωγική διαδικασία

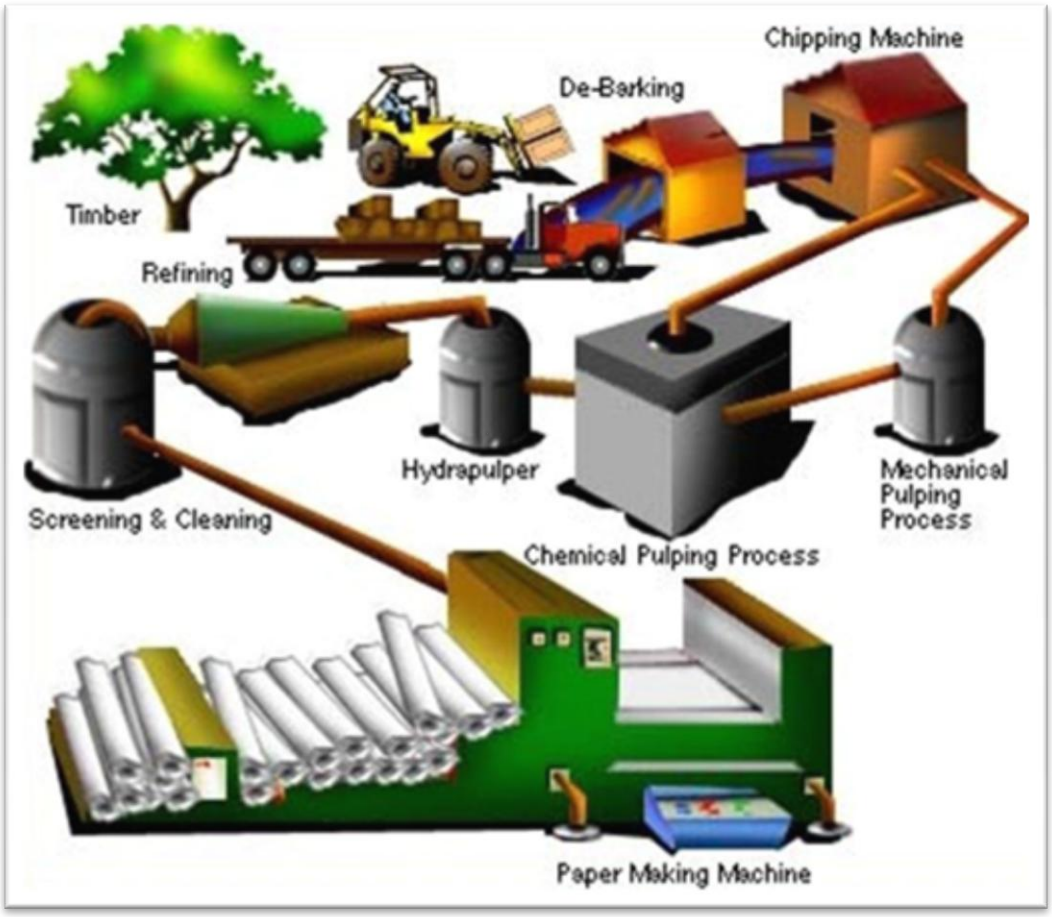
Οι βασικές πρώτες ύλες στην παρασκευή του χαρτιού είναι ο ξυλοπολτός (χημικός ή μηχανικός), το ανακυκλωμένο χαρτί, μια ποσότητα πρόσθετων ουσιών (κυρίως ορυκτά υλικά πληρώσεως) και χρωστικές ουσίες που χρησιμοποιούνται μαζί με ίχνη βοηθητικών χημικών ουσιών. Πρώτη ύλη θεωρείται επίσης το νερό, το οποίο χρησιμοποιείται σε μεγάλες ποσότητες κατά τη διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας και το οποίο στη συνέχεια ανακτάται και ξαναχρησιμοποιείται.

Το ξύλο συνήθως φτάνει στο εργοστάσιο παραγωγής χαρτιού υπό μορφή πολύ χοντρών φύλλων ενώ το προς ανακύκλωση χαρτί φτάνει κανονικά υπό μορφή μεγάλων, συμπιεσμένων δεμάτων. Και τα δύο αυτά υλικά πρέπει να υποστούν τέτοια επεξεργασία ώστε οι ίνες που περιέχουν να είναι εντελώς διαχωρισμένες μεταξύ τους. Αυτή η διαδικασία εκτελείται αρχικά σε μεγάλες δεξαμενές (pulpers), όπου η ινώδης πρώτη ύλη αραιώνεται μέχρι και 100 φορές με νερό. Ακολουθεί μία βίαιη μηχανική επεξεργασία κατά την οποία χρησιμοποιούνται στροφείς με λεπίδες από χάλυβα.

Ο πολτός που προκύπτει από την παραπάνω διεργασία (απόθεμα κατασκευής χάρτου) περνά στις δεξαμενές. Κατά τη διάρκεια αυτού του προκαταρκτικού σταδίου, προστίθενται οι βοηθητικές και οι πρόσθετες χημικές ουσίες. Οι βοηθητικές χημικές ουσίες συνδυάζονται συνήθως με τις ινώδεις πρώτες ύλες σε επίπεδα που αγγίζουν ορισμένες φορές μέχρι και το 2%. Ο κύριος ρόλος αυτών των ουσιών είναι να μειώνουν την αναγκαία ποσότητα νερού για την παραγωγή του χαρτιού και αργότερα να μειώνουν κατά το δυνατόν τη διείσδυση του μελανιού. Οι πρόσθετες ουσίες σκοπό έχουν να τροποποιήσουν τις οπτικές ιδιότητες του χαρτιού και να χρησιμοποιηθούν σε ορισμένες περιπτώσεις ως υποκατάστατο των ινών.



Εικόνα 2: Ρολά χαρτιού στο τέλος της παραγωγικής διαδικασίας.



Σχήμα 1: Παραγωγική διαδικασία χαρτιού.

2. ΠΟΙΟΤΗΤΑ

Η ποιότητα είναι μία σύνθετη έννοια στην οποία έχουν δοθεί διάφοροι ορισμοί. Οι περισσότεροι άνθρωποι μπορούν διαισθητικά να καταλάβουν την έννοιά της ωστόσο είναι δύσκολο να οριστεί με αυστηρούς και απόλυτους όρους. Σύμφωνα με το διεθνές πρότυπο ISO 8402 (1986) :

> *«Ποιότητα είναι το σύνολο των ιδιοτήτων και χαρακτηριστικών ενός προϊόντος, διαδικασίας ή υπηρεσίας που καθορίζουν την ικανότητα ανταπόκρισης σε δηλωμένες ή εννοούμενες ανάγκες.»*

Κατά άλλους ποιότητα είναι «η καταλληλόλητα για χρήση» ή η «συμμόρφωση προς τις απαιτήσεις ή προδιαγραφές».

Ανεξαρτήτως ορισμού, ωστόσο, διακρίνονται δύο γενικές πλευρές της ποιότητας: η ποιότητα σχεδιασμού και η ποιότητα κατασκευής.

Η ποιότητα σχεδιασμού (quality of design) αναφέρεται στα κύρια χαρακτηριστικά του προϊόντος. Σε ομοειδή προϊόντα η ποιότητα σχεδιασμού είναι αποτέλεσμα επιλογών της επιχείρησης και καθορίζει ουσιαστικά το τμήμα της αγοράς στο οποίο απευθύνεται το προϊόν. Για παράδειγμα, στην αυτοκινητοβιομηχανία, ένα οικογενειακό αυτοκίνητο έχει διαφορετική ποιότητα σχεδιασμού από ένα μικρού κυβισμού αυτοκίνητο πόλης. Είναι προφανές ότι το καθένα απευθύνεται σε διαφορετικό αγοραστικό κοινό.

Η ποιότητα κατασκευής (manufactured quality, quality of conformance) είναι ο βαθμός συμμόρφωσης προς τις προδιαγραφές που προβλέπει ο σχεδιασμός του προϊόντος και αποτελεί το αντικείμενο του ελέγχου ποιότητας. Η ποιότητα κατασκευής είναι ο αντικειμενικός στόχος όλων των αγαθών. Για το παράδειγμα της αυτοκινητοβιομηχανίας, ο αντικειμενικός σκοπός είναι η παραγωγή αυτοκινήτων που μπορούν να μεταφέρουν αγαθά ή ανθρώπους από ένα σημείο σε ένα άλλο με ασφάλεια.

ATHENS UNIVERSITY OF ECONOMICS & BUSINESS
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

2.1. Διαστάσεις της ποιότητας

Η ποιότητα ενός προϊόντος μπορεί να αξιολογηθεί με διάφορους τρόπους, οπότε είναι απαραίτητο να ξεχωρίσουμε αυτές τις διαφορετικές «διαστάσεις» της ποιότητας. Κατά τον Garvin (1988) οι διαστάσεις της ποιότητας είναι συνοπτικά οι παρακάτω:

- Απόδοση (performance): Οι δυνητικοί αγοραστές συνήθως αξιολογούν ένα προϊόν ανάλογα με το αν τους εξυπηρετεί στη δουλειά για την οποία το χρειάζονται. Για παράδειγμα, αν κάποιος χρειάζεται ένα πρόγραμμα επεξεργασίας λογιστικών φύλλων τότε είναι πιθανό να επιλέξει, ανάμεσα σε ομοειδή προγράμματα, αυτό το οποίο είναι πιο γρήγορο.
- Δευτερεύοντα χαρακτηριστικά (features): Συχνά οι καταναλωτές συγκρίνουν παρόμοια προϊόντα και θεωρούν ανώτερης ποιότητας αυτά τα οποία έχουν κάποια επιπλέον δευτερεύοντα χαρακτηριστικά. Στο προηγούμενο παράδειγμα με το πρόγραμμα επεξεργασίας λογιστικών φύλλων, το επιπλέον χαρακτηριστικό μπορεί να είναι μία έτοιμη «εργαλειοθήκη» για στατιστική επεξεργασία δεδομένων.
- Συμμόρφωση στις προδιαγραφές (conformance to standards): Συνήθως θεωρούμε ότι ένα προϊόν υψηλής ποιότητας ανταποκρίνεται πλήρως στις απαιτούμενες προδιαγραφές. Η κακή εφαρμογή μεταξύ κομματιών ενός προϊόντος, για παράδειγμα, μπορεί να προκαλέσει προβλήματα στη χρήση ή στη λειτουργία του.
- Αξιοπιστία (reliability): Πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό των προϊόντων είναι η αξιοπιστία. Ειδικά για σύνθετα προϊόντα, όπως τα αυτοκίνητα, είναι αναμενόμενο να παρουσιάζουν κατά καιρούς βλάβες. Ωστόσο, αν αυτές οι βλάβες είναι συχνές το προϊόν θα χαρακτηριστεί αναξιόπιστο. Για πολλές εταιρείες θεωρείται ότι το βασικό τους πλεονέκτημα είναι η αξιοπιστία των προϊόντων τους και οι καταναλωτές είναι πιο πρόθυμοι να δαπανήσουν περισσότερα χρήματα για την αγορά τους.
- Ανθεκτικότητα στο χρόνο και τη χρήση (durability): Είναι προφανές ότι οι καταναλωτές επιθυμούν να αγοράζουν προϊόντα τα οποία θα έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής, χωρίς προβλήματα. Αυτή η διάσταση της

ATHENS UNIVERSITY OF ECONOMICS & BUSINESS ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ποιότητας είναι πολύ σημαντική για βιομηχανίες όπως αυτή του αυτοκινήτου.

- Δυνατότητα και χαρακτηριστικά υποστήριξης (serviceability): Η δυνατότητα και ο χρόνος επισκευής είναι πολύ σημαντικές παράμετροι για την απόφαση αγοράς ενός προϊόντος. Ένα προϊόν του οποίου η επισκευή είναι δύσκολη, δαπανηρή ή χρονοβόρα δεν αποτελεί ελκυστική επιλογή για τον καταναλωτή.
- Αισθητική (aesthetics): Αυτή η διάσταση της ποιότητας έχει να κάνει με την εμφάνιση του προϊόντος. Η σημασία του σχεδιασμού του προϊόντος γίνεται φανερή σε ένα ράφι καταστήματος με αναψυκτικά. Η εξωτερική εμφάνιση ενός προϊόντος παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην ανταπόκριση του κοινού και επίσης είναι ένας τρόπος διάκρισης από τους ανταγωνιστές.
- Διαισθητική / υποκειμενική ποιότητα (perceived quality): Η τελευταία διάσταση της ποιότητας που αναφέρουμε εδώ, έχει να κάνει με την φήμη της εταιρείας. Η ανάκληση προϊόντων, οι συχνές βλάβες, το κακό service και γενικά τα ποιοτικά προβλήματα που έχουν εμφανιστεί κατά καιρούς, ή αντίθετα η αξιοπιστία και καλή εξυπηρέτηση των πελατών, επηρεάζουν σοβαρά τη φήμη μιας εταιρείας.

