



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
TECHNICAL UNIVERSITY OF CRETE

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΙ ΔΙΑΛΟΓΗΣ ΣΤΗ ΓΡΑΜΜΗ
ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΦΑΡΜΑΚΩΝ

EXPERIMENTAL CONTROL AND SCREENING DEVICE ON THE DRUG PRODUCTION LINE

ΣΤΡΑΤΗΓΟΣ ΓΙΑΝΝΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

XANIA 2025

Επιτροπή Εξέτασης

Επιβλέπων:

Δρ. Δοϊτσίδης Ελευθέριος

Σχολή Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης, Πολυτεχνείο Κρήτης

1ο Μέλος Επιτροπής:

Δρ. Σπανουδάκης Πολυχρόνης

Σχολή Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης, Πολυτεχνείο Κρήτης

2ο Μέλος Επιτροπής:

Δρ. Ιψάκης Δημήτριος

Σχολή Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης, Πολυτεχνείο Κρήτης

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες σε όλους όσοι συνέβαλαν στην υλοποίηση και ολοκλήρωση της παρούσας πτυχιακής εργασίας.

Αρχικά, ένα μεγάλο ευχαριστώ στον επιβλέποντα καθηγητή μου, για την καθοδήγηση, την τεχνική του υποστήριξη και την πολύτιμη συμβολή του σε κάθε στάδιο της εργασίας.

Ιδιαίτερη ευγνωμοσύνη οφείλω στην εταιρεία **Genepharm**, η οποία με φιλοξένησε, μου παρείχε πρόσβαση στον χώρο παραγωγής και επέτρεψε την εγκατάσταση της πειραματικής διάταξης. Ευχαριστώ επίσης τους μηχανικούς παραγωγής και το τμήμα ποιοτικού ελέγχου της εταιρείας για τη συνεργασία τους και την παροχή πρακτικών γνώσεων.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για τη συνεχή στήριξή της όλα αυτά τα χρόνια, καθώς και τους συμφοιτητές και φίλους μου για την ηθική τους υποστήριξη.

Τέλος, αφιερώνω αυτή την εργασία σε όλους όσοι πιστεύουν στην εξέλιξη της τεχνολογίας προς όφελος της ανθρώπινης υγείας και ασφάλειας.

Περίληψη

Η πτυχιακή εργασία επικεντρώνεται στην ανάπτυξη ενός καινοτόμου συστήματος κάμερας που εγκαθίσταται σε γραμμές παραγωγής χαπιών. Ο στόχος του συστήματος είναι η αυτόματη ανίχνευση σπασμένων ή ελλειπών χαπιών σε κυψέλες χαπιών (blisters) πριν από τη διαδικασία της τελικής συσκευασίας. Μέσω της χρήσης προηγμένων τεχνολογιών εικόνας και αλγορίθμων αναγνώρισης, το σύστημα επισημαίνει και απορρίπτει τα ελαττωματικά προϊόντα, εξασφαλίζοντας ότι μόνο τα ποιοτικά χαπάκια θα φτάσουν στους καταναλωτές.

Η εργασία αναλύει τις τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση των ελαττωμάτων, καθώς και τη σημασία της εφαρμογής του συστήματος για τη βελτίωση της ποιότητας και της αξιοπιστίας των παραγόμενων φαρμακευτικών προϊόντων. Συγχρόνως, εξετάζει τους πιθανούς κινδύνους που προκύπτουν από την έλλειψη ενός τέτοιου συστήματος, όπως η ικανοποίηση των καταναλωτών και η συμμόρφωση με κανονισμούς ασφαλείας.

Τέλος η εργασία αυτή συμβάλλει στην κατανόηση της εφαρμογής των έξυπνων συστημάτων στην παραγωγική διαδικασία του φαρμακευτικού τομέα, προσφέροντας πρακτικές λύσεις που μειώνουν τα προβλήματα που σχετίζονται με την ποιότητα των προϊόντων.

Abstract

EXPERIMENTAL CONTROL AND SCREENING DEVICE IN THE DRUG PRODUCTION LINE

The thesis focuses on the development of an innovative camera system to be installed in pill production lines. The aim of the system is to automatically detect broken or incomplete pills in blisters before the final packaging process. Through the use of advanced image technologies and recognition algorithms, the system identifies and rejects defective products, ensuring that only quality pills reach consumers.

The paper analyzes the techniques used to detect defects, as well as the importance of implementing the system to improve the quality and reliability of manufactured pharmaceutical products. At the same time, it examines the potential risks arising from the lack of such a system, such as consumer satisfaction and compliance with safety regulations.

Finally, this work contributes to the understanding of the application of smart systems in the production process of the pharmaceutical sector, offering practical solutions that reduce problems related to product quality.

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

1.1 Περιγραφή Γραμμής Παραγωγής	1
1.2 Ανάγκες Ελέγχου και Διαλογής.....	2
1.3 Τεχνολογίες Ελέγχου Ποιότητας στη Βιομηχανία	3
1.3.1 Όραση Μηχανής (Machine Vision)	3
1.3.2 Ρόλος των PLC (Programmable Logic Controllers)	4
1.3.3 Κωδικοποιητής άξονα (Shaft Encoder) και Συγχρονισμός.....	5
1.3.4 Πλεονεκτήματα Αυτοματοποιημένων Συστημάτων Ελέγχου	5
1.4 Ιστορικό και Βασικές Αρχές της Μηχανικής Όρασης	5
1.4.1 Ιστορική Αναδρομή της Μηχανικής Όρασης	5
1.4.2 Ορισμός και Διακριτά Στοιχεία Μηχανικής Όρασης.....	6
1.4.3 Θεμελιώδεις Αρχές Επεξεργασίας Εικόνας	7
1.4.4 Εφαρμογές στη Φαρμακευτική Παραγωγή	8
1.4.5 Σύνοψη.....	8
1.5 Επιλογή Πλατφόρμας Ανάπτυξης: LabVIEW έναντι Εναλλακτικών Λύσεων	8
1.5.1 LabVIEW: Γραφικό και Παραμετρικό Περιβάλλον Προγραμματισμού	9
1.5.2 Σύγκριση με Κλασικά Προγραμματιστικά Περιβάλλοντα (π.χ. Python, C++, MATLAB).....	10
1.5.3 Κόστος και Υποστήριξη	11
1.5.4 Συμπερασματικά.....	11
1.6 Στόχος της Εργασίας.....	12

Κεφάλαιο 2: Πειραματική Διάταξη Διαλογής Φαρμάκων

2.1 Αρχικός Σχεδιασμός και Τοποθέτηση	13
2.2 Διαδικασία Ελέγχου και Διασύνδεση Υποσυστημάτων	14
2.3 Λειτουργία και Αρχική Βαθμονόμηση.....	18
2.4 Ανάλυση Κώδικα LabVIEW	22

2.4.1 Δομή του Συστήματος (Block Diagram Overview)	22
2.4.2 Υποσυστήματα και Εικονικά Όργανα (Virtual Instruments – VIs)	23
2.4.3 Ρυθμίσεις Παραμέτρων και Βαθμονόμηση	24
2.4.4 Δείκτες Απόδοσης και Στατιστική Παρακολούθηση.....	24
2.4.5 Διασύνδεση με Εξωτερικό Εξοπλισμό (PLC, Encoder, Κάμερα)	25
Κεφάλαιο 3: Αποτελέσματα Λειτουργίας	
3.1 Εφαρμογή στην Γραμμή Παραγωγής	27
3.2 Δεδομένα Λειτουργίας	28
3.3 Μεθοδολογία Αξιολόγησης Απόδοσης και Δείκτες Ποιότητας.....	30
3.3.1 Ορισμοί Δεικτών Ποιότητας	30
3.3.2 Διαδικασία Αξιολόγησης.....	31
3.3.3 Αποτελέσματα & Ερμηνεία.....	31
3.3.4 Συμπεράσματα από τη Μεθοδολογία	32
Κεφάλαιο 4: Συμπεράσματα	
4.1 Κύρια Συμπεράσματα	33
4.2 Προκλήσεις – Περιορισμοί	34
4.3 Αντίκτυπος στην Παραγωγική Διαδικασία	34
4.4 Οικονομοτεχνική Ανάλυση Συστήματος Αυτόματης Διαλογής Blister	35
4.5 Τελικά Συμπεράσματα	37
Κεφάλαιο 5 – Μελλοντικές Προεκτάσεις	
5.1 Ενσωμάτωση Αλγορίθμων Τεχνητής Νοημοσύνης (AI/ML)	38
5.1.1 Αναγνώριση Ελαττωμάτων με Machine Learning	38
5.1.2 Συνεχής Μάθηση (Online Learning)	38
5.2 Ενοποίηση με ERP/MES Συστήματα	39
5.2.1 MES (Manufacturing Execution Systems)	39
5.2.2 ERP (Enterprise Resource Planning).....	39
5.3 Τεχνικές Βελτιώσεις στη Διάταξη	39
5.4 Ανάλυση Δεδομένων και Βελτιστοποίηση Παραγωγής	40
5.5 Πιθανές Επεκτάσεις σε Άλλα Προϊόντα.....	40

Κεφάλαιο 6 – Παράρτημα

6.1. Τεχνικές Προδιαγραφές Εξοπλισμού41

Κεφάλαιο 7 – Βιβλιογραφία

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

Η παρούσα πτυχιακή εργασία πραγματεύεται τον σχεδιασμό, την υλοποίηση και την αξιολόγηση μιας **πειραματικής διάταξης οπτικού ελέγχου και διαλογής blister φαρμάκων** σε γραμμή παραγωγής της φαρμακοβιομηχανίας. Η ανάγκη για αυτοματοποιημένη και αξιόπιστη επιθεώρηση blister με δισκία ανέδειξε τη σημασία ανάπτυξης λύσεων που ενσωματώνουν **αισθητήρες, συστήματα μηχανικής όρασης και ελεγκτές PLC**, με έλεγχο μέσω λογισμικού **LabVIEW**.

Η διάταξη που σχεδιάστηκε αποτελείται από κάμερα υψηλής ευκρίνειας, φωτιστικό τύπου LED, κωδικοποιητής άξονα (shaft encoder) για συγχρονισμό με τη γραμμή και έναν προγραμματιζόμενο λογικό ελεγκτή (PLC) για την απόρριψη των ελαττωματικών προϊόντων. Το λογισμικό ελέγχει και επεξεργάζεται σε πραγματικό χρόνο την εικόνα κάθε blister, εντοπίζοντας ελλείψεις ή μη σύμφωνες θέσεις δισκίων. Η λύση αυτή ενσωματώθηκε επιτυχώς στη γραμμή παραγωγής χωρίς να απαιτείται τροποποίηση της κύριας μηχανής, ενώ τα αποτελέσματα απέδειξαν **πολύ υψηλή ακρίβεια (άνω του 98%)** στον εντοπισμό ελαττωμάτων.

Τέλος, προτείνονται εκτενείς δυνατότητες μελλοντικής επέκτασης του συστήματος, όπως η ενσωμάτωση τεχνητής νοημοσύνης, πολυκάμερης καταγραφής, σύνδεσης με συστήματα ERP/MES και έξυπνου ελέγχου με ανατροφοδότηση. Η εργασία καταδεικνύει τη βιωσιμότητα και την αναγκαιότητα εφαρμογής τέτοιων τεχνολογιών στο πλαίσιο της **Βιομηχανίας 4.0** και της σύγχρονης φαρμακευτικής παραγωγής.

1.1 Περιγραφή Γραμμής Παραγωγής

Η γραμμή παραγωγής blister αποτελεί βασικό τμήμα της φαρμακευτικής βιομηχανίας, εξασφαλίζοντας την τυποποιημένη, ασφαλή και αποδοτική συσκευασία φαρμακευτικών δισκίων (χαπιών). Η συσκευασία τύπου blister (συνήθως PVC/Alu) προστατεύει τα δισκία από την υγρασία, την οξείδωση και τη φυσική φθορά, εξασφαλίζοντας τη σταθερότητα του προϊόντος μέχρι την ημερομηνία λήξης.

Στην περίπτωση της εταιρείας **Genepharma**, η γραμμή παραγωγής περιλαμβάνει μια σειρά πλήρως αυτοματοποιημένων σταδίων, τα οποία περιλαμβάνουν:

- **Διανομή δισκίων** σε καλούπια blister
- **Θερμοδιαμόρφωση της βάσης συσκευασίας (PVC)**
- **Κάλυψη και συγκόλληση με αλουμινόχαρτο (Alu)**
- **Οπτικό έλεγχο πλήρωσης**, σωστής θέσης και ακεραιότητας των δισκίων
- **Αυτόματη απόρριψη** μη συμμορφούμενων μονάδων
- **Κοπή και συσκευασία** των τελικών blister

Ο έλεγχος και η διαλογή των blister πραγματοποιούνται σε πραγματικό χρόνο, καθώς αυτά κινούνται πάνω σε μεταφορικό ιμάντα. Η πειραματική διάταξη που έχει εγκατασταθεί στην εταιρεία περιλαμβάνει **κάμερα**, **φωτιστικό σώμα**, **shaft encoder** και **PLC**, ενώ το περιβάλλον ελέγχου και απεικόνισης έχει υλοποιηθεί μέσω **LabVIEW**.

