

СТАРЖИНСЬКИЙ ВАЛЕРІЙ

Вінницький національний технічний університет

<https://orcid.org/0009-0009-3827-0122>e-mail: 3372292@gmail.com**ГАРМАШ ВОЛОДИМИР**

Вінницький національний технічний університет

<https://orcid.org/0009-0007-1861-8772>e-mail: garmash.v.v@vntu.edu.ua**МАСЛІЙ РОМАН**

Вінницький національний технічний університет

<https://orcid.org/0000-0003-3021-4328>e-mail: maslij.r.v@vntu.edu.ua

АВТОМАТИЗАЦІЯ ЗЧИТУВАННЯ ШТРИХ-КОДІВ У ERP СИСТЕМАХ

У статті розглянуто автоматизацію управління матеріальними потоками в ERP-системах на прикладі виробництва зварювальних електродів, зокрема через впровадження технологій штрих-кодів для підвищення ефективності обліку, зменшення помилок та прискорення виробничих процесів. Проведено аналіз сучасних засобів зчитування штрих-кодів (сканери, смартфони, конвеєрні камери) для вибору оптимальних рішень.

Основною метою дослідження є автоматизація обліку матеріалів через розробку функціональних модулів в ERP-системі «ПлазмІС», яку використовує компанія «ПлазмаТек». У межах роботи запропоновано модуль «Бірка партія-тара», що дозволяє генерувати та друкувати етикетки для маркування сировини, а також отримані датасети зі штрих-кодами та моделі на основі архітектури YOLOv8 для модуля виявлення штрих-кодів.

Результати досліджень свідчать про перспективність використання YOLOv8 для мобільних пристроїв завдяки високій точності та швидкості, але відмічено необхідність подальшої оптимізації моделей.

Ключові слова: автоматизація, штрих-код, система ERP, виявлення об'єктів, yolov8

STARZHYNYSKYI VALERII,**HARMASH VOLODYMYR,****MASLIJ ROMAN**

Vinnytsia National Technical University

AUTOMATION OF BARCODE READING IN ERP SYSTEMS

The article considers the issue of automating material flow management processes in ERP systems using the example of welding electrode production. Particular attention is paid to the implementation of barcode technologies to improve inventory management efficiency, reduce errors due to the human factor, and accelerate production processes. An analysis of modern barcode reading devices, such as hand-held scanners, smartphones, and conveyor cameras, is conducted to determine optimal solutions depending on the application conditions.

The main goal of the study is to automate material accounting through the development of functional modules in the PlazmIS ERP system, which is used by the PlasmaTek company. The work proposes a module called "Batch-Container Tag" that allows you to generate and print labels for marking raw materials, as well as models for the barcode detection module.

A two-stage approach is proposed to automate barcode reading using smartphones, which includes the stages of barcode detection and recognition. The article considers the first stage - barcode detection. The ParcelBar dataset containing 844 barcode tag images was used for training. The best model based on the YOLOv8 small architecture according to the mAP@(0.50-0.95) criterion achieved a level of 0.930 for barcode detection, which is 1.2% higher than the result of the model based on the YOLOv5 small architecture and 7.5% higher than EfficientDet_0. In the course of the research, an updated ParcelBarRelabeled dataset was also created with a new markup, where the bounding boxes do not cover the entire tag, but only the barcode area. The best YOLOv8 nano model according to the mAP@(0.50-0.95) criterion achieved a level of 0.835 for barcode detection on the validation data of this dataset. To improve accuracy on specific data of products of the enterprise "PlasmaTek" the dataset ParcelBarRelabeledExtended was created, which allowed to reduce the number of false detections and improve the level of confidence of detections on images with raw materials of the enterprise. The best model YOLOv8 nano according to the criterion mAP@(0.50-0.95) reached the level of 0.86 on the validation data of this dataset.

The research results indicate the potential of using YOLOv8 for mobile devices due to its high accuracy and speed, but the need for further optimization of the models is noted.

Keywords: automation, barcode, ERP system, object detection, yolov8

Вступ

Сучасні ERP-системи потребують ефективних рішень для оптимізації операцій, зокрема у галузях, де важливим є точне відстеження та обробка матеріалів. Це особливо актуально для підприємств, що працюють зі спеціалізованими сировинними матеріалами, наприклад, заводи з виробництва зварювальних електродів. На таких виробництвах матеріали мають бути точно ідентифіковані, марковані та відстежені на всіх етапах їх переміщення після надходження на виробничі потужності. Процес виробництва зварювальних електродів включає кілька складних етапів, де кожен етап потребує точного контролю за матеріальними потоками, щоб забезпечити якість кінцевого продукту та ефективність виробничого процесу. Недостатній рівень автоматизації та відсутність належної

інтеграції між різними підсистемами можуть призвести до втрат часу, помилок в обліку та порушень у виробничому циклі.