2.2. Ιστορική εξέλιξη του στατιστικού ελέγχου ποιότητας

Ο έλεγχος ποιότητας από την βιομηχανική επανάσταση μέχρι και σήμερα έχει περάσει από 4 βασικές φάσεις τις οποίες κατά κανόνα ακολουθούν και οι επιχειρήσεις στην ανάπτυξη συστημάτων ελέγχου και βελτίωσης της ποιότητας. Μία επιχείρηση προκειμένου να φτάσει σε ένα υψηλό επίπεδο ποιότητας με τη βοήθεια σύγχρονων απόψεων και τεχνικών, περνάει αναγκαστικά από ορισμένα στάδια και για αυτόν το λόγο κρίνεται απαραίτητη η αναφορά στην ιστορική εξέλιξη του στατιστικού ελέγχου ποιότητας στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας.

ATHENS UNIVERSITY OF ECONOMICS & BUSINESS
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

Έλεγχος – επιθεώρηση

Από τις αρχές του 19ου αιώνα μέχρι και περίπου το 1920 η διασφάλιση της ποιότητας βασίζεται αποκλειστικά στην επιθεώρηση και μέτρηση των παραγόμενων προϊόντων. Σε πρώτη φάση, ο έλεγχος γίνεται από τον τεχνίτη ενώ στη συνέχεια η ευθύνη περνάει σε ειδικούς ελεγκτές. Ωστόσο, ακόμα ο ποιοτικός έλεγχος περιορίζεται στον εντοπισμό και την επισκευή των ελαττωματικών προϊόντων.

- Στατιστικός Έλεγχος Ποιότητας

Ο στατιστικός έλεγχος ποιότητας έχει τις αρχές του στην δεκαετία του 1920 στα Bell Telephone Laboratories των Η.Π.Α., όπου αναπτύχθηκαν σχεδόν ταυτόχρονα δύο μεγάλες περιοχές: ο έλεγχος ποιότητας αποδοχής και ο έλεγχος παραγωγικής διαδικασίας.

Ο Harold Dodge και ο Harry Romig ανέπτυξαν δειγματοληπτικά σχήματα ελέγχου παρτίδων παραγωγής, σύμφωνα με τα οποία η απόφαση για αποδοχή ή απόρριψη συγκεκριμένης παρτίδας εξαρτάται από την ποιότητα περιορισμένου αριθμού μονάδων, που ανήκουν σε τυχαίο δείγμα από την παρτίδα αυτή. Αυτός ήταν ο έλεγχος ποιότητας αποδοχής.

Ο Walter Shewhart συνειδητοποιεί ότι η διασπορά τιμών ενός χαρακτηριστικού ποιότητας είναι αναπόφευκτη κατά την παραγωγής, αλλά ένα μέρος της οφείλεται σε τυχαίες, μη ελεγχόμενες αιτίες και ένα άλλο μέρος οφείλεται σε συγκεκριμένα αίτια τα οποία μπορούν να εντοπιστούν και να διορθωθούν. Έτσι έχουμε για πρώτη φορά την εισαγωγή της έννοια της πρόληψης στον έλεγχο ποιότητας με τον έλεγχο παραγωγικής διαδικασίας. Ο Shewhart, προκειμένου να διευκολύνει τη διάκριση μεταξύ τυχαίων και συστηματικών σφαλμάτων, σχεδιάζει απλές στατιστικές τεχνικές και διαγράμματα ελέγχου και προτείνει τρόπους βελτίωσης της ποιότητας με εξάλειψη των αιτίων των συστηματικών σφαλμάτων. Αυτά τα διαγράμματα ελέγχου παραμένουν και σήμερα τα ευρύτερα χρησιμοποιούμενα εργαλεία για τον έλεγχο της ομαλής λειτουργίας των παραγωγικών διαδικασιών.

- Διασφάλιση ποιότητας

Η περίοδος της διασφάλισης ποιότητας χαρακτηρίζεται από την εισαγωγή νέων εννοιών και μεθόδων πέραν των στατιστικών και την επέκτασή τους από την παραγωγή σε όλους τους τομείς δραστηριότητας των επιχειρήσεων. Η φάση της διασφάλισης ποιότητας καλύπτει χρονικά την περίοδο από το 1950 μέχρι και τα μέσα της δεκαετίας του 1980 και περιλαμβάνει βασικά 4 συνιστώσες : το κόστος ποιότητας, τον ολικό έλεγχο ποιότητας, την ανάλυση αξιοπιστίας και τα «μηδενικά ελαττώματα».

- Στρατηγική διοίκηση της ποιότητας

Η στρατηγική διοίκηση της ποιότητας αποτελεί την πιο σύγχρονη τάση, που υιοθετείται όλο και περισσότερο από τις βιομηχανίες που πρωτοπορούν στα

ATHENS UNIVERSITY OF ECONOMICS & BUSINESS ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

θέματα ποιότητας. Θεωρούμε ότι αυτή η περίοδος ξεκινάει από τα μέσα της δεκαετίας του 1980, οπότε και γίνεται συνείδηση ότι η ποιότητα δεν είναι μόνο ένα πρόβλημα που επιζητά λύση αλλά αποτελεί έναν τομέα τον οποίο μπορεί να εκμεταλλευτεί μία επιχείρηση στρατηγικά προκειμένου να ενισχύσει τη θέση της στην αγορά. Η στρατηγική διοίκηση της ποιότητας στηρίζεται επιγραμματικά στις παρακάτω θέσεις:

α) Η ποιότητα είναι βασικός τομέας ανταγωνισμού.

β) Η ποιότητα ενός προϊόντος ορίζεται από την αγορά, δηλαδή από τους καταναλωτές που θα χρησιμοποιήσουν το προϊόν.

γ) Η ποιότητα δεν είναι απόλυτη αλλά σχετική, δηλαδή πρέπει να αποτιμάται σε σύγκριση με την ποιότητα αντίστοιχων προϊόντων των ανταγωνιστών.

δ) Η ικανοποίηση των πελατών, άρα και η ποιότητα του προϊόντος δεν περιορίζονται στον χρόνο αγοράς, αλλά επεκτείνονται σε όλη τη διάρκεια ζωής του προϊόντος.

Μετά από αυτήν την «τελευταία» φάση του στατιστικού ελέγχου ποιότητας προκύπτουν νέες απαιτήσεις. Κεντρικό ρόλο αποκτά η έρευνα αγοράς, με την οποία εκτιμώνται οι ανάγκες και επιθυμίες των καταναλωτών και ο βαθμός ικανοποίησής τους από τα προσφερόμενα προϊόντα. Επιπλέον, μεγαλύτερη βαρύτητα από την τιμή πώλησης του προϊόντος αποκτά το συνολικό κόστος στον καταναλωτή σε όλη τη διάρκεια ζωής του προϊόντος (έξοδα συντήρησης και επισκευών κ.λπ.).

2.3. Κόστος και βελτίωση της ποιότητας

Τα τελευταία χρόνια έχει δοθεί ιδιαίτερη έμφαση στην ποιότητα λόγω της συνειδητοποίησης της μεγάλης επίδρασής της στο τελικό κόστος της κάθε επιχείρησης, άρα και στο κέρδος της. Σύμφωνα με τον Montgomery (1996) το κόστος ποιότητας κυμαίνεται μεταξύ 4% και 40% των πωλήσεων.

Για πολλά χρόνια επικρατούσε η άποψη ότι η καλύτερη ποιότητα επιτυγχάνεται μόνο με υψηλότερο κόστος. Η άποψη αυτή οφείλεται στη λανθασμένη αντίληψη ότι το κόστος ποιότητας αποτελείται από το κόστος των ενεργειών, όπως η πρόληψη σφαλμάτων, που ως σκοπό έχουν την βελτίωση της ποιότητας. Όμως το συνολικό κόστος ποιότητας αποτελείται τόσο από το «κόστος καλής ποιότητας» όσο και από το «κόστος κακής ποιότητας». Συνοπτικά τα στοιχεία κόστους ποιότητας είναι το κόστος πρόληψης δημιουργίας ελαττωματικών προϊόντων, το κόστος αξιολόγησης πρώτων υλών και ενδιάμεσων και τελικών προϊόντων ώστε να εξασφαλιστεί η συμμόρφωση προς τις προδιαγραφές, το κόστος εσωτερικών αστοχιών που εντοπίζονται στο εσωτερικό της επιχείρησης πριν από

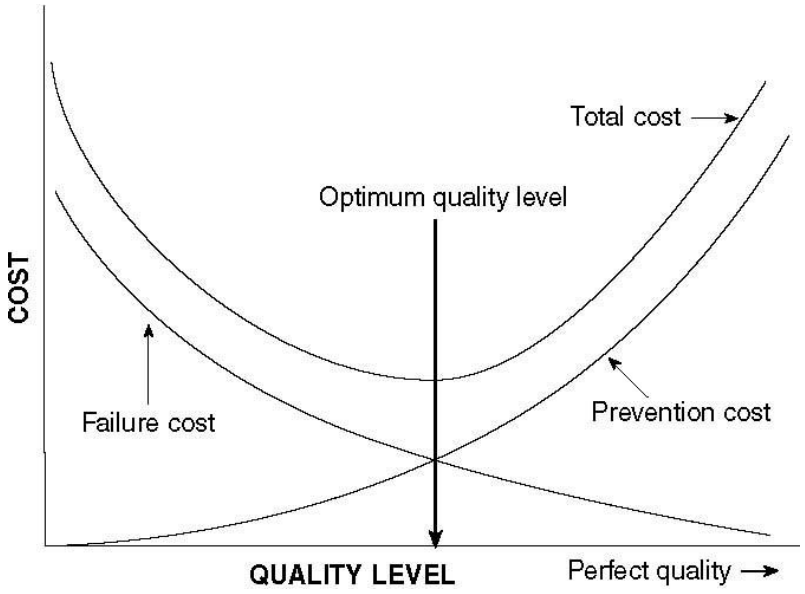
την αποστολή των προϊόντων στους πελάτες και το κόστος εξωτερικών αστοχιών που εντοπίζονται από τους πελάτες αφού το προϊόν έχει φτάσει στην αγορά.

Οι βέλτιστες ενέργειες ελέγχου ποιότητας είναι εκείνες που ελαχιστοποιούν το συνολικό κόστος ποιότητας. Αν μπορέσουμε επομένως να εκφράσουμε τα στοιχεία κόστους με τη μορφή συναρτήσεων είναι εφικτό να καταλήξουμε σε μία βέλτιστη στάθμη ποιότητας.

Υποθέτουμε ότι η ποιότητα ενός προϊόντος εκφράζεται από την πιθανότητα q μια τυχαία μονάδα του προϊόντος να είναι αποδεκτής ποιότητας. Γενικότερα, ο πραγματικός αριθμός q ($0<q<1$) εκφράζει τη στάθμη ποιότητας των προϊόντων. Αν συμβολίσουμε με $K_1(q)$ τη συνάρτηση κόστους καλής ποιότητας και με $K_2(q)$ τη συνάρτηση κόστους κακής ποιότητας τότε η συνάρτηση ολικού κόστους είναι

$$K(q) = K_1(q) + K_2(q).$$

Η $K_1(q)$ είναι αύξουσα και κυρτή ενώ η $K_2(q)$ είναι φθίνουσα και κυρτή στο διάστημα [0,1]. Η συνάρτηση K(q) είναι επίσης κυρτή και ελαχιστοποιείται στην τιμή $q=q^*$, η οποία είναι η βέλτιστη στάθμη ποιότητας.



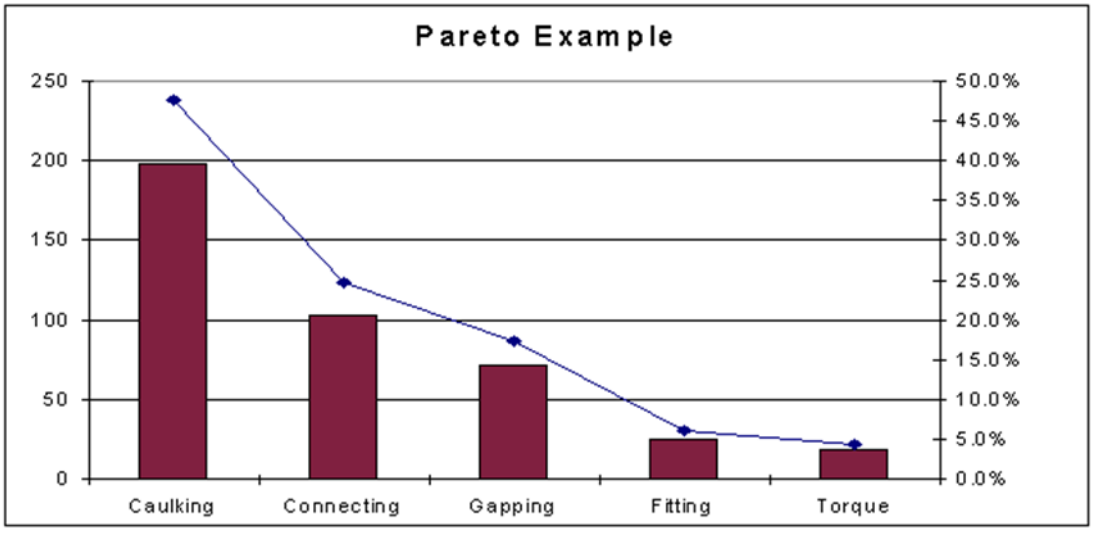
<u>Σχήμα 2</u>: Προσδιορισμός βέλτιστης στάθμης ποιότητας.