1.2 Ανάγκες Ελέγχου και Διαλογής

Στο στάδιο συσκευασίας των δισκίων, είναι κρίσιμο να διασφαλιστεί πως κάθε blister περιέχει τον σωστό αριθμό δισκίων, τοποθετημένα σωστά και χωρίς φθορές. Οποιαδήποτε απόκλιση από τις προδιαγραφές μπορεί να οδηγήσει σε απόσυρση προϊόντων, απώλεια αξιοπιστίας και κυρίως σε ενδεχόμενο κίνδυνο για τον τελικό χρήστη.

Οι κυριότερες ανάγκες ελέγχου που προκύπτουν στη γραμμή blister είναι:

- **Εντοπισμός ελλειπών blister** (π.χ. 7 αντί για 10 δισκία)
- **Εντοπισμός σπασμένων ή κατεστραμμένων δισκίων**
- **Εντοπισμός εκτός θέσης δισκίων** (π.χ. μετατοπισμένων)
- **Απόρριψη ελαττωματικών συσκευασιών** με συγχρονισμένη εντολή από το PLC
- **Καταγραφή στατιστικών στοιχείων** για ανάλυση ποιότητας

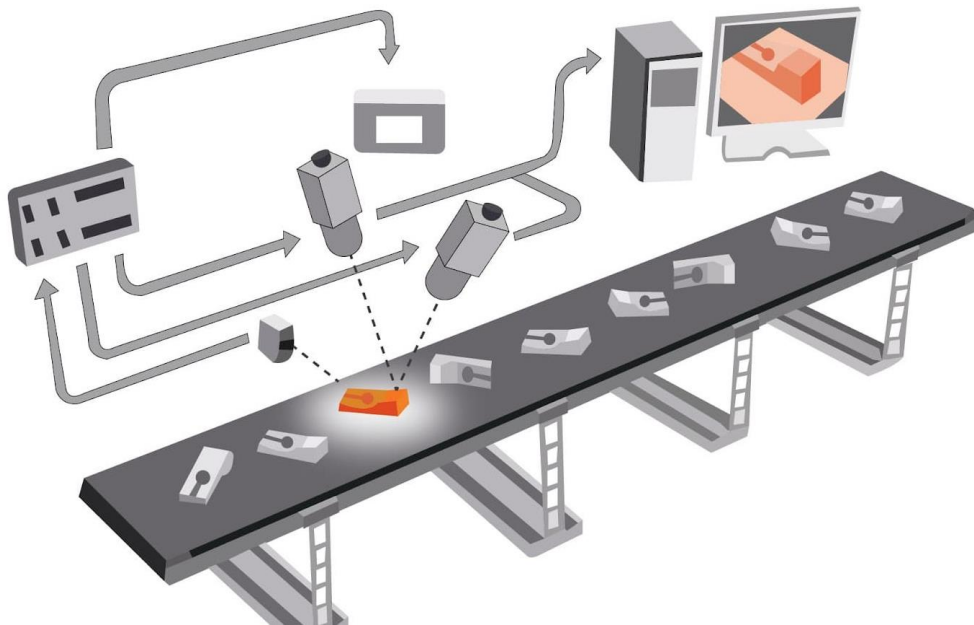
Ο οπτικός έλεγχος σε ταχύτητες παραγωγής μερικών εκατοντάδων μονάδων ανά λεπτό απαιτεί αξιόπιστη, γρήγορη και πλήρως αυτοματοποιημένη ανάλυση εικόνας. Η χρήση

κάμερας, σε συνδυασμό με συγχρονισμό μέσω shaft encoder και εκτελεστικές εντολές σε PLC, καλύπτει ακριβώς αυτές τις απαιτήσεις.

1.3 Τεχνολογίες Ελέγχου Ποιότητας στη Βιομηχανία

Ο ποιοτικός έλεγχος αποτελεί κρίσιμο στάδιο σε κάθε σύγχρονη βιομηχανική διαδικασία, ειδικά στον κλάδο της φαρμακοβιομηχανίας, όπου απαιτείται απόλυτη συμμόρφωση με πρότυπα ασφάλειας, καθαρότητας και ακρίβειας. Η αξιοπιστία μιας γραμμής παραγωγής εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ικανότητά της να εντοπίζει και να διαχειρίζεται εγκαίρως αποκλίσεις, λάθη συσκευασίας ή υλικές ατέλειες. Οι σύγχρονες τεχνολογίες ελέγχου ποιότητας περιλαμβάνουν προηγμένα εργαλεία όρασης μηχανής (machine vision), ενσωματωμένα συστήματα αυτοματισμού και στατιστικά εργαλεία παρακολούθησης της διαδικασίας.

1.3.1 Όραση Μηχανής (Machine Vision)



Εικόνα 1. Τρισδιάστατη κάμερα και έλεγχος παραγωγής (IQSdirectory.com)

Η όραση μηχανής αποτελεί έναν από τους πλέον διαδεδομένους τρόπους αυτοματοποιημένου ελέγχου προϊόντων, ιδίως όταν πρόκειται για έλεγχο παρουσίας, θέσης, χρώματος ή παραμορφώσεων. Ένα σύστημα όρασης μηχανής συνίσταται σε:

- Κάμερα (συνήθως βιομηχανικού τύπου) που καταγράφει την εικόνα του προϊόντος
- Οπτικό σύστημα (φακός + φωτισμός) με κατάλληλη γωνία και ένταση
- Υπολογιστικό σύστημα που επεξεργάζεται την εικόνα σε πραγματικό χρόνο
- Αλγόριθμους που συγκρίνουν το αποτέλεσμα με ένα “πρότυπο αποδοχής”

Η ανάλυση εικόνας περιλαμβάνει τεχνικές όπως:

- **Thresholding:** Δυαδικοποίηση εικόνας με βάση τη φωτεινότητα
- **Blob Analysis:** Αναγνώριση γεωμετρικών χαρακτηριστικών (όπως σχήμα, επιφάνεια, περιφέρεια)
- **Template Matching:** Συγκρίσεις με προκαθορισμένα πρότυπα
- **Edge Detection:** Ανίχνευση ορίων (π.χ. για εντοπισμό ρωγμών ή ατελειών)

Στη συγκεκριμένη πειραματική διάταξη, η μηχανική όραση επιτρέπει τον άμεσο έλεγχο των blister, προσδιορίζοντας εάν όλα τα χάπια βρίσκονται στις θέσεις τους ή αν υπάρχουν κενά, διπλοτυπίες ή ανεπιθύμητα σωματίδια.

1.3.2 Ρόλος των PLC (Programmable Logic Controllers)

Τα PLC αποτελούν σημαντικό εξοπλισμό της αυτοματοποίησης. Στη φαρμακοβιομηχανία, χρησιμοποιούνται για την:

- Επεξεργασία σημάτων από αισθητήρες
- Έλεγχο πνευματικών ή ηλεκτρομηχανικών μηχανισμών (π.χ. απορριπτικό ράμφος)
- Χρονισμό ενεργειών με υψηλή ακρίβεια
- Αντιμετώπιση σφαλμάτων (error handling) και έλεγχο ασφάλειας (safety interlocks)

Η επικοινωνία ενός PLC με ένα εξωτερικό σύστημα όρασης (π.χ. μέσω OPC ή Modbus) επιτρέπει την άμεση αντίδραση σε περιπτώσεις απόρριψης, δημιουργώντας έναν “έξυπνο βρόχο” ποιοτικού ελέγχου.

1.3.3 Κωδικοποιητής άξονα (Shaft Encoder) και Συγχρονισμός

Ο shaft encoder είναι μια κρίσιμη μονάδα συγχρονισμού στη γραμμή παραγωγής. Αποδίδει παλμούς (pulses) ανάλογους με τη γωνιακή κίνηση ενός άξονα (συνήθως του μεταφορικού ιμάντα), επιτρέποντας στο σύστημα να “γνωρίζει” με ακρίβεια πού βρίσκεται κάθε προϊόν.

Αυτή η λειτουργία είναι σημαντική διότι:

- Ορίζει τη **στιγμή** λήψης της εικόνας (trigger)
- Καθοδηγεί το **timing** της απόρριψης
- Διευκολύνει την **ευθυγράμμιση** δεδομένων σε σχέση με το προϊόν

Η χρήση encoder εξασφαλίζει ότι το σύστημα δεν εξαρτάται αποκλειστικά από χρονικές καθυστερήσεις (timers), αλλά από τη **φυσική θέση** του αντικειμένου πάνω στη γραμμή.

1.3.4 Πλεονεκτήματα Αυτοματοποιημένων Συστημάτων Ελέγχου

Τα αυτοματοποιημένα συστήματα ελέγχου στη φαρμακοβιομηχανία προσφέρουν:

- **Αξιοπιστία:** Λιγότερα σφάλματα σε σχέση με τον ανθρώπινο έλεγχο
- **Ταχύτητα:** Έλεγχος εκατοντάδων προϊόντων ανά λεπτό
- **Ιχνηλασιμότητα:** Καταγραφή δεδομένων παρτίδων για κάθε blister
- **Ευελιξία:** Ευκολία επαναπρογραμματισμού για διαφορετικά προϊόντα
- **Κανονιστική συμμόρφωση:** Εναρμόνιση με GMP, ISO 13485 και GAMP 5

Η επένδυση σε τέτοια συστήματα, παρόλο που ενδέχεται να έχει αυξημένο αρχικό κόστος, προσφέρει σημαντική εξοικονόμηση πόρων μακροπρόθεσμα, με παράλληλη ενίσχυση της φήμης και της αξιοπιστίας της επιχείρησης.

1.4 Ιστορικό και Βασικές Αρχές της Μηχανικής Όρασης

1.4.1 Ιστορική Αναδρομή της Μηχανικής Όρασης

Η μηχανική όραση (machine vision) αποτελεί έναν ταχέως αναπτυσσόμενο κλάδο που συνδυάζει οπτικούς αισθητήρες, λογισμικό επεξεργασίας εικόνας και αλγορίθμους ανάλυσης με στόχο την αυτοματοποιημένη «κατανόηση» οπτικών δεδομένων. Οι ρίζες της τεχνολογίας εντοπίζονται στα μέσα του 20ού αιώνα:

- **1960s–1970s:** Εμφάνιση των πρώτων πρωτόγονων συστημάτων αναγνώρισης χαρακτήρων (OCR), καθώς και πρώιμων προσπαθειών για επεξεργασία εικόνας από ψηφιοποιημένες κάμερες.
- **1980s:** Η διάδοση των προσωπικών υπολογιστών και των CCD καμερών επέτρεψε την ανάπτυξη πρώτων βιομηχανικών εφαρμογών σε συναρμολόγηση και έλεγχο ποιότητας.
- **1990s–2000s:** Η βελτίωση της υπολογιστικής ισχύος επέτρεψε τη χρήση πιο σύνθετων αλγορίθμων, όπως ανίχνευση ακμών, προτυποποίηση (template matching), και ανάλυση χαρακτηριστικών.
- **2010s–σήμερα:** Η είσοδος της τεχνητής νοημοσύνης, και κυρίως των deep learning τεχνικών, έφερε επανάσταση στη μηχανική όραση, επιτρέποντας την αναγνώριση αντικειμένων με ακρίβεια που προσεγγίζει ή και ξεπερνά την ανθρώπινη.

Σήμερα, τα συστήματα μηχανικής όρασης αποτελούν βασικό πυλώνα της Βιομηχανίας 4.0 και χρησιμοποιούνται σε τομείς όπως η φαρμακοβιομηχανία, η αυτοκινητοβιομηχανία, η γεωργία ακριβείας, η ρομποτική, και η ασφάλεια.

1.4.2 Ορισμός και Διακριτά Στοιχεία Μηχανικής Όρασης

Η μηχανική όραση είναι η τεχνολογική διεργασία μέσω της οποίας ένα σύστημα συλλέγει, επεξεργάζεται και ερμηνεύει εικόνες ή βίντεο για την εξαγωγή χρήσιμων πληροφοριών. Ένα πλήρες σύστημα μηχανικής όρασης περιλαμβάνει:

Εξοπλισμός	Περιγραφή
Κάμερα	Αισθητήρας που συλλέγει το οπτικό σήμα (συνήθως CCD ή CMOS).
Φωτισμός	Συστήματα LED ή laser που εξασφαλίζουν ομοιομορφία και επαναληψιμότητα εικόνων.
Οπτικά (φακοί)	Φακοί σταθερής ή μεταβλητής εστίασης, με χρήση φίλτρων για μείωση αντανακλάσεων ή ανάδειξη χαρακτηριστικών.
Σύστημα Επεξεργασίας	Επεξεργασία σήματος και εικόνας μέσω υπολογιστή, PLC ή ενσωματωμένου επεξεργαστή.
Αλγόριθμοι Ανάλυσης	Εντοπισμός, μέτρηση, ταξινόμηση και απόρριψη με βάση συγκεκριμένα κριτήρια.

1.4.3 Θεμελιώδεις Αρχές Επεξεργασίας Εικόνας

Η λειτουργία ενός συστήματος μηχανικής όρασης βασίζεται σε μια σειρά από βασικές τεχνικές επεξεργασίας εικόνας, όπως:

A) Μετατροπή Χρώματος (Grayscale / Thresholding)

Η έγχρωμη εικόνα μετατρέπεται σε μονόχρωμη (grayscale) και στη συνέχεια εφαρμόζεται binarization μέσω κατωφλίου, ώστε να διαχωριστούν τα αντικείμενα από το υπόβαθρο.