Впровадження у ERP-системи технологій штрих-кодів чи RFID дозволяє збільшити ефективність управління запасами, знижуючи час на ручне введення даних і мінімізуючи помилки, пов'язані з людським фактором [1-3]. Завдяки автоматичному збору інформації про матеріали та продукцію, можна швидко відстежувати їх рух у реальному часі, що забезпечує точність обліку та своєчасне реагування на зміни в попиті чи неполадки у виробничому процесі. Це також дозволяє зменшити витрати на інвентаризацію, оскільки процеси стають більш прозорими та автоматизованими, знижуючи потребу в трудозатратах та людському втручанні.

Аналіз останніх публікацій

У роботах [1] та [2] розглядаються ключові аспекти впровадження систем автоматизації на основі штрих-кодів для оптимізації управління запасами на складах різного масштабу. Основні рекомендації включають автоматизацію процесів, синхронізацію операцій та інтеграцію з іншими інструментами для забезпечення точності обліку товарів і прозорості бізнес-процесів. Використання штрих-кодів сприяє відстеженню товарів у реальному часі, що знижує кількість помилок, зменшує витрати та підвищує ефективність і продуктивність управління ресурсами.

У статті [3] порівнюються технології RFID і штрих-кодів за їх можливостями, обмеженнями та застосуваннями. RFID переважає за швидкістю, зручністю, стійкістю та гнучкістю, тоді як штрих-коди залишаються популярними завдяки низькій вартості та простоті. Вибір технології залежить від потреб, бюджету та умов використання: RFID підходить для масштабних проєктів, а штрих-коди — для менших систем з обмеженими ресурсами.

Дослідження [4] аналізує інтеграцію штрих-кодів у процеси управління складом, зокрема приймання, обробку замовлень та управління запасами. Метою є оптимізація складських операцій. Результати показують, що штрих-коди знижують помилки при обробці товарів, прискорюють роботу персоналу, покращують контроль якості й придатності продукції для відправки. Автоматизація процесів підвищує точність, зменшує людські помилки, скорочує витрати на папір і прискорює обробку документів. Рекомендується інтеграція цієї технології для підвищення ефективності операцій складу.

У статті [5] автори представляють нові еталонні набори даних для виявлення одновимірних штрих-кодів та проводять всебічне порівняння підходів на основі глибоких згорткових нейронних мереж (ЗНН). Дослідження спрямоване на покращення точності та ефективності виявлення 1D штрих-кодів у різних умовах. Автори оцінюють продуктивність кількох архітектур ЗНН, зокрема YOLOv5, YOLOX та EfficientDet, аналізують їх переваги та недоліки, а також надають рекомендації щодо вибору оптимальних моделей для практичного застосування.

Отже, системи автоматизації на основі штрих-кодів залишаються актуальним і доступним рішенням для оптимізації складських процесів, підвищення точності обліку та зниження витрат. Їх інтеграція в ERP-системи забезпечує прозорість і ефективність бізнес-процесів, залишаючи конкурентоспроможність навіть у порівнянні з RFID у малих і середніх проєктах.

Формулювання цілей статті

Інформаційна система "ПлазмІС" створена спеціально для задоволення потреб групи компаній "ПлазмаТек", яка займає провідні позиції у світі з виробництва зварювальних електродів. Починаючи з 2011 року, система постійно розвивається: додаються нові функціональні модулі, оновлюються існуючі розділи та вдосконалюються її можливості. Основним завданням ІТ-відділу компанії є подальше розширення функціоналу "ПлазмІС" у відповідності до вимог і виробничих потреб ПрАТ "ПлазмаТек"[6].

Одним із ключових етапів у виробництві зварювальних електродів є забезпечення необхідної кількості спеціалізованої сировини. Для оптимізації цього процесу під час надходження сировини на завод важливо оперативно зареєструвати матеріали в інформаційній системі та забезпечити їх точну ідентифікацію. Це включає генерацію та друк спеціальних етикеток для маркування контейнерів із сировиною, що дозволяє чітко відстежувати її подальший рух у виробничому циклі.

Метою роботи є автоматизація процесу формування та зчитування штрих-кодів в ERP-системі.