Για τη βελτίωση της ποιότητας υπάρχει ένα ευρύτατο φάσμα χρησιμοποιούμενων μεθόδων οι οποίες χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες, απλές γραφικές μεθόδους και ειδικές ποσοτικές τεχνικές (στατιστικές μέθοδοι).

Ο βασικός σκοπός των απλών γραφικών μεθόδων είναι η καλύτερη απεικόνιση μεγάλου όγκου δεδομένων ούτως ώστε να είναι πιο εύκολη η ανάγνωση και κατανόησή τους. Οι βασικές γραφικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται είναι:

ATHENS UNIVERSITY OF ECONOMICS & BUSINESS
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

- Διάγραμμα διαδικασίας. Απεικονίζουν γραφικά τη διαδοχή των δραστηριοτήτων που απαρτίζουν μια διαδικασία παραγωγής, χρησιμοποιώντας ειδικά σύμβολα για τις ενέργειες, τους ελέγχους, τις μεταφορές τις αποθηκεύσεις και τις καθυστερήσεις (Ψωινός, 1990). Σκοπός τους είναι να διευκολυνθεί η κατανόηση της λειτουργίας του συστήματος παραγωγής και να διευκρινιστούν τυχόν ασάφειες.
- Διάγραμμα αιτίας – αποτελέσματος. Οφείλεται στον Ishikawa (1982) και απεικονίζει σχηματικά τη σύνδεση χαρακτηριστικών ποιότητας (αποτελέσματα) με τους παράγοντες που τα επηρεάζουν (αιτίες).
- Ιστόγραμμα συχνοτήτων. Απεικονίζει τη συχνότητα συγκεκριμένου μεγέθους, με σκοπό την αναγνώριση της κατανομής και διασποράς των τιμών του μεγέθους αυτού.
- Διάγραμμα Pareto. Είναι μια απλή γραφική μέθοδος κατάταξης των αιτίων προβλημάτων ποιότητας, ανάλογα με τη συχνότητα εμφάνισής τους. Σκοπός των διαγραμμάτων Pareto είναι να υποβοηθήσουν τον εντοπισμό των κύριων, από άποψη συχνότητας, πηγών προβλημάτων. Παρακάτω παρουσιάζεται μία τυπική μορφή διαγράμματος Pareto.



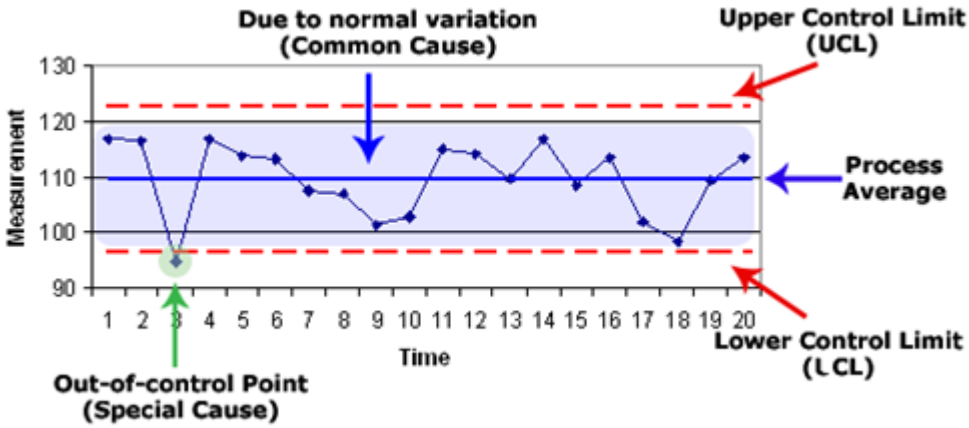
Σχήμα 3: Τυπική μορφή διαγράμματος Pareto.

- Διάγραμμα διασποράς. Είναι η σχηματική απεικόνιση της σχέσης μεταξύ δύο μεταβλητών x-y. Σκοπός της χρήσης των διαγραμμάτων διασποράς

στον έλεγχο ποιότητας είναι η διερεύνηση σχέσεων μεταξύ συνιστωσών ποιότητας και των αντίστοιχων τελικών χαρακτηριστικών, αλλά και γενικότερα η ανάλυση και παρουσίαση δεδομένων και ο έλεγχος της απόκλισης από τη θεωρητική σχέση δύο μεταβλητών.

- Διάγραμμα ελέγχου. Είναι ένα ειδικό διάγραμμα διασποράς που απεικονίζει την πορεία των χαρακτηριστικών ποιότητας σε συνάρτηση με το χρόνο παραγωγής. Συγκεκριμένα, δείγματα λαμβάνονται από την παραγωγική διαδικασία σε τακτά χρονικά διαστήματα και οι τιμές ορισμένης εκτιμήτριας σημειώνονται διαδοχικά στο διάγραμμα. Η χρήση των διαγραμμάτων ελέγχου αποσκοπεί στον εντοπισμό μεταβολών στην παραγωγική διαδικασίας και την απάλειψη των αιτίων που τις προκαλούν.

  Συνήθως, σε ένα διάγραμμα ελέγχου διακρίνουμε την κεντρική γραμμή, που αντιστοιχεί σε ομαλή λειτουργία της παραγωγικής διαδικασίας, το άνω όριο ελέγχου και το κάτω όριο ελέγχου. Σημεία εκτός των ορίων ελέγχου υποδηλώνουν πρόβλημα στην παραγωγική διαδικασία οπότε αρχίζει η διερεύνηση της αιτίας του προβλήματος.



Σχήμα 4: Τυπική μορφή διαγράμματος ελέγχου.

Όσον αφορά τις στατιστικές μεθόδους, αυτές καθίστανται αναγκαίες καθώς είναι πρακτικά αδύνατο να εξαλειφθούν πλήρως τα σφάλματα και οι μη επιθυμητές αποκλίσεις από τις προδιαγραφές σε οποιαδήποτε παραγωγική διαδικασία. Οι αποκλίσεις αυτές μπορεί να οφείλονται σε τυχαίες ή συστηματικές αιτίες. Οι τυχαίες είναι αυτές οι οποίες είναι ουσιαστικά αδύνατο να ελεγχθούν.

Συστηματικές αιτίες είναι εκείνες οι οποίες είναι εφικτό να εντοπιστούν και να ελεγχθούν και έτσι είναι δυνατή η ρύθμισή τους σε περίπτωση που δημιουργούν πρόβλημα στην παραγωγική διαδικασία. Ανεξάρτητα από την αιτία των αποκλίσεων, είτε είναι τυχαίες είτε συστηματικές, βλέπουμε πως τα χαρακτηριστικά ποιότητας των προϊόντων έχουν μεταβαλλόμενες τιμές, άρα αντιμετωπίζονται ως μεταβλητές και γίνονται αντικείμενο του στατιστικού ελέγχου ποιότητας. Ο στατιστικός έλεγχος ποιότητας περιλαμβάνει τρεις βασικές μεθόδους: τον έλεγχο ποιότητας αποδοχής, τον έλεγχο παραγωγικής διαδικασίας και τη βελτιστοποίηση της ποιότητας με στατιστικά πειράματα.

Αρχικά ο έλεγχος ποιότητας περιορίζεται στην προσπάθεια διαχωρισμού καλών και ελαττωματικών προϊόντων ή αποδεκτών και απορριπτέων παρτίδων. Σειρά έχει η λειτουργία των παραγωγικών διαδικασιών. Οι τεχνικές ελέγχου της παραγωγικής διαδικασίας, και ιδιαίτερα τα διαγράμματα ελέγχου, επιστρατεύονται για την επίβλεψη της ομαλής λειτουργίας και τον εντοπισμό και εξάλειψη συστηματικών αιτιών αποκλίσεων από τις επιθυμητές τιμές. Σ’ αυτήν τη φάση του ποιοτικού ελέγχου έχουμε την πρώτη σημαντική βελτίωση της ποιότητας και τη μείωση του συνολικού κόστους ποιότητας.

Το υψηλότερο επίπεδο του στατιστικού ελέγχου ποιότητας επιτυγχάνεται όταν περνάμε στο στάδιο του σχεδιασμού και της διενέργειας στατιστικών πειραμάτων που στόχο τους έχουν τη μείωση της μεταβλητότητας στα κύρια ποιοτικά χαρακτηριστικά των προϊόντων. Ο σχεδιασμός πειραμάτων αποσκοπεί ουσιαστικά στον προσδιορισμό του συνδυασμού των παραμέτρων εκείνων που επιτρέπουν την ελάχιστη δυνατή διασπορά τιμών του χαρακτηριστικού ποιότητας γύρω από την επιθυμητή τιμή.

Μετά την παραπάνω συνοπτική αναφορά των μεθόδων βελτίωσης της ποιότητας καταλήγουμε σε έναν νέο, πιο «μοντέρνο» ορισμό της:

«Η ποιότητα είναι αντιστρόφως ανάλογη της μεταβλητότητας».

Αυτό σημαίνει ότι ουσιαστικά βελτίωση της ποιότητας έχουμε όταν περιορίζουμε τις αποκλίσεις γύρω από την επιθυμητή μέση τιμή των χαρακτηριστικών των παραγόμενων προϊόντων.

ATHENS UNIVERSITY OF ECONOMICS & BUSINESS
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

2.4. Διοίκηση ολικής ποιότητας και συστήματα ποιότητας

Η διοίκηση ολικής ποιότητας είναι μια στρατηγική για την εφαρμογή και τη διοίκηση δράσεων για τη βελτίωση της ποιότητας σε ολόκληρη την επιχείρηση. Η διοίκηση ολικής ποιότητας ξεκίνησε το 1980 με επίκεντρο τις φιλοσοφίες των Deming και Juran. Εξελίχθηκε σε ένα ευρύτερο φάσμα ιδεών που περιλαμβάνει την εργασιακή κουλτούρα, την εστίαση στον πελάτη, τη βελτίωση της ποιότητας των προμηθειών, την αναβάθμιση του συστήματος ποιότητας θέτοντας επιχειρησιακούς στόχους και πολλές άλλες δράσεις που έχουν ως στόχο την εστίαση όλων των στοιχείων της επιχείρησης στη βελτίωση της ποιότητας. Οι επιχειρήσεις που εφαρμόζουν τη διοίκηση ολικής ποιότητας έχουν συνήθως συμβούλους ποιότητας ή ομάδες υψηλού επιπέδου που ασχολούνται με στρατηγικές πρωτοβουλίες ποιότητας, ομάδες εργαζομένων που εστιάζουν στην παραγωγή ή σε δραστηριότητες της επιχείρησης και διατμηματικές ομάδες που ασχολούνται με συγκεκριμένα θέματα για την βελτίωση της ποιότητας.

Η διοίκηση ολικής ποιότητας είχε μέτρια αποτελεσματικότητα, συχνά επειδή δεν καταβάλλεται επαρκής προσπάθεια για την ευρύτερη χρήση των τεχνικών εργαλείων της μείωσης της μεταβλητότητας. Κάποιοι γενικοί λόγοι για την έλλειψη εμφανούς επιτυχίας της διοίκησης ολικής ποιότητας είναι:

- Η έλλειψη δέσμευσης και συμμετοχής στο πρόγραμμα της υψηλόβαθμης διοίκησης.
- Η ανεπαρκής χρήση στατιστικών μεθόδων όπως και η ανεπαρκής αναγνώριση της μείωσης της μεταβλητότητας ως κύριου στόχου.
- Η υπερβολική έμφαση στην γενική εκπαίδευση του προσωπικού αντί για την εστιασμένη τεχνική εκπαίδευση.

Ο Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης (International Standards Organization – ISO) έχει αναπτύξει μία σειρά προτύπων για τα συστήματα ποιότητας. Τα πρώτα πρότυπα δημοσιεύθηκαν το 1987. Η τρέχουσα έκδοση του προτύπου είναι η σειρά ISO 9000. Είναι ένα γενικό πρότυπο, εφαρμόσιμο σε κάθε τύπο οργανισμού και χρησιμοποιείται για να αποδείξει την ικανότητα της επιχείρησης να ελέγξει τις διαδικασίες της. Τα 3 πρότυπα του ISO 9000 είναι:

ISO 9000 (2005): Σύστημα διοίκησης ποιότητας – Βασικές αρχές και λεξιλόγιο

ISO 9001 (2008): Σύστημα διοίκησης ποιότητας – Απαιτήσεις

ISO 9004 (2009): Σύστημα διοίκησης ποιότητας – Κατευθυντήριες γραμμές για βελτίωση της απόδοσης

Σύμφωνα με τα ίδια τα πρότυπα, σκοπός της σειράς ISO 9000 δεν είναι η τυποποίηση των συστημάτων ποιότητας που εφαρμόζουν οι διάφορες επιχειρήσεις. Ο σκοπός των προτύπων είναι διπλός: α) η διευκρίνιση των διαφορών και συσχετίσεων ανάμεσα στις κύριες έννοιες ποιότητας και β) η παροχή οδηγιών για

ATHENS UNIVERSITY OF ECONOMICS & BUSINESS ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

την επιλογή και χρήση του κατάλληλου προτύπου για σκοπούς εσωτερικής διαχείρισης της ποιότητας και για σκοπούς εξωτερικής διασφάλισης ποιότητας.