B) Ανίχνευση Περιγραμμάτων (Edge Detection)

Χρησιμοποιούνται τελεστές όπως Sobel, Canny ή Prewitt για τον εντοπισμό ορίων μεταξύ διαφορετικών περιοχών χρωματικής ή φωτεινής αντίθεσης.

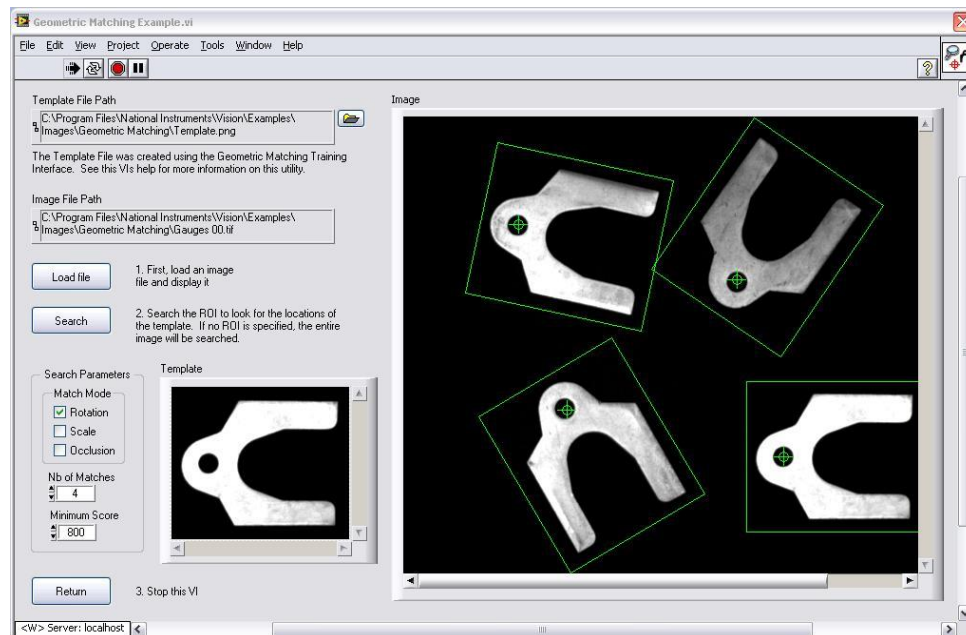
Γ) Morphological Operations

Πράξεις όπως erosion, dilation, opening και closing χρησιμοποιούνται για τον καθαρισμό της εικόνας από θόρυβο και τη σύνδεση διακεκομμένων περιοχών.

Δ) Blob Analysis

Η τεχνική αυτή επιτρέπει την αναγνώριση και μέτρηση «όγκων» ή περιοχών ενδιαφέροντος στην εικόνα. Παρέχει χαρακτηριστικά όπως εμβαδό, θέση κέντρου, μήκος/πλάτος, συμμετρία, κλπ.

Ε) Template Matching & Pattern Recognition



Εικόνα 2. Παράδειγμα Ταύτισης Προτύπου (από το εγχειρίδιο χρήσης της κάμερας)

Συγκρίνεται η πραγματική εικόνα με προκαθορισμένα πρότυπα (templates) και αξιολογείται ο βαθμός ταύτισης.

1.4.4 Εφαρμογές στη Φαρμακευτική Παραγωγή

Η μηχανική όραση είναι ιδιαιτέρως διαδεδομένη στη φαρμακοβιομηχανία, με κύριες εφαρμογές:

- Έλεγχος παρουσίας ή απουσίας δισκίων σε blister.
- Ανίχνευση ελαττωμάτων όπως θρυμματισμένα χάπια, ρωγμές, ή κενά κελιά.
- Επιβεβαίωση εκτύπωσης ημερομηνίας λήξης ή κωδικού παρτίδας.
- Επιθεώρηση τελικής συσκευασίας για πλήρη ιχνηλασιμότητα.

Η αυστηρότητα των προτύπων ποιότητας (π.χ. **GMP, FDA, ISO 13485**) καθιστά απαραίτητη την ύπαρξη τέτοιων συστημάτων, προκειμένου να διασφαλιστεί η ασφάλεια του ασθενούς και η συμμόρφωση με τις κανονιστικές απαιτήσεις.

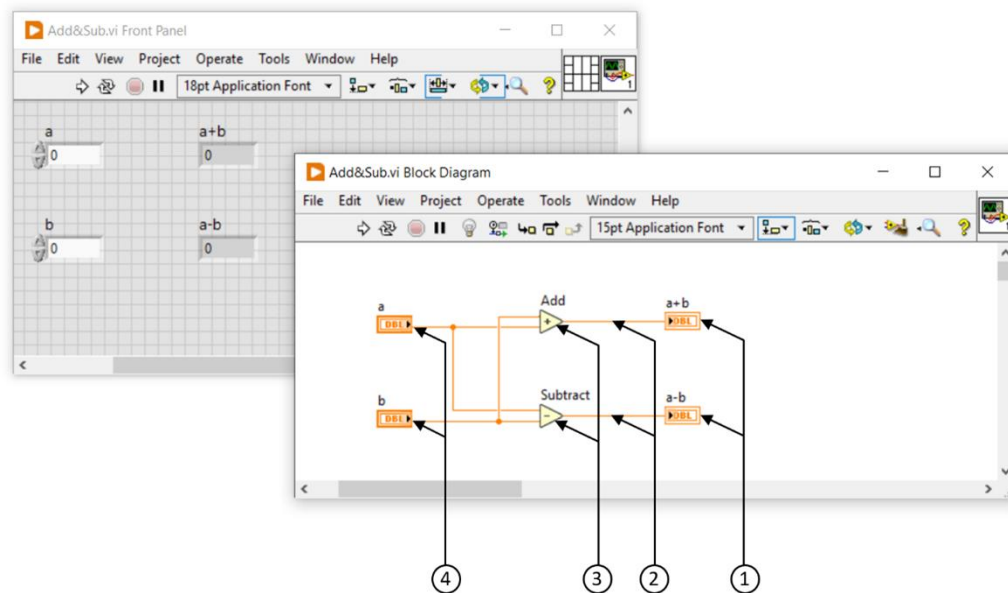
1.4.5 Σύνοψη

Η μηχανική όραση αποτελεί κρίσιμο εργαλείο για τον έλεγχο ποιότητας και την αυτοματοποίηση παραγωγικών διαδικασιών. Η διασύνδεσή της με σύγχρονα εργαλεία ανάλυσης και τεχνητής νοημοσύνης την καθιστά αναπόσπαστο τμήμα του έξυπνου εργοστασίου του μέλλοντος.

1.5 Επιλογή Πλατφόρμας Ανάπτυξης: LabVIEW έναντι Εναλλακτικών Λύσεων

Η επιλογή της κατάλληλης πλατφόρμας ανάπτυξης για τη δημιουργία ενός αυτοματοποιημένου συστήματος ποιοτικού ελέγχου αποτελεί κρίσιμη απόφαση που επηρεάζει την αξιοπιστία, την ευελιξία και τη δυνατότητα επέκτασης της τελικής λύσης. Στην παρούσα εργασία, επιλέχθηκε το **LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench)** της **National Instruments**, ως το κύριο εργαλείο για την ανάπτυξη του λογισμικού διασύνδεσης, ελέγχου και απεικόνισης. Η απόφαση αυτή βασίστηκε σε συγκεκριμένα πλεονεκτήματα που προκύπτουν από συγκριτική ανάλυση με εναλλακτικές πλατφόρμες.

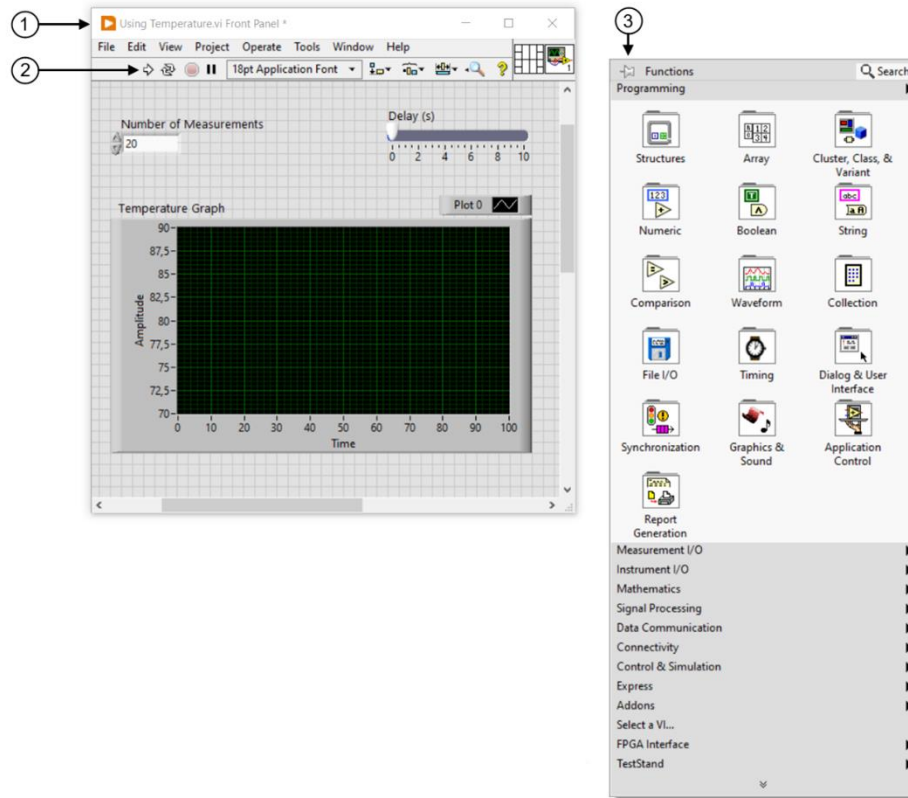
1.5.1 LabVIEW: Γραφικό και Παραμετρικό Περιβάλλον Προγραμματισμού



Εικόνα 3. Παράδειγμα Διαγράμματος Ροής στο LabVIEW (Πηγή: LabVIEW)

Το LabVIEW είναι ένα **προγραμματιστικό περιβάλλον βασισμένο σε διαγράμματα ροής (block diagrams)**, σχεδιασμένο ειδικά για εφαρμογές συλλογής δεδομένων, ελέγχου και αυτοματισμού. Τα βασικά πλεονεκτήματά του περιλαμβάνουν:

- **Απλοποιημένη ανάπτυξη εφαρμογών σε πραγματικό χρόνο**, χωρίς ανάγκη για κλασικό κώδικα (π.χ. C++ ή Python).
- Άμεση **υποστήριξη hardware modules** (DAQ, κάμερες, αισθητήρες, PLCs) μέσω drivers της NI.
- Ενσωματωμένα εργαλεία για **GUI, data logging, ανάλυση σήματος και εικόνας**.
- Πολύ καλή υποστήριξη για **real-time systems** και **FPGA-based deployment**.



Εικόνα 4. Παράδειγμα Γραφικού Περιβάλλοντος LabVIEW (Πηγή: LabVIEW)

Η δυνατότητα **ταχείας ανάπτυξης πρωτοτύπων (rapid prototyping)** σε συνδυασμό με την **γραφική διεπαφή** το καθιστά ιδανικό για πειραματικές διατάξεις όπως αυτή της παρούσας εργασίας.

1.5.2 Σύγκριση με Κλασικά Προγραμματιστικά Περιβάλλοντα (π.χ. Python, C++, MATLAB)

Παρότι το LabVIEW είναι εξαιρετικό για εφαρμογές μέτρησης και ελέγχου, υπάρχουν άλλες δημοφιλείς πλατφόρμες που χρησιμοποιούνται σε βιομηχανικές και ερευνητικές εφαρμογές, όπως:

Πλατφόρμα	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Python (OpenCV, PyVISA, PyPLC)	Ανοιχτού κώδικα, τεράστια κοινότητα, πλήθος βιβλιοθηκών AI/ML.	Απαιτεί περισσότερο προγραμματιστικό χρόνο και debugging.
C++	Υψηλές επιδόσεις, real-time control, συμβατότητα με embedded συστήματα.	Πολύπλοκος κώδικας, αυξημένη ανάγκη για διαχείριση μνήμης και εξαίρέσεων.
MATLAB + Simulink	Ισχυρό στην ανάλυση σήματος και μοντελοποίηση συστημάτων.	Ακριβή άδεια, όχι ιδιαίτερα βολικό για real-time εφαρμογές παραγωγής.

Η επιλογή μιας από αυτές τις πλατφόρμες θα απαιτούσε μεγαλύτερο χρόνο ανάπτυξης, περισσότερη προσπάθεια στη διασύνδεση με PLCs/κάμερες, και πιθανώς περισσότερους πόρους για testing και debugging. Αντίθετα, το LabVIEW παρέχει ενιαίο περιβάλλον ανάπτυξης, υποστήριξη driver-level επικοινωνίας και εύκολη παραμετροποίηση γραφικών διεπαφών (GUIs).

1.5.3 Κόστος και Υποστήριξη

Αν και το LabVIEW δεν είναι δωρεάν, προσφέρει εκπαιδευτικές άδειες, τεχνική υποστήριξη από την National Instruments, καθώς και τεκμηριωμένα παραδείγματα και templates. Για ένα βιομηχανικό περιβάλλον όπως αυτό της Genepharma, που απαιτεί σταθερότητα, υποστήριξη και μακροπρόθεσμη συντήρηση, το LabVIEW αποτελεί ασφαλή επιλογή, ειδικά όταν συνδυάζεται με hardware της NI ή άλλων συμβατών κατασκευαστών.