Для досягнення мети необхідно вирішити наступні задачі: провести порівняльний аналіз засобів зчитування штрих-кодів; розробити модуль «Бірка партія-тара», який автоматизує процеси приймання, обліку та маркування сировини; розробити модуль виявлення штрих-кодів.

Автоматизація цих операцій не лише забезпечить ефективне управління сировинними ресурсами, але й значно зменшить ризик людських помилок, покращуючи загальну продуктивність виробничого процесу.

Порівняння засобів зчитування штрих-кодів

Сучасні технології зчитування штрих-кодів охоплюють широкий спектр функцій, що виходять далеко за межі зчитування одновимірних (1D) і двовимірних (2D) кодів. Пристрої зчитування здатні розпізнавати текст, сканувати зображення, підписи, а також виконувати фото- та відеозйомку. Зчитана інформація автоматично перетворюється у формат, що відповідає вимогам для передачі на комп'ютери або POS-системи [7]. Пристроями, які застосовуються для вирішення задачі є ручні лазерні сканери, конвеєрні камери та смартфони [8-10]. Для досягнення поставленої мети доцільно провести

порівняльний аналіз пристроїв з метою виявлення оптимального пристрою. Результати порівняння зчитувачів штрих-кодів наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Порівняння зчитувачів штрих-кодів

	Смартфон	Сканер	Конвеєрна камера
Переваги	<p>Багатофункціональність : використовується для інших завдань (комунікація, додатки, CRM тощо). Доступність: смартфони оснащені камерами, які можна використовувати для сканування штрих-кодів через додатки. Вартість: Для малого бізнесу або не постійне використання це дешевше, оскільки не потрібно купувати окремий пристрій. Мобільність: Смартфон легко носити з собою, він легкий і компактний.</p>	<p>Швидкість: Сканери зчитують штрих-коди значно швидше та з більшою точністю, навіть у складних умовах (бліки, пошкоджені коди тощо). Надійність: Призначені для тривалого використання без перегріву чи розряджання. Багато моделей мають зносостійкий корпус. Ергономіка: Більш зручні у тривалому використанні завдяки спеціальному дизайну. Широка сумісність: Можуть працювати з POS-системами або іншими пристроями через USB або Bluetooth.</p>	<p>Висока роздільна здатність: Можуть мати високу роздільну здатність, що дозволяє розпізнавати дрібні штрих-коди або кілька кодів одночасно на одному кадрі. Широка зона покриття: Може охоплювати велику площу, що робить її зручною для зчитування кодів з кількох об'єктів на лінії одночасно. Автоматизація: Інтегрується в систему керування конвеєром, працює автономно і не потребує втручання оператора. Гнучкість налаштувань: ПЗ дозволяє налаштувати алгоритми обробки зображення, освітлення та інтегрувати камеру з системами обліку.</p>
Недоліки	<p>Швидкість: Сканування через камеру зазвичай повільніше, особливо при поганому освітленні чи складних штрих-кодах. Надійність: Батарея смартфона може швидко розряджатися, якщо він постійно використовується для сканування.</p>	<p>Вузька функціональність: Використовуються лише для сканування. Ціна: Для малого бізнесу або не постійного використання дорожчі ніж смартфон. Менша мобільність: Великі або дротові моделі менш зручні для перенесення.</p>	<p>Вартість: Високоякісні промислові камери дорожчі, ніж смартфони або сканери. Швидкість обробки: Обробка зображення може займати більше часу, ніж зчитування штрих-кодів сканером. Залежність від умов освітлення: Потребує належного освітлення або додаткових освітлювальних приладів для стабільного зчитування.</p>

В результаті порівняльного аналізу пристроїв зчитування штрих-кодів було виявлено, що ручні лазерні сканери демонструють вищу швидкість та точність зчитування, особливо у складних умовах експлуатації, мають підвищену зносостійкість і забезпечують надійне підключення до інших пристроїв через USB або Bluetooth. Однак їх універсальність є обмеженою, що може ускладнювати їх використання на невеликих підприємствах через вищу вартість та меншу мобільність. Смартфони ж підходять для мобільного застосування, не постійного використання та у випадку опрацювання незначних обсягів продукції і отже краще підходять для малих чи середніх підприємств, тоді як сканери оптимальні для частого використання, та більших обсягів продукції. Основною перевагою конвеєрної камери є досягнення певного рівня автоматизації, при мінімальном втручанні оператора за умови подолання певних обмежень, а саме, для успішного зчитування штрих-коду, продукція має розташовуватися на конвеєрній лінії таким чином, щоб бірка зі штрих-кодом була у полі зору камери і бажано максимально перпендикулярно до неї. Крім того, додатковими недоліками застосування конвеєрної камери є її висока вартість та потреба у додатковому освітленні.