Κατά το πρότυπο ISO 9000, πολιτική ποιότητας είναι οι γενικές προθέσεις και κατευθύνσεις της επιχείρησης αναφορικά με την ποιότητα, όπως εκφράζονται από τη διοίκηση. Διοίκηση ποιότητας είναι το μέρος της συνολικής διοικητικής λειτουργίας που καθορίζει και εφαρμόζει την πολιτική ποιότητας, ενώ σύστημα ποιότητας είναι η οργανωτική δομή, τα αντικείμενα ευθύνης, οι διαδικασίες και τα μέσα για την εφαρμογή της διαχείρισης ποιότητας. Σύμφωνα και πάλι με το ίδιο πρότυπο, μια επιχείρηση οφείλει:

Α) να επιτύχει και να συντηρήσει την ποιότητα σε βαθμό που να ικανοποιεί συνέχεια τις ρητές ή εννοούμενες ανάγκες του πελάτη,

Β) να δημιουργεί εμπιστοσύνη στην ίδια της τη διοίκηση ότι η επιθυμητή ποιότητα επιτυγχάνεται και διατηρείται,

Γ) να δημιουργεί εμπιστοσύνη στον πελάτη ότι η επιθυμητή ποιότητα επιτυγχάνεται ή πρόκειται να επιτευχθεί.

Στην πράξη η σειρά προτύπων ISO 9000 χρησιμοποιείται κυρίως για την δημιουργία εμπιστοσύνης στον πελάτη, μέσω της διαδικασίας πιστοποίησης από ανεξάρτητο οργανισμό του συστήματος ποιότητας. Η πιστοποίηση παρέχει εξασφάλιση στον αγοραστή σχετικά με το σύστημα ποιότητας του προμηθευτή. Επιπλέον προσφέρει στον προμηθευτή με το πιστοποιημένο σύστημα ποιότητας διεθνή αναγνώριση και άλλες δυνατότητες προβολής, όπως και η καταχώριση σε κατάλογο πιστοποιημένων επιχειρήσεων και εργοστασίων. Πολύ σημαντικά όμως είναι και τα έμμεσα οφέλη που προκύπτουν συνήθως από την προετοιμασία του συστήματος για πιστοποίηση, δηλαδή η βελτίωση της ποιότητας και παραγωγικότητας και η μείωση του συνολικού κόστους ποιότητας.

Η διαδικασία της πιστοποίησης αποτελείται από τέσσερις φάσεις:

I) Προσδιορισμός κατάστασης του συστήματος και βαθμού προετοιμασίας.
II) Προετοιμασία του συστήματος για πιστοποίηση.
III) Έλεγχος τεκμηρίωσης του συστήματος – Αποτίμηση του συστήματος.
IV) Απολογισμός αποτίμησης – Πιστοποίηση.

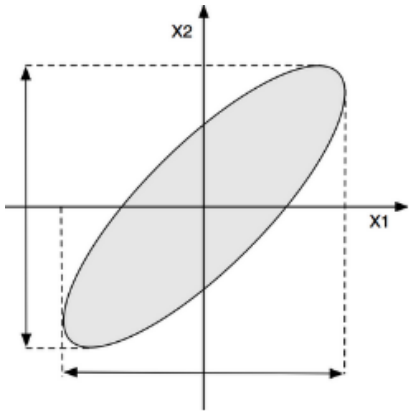
Η πιστοποίηση συντηρείται και ανανεώνεται με επανελέγχους σε τακτά χρονικά διαστήματα.

3. ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΡΙΩΝ ΣΥΝΙΣΤΩΣΩΝ (PCA)

Η Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών είναι μια πολύ διαδεδομένη στατιστική τεχνική, που χρησιμοποιείται ευρέως στην ανάλυση δεδομένων. Η διαδικασία αυτή χρησιμοποιεί τον ορθογώνιο μετασχηματισμό για να μειώσει τον αριθμό των μεταβλητών ενός προβλήματος, χωρίς να χαθεί πολύτιμη πληροφορία. Δηλαδή, από ένα σύνολο παρατηρήσεων, με έναν μεγάλο αριθμό μεταβλητών, πιθανότατα συσχετισμένων μεταξύ τους, ο σκοπός μας είναι να καταλήξουμε σε λιγότερες και μη συσχετισμένες μεταβλητές, οι οποίες ονομάζονται κύριες συνιστώσες. Από αυτές τις νέες μεταβλητές μόνο ένας μικρός αριθμός θα χρησιμοποιηθεί, ιδανικά δύο ή τρεις, για την εξαγωγή συμπερασμάτων. Έτσι το οποιοδήποτε προς μελέτη πρόβλημα απλοποιείται σημαντικά.

Ο μετασχηματισμός γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε η πρώτη κύρια συνιστώσα να προκύπτει από τα δεδομένα με τη μεγαλύτερη διακύμανση και κάθε επόμενη συνιστώσα να έχει την αμέσως επόμενη διακύμανση. Οι κύριες συνιστώσες θα πρέπει να είναι μεταξύ τους ορθογώνιες, δηλαδή ασυσχέτιστες. Οι κύριες συνιστώσες είναι ανεξάρτητες αν το σύνολο των δεδομένων ακολουθεί κανονική κατανομή.

Πολλές μεταβλητές από ένα σύνολο δεδομένων έχουν συχνά παρόμοια πορεία. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι πάνω από μία μεταβλητές μπορεί να μετρούν χαρακτηριστικά του συστήματος που έχουν τα ίδια αίτια. Έτσι, θα πρέπει να μπορούμε να αποκλείσουμε την περιττή πληροφορία. Αυτό μπορεί να γίνει με τη δημιουργία ενός νέου συνόλου μεταβλητών που θα μετράνε μόνο τα χαρακτηριστικά του συστήματος που μας ενδιαφέρουν ανά περίπτωση. Η Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών κάνει ακριβώς αυτό. Δηλαδή δημιουργεί ένα νέο σύνολο μεταβλητών, τις κύριες συνιστώσες, που κάθε μία από αυτές είναι γραμμικός συνδυασμός των αρχικών μεταβλητών.

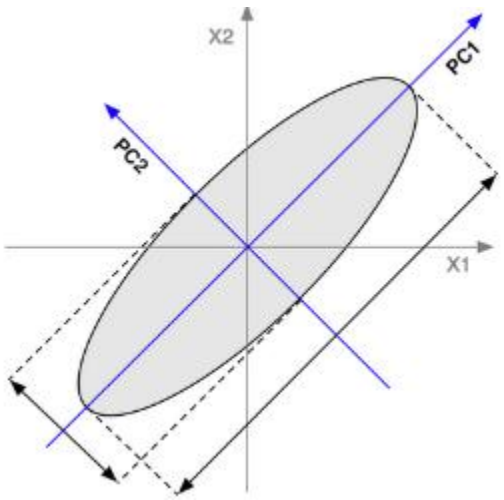


Σχήμα 5: Κατανομή τιμών δείγματος εξαρτημένων μεταβλητών.

Στην παραπάνω εικόνα βλέπουμε την κατανομή των τιμών ενός δείγματος. Οι δύο μεταβλητές, x_1 και x_2 είναι εξαρτημένες.

Η PCA υπολογίζει ένα νέο σύστημα αξόνων που περιγράφει πιο αποτελεσματικά τα δεδομένα. Η ιδέα είναι η περιστροφή των αρχικών αξόνων με τέτοιο τρόπο ώστε να καλύπτουν την μεγαλύτερη δυνατή διακύμανση των αρχικών μεταβλητών. Ο πρώτος άξονας ονομάζεται πρώτη κύρια συνιστώσα και έχει την κατεύθυνση της μεγαλύτερης διακύμανσης των δεδομένων ενώ κάθε νέος άξονας που δημιουργείται είναι ορθογώνιος με όλους τους προηγούμενους και έχει την κατεύθυνση ης επόμενης μεγαλύτερης διακύμανσης.

Στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε τις νέες μεταβλητές, τις κύριες συνιστώσες, που δημιουργήθηκαν από την στροφή των αξόνων. Παρατηρούμε ότι η προβολή της πρώτης κύριας συνιστώσας είναι μεγαλύτερη από τις αρχικές μεταβλητές και αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι καλύπτει μεγαλύτερη διασπορά στα δεδομένα. Επίσης η προβολή της πρώτης κύριας συνιστώσας είναι μεγαλύτερη από αυτήν της δεύτερης κύριας συνιστώσας καθώς περιγράφει περισσότερα δεδομένα.



Σχήμα 6: Στροφή αξόνων , κύριες συνιστώσες.

Σε περίπτωση που είχαμε κι άλλες κύριες συνιστώσες τότε αυτές θα είχαν όλο και μικρότερο μέγεθος στο σχήμα, αντιπροσωπεύοντας μικρότερο όγκο πληροφορίας. Με αυτόν τον τρόπο γίνεται συμπίεση των δεδομένων.

Η ανάλυση κύριων συνιστωσών έχει ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, όπως η συμπίεση δεδομένων, η γρήγορη αναζήτηση, η καλύτερη οπτικοποίηση των δεδομένων καθώς και η εξεύρεση ομάδων και ακραίων τιμών.

Ένα πολύ σημαντικό ερώτημα που εγείρεται στην PCA είναι ο κατάλληλος αριθμός των νέων μεταβλητών. Δεν θα πρέπει να είναι πολύ μικρός για να μην χαθεί

σημαντική πληροφορία αλλά ούτε και πολύ μεγάλος γιατί έτσι το σύστημα θα γίνει πιο περίπλοκο και θα περιέχει άχρηστη πληροφορία. Έτσι αυτό που μας ενδιαφέρει είναι να αναπαραστήσουμε ένα σύνολο δεδομένων p μεταβλητών σε k διαστάσεις και ο σκοπός μας είναι να προσδιορίσουμε το βέλτιστο k (δηλαδή τον αριθμό των κύριων συνιστωσών). Οι μέθοδοι για τον υπολογισμό του k είναι πολλές και παρακάτω περιγράφονται κάποιες από αυτές.

Μεθοδολογία Kaiser – Guttman

Ο συνηθέστερος κανόνας τερματισμού στην ανάλυση κύριων συνιστωσών βασίζεται στη μέση τιμή των ιδιοτιμών. Λόγω του ότι συνήθως οι μεταβλητές μετριούνται σε διαφορετικές μονάδες μέτρησης, στην PCA χρησιμοποιούνται οι πίνακες συσχέτισης έτσι ώστε να δίνεται το κατάλληλο βάρος σε κάθε μεταβλητή. Ως αποτέλεσμα, το πλήθος των ιδιοτιμών ισούται με το πλήθος των μεταβλητών. Σύμφωνα με τη μεθοδολογία Kaiser – Guttman, διατηρούνται οι ιδιοτιμές που έχουν τιμή μεγαλύτερη από τη μέση τιμή του, καθώς αυτοί οι άξονες συγκεντρώνουν περισσότερη πληροφορία από οποιαδήποτε άλλη αρχική μεταβλητή. Εδώ πρέπει να σημειώσουμε ότι η μεθοδολογία αυτή έχει επικριθεί αρκετά γιατί ένα μοντέλο PCA που δημιουργείται από τυχαίες, ασυσχέτιστες μεταβλητές, παράγει ιδιοτιμές μεγαλύτερες από τη μονάδα. Ωστόσο εξακολουθεί να είναι μία από τις δημοφιλέστερες μεθοδολογίες τερματισμού.

Scree plot

Το scree plot είναι μία τεχνική γραφικής απεικόνισης, αρκετά διαδεδομένη που προτάθηκε από τον Cattell το 1966. Για την εφαρμογή της μεθόδου αυτής, σχεδιάζεται το γράφημα που προκύπτει από τις ιδιοτιμές και την τάξη της κάθε ιδιοτιμής. Όσο μικραίνουν οι ιδιοτιμές, τείνουν να βρίσκονται κατά μήκος μιας ευθείας γραμμής. Στα γραφήματα αυτά υπάρχει ένα σημείο (διάσπαση) στο οποίο η κλίση των αντίστοιχων τμημάτων αριστερά και δεξιά αυτού διαφέρουν αισθητά. Αυτό το σημείο καθορίζει ποια στοιχεία χρήζουν περαιτέρω διερεύνησης και ερμηνείας (αποτελεί την τελευταία από τις κύριες συνιστώσες που συμμετέχουν στο μοντέλο) και ποια δεν λαμβάνονται υπόψη.

Τα προβλήματα που προκύπτουν από τη χρήση αυτής της μεθοδολογίας είναι καταρχάς το γεγονός ότι βασίζεται σε μία γραφική αναπαράσταση των δεδομένων και μετά το ότι υπάρχει περίπτωση ο διαχωρισμός να μην είναι ξεκάθαρος στη γραμμή που ορίζεται στο διάγραμμα. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο ότι η γραμμή μπορεί να έχει κλίση ομαλής καμπύλης είτε στο ότι μπορούν να υπάρχουν περισσότερες από μία διασπάσεις στη γραμμή. Στη δεύτερη περίπτωση συνηθίζουμε να χρησιμοποιούμε ως κύριες συνιστώσες τα σημεία τα οποία ορίζονται από την πρώτη διάσπαση.