1.5.4 Συμπερασματικά

Η επιλογή του LabVIEW δικαιολογείται πλήρως, τόσο από την άποψη λειτουργικότητας, όσο και από την αξιοπιστία και ευκολία ενσωμάτωσης σε βιομηχανικά περιβάλλοντα. Σε εφαρμογές όπου το πρωτεύον ζητούμενο είναι ο γρήγορος και σταθερός έλεγχος εξοπλισμού, με δυνατότητα παρακολούθησης και διασύνδεσης, το LabVIEW παραμένει μια από τις πιο αποδοτικές λύσεις για μηχανικούς παραγωγής και αυτοματισμού.

1.6 Στόχος της Εργασίας

Η παρούσα πτυχιακή εργασία έχει ως στόχο την αναλυτική παρουσίαση, αξιολόγηση και τεχνική τεκμηρίωση της **πειραματικής διάταξης ελέγχου και διαλογής blister με δισκία**, που εγκαταστάθηκε στη γραμμή παραγωγής της Generpharm.

Η διάταξη αυτή βασίζεται σε τέσσερα βασικά τεχνολογικά στοιχεία:

- **Οπτικό σύστημα (κάμερα και φωτισμός)** για τη λήψη και επεξεργασία εικόνας
- **Shaft encoder**, για συγχρονισμό εικόνας με τη φυσική κίνηση του μεταφορικού ιμάντα
- **PLC**, για την ενεργοποίηση των μηχανισμών απόρριψης
- **LabVIEW**, ως περιβάλλον ανάπτυξης της διεπαφής χειριστή και της λογικής ελέγχου

Τα επιμέρους ερευνητικά και τεχνικά στοιχεία που καλύπτονται περιλαμβάνουν:

1. **Σχεδιασμός και τοποθέτηση της πειραματικής διάταξης** στο βιομηχανικό περιβάλλον
2. **Ο ρόλος κάθε υποσυστήματος (κάμερα, encoder, PLC) και πώς διασυνδέονται**
3. **Υλοποίηση του αλγόριθμου ελέγχου και απεικόνισης μέσω LabVIEW**
4. **Δεδομένα λειτουργίας και η αξιολόγηση απόδοσης της διάταξης**
5. **Περιθώρια μελλοντικής επέκτασης**, τόσο λειτουργικά όσο και τεχνολογικά

Σκοπός της εργασίας δεν είναι μόνο η περιγραφή της υλοποιημένης διάταξης, αλλά και η κριτική αποτίμησή της ως πιλοτικό παράδειγμα για **έξυπνες μονάδες ελέγχου ποιότητας** στον κλάδο της φαρμακοβιομηχανίας. Μέσω της εργασίας αυτής, αναδεικνύεται ο ρόλος του μηχανικού παραγωγής και διοίκησης στην ενσωμάτωση αυτοματισμών και προηγμένων τεχνολογιών σε πραγματικές βιομηχανικές εφαρμογές.

Κεφάλαιο 2: Πειραματική Διάταξη Διαλογής Φαρμάκων

2.1 Αρχικός Σχεδιασμός και Τοποθέτηση

Η πειραματική διάταξη διαλογής φαρμάκων εγκαταστάθηκε στη γραμμή blister της Generpharm, σε σημείο **μετά τη μονάδα πλήρωσης και πριν τη μονάδα κοπής και συσκευασίας**. Σκοπός της διάταξης είναι η **οπτική επιθεώρηση των blister σε πραγματικό χρόνο** και η αυτόματη απόρριψη των ελαττωματικών μονάδων, χωρίς να διακόπτεται η ροή της γραμμής.



Εικόνα 5. Πειραματική Διάταξη Ελέγχου με Σύστημα Μηχανικής Όρασης (Πηγή: Ιδία λήψη)

Επιλογή Θέσης

Η επιλογή της θέσης εγκατάστασης ακολούθησε τα εξής κριτήρια:

- Να υπάρχει **σταθερή ταχύτητα κίνησης** των blister
- Να υπάρχει **ικανοποιητική προσβασιμότητα για κάμερα και φωτισμό**
- Να προηγείται η μονάδα απορριπτικού μηχανισμού
- Να διατίθεται **σήμα χρονισμού (encoder)** για συγχρονισμό λήψης

Η διάταξη εγκαταστάθηκε σε **ελαφρύ μεταλλικό πλαίσιο στήριξης** τύπου aluminum profile, το οποίο επιτρέπει ρύθμιση ύψους και γωνίας. Ο φωτισμός τοποθετήθηκε περιφερειακά ή/και πάνω από το σημείο επιθεώρησης (ανάλογα με τη φωτεινότητα blister και tablet), ώστε να ελαχιστοποιούνται οι σκιές και να διασφαλίζεται η καθαρή απεικόνιση.

2.2 Διαδικασία Ελέγχου και Διασύνδεση Υποσυστημάτων

Η λειτουργία του συστήματος βασίζεται στη **συνεργασία τεσσάρων βασικών υπομονάδων**:

1. Κάμερα (Vision System)



Εικόνα6. Κάμερα Basler ace2 για σύστημα μηχανικής όρασης (Basler, επίσημη ιστοσελίδα)

Η κάμερα είναι το βασικό μέσο οπτικής επιθεώρησης. Η επιλογή έγινε με βάση:

- **Ανάλυση:** επαρκής για εντοπισμό διαφοράς μεγέθους μεταξύ πλήρους και κενής θήκης
- **Ρυθμός καρτέ:** συγχρονισμένος με την ταχύτητα του ιμάντα
- **Trigger input:** δυνατότητα συγχρονισμένης λήψης από εξωτερικό encoder

Συνδέεται μέσω USB ή βιομηχανικού interface (GigE, CameraLink) με τον υπολογιστή που τρέχει το **LabVIEW**.

2. Φωτισμός



Εικόνα 7. Βιομηχανικό Δαχτυλίδι LED Φωτισμού για Συστήματα Μηχανικής Όρασης (Πηγή: Smart Vision Lights, www.smartvisionlights.com)

Η επιλογή του φωτιστικού έγινε με στόχο τη σταθερότητα και την αποφυγή ανακλάσεων. Συνήθως χρησιμοποιείται:

- **LED φωτισμός με διάχυση** (diffuse lighting)
- **Πίνακας ή δαχτυλίδι** γύρω από την κάμερα (ανάλογα με τις αντανakλάσεις του blister)
- **Σταθερή θερμοκρασία χρώματος** (π.χ. 5000K) για συνέπεια στις εικόνες

3. Shaft Encoder



Εικόνα 8. Shaft Encoder ως στοιχείο χρονομέτρησης (Πηγή: ίδια λήψη)

Το shaft encoder είναι το κρίσιμο στοιχείο χρονισμού. Είναι μηχανικά συνδεδεμένος με τον άξονα του μεταφορικού ιμάντα και παράγει **παλμούς (pulses)** αναλογικά με την κίνηση.

Οι παλμοί αυτοί:

- Μεταφέρονται στο LabVIEW ως σήμα trigger για λήψη εικόνας
- Χρησιμοποιούνται για **υπολογισμό απόστασης και χρονισμού απόρριψης**
- Ενισχύουν την **ακρίβεια στη χωρική αντιστοίχιση εικόνας-blister**

4. PLC



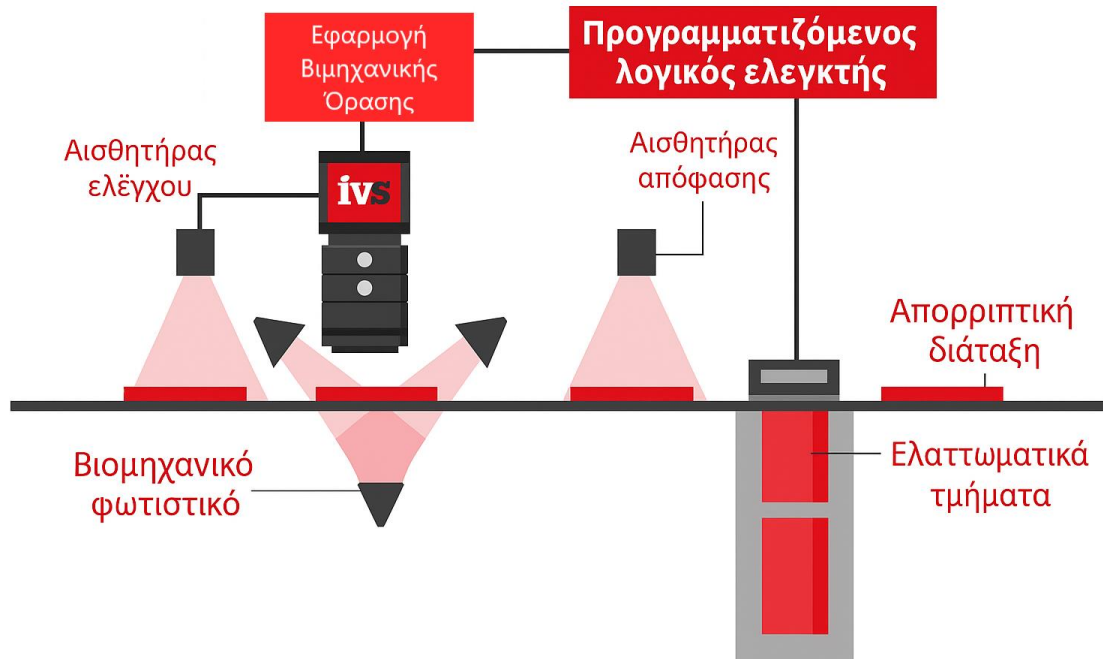
Εικόνα 9. Προγραμματιζόμενος Λογικός Ελεγκτής (PLC) Siemens SIMATIC S7-200 (Πηγή: Siemens AG, www.siemens.com)

Ο προγραμματιζόμενος ελεγκτής (PLC) δέχεται εντολή από το σύστημα LabVIEW (μέσω ψηφιακού σήματος ή επικοινωνιακού πρωτοκόλλου) και ενεργοποιεί:

- **Απορριπτικό πνευματικό έμβολο (ή βραχίονα)**
- **Οπτική ένδειξη συναγερμού (π.χ. κόκκινη λυχνία)** σε περίπτωση διαδοχικών σφαλμάτων
- **Καταγραφή πλήθους απορριφθέντων μονάδων**

Η επικοινωνία PLC–LabVIEW μπορεί να γίνει είτε μέσω ψηφιακών εξόδων (DAQ), είτε μέσω Modbus/OPC σε περίπτωση συμβατών συσκευών.

5. Διασύνδεση και Ροή Δεδομένων



Εικόνα 10. Παράδειγμα πειραματικής διάταξης (Πηγή: Ιδία επεξεργασία, με χρήση ChatGPT (OpenAI))

Στην Εικόνα 8 φαίνεται η βασική ροή λειτουργίας:

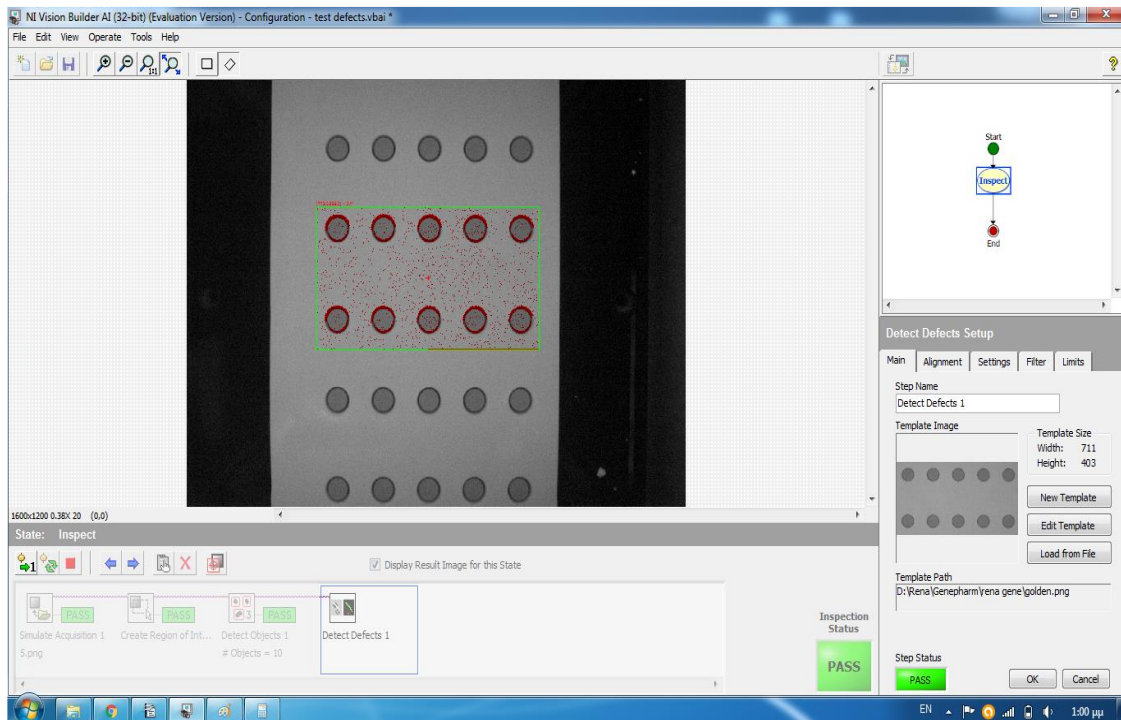
1. Κίνηση blister στον ιμάντα
2. Trigger από encoder → LabVIEW → λήψη εικόνας
3. Ανάλυση εικόνας → απόφαση (OK / NOT OK)
4. Σήμα απόρριψης → PLC → έμβολο απομάκρυνσης
5. Αποθήκευση καταγραφής και εικόνας σε βάση δεδομένων

2.3 Λειτουργία και Αρχική Βαθμονόμηση

Η επιτυχής λειτουργία του συστήματος εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη σωστή **αρχική βαθμονόμηση**.