З урахуванням переваг різних пристроїв, для більшості завдань було обрано смартфони, які забезпечують повну зміну автономної роботи завдяки потужному акумулятору, постійний доступ до ERP-систем через Wi-Fi, а також миттєву обробку даних.

Розробка модуля «Бірки партія-тара»

Основні вимоги до модуля «Бірки партія-тара» полягають у зборі, аналізі та зберіганні індивідуальних даних з подальшою їх консолідацією в єдину таблицю для зручного використання. Окрім аналізу цих даних, особливу увагу приділено функції друку етикеток. Уся інформація збирається за допомогою спеціалізованих технологій у вигляді тегів, які можна швидко та зручно друкувати через інтерфейс, використовуючи відповідні функції. Етикетки друкуються на клейких носіях, які можна легко прикріплювати або наклеювати на поверхню контейнера. Розміри етикеток варіюються: 100×50 мм, 100×80 мм та 100×100 мм. Кожна етикетка містить необхідні поля з інформацією, логотип підприємства (опціонально) та обов'язковий штрих-код.

Залежно від типу та класу етикетки, штрих-код генерується за допомогою однієї з двох функцій. Приклад перевірки типу етикетки на основі заданих умов наведено на рисунку 1.

```
case
  when
    l_mode in ('PACK') then
      GetBarcode4Itpt(bc.bc_itpt)
    else
      GetBarcode4BcId(p_bc_id => bc.bc_id)
  end as barcode;
```

Рис. 1. Приклад перевірки на тип бірки в залежності від певної мод-умови

Якщо мод-умова дорівнює "PACK" (бірка на упаковку), викликається функція "GetBarcode4Itpt", інакше — функція "GetBarcode4BcId". Для створення штрих-коду використовується стандарт Code 128, який складається з 107 символів: 103 символи даних, 3 стартових і 1 стоповий символ. Стандарт підтримує три набори символів: 128A (символи ASCII від 00 до 95), 128B (символи ASCII від 32 до 127) та 128C (пари чисел від 00 до 99, де двозначне число кодується одним символом). Функція "GetBarcode4Itpt" формує штрих-код на основі трьох параметрів: ID підприємства (F), ID матеріальної цінності (I) та ID коду партії (P), після чого функція 'Code_128' перетворює ці дані у штрих-код. Приклад коду для формування бірки наведено на рисунку 2.

```
select 'F' || itpt.itpt_dpr || 'I' || itpt.itpt_itm || 'P' || itpt.itpt_id
  as barcode
  into l_result
  from part_tbl
  where itpt_id = p_itpt;
```

Рис. 2. Приклад коду із формування бірки методом "GetBarcode4Itpt"

Штрих-код, згенерований методом "GetBarcode4Itpt" зображено на рисунку 3.

Назва[марка]	мокра маса [АНО-36]
Партія	020 [14.05.2024]
Упаковка, шт	
Дата	15.05.2024
Працівник	Костюк О. М.
Постачальник	ПлазмаТек ТОВ [106]



 F811544P1658628

Рис. 3. Приклад бірки зі штрих-кодом, розробленим за методикою "GetBarcode4Itpt"

Функція "GetBarcode4BcId" створює штрих-код на основі даних бірки, використовуючи три параметри: ID партії (P), ID місця зберігання (S) та ID коду бірки (B). Ці дані перетворюються в штрих-код за допомогою функції 'Code_128', що забезпечує унікальну ідентифікацію кожної етикетки, покращуючи точність відстеження та управління товарними потоками. Приклад коду формування бірки наведено на рисунку 4.

```
select 'P' || bc.bc_itpt || 'S' || bc.bc_ist || 'B' || bc.bc_id
  as barcode
  into l_result
  from barcode_tbl
  where bc_id = p_bc_id
```

Рис. 4. Приклад коду із формування бірки методом "GetBarcode4BcId"

Штрих-код, згенерований методом "GetBarcode4BcId" зображено на рисунку 5.