Μέθοδος Broken Stick

Η μέθοδος αυτή βασίζεται στο γεγονός ότι εάν διασπάσουμε ένα τμήμα μιας μονάδας μήκους σε p τμήματα, το αναμενόμενο μήκος g_k του k μακρύτερου τμήματος είναι:

$$g_k = \frac{1}{p}\sum_{i=k}^{p}\frac{1}{i}$$

Ένας τρόπος για να αποφασίσουμε αν το μέρος της διακύμανσης της k κύριας συνιστώσας είναι αρκετά μεγάλο για να συμπεριληφθεί στο μοντέλο, είναι η σύγκρισή της με το g_k.

Ποσοστό συνολικής διακύμανσης

Ένα άλλο κριτήριο για την εκτίμηση του πλήθους των κύριων συνιστωσών είναι το συμπεριληφθούν όλες οι συνιστώσες μέχρι ενός αυθαίρετου ποσοστού της συνολικής διακύμανσης. Αυτή η μέθοδος, συνήθως, περιλαμβάνει τις συνιστώσες που αποτελούν περίπου του 95% της συνολικής διακύμανσης.

Cross Validation

Μια άλλη πρόταση για την εκτίμηση του βέλτιστου αριθμού των κύριων συνιστωσών είναι η μεθοδολογία cross validation που προτάθηκε από τους Wold (1976, 1978) και Eastment και Krzanowski (1982). Η τεχνική βασίζεται στην τυχαία διαίρεση του αρχικού δείγματος σε g ομάδες, με n/g παρατηρήσεις η κάθε μια ομάδα. Η πρώτη ομάδα αφαιρείται από το δείγμα και εφαρμόζεται η μέθοδος PCA στο εναπομείναν. Τα διανύσματα που ανακτούνται από αυτό το μειωμένο δείγμα χρησιμοποιούνται για να βρεθούν οι κύριες συνιστώσες του διαγραμμένου δείγματος. Έπειτα, η ομάδα που έχει αφαιρεθεί από το δείγμα προστίθεται εκ νέου και αφαιρείται η επόμενη ομάδα. Η ίδια διαδικασία επαναλαμβάνεται για όλες τις ομάδες.

Η μεθοδολογία αυτή συνιστάται όταν υπάρχει πρόθεση να κατασκευαστεί ένα μοντέλο PCA το οποίο θα χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση μελλοντικών δεδομένων. Έτσι συμπεραίνουμε πως η cross validation μεθοδολογία δεν μπορεί να εφαρμοστεί σε ένα αυτοματοποιημένο υπολογιστικό σύστημα παρακολούθησης όπου το μοντέλο πρέπει να ανανεώνεται αναδρομικά καθώς τα παλιότερα δεδομένα δεν αντιπροσωπεύουν την τρέχουσα κατάσταση της διεργασίας. Θα μπορούσε όμως να χρησιμοποιηθεί σε ένα αυτοματοποιημένο υπολογιστικό σύστημα παρακολούθησης όπου το μοντέλο ανανεώνεται με την προσέγγιση ενός κυλιόμενου παράθυρου.

Στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ παρουσιάζονται κάποιοι από τους αλγόριθμους υπολογισμού της PCA.

ATHENS UNIVERSITY OF ECONOMICS & BUSINESS
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

4. ΜΕΛΕΤΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗ ΧΑΡΤΟΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία έγινε βιβλιογραφική έρευνα σχετικά με τις εφαρμογές του στατιστικού ελέγχου ποιότητας στην χαρτοβιομηχανία. Δυστυχώς, για το συγκεκριμένο τύπο βιομηχανίας η βιβλιογραφία και η έρευνα είναι αρκετά περιορισμένες, λόγω της φύσης των δεδομένων και του γεγονότος ότι, στις περισσότερες περιπτώσεις, οι βιομηχανίες κρατούν μυστικές τις ιδιαίτερες μεθόδους παραγωγής τους για λόγους ανταγωνισμού.

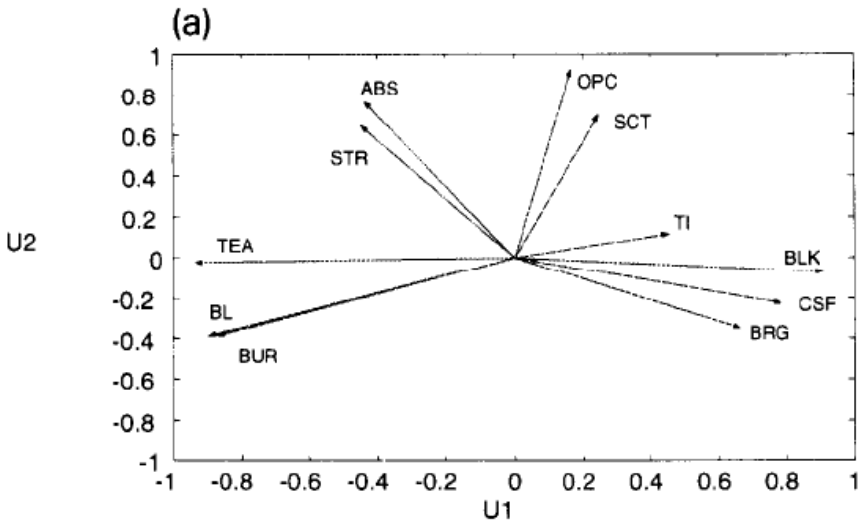
Στην παρασκευή χαρτιού οι διαδικασίες είναι φυσικές, μηχανικές και χημικές, πράγμα που περιπλέκει αρκετά την διαχείριση και την ανάλυση των δεδομένων. Ο αριθμός των μεταβλητών είναι αρκετά μεγάλος και είναι δύσκολο να βρούμε απόλυτες σχέσεις μεταξύ τους. Έτσι, η μέθοδος που κυρίως χρησιμοποιήθηκε στις εργασίες που μελετήθηκαν ήταν κυρίως η ανάλυση κύριων συνιστωσών, που θεωρήθηκε πιο κατάλληλη λόγω του ότι είναι πιο εύκολο να διαχειριστεί πολυμεταβλητά δεδομένα. Παρακάτω παρουσιάζονται τρεις μελέτες στις οποίες εφαρμόζονται στατιστικές μέθοδοι σε χαρτοβιομηχανίες για τη βελτίωση της ποιότητας του παραγόμενου προϊόντος, τη μείωση του κόστους παραγωγής ή την καλύτερη παρακολούθηση της διαδικασίας παραγωγής και την προστασία του περιβάλλοντος.

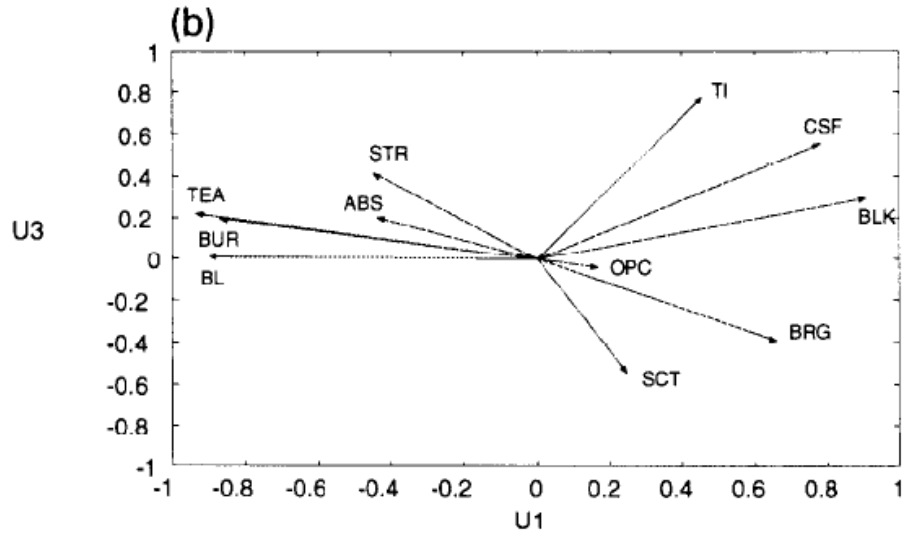
4.1. Εργασία 1 – Θέμα: Παρουσίαση της ποιότητας χαρτοπολτού

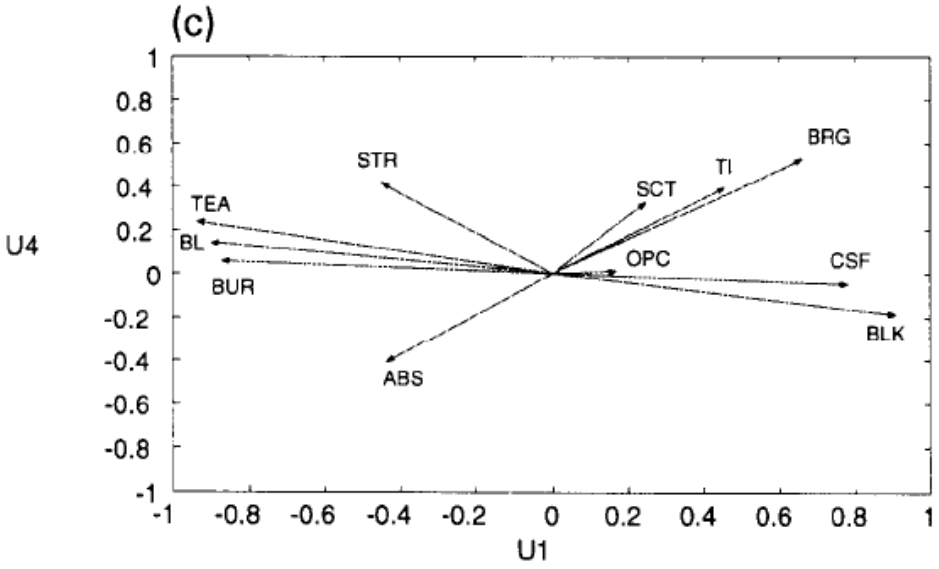
Στη συγκεκριμένη εργασία αρχικά διαπιστώθηκε η δυσκολία παρακολούθησης και βελτίωσης της ποιότητας των προϊόντων της χαρτοβιομηχανίας, λόγω της φύσης και του πλήθους των μεταβλητών που εμπλέκονται στη διαδικασία. Αυτός ήταν και ο λόγος της εκπόνησης της μελέτης. Για τους ερευνητικούς σκοπούς της μελέτης διενεργήθηκε σειρά δοκιμών παραγωγής χαρτοπολτού σε πιλοτική κλίμακα. Από αυτήν τη διαδικασία απομονώθηκαν και αναγνωρίστηκαν 11 παράμετροι ποιότητας και με την εφαρμογή ανάλυσης κύριων συνιστωσών πάνω στα δεδομένα διαπιστώθηκε πως το 90% της μεταβλητότητας εξηγείται από 4 σύνθετες κύριες συνιστώσες, οι οποίες ελήφθησαν χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο NIPALS ο οποίος προκρίθηκε έναντι των άλλων.

Τα συμπεράσματα στα οποία κατέληξε η εργασία είναι τα εξής:

- Χρησιμοποιήθηκε το διπλό διάγραμμα του Gabriel (βλ. Παράρτημα) για την υπέρθεση των αρχικών διανυσμάτων στον νέο χώρο των σύνθετων μεταβλητών. Αυτή η διαδικασία επιτρέπει στον χρήστη να οπτικοποιήσει τη σχέση μεταξύ των αρχικών ιδιοτήτων και των νέων σύνθετων ιδιοτήτων, ξεπερνώντας τις δυσκολίες που συνδέονται με την ερμηνεία των αποτελεσμάτων της PCA.