1. Οπτική Βαθμονόμηση Κάμερας

- Τοποθέτηση κάμερας κάθετα στον ιμάντα
- Ρύθμιση **focus**, **φωτεινότητας**, και **αντίθεσης**
- Καθορισμός περιοχών ενδιαφέροντος (ROI) ανά blister
- Εισαγωγή reference εικόνας “πλήρους blister”



Εικόνα 11. Παράδειγμα αρχικής παραμετροποίησης στο LabView (Πηγή: Ιδία λήψη)

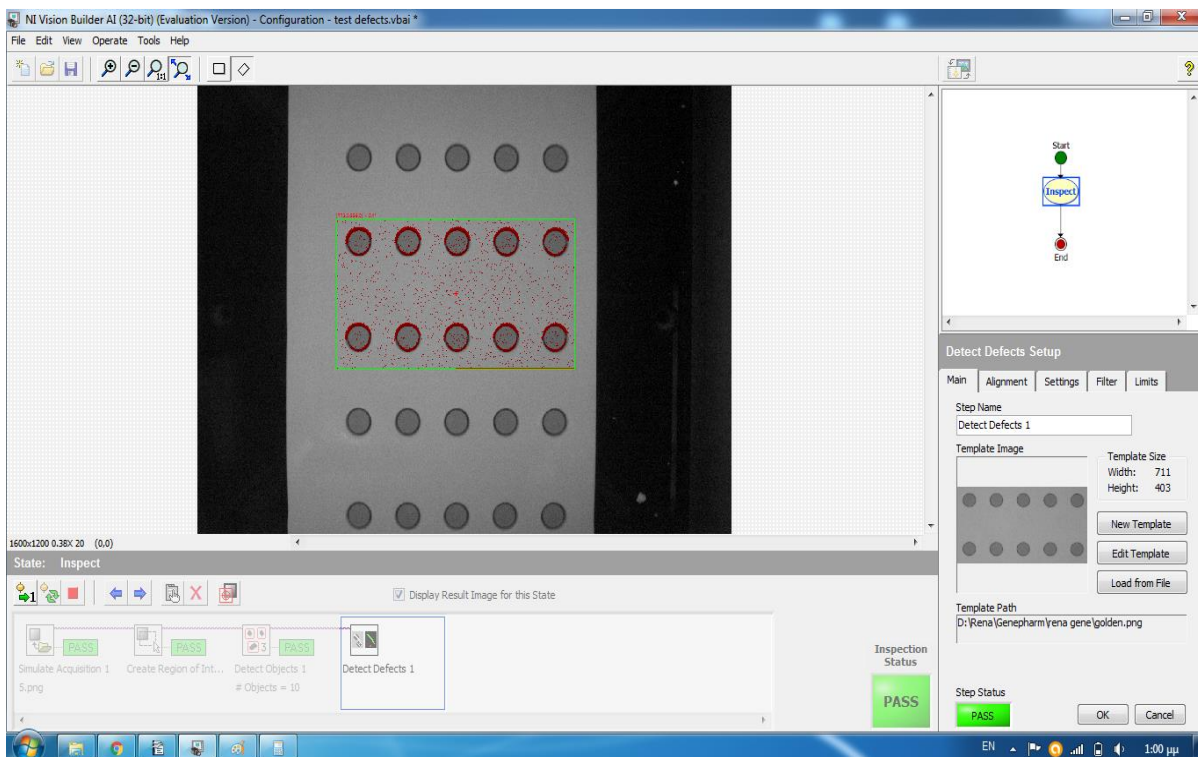
1. Συγχρονισμός με Encoder



Εικόνα 12. Αρχικό Μενού Οθόνης Ελέγχου Μηχανήματος Blister (πηγή: Ιδία λήψη)

- **BLISTERS:** ο αριθμός των blister ανα περιστροφή
- **ANGLE:** η γωνία συγχρονισμού της κάμερας με την μηχανή
- **B:** τα βήματα για την απόρριψη σκάρτου blister
- **F:** τα βήματα για την απόρριψη της συγκόλλησης του FOIL
- **P:** τα βήματα για την απόρριψη της συγκόλλησης του PVC

2. Ρύθμιση Ορίων Αποδοχής



Εικόνα 13. Ρύθμιση Ορίων Αποδοχής στο Λογισμικό NI Vision Builder για Ανίχνευση Χαπών (Πηγή: Ιδία λήψη)

Detect Defects Setup

Main Alignment Settings Filter Limits

Pass Inspection if...

☐ Maximum Total Defect Area (pix²) 100

☐ Maximum Largest Defect Area (pix²) 100

☒ Maximum Percent Defect 8

☐ Maximum Number of Defects 100

Total Defect Area (pix ²)	22602
Largest Defect Area (pix ²)	1108
Percent Defect	7,888
Number of Defects	4112

Step Status

PASS OK Cancel

Εικόνα 14. Καθορισμός Ορίων Αποδοχής Ελαττωμάτων (Limits) στο NI Vision Builder (Πηγή: Ιδία λήψη)

Detect Defects Setup

Main Alignment Settings Filter Limits

Look For Dark Defects

Intensity No Change

Ignore Edges ☐ Edge Thickness 1

Bright Level 10

Dark Level 10

Bright Defects ☒ Dark Defects ☒

Total Defect Area (pix ²)	22602
Largest Defect Area (pix ²)	1108
Percent Defect	7,888
Number of Defects	4112

Step Status Display

PASS Overlay OK Cancel

Εικόνα 15. Ρυθμίσεις Ανίχνευσης Ελαττωμάτων (Settings) στο NI Vision Builder (Πηγή: Ιδία λήψη)

Detect Defects Setup

Main Alignment Settings Filter Limits

Step Name

Detect Defects 1

Template Image

Template Size

Width: 711

Height: 403

New Template

Edit Template

Load from File

Template Path

D:\Rena\Genepharm\rena gene\golden.png

Step Status

PASS OK Cancel

Εικόνα 16. Καθορισμός Προτύπου (Main) στο NI Vision Builder (Πηγή: Ιδία λήψη)

Detect Defects Setup

Main Alignment Settings Filter Limits

Center X 773

Center Y 556

Angle (deg) 0,1

☐ Reposition Region of Interest

Reference Coordinate System

Scale (%)

100

Alignment Correction

Perspective

Total Defect Area (pix ²)	22602
Largest Defect Area (pix ²)	1108
Percent Defect	7,888
Number of Defects	4112

Step Status Display

PASS Overlay OK Cancel

Εικόνα 17. Ρυθμίσεις Ευθυγράμμισης (Alignment) στο NI Vision Builder (Πηγή: Ιδία λήψη)

- Ανίχνευση pixel αντίθεσης σε κάθε θήκη
- Ανίχνευση παρουσίας/απουσίας δισκίου
- Καθορισμός ποσοστού “πλήρωσης” ή ανοχής (π.χ. >80% pixel = OK)

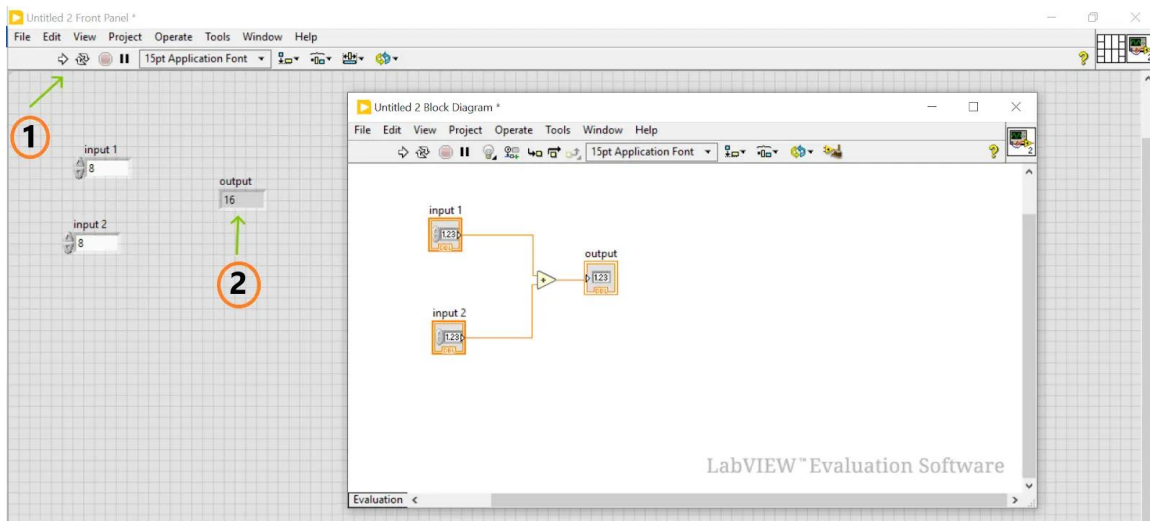
4. Δοκιμαστικές Λειτουργίες (Dry Runs)

- Λειτουργία χωρίς απόρριψη για συλλογή στατιστικών
- Επαλήθευση επιτυχίας στην αναγνώριση
- Τελική ενεργοποίηση απόρριψης

2.4 Ανάλυση Κώδικα LabVIEW

Το λογισμικό LabVIEW χρησιμοποιήθηκε ως η βασική πλατφόρμα για τον έλεγχο της διάταξης, την επεξεργασία εικόνας και την επικοινωνία με τον PLC. Η γραφική φύση του LabVIEW προσφέρει σημαντική ευελιξία στον σχεδιασμό σύνθετων ελέγχων χωρίς την ανάγκη παραδοσιακού προγραμματισμού κώδικα. Το πρόγραμμα σχεδιάστηκε με στόχο την αξιοπιστία, την επεκτασιμότητα και την ευκολία βαθμονόμησης.

2.4.1 Δομή του Συστήματος (Block Diagram Overview)



Εικόνα 18. Παράδειγμα Front Panel και Block Diagram στο LabVIEW (Πηγή: LabVIEW Evaluation Software, ίδια λήψη)

Το πρόγραμμα υλοποιήθηκε με την αρχιτεκτονική **State Machine**, η οποία επιτρέπει την εύκολη προσθήκη/αλλαγή λειτουργικών καταστάσεων. Οι βασικές καταστάσεις είναι:

- **Initialization:** Ρύθμιση μεταβλητών, έλεγχος επικοινωνιών, αρχικοποίηση καμερών και I/O.
- **Image Acquisition:** Λήψη εικόνας με trigger από shaft encoder ή software timer.
- **Image Processing:** Ανάλυση εικόνας, ανίχνευση blister και χαπιών, σύγκριση με αποδεκτό πρότυπο.
- **Decision Logic:** Καθορισμός αποδοχής ή απόρριψης προϊόντος.
- **PLC Communication:** Αποστολή ψηφιακής εξόδου (bit ή flag) για την ενεργοποίηση του απορριπτικού μηχανισμού.
- **Logging:** Καταγραφή αποτελεσμάτων και στατιστικών (σε .csv ή τοπική βάση δεδομένων).
- **Error Handling:** Ανίχνευση σφαλμάτων και εμφάνιση σχετικού μηνύματος στο UI.

2.4.2 Υποσυστήματα και Εικονικά Όργανα (Virtual Instruments – VIs)

Το πρόγραμμα διασπάστηκε σε επιμέρους υποσυστήματα, τα οποία οργανώθηκαν ως modular VIs:

VI	Περιγραφή
Camera_Init.vi	Ρυθμίζει τις παραμέτρους κάμερας (ανάλυση, frame rate, exposure) μέσω Vision Acquisition.
Trigger_Handler.vi	Λαμβάνει παλμούς από το encoder ή σήμα από το PLC για συγχρονισμό.
Image_Processing.vi	Εντοπίζει περιοχές ενδιαφέροντος (ROIs), εφαρμόζει thresholding, blob analysis, και συγκρίνει με πρότυπο.
Result_Evaluation.vi	Υπολογίζει ποσοστά πλήρωσης blister, ελέγχει για ελλείψεις ανωμαλίες.
PLC_Write.vi	Στέλνει ψηφιακό σήμα προς το PLC (π.χ. Bit 1 για Rejection).

VI	Περιγραφή
Logger.vi	Καταγράφει την ημερομηνία, το αποτέλεσμα ελέγχου, και τις τιμές των μετρούμενων παραμέτρων.
UI_Controller.vi	Διαχειρίζεται την αλληλεπίδραση με τον χρήστη, εμφανίζει εικόνες, στατιστικά και alerts.