ФОРМА 3/1

Назва [марка]	барій вуглекислий
Партія	004 [16.05.2024]
Тара	005 [бір-бер]
Кількість	25 (кг)
Дата	16.05.2024
Працівник	
Штамп ВТК	



P1659181S401B502518

Рис. 5. Приклад бірки зі штрих-кодом, розробленим за методикою "GetBarcode4Bcld"

Розробка модуля виявлення штрих-кодів

Для автоматизації зчитування штрих-кодів за допомогою смартфонів пропонується використати двоетапний підхід, на першому етапі якого використовується модуль виявлення штрих-кодів, на другому модуль розпізнавання штрих-кодів. Дана стаття присвячена вирішенню задачі першого етапу, основою якого є розробка моделі виявлення штрих-кодів. Для вирішення цієї задачі було проведено два експерименти, у першому досліджувалось виявлення бірок зі штрих-кодами, при використанні датасету ParcelBar. У другому була здійснена модифікація цього датасету для більш точного виявлення штрих-кодів, які можна безпосередньо подавати на вхід модуля розпізнавання, без необхідності додаткового виявлення штрих-коду в межах бірки.

Використаний у дослідженнях датасет ParcelBar складається з 844 зображень з оригінальним розміром 1478x1108 пікселів, бірок поштових бандеролей, зібраних у приміщенні логістичного складу. Зображення були отримані за допомогою мобільних камер, і кожне з них містить один або кілька бірок зі штрих-кодами [5].

Для коректного порівняння якості отриманих yolov8-моделей з yolov5-моделями з роботи [5] були використані ідентичні параметри навчання, а саме розмір зображення - 416x416, кількість епох навчання - 100, претрейн модель - small, інші параметри використані за замовчуванням. Датасет ParcelBar також був поділений на тренувальний/валідаційний/тестовий ідентично до [5] у пропорції - 40/40/20.

Для аугментації було використано два режими:

- мінімальна аугментація по замовчуванню;
- розширена аугментація, з такими параметрами: випадкове налаштування яскравості/контрастності; зсуви/масштабування/обертання; додавання гаусівського шуму.

Крім цього для можливості застосування на смартфоні були використані параметри моделі, що значно зменшують її розмір: розмір зображення - 224x224 та використання претрейн моделі nano. Такі параметри пришвидшують роботу моделі та наближають до можливості використання на смартфоні.

Результати власних моделей та деяких моделей з роботи [5], тренуваних на датасеті ParcelBar наведені в таблиці 2.

Таблиця 2

Результати виявлення штрих-кодів на датасеті ParcelBar

Умовна назва моделі	Архітектура моделі	Претрейн модель	Аугментація	Розмір зображення	mAP@(0.50-0.95)
EffDet_0	EfficientDet [5]	phi 0	20-degree [5]	512x512	0.855
YOLOv5	yolov5 [5]	small	20-degree [5]	416x416	0.918
YOLOv8_1	yolov8	small	по замовчуванню	416x416	0.927
YOLOv8_2	yolov8	small	розширена	416x416	0.930
YOLOv8_3	yolov8	nano	по замовчуванню	224x224	0.875
YOLOv8_4	yolov8	nano	розширена	224x224	0.881

Результати першого експерименту свідчать, що при однакових параметрах навчання на датасеті ParcelBar моделі, засновані на архітектурі YOLOv8 [11], показали покращення якості виявлення за показником mAP@(0.50-0.95) порівняно з найшвидшими моделями з роботи [5], такими як EffDet_0 та YOLOv5. Зокрема, модель YOLOv8_2 досягла значення 0.930, що на 1.2% перевищує результат YOLOv5 та на 7.5% — EffDet_0. Особливо варто відзначити, що навіть значно менші моделі YOLOv8_3 та YOLOv8_4 продемонстрували кращі результати в порівнянні з EffDet_0, покращивши результат відповідно на 2% і 2.6%. Ці результати дозволяють зробити висновок, що використання моделей на базі архітектури YOLOv8 Nano є перспективним для застосування на мобільних пристроях, оскільки вони забезпечують ефективний компроміс між точністю та швидкістю роботи. Характерні приклади з датасету ParcelBar та результати виявлення бірок моделлю YOLOv8_3 представлені на рисунку 6.

У другому експерименті для вирішення проблеми, пов'язаної з необхідністю обмежити область виявлення лише до області штрих-коду, було прийнято рішення перевизначити розмітку датасету ParcelBar. Замість оригінальних обмежувальних рамок, що охоплювали всю площу бірки, були створені нові рамки, які точно окреслюють область штрих-коду. На основі цієї нової розмітки був

сформований оновлений датасет, названий ParcelBarRelebeled. Використовуючи цей датасет, модель була навчена з тими ж параметрами, що й у попередньому експерименті для моделі YOLOv8_4.