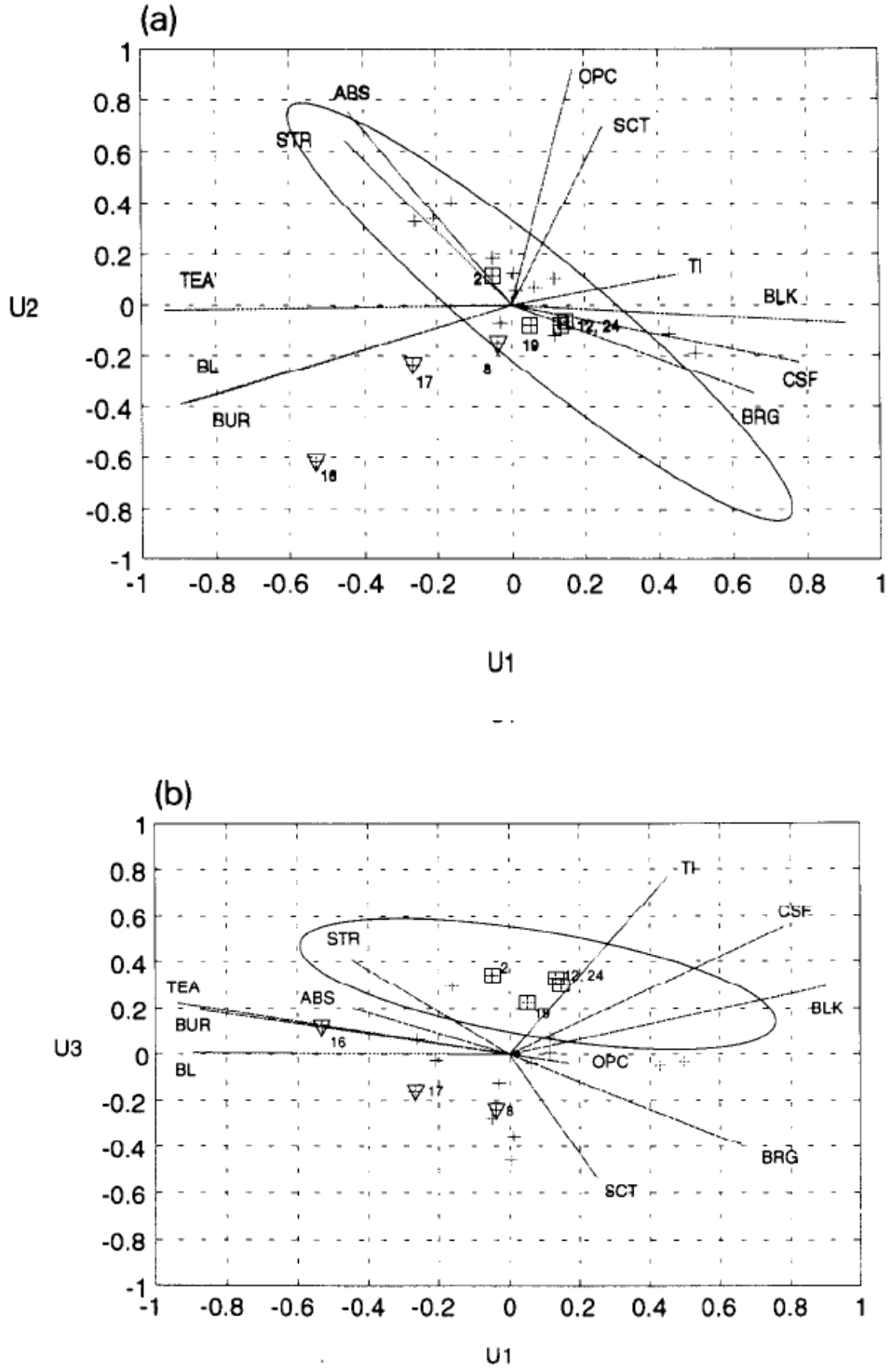






- Σχήμα 8 : Διπλά διαγράμματα Gabriel. Πηγή: Broderick G., Paris J. , Valade J.L. ,' A composite representation of pulp quality', Elsevier – Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems (1995), p.22

- Οι συνθήκες κανονικής λειτουργίας (NOC – Normal Operating Conditions) παριστάνονται γραφικά σε μία δισδιάστατη ή τρισδιάστατη περιοχή με στατιστικά όρια. Ορίζοντας μία περιοχή κανονικής λειτουργίας για τις 11 ιδιότητες ταυτόχρονα αυτός ο τύπος του πίνακα στατιστικού ελέγχου ποιότητας (SQC) προσφέρει πληροφορία παρόμοια με τον πίνακα Shewhart αλλά με έναν πιο αποδοτικό και σαφή τρόπο.



- Σχήμα 9: Απεικόνιση της περιοχής συνθηκών κανονικής λειτουργίας. Πηγή: Broderick G., Paris J. , Valade J.L. ,' A composite representation of pulp quality', Elsevier – Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems (1995), p. 24

- Φτιάχνοντας ένα διάγραμμα των τετραγώνων των σφαλμάτων της πρόβλεψης, έχουμε έναν τρόπο παρακολούθησης της ακρίβειας του μοντέλου PCA. Εναλλακτικά, οι προβλέψεις από το μοντέλο PCA μπορούν να συγκριθούν με αισθητήρες συνεχούς παρακολούθησης και οι αποκλίσεις να χρησιμοποιηθούν για την ανίχνευση σφαλμάτων.

4.2. Εργασία 2 – Θέμα: Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών, διαγράμματα συνεισφοράς και χαρακτηριστικά βάρη στην παρακολούθηση δεδομένων στο υγρό μέρος χαρτοποιητικής μηχανής

Στη δεύτερη εργασία που μελετήθηκε, συλλέχθηκαν δεδομένα από εργοστάσιο παραγωγής χαρτιού με τη χρήση ενός αναλυτή WIC – 100, χωρίστηκαν σε 6 ομάδες, καθεμία από τις οποίες αντιπροσώπευε μία διαφορετική ποιότητα χαρτιού. Κάθε τάξη μοντελοποιήθηκε ξεχωριστά με τη χρήση της ανάλυσης κύριων συνιστωσών. Οι τιμές των σκορ από τα δεδομένα βαθμονόμησης, μαζί με τα αντίστοιχα όρια εμπιστοσύνης και την τάση των δεδομένων, χρησιμοποιούνται για την οπτικοποίηση της κατάστασης της διαδικασίας. Για κάθε μία από τις τάξεις, δύο συνολικοί πολυμεταβλητοί πίνακες ελέγχου χρησιμοποιήθηκαν για να περιγράψουν την κατάσταση της διαδικασίας. Ο πρώτος από αυτούς τους πίνακες υπολογίζεται από τα υπόλοιπα και ο δεύτερος βασίζεται στην απόσταση Mahalanobis (βλ. Παράρτημα) των τιμών των σκορ.

Και οι δύο πίνακες μπορούν να οδηγήσουν στις αρχικές μεταβλητές. Οι πολυμεταβλητοί πίνακες ελέγχου και τα διπλά διαγράμματα εφαρμόστηκαν μαζί με τα διαγράμματα συνεισφοράς (contribution plots) και τα αντίστοιχα βάρη προκειμένου να ανιχνευθούν τα τυχόν προβλήματα στη διαδικασία και να απομονωθούν οι αποκλίνουσες μεταβλητές. Τα αποτελέσματα διασταυρώθηκαν με τη χρήση παράλληλων συντεταγμένων (βλ. Παράρτημα).

Αυτές οι μέθοδοι είναι χρήσιμες στην ανίχνευση και στην απομόνωση των διάφορων τύπων αλλαγών που μπορεί να συμβούν στην αρχική φάση επεξεργασίας του πολτού (wet end) στην χαρτοποιητική μηχανή. Επίσης προτάθηκε η ιδέα ενός χάρτη συνεισφοράς. Σε αυτό το πλαίσιο, χρησιμοποιήθηκαν τα όρια Bonferroni ως κανόνες για την εύρεση των σημείων (προειδοποιήσεις) στον χάρτη συνεισφοράς.

Εφαρμόστηκαν δύο διαφορετικά μέτρα, τα χαρακτηριστικά βάρη και οι συνεισφορές, για την εξέταση μοντέλων PCA, δηλαδή για την εύρεση των αιτίων για τα φαινόμενα απόκλισης. Τα χαρακτηριστικά βάρη ήταν χρήσιμα καθώς μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να εγείρουν ερωτήματα που αφορούν τις διαφορές μεταξύ δύο διαφορετικών σετ αντικειμένων ή μεταξύ ενός σετ αντικειμένων και κάποιου άλλου αντικειμένου σε όρους διαχωρισμού κατηγοριών. Τα σετ αντικειμένων δεν χρειάζεται να είναι δεδομένα βαθμονόμησης. Μπορούν να είναι ένα σετ αντικειμένων τα οποία συλλέχθηκαν κατά τη διάρκεια μιας πραγματικής κατάστασης παρακολούθησης. Το δεύτερο μέτρο, οι συνεισφορές, είναι ακόμα καταλληλότερες για την ανίχνευση σφαλμάτων καθώς επιτρέπουν τη σύγκριση

ATHENS UNIVERSITY OF ECONOMICS & BUSINESS ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

σημείο με σημείο και επίσης λαμβάνουν υπόψη την πολυμεταβλητή φύση των δεδομένων. Τα συμπεράσματα που εξήχθησαν και από τις δύο μεθόδους μπορούν να επιβεβαιωθούν κοιτάζοντας τις παράλληλες συντεταγμένες που δείχουν άμεσα τα επίπεδα των αποκλινουσών μεταβλητών σε σχέση με τις κανονικές συνθήκες λειτουργίας της τάξης. Η έννοια του χάρτη συνεισφορών εισήχθη ως βοηθητική στην ερμηνεία των πολυμεταβλητών πινάκων ελέγχου. Περαιτέρω δουλειά θα έπρεπε να γίνει προκειμένου να συμπεριληφθεί ποσοτικοποιημένη πληροφορία αντί για τα σημεία στο διάγραμμα των συνεισφορών, ενώ ταυτόχρονα θα διατηρείται η πληροφορία για την τάση.

4.3. Εργασία 3 – Θέμα : Ανάπτυξη προγράμματος παρακολούθησης αποβλήτων που ενσωματώθηκε στον έλεγχο της διαδικασίας για τη μείωση της απώλειας χημικών και ινών στην Bai Bang Paper Company (BAPACO), εργοστάσιο παραγωγής λευκού πολτού και χαρτιού στο Βιετνάμ

Η συγκεκριμένη μελέτη ασχολήθηκε με την ρίψη αποβλήτων στο περιβάλλον της Bai Bang Paper Company , μιας βιετναμέζικης μονάδας παραγωγής λευκού χαρτοπολτού και χαρτιού. Συγκεκριμένα ενσωματώθηκε στη διαδικασία παραγωγής ένα πρόγραμμα παρακολούθησης των αποβλήτων με σκοπό να ελεγχθούν οι ανωμαλίες στην διαδικασία και οι επακόλουθες μη φυσιολογικές ρίψεις αποβλήτων.

Το πρόγραμμα κρίθηκε ως χρήσιμο, καθώς μέσω περιβαλλοντικού ελέγχου φάνηκε πως η βιομηχανία απελευθέρωνε στο περιβάλλον ως απόβλητα επικίνδυνα υλικά αλλά επίσης και μεγάλες ποσότητες χημικών και ινών που θα μπορούσαν να ανακυκλώνονται και επαναχρησιμοποιούνται, έχοντας θετικό οικονομικό αντίκτυπο. Οι απώλειες αυτές συνήθως συνδέονται με τυχαίες, μη προγραμματισμένες απορρίψεις αποβλήτων στο περιβάλλον και με διαρροές, σε διάφορες φάσεις της παραγωγής.

Για την μέτρηση των απωλειών χρησιμοποιήθηκαν RAPPs (Rapidly Assessed Pollution Parameters). Για την απώλεια ινών, ο όγκος στερών που καθιζάνουν μετά από 15 λεπτά ηρεμίας (SetS15) και για την απώλεια χημικών η αγωγιμότητα. Για την παρακολούθηση της διαδικασίας χρησιμοποιήθηκε PCA , προκειμένου να καθοριστεί η «φυσιολογική» ρίψη αποβλήτων. Κατά τη διάρκεια αυτών των «φυσιολογικών» περιόδων οι μέσες τιμές των RAPPs, χρησιμοποιήθηκαν ως τιμές στόχοι για τον έλεγχο.

Η ρίψη λυμάτων από μια βιομηχανία καθορίζεται από την υπάρχουσα τεχνολογία και από έναν αριθμό άλλων παραγόντων που μπορεί να προκαλούν τυχαίες ρίψεις και διαρροές. Το «υπάρχον επίπεδο τεχνολογίας» αντιπροσωπεύει το εφικτό επίπεδο ρίψεων λυμάτων από μία μονάδα παραγωγής όταν δεν υπάρχουν λειτουργικά λάθη, δυσλειτουργίες στα μηχανήματα ή ρίψεις που αποδίδονται σε σχεδιαστικά λάθη.

Ενώ η βελτίωση των λυμάτων (από άποψη περιβαλλοντική αλλά και απωλειών υλικού) σε ένα «νέο επίπεδο τεχνολογίας», μπορεί να απαιτεί δραστικές τροποποιήσεις ή ακόμα και επανασχεδιασμό της διαδικασίας παραγωγής, το

ATHENS UNIVERSITY OF ECONOMICS & BUSINESS ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

«υπάρχον επίπεδο τεχνολογίας» μπορεί να επιτευχθεί χωρίς μεγάλες και κοστοβόρες αλλαγές στη διαδικασία.

Συχνά σε αναπτυσσόμενες χώρες, οι βιομηχανίες έχουν εισαχθεί από άλλες, πιο ανεπτυγμένες. Επομένως, τις περισσότερες φορές δεν υπάρχει τοπικά η απαιτούμενη τεχνογνωσία, η οποία σε συνδυασμό με τις περιορισμένες οικονομικές δυνατότητες (μη διαθέσιμο κεφάλαιο για προμήθεια ακριβών ανταλλακτικών κλπ) έχουν ως αποτέλεσμα τη λειτουργία της βιομηχανίας σε επίπεδο που απέχει πολύ από το ιδανικό. Έτσι, η βελτιστοποίηση των συνθηκών λειτουργίας, προς αποφυγή των διαταραχών της διαδικασίας, είναι ένα σημαντικό βήμα προς τη μείωση των απωλειών και την προστασία του περιβάλλοντος.