2.4.3 Ρυθμίσεις Παραμέτρων και Βαθμονόμηση

Κατά την πρώτη εγκατάσταση, κρίσιμο βήμα ήταν η σωστή βαθμονόμηση του συστήματος. Ορισμένες βασικές παράμετροι περιλαμβάνουν:

- **Threshold (intensity):** Ρύθμιση του επιπέδου φωτεινότητας πάνω από το οποίο ένα pixel θεωρείται “γεμάτο”.
- **Blob Min/Max Area:** Κατώφλι επιφάνειας για να διαχωρίσουμε νόμιμα χάπια από σκιές/θορύβους.
- **Acceptable Count:** Αριθμός χαπιών ανά blister που χαρακτηρίζει το προϊόν ως “καλό” (π.χ. 10/10).
- **Delay Time (ms):** Καθυστερήση μεταξύ λήψης εικόνας και αποστολής σήματος στο PLC, ώστε να αντιστοιχεί σωστά στο προϊόν.
- **ROI Placement:** Καθορισμός των περιοχών ελέγχου στο πεδίο της εικόνας (επιτρέπει προσαρμογή σε διαφορετικά formats blister).

Όλες οι παραπάνω παράμετροι ρυθμίζονται από τον χρήστη μέσω του front panel, χωρίς ανάγκη επαναπρογραμματισμού.

2.4.4 Δείκτες Απόδοσης και Στατιστική Παρακολούθηση

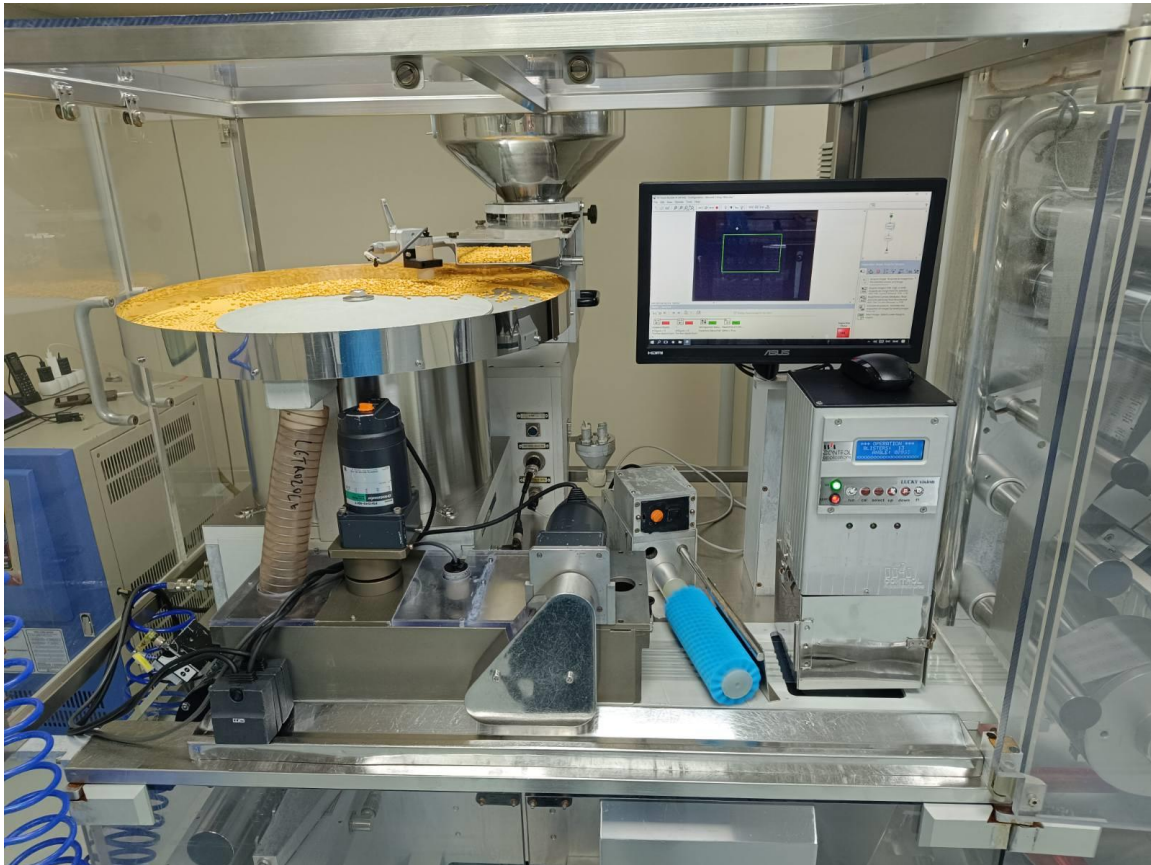
Το πρόγραμμα υπολογίζει σε πραγματικό χρόνο:

- Ποσοστό απόρριψης (% reject rate)
- Σύνολο ελεγχθέντων τεμαχίων
- False positives / False negatives
- Μέση απόκριση συστήματος (ms)

- **Ροή προϊόντων ανά λεπτό (rpm)**

Η καταγραφή σε αρχείο .csv επιτρέπει την ανάλυση τάσεων, την ταυτοποίηση προβλημάτων και την υποστήριξη ελέγχων ποιότητας κατά τις επιθεωρήσεις (π.χ. από τον ΕΟΦ ή τον ΕΜΑ).

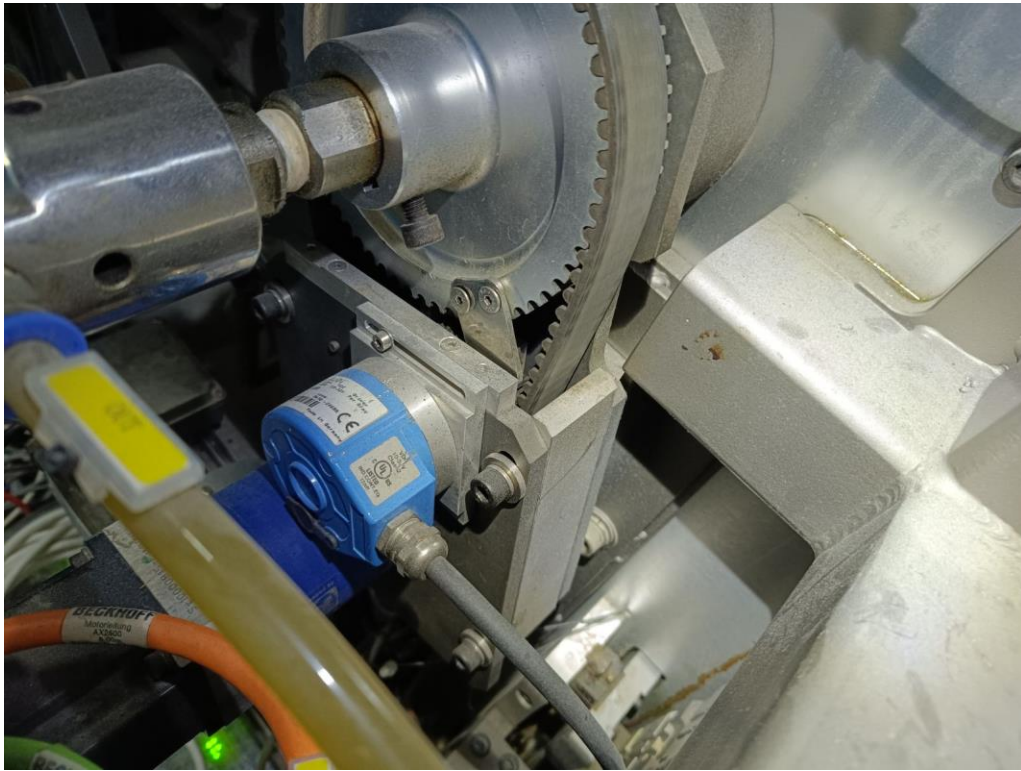
2.4.5 Διασύνδεση με Εξωτερικό Εξοπλισμό (PLC, Encoder, Κάμερα)



Εικόνα 19. Πραγματική Εγκατάσταση του Συστήματος Μηχανικής Όρασης με Σύνδεση σε PLC, Encoder και Κάμερα (Πηγή: Ιδία λήψη)

Η διασύνδεση του LabVIEW με τον εξοπλισμό έγινε ως εξής:

- **Κάμερα:** Ενσωματώθηκε μέσω του Vision Acquisition Software (IMAQdx driver), με επικοινωνία GigE.
- **PLC (Siemens S7-1200):** Επικοινωνία μέσω OPC UA Server ή Modbus TCP.
- **Encoder:** Σύνδεση στον PLC, με μεταφορά παλμών στο LabVIEW μέσω shared variables.



Εικόνα 20. Πραγματική Εγκατάσταση του Shaft Encoder στο Μηχάνημα (Πηγή: Ιδία λήψη)

- **Φωτιστικό:** Ρυθμιζόμενο μέσω αναλογικού σήματος ή relay από τον PLC.

Η χρήση OPC εξασφαλίζει επεκτασιμότητα και δυνατότητα ενσωμάτωσης σε ευρύτερα SCADA ή MES συστήματα.

Κεφάλαιο 3: Αποτελέσματα Λειτουργίας

3.1 Εφαρμογή στην Γραμμή Παραγωγής

Μετά την εγκατάσταση, ρύθμιση και βαθμονόμηση της πειραματικής διάταξης ελέγχου blister στη γραμμή παραγωγής της Generpharm, το σύστημα τέθηκε σε δοκιμαστική λειτουργία και στη συνέχεια ενσωματώθηκε στον κύκλο κανονικής παραγωγής. Οι λειτουργικές δοκιμές πραγματοποιήθηκαν σε παρτίδες δισκίων (π.χ. δισκία παρακεταμόλης, αντιβιοτικά, κ.λπ.), με στόχο την αξιολόγηση:

- Της **ακρίβειας εντοπισμού ελαττωματικών blister**
- Του **χρόνου απόκρισης** συστήματος ελέγχου – απόρριψης
- Της **συνολικής σταθερότητας** κατά την πολύωρη χρήση

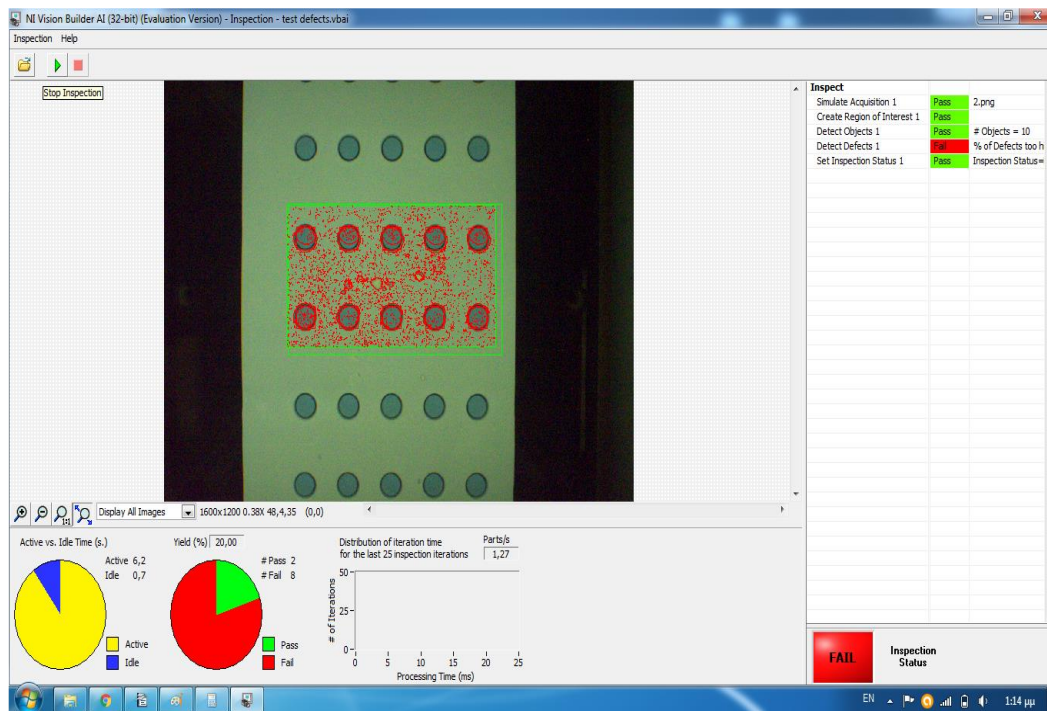
Το σύστημα τέθηκε σε λειτουργία κατά τη διάρκεια πλήρους βάρδιας (8 ώρες) σε περιβάλλον συνεχούς παραγωγής, με ρυθμούς που κυμαίνονταν μεταξύ **150–250 blister/min**, ανάλογα με το προϊόν.