Рис. 6 – Приклади міток датасету ParcelBar (a) і виявлення моделлю YOLOv8_3 (б)

Отримана модель YOLOv8_5 показала результат за критерієм $mAP@(0.50-0.95)$ на рівні 0.835, що є дещо меншим у порівнянні з YOLOv8_4, що можна пояснити тим, що область штрих-коду значно менша за область бірки, і це зменшує кількість корисної інформації для моделі. Одним із можливих підходів до підвищення якості виявлення є оптимізація процесу навчання, зокрема, налаштування гіперпараметрів. Враховуючи, що в попередньому експерименті не спостерігалось перенавчання на валідаційному наборі даних, було вирішено збільшити кількість епох навчання до 200, що, ймовірно, дозволить поліпшити якість моделі для вирішення задачі виявлення. На рисунку 7 представлені результати виявлення штрих-кодів на валідаційній підмножині датасету ParcelBarRelebeled.



Рис. 7 – Приклади виявлення штрих-кодів моделлю YOLOv8_5 на валідаційних даних

Під час оцінювання якості роботи отриманої моделі YOLOv8_5 на зображеннях сировинної продукції зі штрих-кодами було виявлено, що її точність виявлення недостатня для надійного розпізнавання специфічних штрих-кодів, які використовуються на підприємстві "ПлазмаТек" (приклади таких штрих-кодів представлені на рисунках 3 та 5). Важливим фактором, що впливає на результати, є те, що фон на цих зображеннях значно відрізняється від фону у датасеті ParcelBarRelebeled, що також може негативно позначитися на ефективності моделі. У зв'язку з цим було прийнято рішення розширити датасет ParcelBarRelebeled додаванням власної колекції з 20 зображень сировинної продукції зі штрих-кодами. Цей розширений датасет отримав назву ParcelBarRelebeledExtended. На основі нового датасету було навчено дві моделі з параметрами, аналогічними тим, що використовувалися для моделей YOLOv8_3 та YOLOv8_4.

Результати оцінювання нових моделей наведені в таблиці 3.

Результати роботи моделі YOLOv8_7 на тестових зображеннях з сировинною продукцією, а також візуалізація процесу навчання на валідаційній підмножині датасету ParcelBarRelebeledExtended, що демонструє прогрес моделі та її ефективність у виявленні нових варіацій штрих-кодів, наведені на рисунках 8-9.

Таблиця 3

Результати виявлення штрих-кодів на датасеті ParcelBarRelebeledExtended

Умовна назва моделі	Архітектура моделі	Претрєйний-модель	Аугментація	Розмір зображення	mAP@(0.50-0.95)
YOLOv8_6	yolov8	nano	по-замовчуванню	224x224	0.856
YOLOv8_7	yolov8	nano	розширена	224x224	0.860

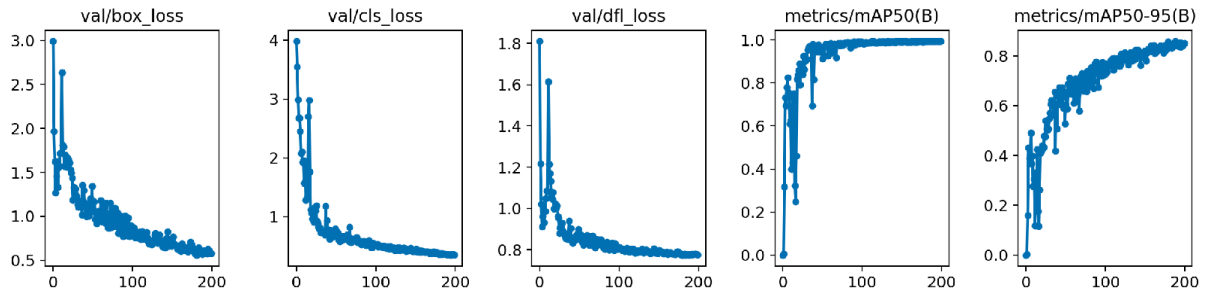


Рис. 8. Візуалізація процесу навчання моделі YOLOv8_7 на датасеті ParcelBarRelebeledExtended



Рис. 9. Результати виявлення штрих-кодів моделлю YOLOv8_7 на зображеннях з сировинною продукцією

Як видно з рисунку 9, рівні впевненості виявлення штрих-кодів моделлю YOLOv8_7 на зображеннях сировинної продукції варіюються в межах 0.6-0.7, що є нижчим порівняно з рівнями впевненості для моделі YOLOv8_5 (0.8-0.9, як показано на рисунку 7). Хоча ці значення впевненості можуть бути достатніми для реального використання при встановленні, скажімо, порогу 0.5, для підвищення якості моделі та одночасної мінімізації хибних виявлень, в подальшому планується розширити датасет шляхом додавання більшої кількості зображень сировинної продукції. Таке розширення дозволить не тільки підвищити точність виявлення, але й підвищити рівень впевненості моделі для кожної правильної детекції. Це, в свою чергу, сприятиме зменшенню частки хибних виявлень, оскільки можна буде застосовувати вищий поріг для класифікації, що дозволить фільтрувати виявлення з меншим рівнем впевненості.