Στην παρούσα μελέτη, οι προσπάθειες επικεντρώθηκαν στη βελτιστοποίηση των συνθηκών παραγωγής στο υπάρχον τεχνολογικό πλαίσιο, μέσω της παρακολούθησης των αποβλήτων για την καλύτερη επίβλεψη της διαδικασίας.

Η παρακολούθηση των αποβλήτων και η στρατηγική ελέγχου αναπτύχθηκε σε τρία βήματα : 1) αναγνώριση των κατάλληλων RAPPs για την έκφραση της απώλειας υλικού, 2) αναγνώριση των «φυσιολογικών» ρίψεων από τις μονάδες παραγωγής για να χρησιμοποιηθούν ως τιμές – στόχοι για τον έλεγχο και 3) κατασκευή πινάκων ελέγχου.

Συμπερασματικά, βλέπουμε ότι σε ένα δεδομένο πλαίσιοι λειτουργίας μπορούν να γίνουν μεγάλες βελτιώσεις της περιβαλλοντικής κατάσταση παρακολουθώντας στενότερα την καθημερινή λειτουργία της βιομηχανίας. Η προσέγγιση αυτή δεν απαιτεί μεγάλες επενδύσεις για μέτρα στη γραμμή παραγωγής, όπως για παράδειγμα τροποποιήσεις στη διαδικασία, αλλά μόνο σωστή διαχείριση των αποβλήτων, δηλαδή σωστή συντήρηση και σωστή διαχείριση. Μια τέτοια προσέγγιση μπορεί να είναι ιδιαίτερα χρήσιμη σε μέρη όπου δεν υπάρχουν διαθέσιμα επαρκή κεφάλαια.

Η πολυμεταβλητή ανάλυση δεδομένων, όπως η PCA, μπορεί να είναι ένα πολύ αποτελεσματικό εργαλείο στη διαχείριση μεγάλου όγκου δεδομένων. Τα διαγράμματα που προέκυψαν από την PCA παρείχαν μια γρήγορη εκτίμηση της κατάστασης των αποβλήτων που απορρίπτονταν στο περιβάλλον από τη βιομηχανία.

Η παρακολούθηση των RAPPs μπορεί να παρέχει μια γρήγορη εκτίμηση για την απώλεια υλικών και προσφέρει μια βάση για έναν απλό και οικονομικά προσιτό τρόπο για τον έλεγχο των ανωμαλιών στην διαδικασία και τη μείωση επικίνδυνου περιβαλλοντικά φορτίου. Για αναπτυσσόμενες χώρες, όπου τα θεσμοθετημένα περιβαλλοντικά μέτρα δεν είναι αποτελεσματικά, το οικονομικό όφελος, μέσω της μείωσης της απώλειας πολύτιμου υλικού, το οποίο μπορεί να ανακυκλωθεί και να επαναχρησιμοποιηθεί, θα μπορούσε να αποτελέσει κίνητρο για τη βιομηχανία για μία πιο καθαρή περιβαλλοντικά παραγωγή.

ATHENS UNIVERSITY OF ECONOMICS & BUSINESS
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

5. Συμπεράσματα

Η τέχνη της παραγωγής χαρτοπολτού και χαρτιού είναι γνωστή εδώ και χιλιάδες χρόνια και εφαρμόζεται ανελλιπώς μέχρι τις μέρες μας χωρίς σημαντικές αλλαγές στην αρχή λειτουργίας της. Συνεχώς όμως δημιουργούνται νέες ανάγκες για περισσότερους τύπους χαρτιού, καλύτερη ποιότητα του παραγόμενου προϊόντος και πιο ανταγωνιστικές τιμές για τους καταναλωτές.

Προκειμένου να ικανοποιήσουν αυτές τις ανάγκες οι χαρτοβιομηχανίες πρέπει να βρίσκουν τρόπους να βελτιώνουν την ποιότητα του προϊόντος τους, κρατώντας τις τιμές τους σε ανταγωνιστικό επίπεδο, ενώ ταυτόχρονα πρέπει να διατηρούν και να αυξάνουν την κερδοφορία τους. Έτσι γίνονται συνεχώς προσπάθειες βελτίωσης με γνώμονα τη συνολικά αποδοτικότερη λειτουργία των εργοστασίων παραγωγής. Αυτές οι προσπάθειες έχουν ένα ευρύ φάσμα εφαρμογής, από την επιλογή των καλύτερων πρώτων υλών, στην αποδοτικότερη διαχείριση και χρήση τους,, μέχρι την αποτελεσματικότερη διαχείριση των αποβλήτων τους για λόγους οικονομικούς και περιβαλλοντικούς.

Όπως είδαμε παραπάνω ο στατιστικός έλεγχος ποιότητας παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στις βελτιώσεις αυτές καθώς διευκολύνει τον έλεγχο κάθε φάσης της παραγωγής. Τα λάθη στη διαδικασία γίνονται πιο άμεσα αντιληπτά με αποτέλεσμα την έγκαιρη παρέμβαση και διόρθωσή τους.

Ελέγχοντας και συσχετίζοντας τις διάφορες παραμέτρους ποιότητας του χαρτιού με τις ακολουθούμενες τεχνικές και συνθήκες παραγωγής (θερμοκρασία, υγρασία κλπ) μπορούμε ευκολότερα να καταλήξουμε σε ειδικούς τύπους χαρτιού, με συγκεκριμένα επιθυμητά χαρακτηριστικά, όπως για παράδειγμα αυξημένη αντοχή.

Τέλος είδαμε πώς ο στατιστικός έλεγχος ποιότητας μπορεί να βοηθήσει ακόμα στην πιο ορθολογική διαχείριση των αποβλήτων που παράγονται από τη χαρτοβιομηχανία. Εφαρμόζοντας διάφορες τεχνικές καθίσταται δυνατή η ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση πρώτων υλών που αποβάλλονται ως απόρριμμα, με άμεσο οικονομικό όφελος για τη βιομηχανία, ενώ ταυτόχρονα επιτυγχάνεται η καλύτερη προστασία του περιβάλλοντος ελέγχοντας τους τοξικούς παράγοντες που απορρίπτονται σε αυτό.

Συμπερασματικά, μπορούμε να πούμε πως ο στατιστικός έλεγχος ποιότητας έχει ευρύτατο πεδίο εφαρμογής στη χαρτοβιομηχανία, άλλες φορές λύνοντας

ATHENS UNIVERSITY OF ECONOMICS & BUSINESS
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

προβλήματα και άλλες βοηθώντας στην αποδοτικότερη λειτουργία μιας επιχείρησης. Ωστόσο τα περισσότερα αποτελέσματα των ερευνών δεν δημοσιοποιούνται στο ευρύ κοινό καθώς αποτελούν βιομηχανικά μυστικά.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ PCA

Αλγόριθμος QR

Η βασική ιδέα του αλγόριθμου QR στηρίζεται στην ιδιότητα κάθε μη ιδιόμορφου πίνακα, όπως είναι ο πίνακας συνδιακύμανσης $S \in R^{m \times m}$, να μπορεί να γραφεί ως γινόμενο δύο πινάκων, ενός ορθογώνιου $Q \epsilon R^{m \times m}$ και ενός άνω τριγωνικού $R \epsilon R^{m \times m}$.

$S = S_1 = Q_1 R_1$ (1)

Αν αντιστρέψουμε τους όρους της (1) , έχουμε:

$S_2 = R_2 Q_1$ (2)

Αν επαναλάβουμε τα βήματα (1) και (2) πολλαπλασιάζοντας αντίστροφα τους όρους τότε θα έχουμε:

$S_3 = Q_2 R_2$

. . . . . .

$S_{k-1} = Q_k R_k$

$S_k = R_k Q_k$ (3)

Αφού όμως ο Q_1 είναι ορθογώνιος (συνεπώς ισχύει ότι $Q_1 Q_1^T = I$), ο (1) μπορεί να γραφεί και ως :

$R_1 = Q_1^T S_1$ (4)

Επομένως ο (2) γίνεται :

$S_2 = Q_1^T S_1 Q_1$ (5)

Με την παραπάνω διαδικασία προκύπτει πως ο S_k γράφεται ως:

$S_r = (Q_1 Q_2 \ldots . Q_r)^T S (Q_1 Q_2 \ldots . Q_r)$ (6)

Άρα ο S_r συγκλίνει και τείνει να γίνει διαγώνιος, με τα στοιχεία της διαγωνίου να είναι οι ιδιοτιμές του S ($r \rightarrow \infty$) και ο πίνακας Q τείνει στον πίνακα των ιδιοδιανυσμάτων του S.

ATHENS UNIVERSITY OF ECONOMICS & BUSINESS
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

Singular Value Decomposition (SVD)

Στην ανάλυση κύριων συνιστωσών, βρίσκουμε την κατεύθυνση των δεδομένων με τη μεγαλύτερη διακύμανση (π.χ. τα ιδιοδιανύσματα που αντιστοιχούν στις μεγαλύτερες ιδιοτιμές του πίνακα συνδιακύμανσης) και προβάλλουμε τα αρχικά δεδομένα σε αυτές τις νέες διαστάσεις. Η λογική που εφαρμόζεται σε αυτό είναι ότι η πληροφορία δεύτερης τάξης βρίσκεται σε αυτές τις κατευθύνσεις. Αν χαρακτηρίσουμε τον πίνακα των ιδιοδιανυσμάτων που είναι ταξινομημένος βάσει των ιδιοτιμών ως V τότε μπορούμε να μετασχηματίσουμε τα αρχικά δεδομένα σε συνάρτηση του V. Τώρα τα ιδιοδιανύσματα ονομάζονται κύριες συνιστώσες. Αν επιλέξουμε μόνο τις πρώτες a γραμμές από αυτόν το μετασχηματισμό τότε θα έχουμε καταφέρει να προβάλουμε τα δεδομένα από p σε a διαστάσεις.

Η μέθοδος SVD στηρίζεται στο ακόλουθο θεώρημα της γραμμικής άλγεβρας: Ένας οποιοσδήποτε πίνακας X, μπορεί να γραφεί ως το γινόμενο ενός (m x a) ορθογώνιου πίνακα U επί έναν (a x a) διαγώνιο πίνακα Λ με θετικές ή μηδενικές τιμές (singular values) και τον ανάστροφο (a x p) ορθογώνιο πίνακα V.

$X= U. \Lambda.V^T$

Με a αναπαριστάται το πλήθος των κύριων συνιστωσών. Αν το πλήθος των μετρήσεων (m γραμμές) είναι μεγαλύτερο από το πλήθος των αρχικών μεταβλητών (p στήλες) δηλαδή m>p τότε το a=p, διαφορετικά a=m-1. Συνήθως εφαρμόζουμε αυτές τις μεθόδους όταν έχουμε μεγάλο όγκο δεδομένων οπότε το σύνηθες είναι να ισχύει m>p, και συνεπώς a=p. Για τον διαγώνιο πίνακα Λ, προκύπτουν μοναδικές τιμές λ_j (για j = 1,2,…,a) στην κύριαι διαγώνιο, με $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \ldots \geq \lambda_a$ να αντιπροσωπεύουν τις κύριες συνιστώσες. Οι πρώτες κύριες συνιστώσες περιλαμβάνουν την πιο σχετική πληροφορία ενώ οι υπόλοιπες αντιπροσωπεύουν κυρίως θόρυβο και λιγότερο ουσιώδη πληροφορία.

Αλγόριθμος NIPALS

Ο αλγόριθμος NIPALS (Non – linear Iterative Partial Least Squares) αναπτύχθηκε από τον H. Wold, αρχικά για τον υπολογισμό των πρώτων κύριων συνιστωσών στην μέθοδο PCA και έπειτα χρησιμοποιήθηκε στην στατιστική μεθοδολογίας μερικής παλινδρόμησης ελαχίστων τετραγώνων (PLS – Partial Least Square regression). Είναι ο πιο συνηθισμένος αλγόριθμος για τον υπολογισμό των κύριων συνιστωσών σε ένα σύνολο δεδομένων. Αν συγκρίνουμε τον αλγόριθμο NIPALS με τον αλγόριθμό SVD, ο NIPALS δίνει μεγαλύτερη ακρίβεια στα αριθμητικά αποτελέσματα αλλά απαιτεί μεγαλύτερη υπολογιστική πολυπλοκότητα.

Η μέθοδος αυτή στηρίζεται στον διαχωρισμό των αρχικών δεδομένων (πίνακας) σε μία δομημένη μορφή (TP^T) και στον θόρυβο (E).

Δηλαδή:

$X= TP^T + E$ (δομημένη μορφή + θόρυβος)

ATHENS UNIVERSITY OF ECONOMICS & BUSINESS ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

Όπου T: Scores. Πίνακας που περιγράφει τη συσχέτιση μεταξύ των στηλών του X. Στον πίνακα T η πρώτη στήλη περιέχει τις τιμές της πρώτης κύριας συνιστώσας, η δεύτερη στήλη τις τιμές της δεύτερης κύριας συνιστώσας κ.ο.κ.