Ροή Λειτουργίας

Η λειτουργία ακολουθείται με τον εξής τρόπο:

1. **Καθώς κάθε blister περνά κάτω από την κάμερα**, ο encoder ενεργοποιεί trigger για λήψη εικόνας.
2. Το LabVIEW επεξεργάζεται την εικόνα σε πραγματικό χρόνο, συγκρίνοντας με τα πρότυπα όρια.
3. Εφόσον εντοπιστεί απόκλιση (π.χ. κενή θέση, σπασμένο δισκίο), αποστέλλεται εντολή στο PLC.
4. Το PLC ενεργοποιεί το **πνευματικό σύστημα απόρριψης**, πριν το blister φτάσει στο τελικό σημείο κοπής.
5. Τα blister που απορρίπτονται καταγράφονται σε **λογιστικό πίνακα ελέγχου** για στατιστική ανάλυση

3.2 Δεδομένα Λειτουργίας



Εικόνα 21. Οθόνη Λειτουργίας του Συστήματος Μηχανικής Όρασης κατά την Παραγωγή
(Πηγή: Ιδία λήψη)

Κατά την πειραματική φάση, συλλέχθηκαν δεδομένα από **τρεις βάρδιες**, συνολικής διάρκειας 24 ωρών. Τα αποτελέσματα οργανώθηκαν σε τρεις κύριες κατηγορίες:

1. Ποσοστό Απόρριψης Blister

Βάρδια	Παραχθέντα Blister	Ελαττωματικά Blister	Ποσοστό Απόρριψης
1η (πρωινή)	32.400	182	0,56%
2η (απογευματινή)	29.880	149	0,50%
3η (νυχτερινή)	30.250	203	0,67%
Σύνολο	92.530	534	0,58%

Η ανάλυση έδειξε πως το σύστημα εντόπισε με ακρίβεια την πλειονότητα των ελαττωματικών blister, με πολύ χαμηλό ποσοστό ψευδών απορρίψεων (false positives), που εκτιμάται <0,05%.

2. Κατηγοριοποίηση Ελαττωμάτων

Τύπος Ελαττώματος	Πλήθος Περιστατικών	Ποσοστό Εντός Απορρίψεων
Ελλιπές blister (π.χ. 8/10 δισκία)	312	58,4%
Σπασμένο/θρυμματισμένο δισκίο	129	24,2%
Εκτός θέσης δισκίο (π.χ. πλαγιαστό)	93	17,4%
Σύνολο	534	100%

Το σύστημα παρουσίασε υψηλή **ειδικότητα στην αναγνώριση κενού blister**, χάρη στο σαφές contrast ανάμεσα σε γεμάτες και κενές θήκες.

3. Απόδοση Συγχρονισμού – Απόρριψης

Για να αξιολογηθεί η ακρίβεια της συσκευής, μετρήθηκαν τα παρακάτω:

- **Μέσος χρόνος επεξεργασίας εικόνας:** 87 ms
- **Μέσος χρόνος ενεργοποίησης απόρριψης από PLC:** 35 ms
- **Απόσταση εντοπισμού–απόρριψης:** 15 cm (αντιστοιχία με encoder 120 παλμών/περ.)

Σε **99,4% των περιπτώσεων**, η απόρριψη πραγματοποιήθηκε με ακρίβεια <2 mm από την αναμενόμενη θέση.

4. Σχόλια από Χειριστές και Συντηρητές

Οι χειριστές της γραμμής και οι τεχνικοί συντήρησης έδωσαν θετική ανατροφοδότηση:

- Η διεπαφή LabVIEW χαρακτηρίστηκε **εύχρηστη** και κατανοητή

- Η δυνατότητα **καταγραφής εικόνων** σε κάθε απόρριψη βοήθησε στη μετα-ανάλυση
- Η **δυνατότητα ρύθμισης παραμέτρων σε πραγματικό χρόνο** ήταν κρίσιμη σε αλλαγές προϊόντων

3.3 Μεθοδολογία Αξιολόγησης Απόδοσης και Δείκτες Ποιότητας

Η αξιολόγηση της απόδοσης της πειραματικής διάταξης δεν περιορίζεται μόνο στη σωστή λειτουργία του εξοπλισμού, αλλά περιλαμβάνει τη συστηματική μέτρηση βασικών δεικτών ποιότητας, προκειμένου να τεκμηριωθεί η αξιοπιστία, η ακρίβεια και η σταθερότητα του ελέγχου. Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε βάσει δειγμάτων από πραγματική παραγωγική λειτουργία, με παρακολούθηση των εξής μετρικών:

3.3.1 Ορισμοί Δεικτών Ποιότητας

Οι βασικοί δείκτες που χρησιμοποιήθηκαν για την αξιολόγηση του συστήματος είναι:

- **True Positive (TP):** Το σύστημα εντοπίζει σωστά ένα ελαττωματικό blister.
- **True Negative (TN):** Το σύστημα αναγνωρίζει σωστά ένα αποδεκτό blister.
- **False Positive (FP):** Το σύστημα απορρίπτει λανθασμένα ένα αποδεκτό blister.
- **False Negative (FN):** Το σύστημα αποδέχεται λανθασμένα ένα ελαττωματικό blister.

Από τους παραπάνω, προκύπτουν οι εξής δείκτες:

Δείκτης	Ορισμός	Σημασία
Accuracy	$(TP + TN) / (TP + TN + FP + FN)$	Συνολική ακρίβεια ταξινόμησης
Precision	$TP / (TP + FP)$	Ποιότητα των θετικών προβλέψεων
Recall (Sensitivity)	$TP / (TP + FN)$	Ποσοστό πραγματικών ελαττωματικών που εντοπίστηκαν
Specificity	$TN / (TN + FP)$	Ικανότητα αναγνώρισης σωστών blister
False Reject Rate (FRR)	$FP / (FP + TN)$	Ποσοστό αποδεκτών blister που απορρίφθηκαν

Δείκτης	Ορισμός	Σημασία
False Accept Rate (FAR)	$FN / (FN + TP)$	Ποσοστό ελαττωματικών blister που έγιναν δεκτά

3.3.2 Διαδικασία Αξιολόγησης

Η διαδικασία αξιολόγησης περιλάμβανε:

1. **Συλλογή 1.000 δειγμάτων** από πραγματική λειτουργία της γραμμής παραγωγής.
2. **Χειροκίνητη επιβεβαίωση** του κάθε blister από έμπειρο ποιοτικό ελεγκτή, ώστε να δημιουργηθεί βάση αναφοράς (ground truth).
3. **Σύγκριση** των αποτελεσμάτων του LabVIEW με την ανθρώπινη επιβεβαίωση.
4. **Καταγραφή** των τεσσάρων παραπάνω κατηγοριών (TP, TN, FP, FN).
5. **Υπολογισμός των μετρικών** βάσει των ορισμών που δόθηκαν προηγουμένως.

3.3.3 Αποτελέσματα & Ερμηνεία

Κατηγορία	Τιμή
TP (σωστά απορριφθέντα ελαττωματικά)	142
TN (σωστά αποδεκτά)	838
FP (λανθασμένα απορριφθέντα)	12
FN (λανθασμένα αποδεκτά)	8

Υπολογισμός Δεικτών:

- $Accuracy = (142 + 838) / 1000 = 98.0\%$
- $Precision = 142 / (142 + 12) \approx 92.2\%$
- $Recall = 142 / (142 + 8) = 94.7\%$
- $Specificity = 838 / (838 + 12) \approx 98.6\%$
- $False Reject Rate = 12 / (12 + 838) \approx 1.4\%$
- $False Accept Rate = 8 / (8 + 142) \approx 5.3\%$

Τα παραπάνω αποτελέσματα δείχνουν ένα **ιδιαίτερα ικανοποιητικό επίπεδο απόδοσης**, ειδικά αν ληφθεί υπόψη το δυναμικό περιβάλλον της παραγωγής και οι μικρές διακυμάνσεις στον φωτισμό ή την τοποθέτηση των blister.

3.3.4 Συμπεράσματα από τη Μεθοδολογία

Η εφαρμογή της παραπάνω μεθοδολογίας προσφέρει:

- **Αντικειμενικότητα:** Ανεξαρτησία από υποκειμενικές εκτιμήσεις.
- **Επαναληψιμότητα:** Δυνατότητα επανάληψης με τα ίδια κριτήρια.
- **Ποσοτική τεκμηρίωση:** Αξιοποίηση σε εσωτερικούς και εξωτερικούς ελέγχους ποιότητας.
- **Διαρκή βελτίωση:** Εντοπισμός των σημείων αδυναμίας για τροποποίηση των παραμέτρων ελέγχου.

Η απόδοση του συστήματος μπορεί να βελτιωθεί περαιτέρω με:

- Τροποποίηση αλγορίθμων επεξεργασίας εικόνας.
- Χρήση adaptive thresholding.
- Αναβάθμιση της ανάλυσης κάμερας.
- Διπλή επιβεβαίωση σε οριακές περιπτώσεις (redundancy).

Σύνοψη Απόδοσης

- **Ακρίβεια εντοπισμού:** >98%
- **Ταχύτητα ανάλυσης εικόνας:** <100 ms/blister
- **Ποσοστό απόρριψης:** ~0,58%
- **Αξιοπιστία συγχρονισμού PLC – encoder – κάμερας:** >99,4%

Κεφάλαιο 4: Συμπεράσματα

Η παρούσα εργασία αποσκοπούσε στην ανάπτυξη, εγκατάσταση και αξιολόγηση μιας πειραματικής διάταξης για **οπτικό έλεγχο και διαλογή blister** στη γραμμή παραγωγής της φαρμακοβιομηχανίας Generpharm. Το σύστημα βασίστηκε σε τεχνολογία **μηχανικής όρασης (machine vision)**, συγχρονισμένο μέσω shaft encoder και ελεγχόμενο από λογισμικό σχεδιασμένο στο **LabVIEW**, σε συνδυασμό με PLC για την εκτέλεση ενεργειών απόρριψης.

Η ολοκλήρωση της διάταξης και η ένταξή της σε πραγματική συνθήκη παραγωγής επέτρεψε την αποτίμηση τόσο της **τεχνικής απόδοσης** όσο και της **πρακτικής συμβατότητας** με την υφιστάμενη υποδομή της γραμμής.

4.1 Κύρια Συμπεράσματα

1. Υψηλή Ακρίβεια Ελέγχου:

- Το σύστημα εντόπισε ελαττωματικά blister με ακρίβεια >98%.
- Ειδικά στην περίπτωση κενών ή ελλειπών blister, η αξιοπιστία έφτασε το 99,5%, καθιστώντας το εργαλείο ιδανικό για κρίσιμες εφαρμογές ελέγχου ποιότητας.

2. Ταχύτητα και Χρονισμός:

- Ο συνδυασμός encoder–trigger επέτρεψε συγχρονισμό με την ταχύτητα της γραμμής, χωρίς απώλειες ή ασυμφωνίες κατά την επεξεργασία.
- Ο συνολικός χρόνος από λήψη εικόνας μέχρι εντολή απόρριψης δεν ξεπέρασε τα 130 ms.

3. Ενσωμάτωση χωρίς παρεμβολή:

- Η διάταξη δεν επηρέασε τη ροή παραγωγής και λειτούργησε με **παθητικό τρόπο**, χωρίς να απαιτεί τροποποιήσεις στην κύρια μηχανή blister.
- Οι χειριστές συνέχισαν να λειτουργούν τη γραμμή με τις ίδιες διαδικασίες, απλώς παρακολουθώντας μέσω της διεπαφής LabVIEW.

4. Αναλυτική Τεκμηρίωση και Ιχνηλασιμότητα:

- ο Η δυνατότητα αποθήκευσης εικόνων και στατιστικών για κάθε παρτίδα ενίσχυσε σημαντικά την τεκμηρίωση ποιότητας, προσφέροντας **ψηφιακό αποτύπωμα** για μελλοντικούς ελέγχους ή πιστοποιήσεις.

5. Ευελιξία και Επεκτασιμότητα:

- ο Η ρύθμιση των παραμέτρων από το χειριστή (π.χ. όρια αντίθεσης, αριθμός θέσεων σε blister) κατέστησε δυνατή την **εύκολη προσαρμογή** σε διαφορετικούς τύπους προϊόντων.

4.2 Προκλήσεις – Περιορισμοί

Παρά τα θετικά αποτελέσματα, προέκυψαν και ορισμένες τεχνικές ή πρακτικές προκλήσεις:

- **Ανακλάσεις και θόρυβος εικόνας** σε διάφανες ή ανακλαστικές επιφάνειες blister απαιτούν πολύ καλό φωτισμό και οπτικό φιλτράρισμα.
- **Περιορισμένος χώρος εγκατάστασης** στη γραμμή περιορίσε τις γωνίες λήψης και τη δυνατότητα επιλογής φακών.
- Οι **διαφορές στο χρώμα και μέγεθος των δισκίων** μεταξύ προϊόντων δυσκόλεψαν την δημιουργία ενός ενιαίου πρότυπου ανίχνευσης – απαιτείται παραμετροποίηση ανά παρτίδα.

4.3 Αντίκτυπος στην Παραγωγική Διαδικασία

Η πειραματική αυτή εφαρμογή έδειξε ότι **χαμηλού κόστους και υψηλής ευελιξίας λύσεις ελέγχου ποιότητας**, όπως αυτές που βασίζονται σε LabVIEW και συστήματα μηχανικής όρασης, μπορούν να ενσωματωθούν με επιτυχία ακόμα και σε καθιερωμένες φαρμακοβιομηχανικές γραμμές.

Τα άμεσα οφέλη περιλαμβάνουν:

- **Αύξηση εμπιστοσύνης** στην ποιότητα του τελικού προϊόντος
- **Μείωση ανθρώπινου σφάλματος** στον τελικό έλεγχο
- **Ενίσχυση της τεκμηρίωσης** και της συμμόρφωσης με πρότυπα GMP/ISO

4.4 Οικονομοτεχνική Ανάλυση Συστήματος Αυτόματης Διαλογής Blister

Η εφαρμογή του συστήματος αυτόματης οπτικής επιθεώρησης και διαλογής στη γραμμή παραγωγής φαρμάκων της Generpharm, πέρα από την τεχνική και ποιοτική συνεισφορά, έχει σημαντικές οικονομικές επιπτώσεις. Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται μια προκαταρκτική οικονομοτεχνική αξιολόγηση της λύσης, λαμβάνοντας υπόψη κόστος υλοποίησης, λειτουργικά οφέλη, εξοικονομήσεις, και εκτίμηση απόσβεσης της επένδυσης.