Висновки

Результати аналізу засобів зчитування штрих-кодів показали, що ручні лазерні сканери мають високу точність і швидкість, але обмежені вартістю та мобільністю, підходять для великих обсягів роботи. Смартфони є більш економічними та мобільними, ідеальні для малих і середніх підприємств, особливо для обробки невеликих обсягів продукції. Конвеєрні камери автоматизують процеси, але

потребують додаткових інвестицій і правильної організації виробництва. Для більшості завдань обрані смартфони завдяки їх автономності, доступу до ERP-систем і зручності обробки даних.

Модуль «Бірки партія-тара» забезпечує збір, аналіз і зберігання даних, а також друк етикеток із штрих-кодами стандарту Code 128 для партій та контейнерів, що дозволяє ефективно відстежувати продукцію.

Для автоматизації зчитування штрих-кодів за допомогою смартфонів запропоновано двоетапний підхід, що включає виявлення та розпізнавання штрих-кодів. В роботі розглянута перша частина — виявлення штрих-кодів. Для навчання використовувався датасет ParcelBar. Найкраща модель на основі YOLOv8 small досягла точності 0.930, що на 1.2% перевищує результат YOLOv5 small і на 7.5% — EfficientDet 0.

Додатково створено оновлений датасет ParcelBarRelebeled, де обмежувальні рамки охоплюють лише штрих-код. Найкраща модель YOLOv8 nano досягла точності 0.835 на валідаційних даних цього датасету. Для точності на продукції «ПлазмаТек» створено датасет ParcelBarRelebeledExtended, що зменшило кількість хибних виявлень і покращило рівень впевненості детекцій. Найкраща модель досягла точності 0.86.

У подальших дослідженнях планується оптимізувати процес навчання, розширити датасет додатковими зображеннями та дослідити методи квантизації і прунінгу для ефективного застосування моделей на мобільних пристроях у реальних умовах.

Література

1. What is a Barcode Inventory System & How Does it Work?. *The World's Favourite Inventory Management Software | Unleashed*. URL: <https://www.unleashedsoftware.com/blog/barcode-inventory-system/> (дата звернення: 30.12.2024).
2. Warehouse Barcoding: A Comprehensive Guide. *Cyzer*. URL: <https://cyzer.com/blog/warehouse-barcoding-a-comprehensive-guide/> (дата звернення: 30.12.2024).
3. Akbari, A., Mirshahi, S., & Hashemipour, M. Comparison of RFID system and barcode reader for manufacturing processes. In *2015 IEEE 28th Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE)*, 2015, May, pp. 502-506. URL: <https://doi.org/10.1109/CCECE.2015.7129326> (дата звернення: 30.12.2024).
4. The Implementation of Barcode on Warehouse Management System for Warehouse Efficiency / N. Amanda Istiqomah et al. *Journal of Physics: Conference Series*. 2020. Vol. 1573. P. 012038. URL: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1573/1/012038> (дата звернення: 30.12.2024).
5. 1D Barcode Detection: Novel Benchmark Datasets and Comprehensive Comparison of Deep Convolutional Neural Network Approaches / T. Kamnardsiri et al. *Sensors*. 2022. Vol. 22, no. 22. P. 8788. URL: <https://doi.org/10.3390/s22228788> (дата звернення: 30.12.2024).
6. Старжинський В.Ю., Бісікало О.В. Розробка модуля “Штрих-коди” в інформаційній системі “ПлазмІС”. Матеріали конференції “Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2022)”, Вінниця 2022. [Електронний ресурс]. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fksa/all-fksa-2022/paper/view/14602> (дата звернення: 13.12.2024).
7. All types of barcode readers distributor Ukraine. *Ітератор - торгівельне та POS обладнання: тзд, термінали збору даних, принтери етикеток, сканери штрих кодів, POS моноблоки та POS монітори*. URL: https://www.iterator.com.ua/en/barcode-scanners-distributor-ukraine?srsltid=AfmBOorE-ZA2tq53HXcU_03XohIY_n_o1WnAnbfmBMor3-KLDINZqiF (дата звернення: 30.12.2024).
8. Use your phone for mobile barcode scanning. *Warehouse Management Software - Transport & Logistics Software*. URL: <https://www.cartoncloud.com/blog/how-to-use-your-phone-for-mobile-barcoding#:~:text=It's%20never%20been%20easier%20to,and%20you're%20all%20set> (дата звернення: 30.12.2024).
9. Garg N. Improving Business Logistics using Barcode Scanners. *International Journal of Computer Applications*. 2012. Vol. 50, no. 15. P. 1–5. URL: <https://doi.org/10.5120/7844-0815> (дата звернення: 30.12.2024).
10. Conveyor Belt Object Identification: Mathematical, Algorithmic, and Software Support. *Applied Mathematics & Information Sciences*. 2023. Vol. 17, no. 6. P. 1073–1088. URL: <https://doi.org/10.18576/amis/170615> (дата звернення: 30.12.2024).
11. Ultralytics. *GitHub*. URL: <https://github.com/ultralytics/> (дата звернення: 30.12.2024).