P: Loadings. Πίνακας με τα βάρη των μεταβλητών του X στο πίνακα scores T. Με την χρήση του πίνακα P, μπορούμε να δούμε ποιες μεταβλητές ευθύνονται για τα patterns που σχηματίζονται στον πίνακα T.

E: Noise. Πίνακας με το μέρος του θορύβου του PCA. Ο πίνακας E δεν αποτελεί μέρος του μοντέλου. Είναι το μέρος του πίνακα X που δεν μπορεί να αποτυπωθεί στο μοντέλο TP^T. Αν αυτός ο πίνακας είναι μεγάλος (κάτι που δεν θα πρέπει να ισχύει), σημαίνει ότι έχει αφαιρεθεί αρκετή πληροφορία από τα αρχικά δεδομένα κατά τον σχηματισμό του μοντέλου.

Ακολουθεί μια γενική επισκόπηση του αλγορίθμου NIPALS:

t: scores για την pc_1

p : loadings για την pc_1

threshold = 0.00001 (μια πολύ μικρή τιμή που θα χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο της σύγκλισης)

Θεωρούμε τον πίνακα $E_O = X$.

Μέχρι να υπολογιστούν όλες οι κύριες συνιστώσες επαναλαμβάνουμε τα εξής βήματα:

1. Προβάλλουμε τον X στον t με σκοπό να υπολογίσουμε την σχετική p
   $p= (E^T_{(I-1)}\, ^t) = (t^Tt)$
2. Κανονικοποιούμε το διάνυσμα p ώστε να έχει μήκος 1.
   $P=p*(p^T p)^{-0.5}$
3. Βρίσκουμε την προβολή t του πίνακα X στο διάνυσμα p που υπολογίσαμε, με στόχο να βρούμε τα νέα scores.
   $T=(E_{(I-1)}p)/ (p^Tp)$
4. Έλεγχος της σύγκλισης. Εάν η διαφορά των ιδιοτιμών $t_{new}=(t^Tt)$ και t_{old} (από την προηγούμενη τελευταία επανάληψη) είναι μεγαλύτερη από την τιμή που μας δίνει το γινόμενο threshold * t_{new} τότε επαναλαμβάνουμε το βήμα 1.
5. Αφαιρούμε την υπολογισμένη pc από τον πίνακα $E_{(I-1)}$.
   $E_{(I)}= E_{(I-1)} – (tp^T)$

<u>Αλγόριθμος EM</u>

Ο αλγόριθμος E –M (Expectation – Maximization) είναι μια στατιστική μεθοδολογία που προσπαθεί να μεγιστοποιήσει την πιθανότητα σωστής εκτίμησης μιας παραμέτρου (maximum – likelihood estimation) σε ένα στατιστικό μοντέλο όπου υπάρχουν μη – παρατηρούμενες μεταβλητές. Ο E – M είναι ένας επαναληπτικός αλγόριθμος που εναλλάσσεται μεταξύ δύο

ATHENS UNIVERSITY OF ECONOMICS & BUSINESS ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

βημάτων, του e- step (expectation step) και m – step (maximization step). Το e – step υπολογίζει τις αναμενόμενες λογαριθμικές πιθανότητες (expectation log – likelihood), βάσει των τρεχουσών εκτιμήσεων των παραμέτρων. Το m – step υπολογίζει τις παραμέτρους μεγιστοποιώντας τις αναμενόμενες λογαριθμικές πιθανότητες που υπολογίστηκαν στο e – step. Αυτές οι παράμετροι χρησιμοποιούνται στη συνέχεια για να προσδιοριστεί η κατανομή των μη – παρατηρούμενων μεταβλητών στο επόμενο e – step.
Ο αλγόριθμος E – M μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εφαρμογή της PCA γιατί παρέχει ένα απλό και αποτελεσματικό τρόπο υπολογισμού λίγων ιδιοδιανυσμάτων και ιδιοτιμών όταν τα δεδομένα μετρώνται σε πολλές διαστάσεις. Επίσης, αυτός ο τρόπος υπολογισμού επιτρέπεται ακόμα και στην περίπτωση ελλιπών στοιχείων.
Άρα ο E – M αλγόριθμος για τον υπολογισμό των κύριων συνιστωσών προκύπτει από τα εξής βήματα:

e – step: $X = (C^TC)^{-1}C^TY$
m – step : $C_{new} = YX^T(XX^T)^{-1}$

όπου Y είναι ένας πίνακας (p x n) με τις τιμές των παραμέτρων και X ένας πίνακας (k x n) με τις άγνωστες τιμές. Οι στήλες του πίνακα C θα μας δώσουν τις k πρώτες κύριες συνιστώσες. Για τον αναλυτικό υπολογισμό των ιδιοτιμών και ιδιοδιανυσμάτων, προβάλλουμε τα δεδομένα στο χώρο των k διαστάσεων και προκύπτει μια διατεταγμένη ορθογώνια βάση της συνδιακύμανσης.

ΔΙΠΛΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ GABRIEL (GABRIEL BIPLOT)

Τα διπλά διαγράμματα (biplots) είναι ένας τύπος διερευνητικού γραφήματος που χρησιμοποιείται στην Στατιστική, αποτελεί ουσιαστικά γενίκευση του απλού διαγράμματος διασποράς δύο μεταβλητών. Ένα διπλό διάγραμμα μας επιτρέπει να απεικονίσουμε γραφικά πληροφορία για τα δείγματα και τις μεταβλητές ταυτόχρονα. Τα δείγματα απεικονίζονται ως σημεία ενώ οι μεταβλητές απεικονίζονται είτε ως διανύσματα είτε ως γραμμικοί άξονες.

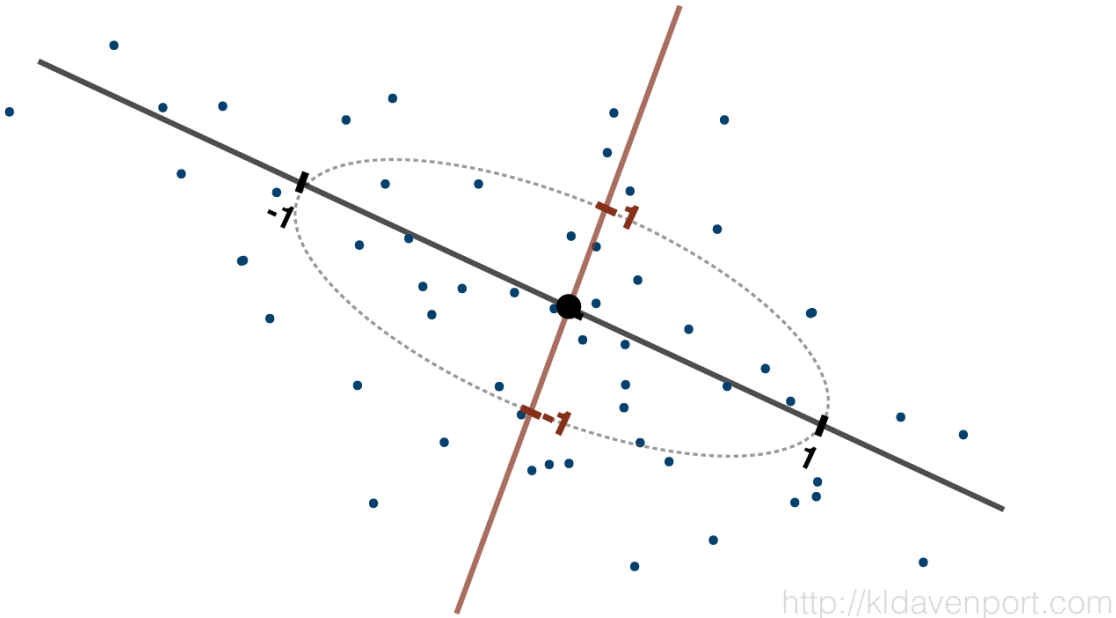
Το διπλό διάγραμμα του Gabriel είναι μία τεχνική οπτικοποίησης για την ανάλυση κύριων συνιστωσών. Διπλό διάγραμμα σημαίνει ένα διάγραμμα 2 διαφορετικών χώρων – τον χώρο των δειγμάτων και τον χώρο των μεταβλητών. Στο παράδειγμα της εικόνας, τα διανύσματα είναι που έχει επισημανθεί ως P1, P2 και P3 είναι ιδιοδιανύσματα στον χώρο δειγμάτων. Οι X, Y και Z είναι γραμμές παλινδρόμησης στον χώρο των μεταβλητών. Μπορούμε να επιλέξουμε τον αριθμό των κύριων συνιστωσών και να τις περιστρέψουμε κατάλληλα. Τα R1, R2 είναι παράγοντες στροφής. Με αυτόν τον τρόπο, ο χρήστης μπορεί να αποφασίσει ποια διανύσματα,

ATHENS UNIVERSITY OF ECONOMICS & BUSINESS ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

τα στραμμένα ή τα κανονικά, περνάνε από τα περισσότερα σημεία, οπότε και περιγράφουν καλύτερα τη διαδικασία.

ΑΠΟΣΤΑΣΗ MAHALANOBIS

Η απόσταση Mahalanobis είναι ένα μέτρο της απόστασης μεταξύ ενός σημείου P και μια κατανομής D, που προτάθηκε από τον Mahalanobis το 1936. Είναι μια γενίκευση της ιδέας της μέτρησης του αριθμού των τυπικών αποκλίσεων μεταξύ ενός σημείου P και του μέσου της κατανομής D, για πολυμεταβλητά δεδομένα. Η απόσταση είναι μηδενική αν το P είναι στον μέσο της D, και μεγαλώνει όσο το P απομακρύνεται από αυτόν. Κατά μήκος κάθε άξονα κύριας συνιστώσας, μετράει τον αριθμό των τυπικών αποκλίσεων από το P έως τον μέσο της κατανομής D. Αν ο κάθε άξονας κανονικοποιηθεί ώστε να έχει μοναδιαία διακύμανση, τότε η απόσταση Mahalanobis ταυτίζεται με την Ευκλείδεια Απόσταση στον μετασχηματισμένο χώρο. Η απόσταση Mahalanobis δεν έχει μονάδα μέτρησης και λαμβάνει υπόψη της συσχετίσεις του εκάστοτε σετ δεδομένων.



Σχήμα: Παράδειγμα για την απόσταση Mahalanobis.

Βιβλιογραφία

Ελληνική βιβλιογραφία

- Αργυροπούλου, Αιμιλία Β. , (2011), Συγκριτική Μελέτη Μηχανισμών Εκτίμησης Ελλιπούς Πληροφορίας σε Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων, Διπλωματική εργασία, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών

- Ευαγγελίδου Σοφία (2008), Στρατηγική Διοίκηση στον κλάδο της παγκόσμιας βιομηχανίας χαρτιού και χαρτοπολτού. Ανάλυση στρατηγικής, Διπλωματική εργασία, Πανεπιστήμιο Πειραιώς

- Καλογεράκης Αργύριος, (2016), Σύγχρονες μέθοδοι και προοπτικές στην ανακύκλωση του χαρτιού, Πτυχιακή εργασία, Α.Ε.Ι. Πειραιά

- Κολυβά – Μαχαίρα Φ, Μπόρα – Σέντα Ε. , (1998), Στατιστική – Θεωρία , Εφαρμογές, Εκδόσεις Ζήτη

- Πιτσάκη Κωνσταντίνα, (2010), Διαδικασία εντοπισμού και αποτίμησης πιθανά ρυπασμένων χώρων στην Ελλάδα : Μια εφαρμογή για τις βιομηχανίες χαρτιού και χρωμάτων, Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

- Ταγαράς, Γιώργος Ν., (2001), Στατιστικός Έλεγχος Ποιότητας, Εκδόσεις Ζήτη

Ξενόγλωσση βιβλιογραφία

- Broderick G., Paris J. , Valade J.L. ,’ A composite representation of pulp quality’, Elsevier – Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems (1995), p.p. 19-28

- Montgomery Douglas C., (2013), Introduction to Statistical Quality Control, John Wiley & Sons, Inc

- Nguyen Thi Kim Oanh, Bengt – Erik Bengtsson, ‘Development of a wastewater monitoring program incorporated into process control for

ATHENS UNIVERSITY OF ECONOMICS & BUSINESS ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

mitigation of chemical and fiber loss from the Bai Bang Paper Company (BAPACO), a bleached kraft pulp and paper mill in Vietnam' , Elsevier – Resources, Conservation and Recycling, (1995), p.p. 53-66

- Pekka Teppola, Satu – Pia Mujunen, Pentti Minkkinen, Timo Puijola, Petri Pursiheimo, ' Principal component analysis, contribution plots and feature weights in the monitoring of sequential process data from a paper machine's wet end', Elsevier – Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems (1998), p.p. 307 – 317

Διαδικτυακές πηγές

- https://en.wikipedia.org/wiki/Mahalanobis_distance
- http://kldavenport.com/mahalanobis-distance-and-outliers/
- https://ww2.amstat.org/publications/jse/v10n1/yu/biplot.html
- https://www.clearpointstrategy.com/control-charts-everything-you-need-to-know/