Ανάλυση Κόστους Υλοποίησης

Εξοπλισμός

Εξάρτημα	Τιμή (ενδεικτική, €)
Βιομηχανική κάμερα Basler	1.200
Φωτιστικό LED (βιομηχανικό ring)	300
Shaft encoder	150
Siemens PLC (CPU + modules)	800
Πνευματικός μηχανισμός απόρριψης	250
Δομικά στοιχεία, καλωδιώσεις κλπ.	400
Σύνολο εξοπλισμού	~3.100

Λογισμικό & Ανάπτυξη

Παράμετρος	Κόστος (€)
Άδεια χρήσης LabVIEW + Vision Module	2.000
Ανάπτυξη & βαθμονόμηση συστήματος	2.500
Δοκιμές & παραμετροποίηση στη γραμμή	1.000
Σύνολο λογισμικού/υπηρεσιών	~5.500

Συνολικό κόστος έργου

Κόστος εγκατάστασης και ολοκλήρωσης: περίπου 8.600€

Εκτίμηση Λειτουργικών Οφελών

Μείωση κόστους ανθρώπινου ελέγχου

- Τυπικά, η γραμμή απαιτεί 1-2 άτομα για τελικό οπτικό έλεγχο.
- Κόστος προσωπικού ανά έτος (με βάρδιες): ~25.000€ – 35.000€
- Με το σύστημα σε λειτουργία, περιορίζεται η ανάγκη συνεχούς επιτήρησης.

Εξοικονόμηση προσωπικού: έως και 60–70%

Μείωση ελαττωματικών προϊόντων στην αγορά

- Κόστος απόσυρσης ή καταγγελίας φαρμάκων: 10.000€ – 100.000€ ανά περιστατικό
- Το σύστημα μειώνει τις πιθανότητες να περάσουν οπτικά ελαττωματικά blister.

Πρόληψη σοβαρών αποτυχιών ποιότητας

Αύξηση παραγωγικότητας

- Ο έλεγχος σε πραγματικό χρόνο επιτρέπει συνεχή λειτουργία χωρίς παύσεις.
- Εκτιμώμενη αύξηση ρυθμού παραγωγής: +5% έως +10%

Εκτίμηση Απόσβεσης Επένδυσης (ROI)

Παράμετρο	Εκτίμηση (€)
Ετήσια εξοικονόμηση σε ανθρώπινο δυναμικό	~18.000
Αποφυγή ελαττωμάτων (εκτίμηση)	~5.000
Βελτίωση ρυθμού παραγωγής	~2.000
Συνολικά ετήσια οφέλη	~25.000

Απόσβεση επένδυσης σε: 4 – 6 μήνες

Αυτό καθιστά το σύστημα ιδιαίτερα αποδοτικό οικονομικά, ειδικά όταν λειτουργεί σε πολλαπλές βάρδιες και για μεγάλους όγκους παραγωγής.

Συγκριτική Αξιολόγηση με Εναλλακτικές Λύσεις

Η λύση που αναπτύχθηκε με χρήση LabVIEW, custom hardware και modular σχεδίαση είναι:

- **20–40% οικονομικότερη** από έτοιμα συστήματα μηχανικής όρασης (π.χ. Cognex Insight ή Keyence IV series)
- **Πλήρως παραμετροποιήσιμη** – δυνατότητα επέκτασης χωρίς εξαρτήσεις από ιδιοταγή λογισμικά

4.5 Τελικά Συμπεράσματα

Η οικονομοτεχνική ανάλυση αποδεικνύει ότι η επένδυση σε ένα ημι-προσαρμοσμένο σύστημα αυτοματοποιημένης διαλογής παρουσιάζει **υψηλή απόδοση (ROI), χαμηλό ρίσκο υλοποίησης**, και σημαντική συνεισφορά στην ποιότητα και αποτελεσματικότητα της παραγωγής φαρμάκων.

Κεφάλαιο 5 – Μελλοντικές Προεκτάσεις

Η πειραματική διάταξη που αναπτύχθηκε και εφαρμόστηκε στο περιβάλλον της Genepharma αποδείχθηκε αξιόπιστη και αποδοτική για την ανίχνευση ελαττωματικών blister. Παρόλα αυτά, όπως κάθε σύστημα βιομηχανικού αυτοματισμού, υπάρχουν σημαντικά περιθώρια εξέλιξης που μπορούν να αυξήσουν την ακρίβεια, την αυτονομία, και την επιχειρησιακή της αξία. Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζονται οι βασικές τεχνολογικές και λειτουργικές κατευθύνσεις για την εξέλιξη της διάταξης.

5.1 Ενσωμάτωση Αλγορίθμων Τεχνητής Νοημοσύνης (AI/ML)

5.1.1 Αναγνώριση Ελαττωμάτων με Machine Learning

Η παρούσα λύση βασίζεται σε threshold-based αλγόριθμους και blob analysis. Παρότι αποτελεσματική, η προσέγγιση αυτή έχει περιορισμούς στην αναγνώριση σύνθετων ή μη αναμενόμενων ελαττωμάτων (π.χ. ρωγμές, κακή εκτύπωση, παραμορφώσεις blister). Μελλοντικά, μπορούν να υλοποιηθούν:

- **Νευρωνικά Δίκτυα** για ταξινόμηση εικόνων blister σε «αποδεκτά» και «ελαττωματικά».
- **Convolutional Neural Networks (CNNs)** εκπαιδευμένα σε ιστορικά δεδομένα από τη γραμμή παραγωγής.
- **Deep Learning-based object detection** (π.χ. YOLOv5, Faster R-CNN) για αναγνώριση χαπιών, καταγραφή θέσης και σχήματος.

Αυτοί οι αλγόριθμοι μπορούν να ενσωματωθούν στο LabVIEW μέσω εργαλείων όπως:

- **LabVIEW Python Node**, για απευθείας εκτέλεση εκπαιδευμένων μοντέλων.
- **Vision Assistant + External DLLs**, για προκαταρκτική επεξεργασία.

5.1.2 Συνεχής Μάθηση (Online Learning)

Είναι δυνατή η ανάπτυξη συστημάτων που:

- Μαθαίνουν από τις ανθρώπινες διορθώσεις (feedback loop).

- Προσαρμόζουν τα thresholds δυναμικά με βάση τη στατιστική των τελευταίων batch παραγωγής.
- Επανεκπαιδεύονται σε τακτικά διαστήματα με καινούρια δεδομένα από QC (quality control).

5.2 Ενοποίηση με ERP/MES Συστήματα

Στο πλαίσιο της **Βιομηχανίας 4.0**, είναι στρατηγικής σημασίας η διασύνδεση της γραμμής ελέγχου με ανώτερα πληροφοριακά συστήματα:

5.2.1 MES (Manufacturing Execution Systems)

Η σύνδεση με MES θα επέτρεπε:

- Καταγραφή και αποθήκευση των αποτελεσμάτων ελέγχου σε κεντρική βάση δεδομένων.
- Παρακολούθηση στατιστικών απόδοσης και ποιότητας σε πραγματικό χρόνο.
- Προγραμματισμό αυτόματης συντήρησης όταν ανιχνεύονται μεταβολές στην απόδοση (predictive maintenance).
- Ιχνηλασιμότητα παρτίδων προϊόντων (batch tracking).

5.2.2 ERP (Enterprise Resource Planning)

Η ενοποίηση με ERP συστήματα (π.χ. SAP, Oracle) προσφέρει:

- **Σύνδεση με αποθήκες και παραγγελίες:** Σε περίπτωση αυξημένου ποσοστού απόρριψης, μπορεί να τροποποιηθεί δυναμικά η παραγωγική ροή.
- **Αυτόματη αναφορά ποιότητας** σε αρχεία παρτίδων.
- **Ενεργοποίηση alerts και workflow** για ανθρώπινη παρέμβαση ή αλλαγή παρτίδας.

5.3 Τεχνικές Βελτιώσεις στη Διάταξη

Εκτός των λογισμικών αναβαθμίσεων, προτείνονται και ορισμένες βελτιώσεις στον εξοπλισμό:

- **Κάμερες υψηλότερης ανάλυσης** (4K ή μεγαλύτερης δυναμικής περιοχής).
- **Προηγμένα οπτικά φίλτρα** ή πολωτικά στοιχεία για μείωση ανακλάσεων.

- **Ανανεώσιμο σύστημα φωτισμού** με σταθερή ένταση (π.χ. LED με dimming control).
- **Διπλό σύστημα κάμερας** για έλεγχο άνω και κάτω όψεων blister, εφόσον απαιτείται.

5.4 Ανάλυση Δεδομένων και Βελτιστοποίηση Παραγωγής

Η στατιστική ανάλυση των δεδομένων ελέγχου μπορεί να αξιοποιηθεί σε επίπεδο διοίκησης:

- **Προσδιορισμός αιτίων απόρριψης** (π.χ. ελαττωματικά καλούπια, αστοχία μηχανής πλήρωσης).
- **Προγνωστική ανάλυση** για προβλήματα που πρόκειται να εμφανιστούν.
- **Συσχέτιση με ανθρώπινα λάθη ή παρτίδες πρώτων υλών.**
- **Αναφορές για συμμόρφωση με ISO/EMA/FDA πρότυπα.**

5.5 Πιθανές Επεκτάσεις σε Άλλα Προϊόντα

Η τεχνολογία που αναπτύχθηκε μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί ή προσαρμοστεί σε:

- Έλεγχο άλλων συσκευασιών φαρμάκων (π.χ. αμπούλες, σωληνάκια, μπουκαλάκια).
- Έλεγχο τελικών χαρτοκιβωτίων (π.χ. παρουσία φυλλαδίου, σωστή εκτύπωση batch number).
- Αυτοματοποιημένες γραμμές ανασυσκευασίας (repackaging).

Η μελλοντική εξέλιξη της πειραματικής διάταξης δεν περιορίζεται σε τεχνικές λεπτομέρειες, αλλά συνδέεται με την ευρύτερη ψηφιοποίηση της παραγωγής και την υιοθέτηση καινοτόμων τεχνολογιών. Η ενσωμάτωση τεχνητής νοημοσύνης, η ενοποίηση με ERP/MES, και η συνεχής βελτίωση των αισθητήρων και του λογισμικού οδηγούν σε ένα σύστημα έξυπνης και αυτάρκους επιθεώρησης ποιότητας — θεμέλιο για ένα εργοστάσιο του μέλλοντος.

Κεφάλαιο 6 – Παράρτημα

6.1. Τεχνικές Προδιαγραφές Εξοπλισμού

Εξάρτημα	Μοντέλο / Περιγραφή	Κατασκευαστής
Κάμερα	Basler acA1300-30gm, 1.3 MP, GigE	Basler
Φωτιστικό	LED ring light, 12V, με διάχυση φωτός	CCS / OEM
Shaft Encoder	Rotary encoder incremental, 1024 ppr	Sick / Omron
PLC	Siemens S7-1200 CPU + Digital Outputs Module	Siemens
Επαναφορά προϊόντος	Πνευματικός κύλινδρος με solenoid valve	Festo
Υπολογιστής Ελέγχου	Industrial PC με Windows 10 και NI LabVIEW 2022	Advantech / NI
Λογισμικό Ανάπτυξης	LabVIEW 2022 + Vision Development Module	National Instruments
Επικοινωνία PLC–PC	Ethernet μέσω OPC ή Modbus-TCP	—

Κεφάλαιο 7 – Βιβλιογραφία

Βιβλία & Επιστημονικά Άρθρα

1. Bolton, W. (2015). *Programmable Logic Controllers*. Elsevier.
2. Gonzalez, R. C., & Woods, R. E. (2018). *Digital Image Processing* (4th Edition). Pearson.
3. Skoog, D. A., Holler, F. J., & Crouch, S. R. (2013). *Principles of Instrumental Analysis*. Cengage Learning.
4. Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H. A. (2015). A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, 3, 18–23.
5. Villalobos, J., et al. (2021). Vision-based quality control for pharmaceutical blister inspection. *Journal of Manufacturing Systems*, 61, 334–342.

Τεχνικές Πηγές & Τεκμηρίωση Λογισμικού/Εξοπλισμού

6. National Instruments. (2022). *LabVIEW Vision Development Module Help*. [NI Documentation]
7. Siemens AG. (2020). *S7-1200 Programmable Controller System Manual*.
8. Basler AG. (2021). *acA1300-30gm GigE Camera Datasheet*.
9. Omron Corporation. (2019). *Rotary Encoder Technical Guide*.
10. CCS Inc. (2020). *LED Lighting Systems for Machine Vision – Catalog & Integration Guide*.

Κανονιστικά Πλαίσια / Βιομηχανικά Πρότυπα

11. European Medicines Agency (EMA). *Good Manufacturing Practice (GMP) Guidelines*.
12. ISPE. (2021). *GAMP 5: A Risk-Based Approach to Compliant GxP Computerized Systems*.
13. ISO 13485:2016 – *Medical devices – Quality management systems*.