References

1. What is a Barcode Inventory System & How Does it Work?. *The World's Favourite Inventory Management Software | Unleashed*. URL: <https://www.unleashedsoftware.com/blog/barcode-inventory-system/> (date of access: 30.12.2024).
2. Warehouse Barcoding: A Comprehensive Guide. *Cyzer*. URL: <https://cyzer.com/blog/warehouse-barcoding-a-comprehensive-guide/> (date of access: 30.12.2024).
3. Akbari, A., Mirshahi, S., & Hashemipour, M. Comparison of RFID system and barcode reader for manufacturing processes. In *2015 IEEE 28th Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE)*, 2015, May, pp. 502-506. URL: <https://doi.org/10.1109/CCECE.2015.7129326> (date of access: 30.12.2024).

4. The Implementation of Barcode on Warehouse Management System for Warehouse Efficiency / N. Amanda Istiqomah et al. *Journal of Physics: Conference Series*. 2020. Vol. 1573. P. 012038. URL: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1573/1/012038> (date of access: 30.12.2024).
5. 1D Barcode Detection: Novel Benchmark Datasets and Comprehensive Comparison of Deep Convolutional Neural Network Approaches / T. Kamnardsiri et al. *Sensors*. 2022. Vol. 22, no. 22. P. 8788. URL: <https://doi.org/10.3390/s22228788> (date of access: 30.12.2024).
6. V. Yu. Starzhinskyi, O. V. Bisikalo "Rozrobka modulyu "Shtrykh-kody" v informatsiyaniy systemi "PlazmIS"". Materialy konferentsiyi "Molod' v nauci: doslidzhennya, problemy, perspektyvy (MN-2022)", Vinnytsia 2022. [Elektronnyi resurs] . URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fksa/all-fksa-2022/paper/view/14602>.
7. All types of barcode readers distributor Ukraine. *Iterator - torhivel'ne ta POS obladnannia: tzd, terminaly zboru danykh, printery etyketok, skanery shtrykh kodiv, POS monobloky ta POS monitoriy*. URL: https://www.iterator.com.ua/en/barcode-scanners-distributor-ukraine?srsId=AfmBOorE-ZA2tq53HXcU_03XohIY-n_o1WnAnbfmBMor3-KLDINZqiF (date of access: 30.12.2024).
8. Use your phone for mobile barcode scanning. *Warehouse Management Software - Transport & Logistics Software*. URL: <https://www.cartoncloud.com/blog/how-to-use-your-phone-for-mobile-barcode-scanning#:~:text=It's%20never%20been%20easier%20to,and%20you're%20all%20set> (date of access: 30.12.2024).
9. Garg N. Improving Business Logistics using Barcode Scanners. *International Journal of Computer Applications*. 2012. Vol. 50, no. 15. P. 1–5. URL: <https://doi.org/10.5120/7844-0815> (date of access: 30.12.2024).
10. Conveyor Belt Object Identification: Mathematical, Algorithmic, and Software Support. *Applied Mathematics & Information Sciences*. 2023. Vol. 17, no. 6. P. 1073–1088. URL: <https://doi.org/10.18576/amis/170615> (date of access: 30.12.2024).
11. Ultralytics. *GitHub*. URL: <https://github.com/ultralytics/> (date of access: 30.12.2024).