

## ИЗПОЛЗВАНЕ НА СИСТЕМА ЗА КОМПЮТЪРНО ЗРЕНИЕ ПРИ ОТГЛЕЖДАНЕ НА ЗЕМЕДЕЛСКИ КУЛТУРИ

Деян Петков Софийков  
Бургаски Свободен Университет

### USE OF A COMPUTER VISION SYSTEM IN GROWING AGRICULTURAL CROPS

Deyan Petkov Sofiykov

**Abstract:** *This publication presents the concept and early development of a computer vision–based monitoring system for tomato cultivation, designed to assist farmers in improving crop management. The proposed system, called My Tomato Monitoring System (MyTMS), utilizes YOLOv11 to detect common tomato leaf diseases and automatically trigger alerts for timely intervention. In addition, it monitors plant growth stages to identify ripe tomatoes and predict optimal harvest times. MyTMS is capable of processing multiple visual inputs simultaneously and provides customizable configuration options for user adaptability. The key benefits of the proposed system include improved crop yields, reduced chemical usage through targeted treatment, and cost savings via automated visual monitoring and data-driven decision support.*

**Key words:** Computer Vision, Tomato Farming, YOLOv11, Disease Detection, Precision Agriculture

#### Въведение

В съвременното земеделие производството на домати е изправено пред редица предизвикателства, включително болести по растенията, неефективно използване на ресурси, високи разходи за труд и необходимост от устойчиви практики. Традиционните методи за наблюдение и грижа за културите често са бавни, неточни и изискват значителен човешки труд. В тази връзка възниква нуждата от иновативни технологични решения, които да повишат ефективността и качеството на земеделската продукция.

Настоящият проект MyTMS (My Tomato Monitoring System) отговаря на тази необходимост чрез интегриране на съвременни технологии за компютърно зрение, които предоставят прецизни и автоматизирани методи за наблюдение на доматените култури.

Компютърното зрение революционизира много индустрии, включително и индустрията за отглеждане на домати, като позволява нови по-ефективни, прецизни и устойчиви практики за отглеждане. Тази технология използва усъвършенствани алгоритми и техники за машинно обучение, за да анализира визуални данни от изображения и видеоклипове на доматени растения, като може да се използва както в домашни условия, така и в големи полета [1].

Наблюдение на културите и откриване на болести е едно от много приложения на компютърното зрение при отглеждането на домати. Системите за компютърно зрение могат да анализират изображения на листа от домати, за да открият автоматично признаци на често срещани заболявания като бактериални петна, ранна мана и късна мана [2]. Това позволява на фермерите да идентифицират и лекуват проблемите бързо,

преди да се разпространят. Освен това чрез анализиране на моделите и характеристиките на растежа на растенията чрез компютърно зрение, фермерите могат да оценят потенциалните добиви по-рано през вегетационния сезон [1]. Техниките за откриване и сегментиране на обекти позволяват прецизно прилагане на торове, пестициди и напояване въз основа на индивидуалните нужди на растенията, а не на общо третиране [1].

Компютърното зрение помага за автоматизиране на процесите за контрол на качеството чрез откриване на дефекти, определяне на характеристиките на размера, формата, цвета и сортиране на домати [1]. Компютърното зрение служи и за насочване на автономните трактори и комбайни за оптимизиране на ефективността и намаляване на разходите за труд [1].

Интегрирането на технологията за компютърно зрение предлага няколко предимства за производителите на домати:

- Подобрени добиви и качество на културите чрез ранно откриване на болести и прецизно земеделие;
- Намалена употреба на химикали и въздействие върху околната среда;
- Повишена ефективност на операциите във фермата;
- По-добро вземане на решения въз основа на прозрения, управлявани от данни;
- Потенциални спестявания на разходи чрез автоматизиране на процесите на класифициране или сортиране;

Въпреки че е обещаващо, внедряването на системи за компютърно зрение също представлява някои предизвикателства, като например проблеми с поверителността на данните и сигурността около събирането и анализирането на изображения на ферми. Също така съществува и голяма необходимост от стабилни набори от данни и модели, обучени специално за доматени култури. Освен това интеграцията със съществуващо земеделско оборудване и работни процеси също е трудна задача. И на края съществува и нужда от високи първоначални разходи за хардуер и софтуер, както в повечето случаи с проекти свързани с изкуствен интелект и компютърно зрение.

Тъй като технологията продължава да напредва, можем да се очаква да се появят още по-усъвършенствани приложения на компютърното зрение в отглеждането на домати, което води до по-голяма ефективност и устойчивост в селскостопанските практики [2] [1].

Проекта - план, който е обект на този документ се казва MyTMS, което идва от My Tomato Monitoring System (Моята система за наблюдение над домати) и използва съвременни техники за компютърно зрение за подобряване на практиките за отглеждане на домати. Тази система е личен проект, който интегрира авангардни алгоритми за откриване на обекти с интелигентни възможности за обработка, за да предостави на фермерите и земеделските специалисти ценна информация за растежа и здравето на доматите. Проектът е в начален стадий на разработка с готово демо, което дава пример за технологията за компютърно зрение, използвана през 2025-та година и прилагана специално за отглеждане на домати.

Към 2025-та година съществуват 5 на брой системи, които са фокусирани към отглеждането на домати, а именно:

- Phytelix – приложение за откриване на болести; позволява бърза диагноза от снимка.
- CropDoc – мобилно приложение с възможност за локално разпознаване и препоръки.
- Tomato-sorting-using-CNN – сортиране по зрялост и размер на червени домати, използващо YOLOv11.

MyTMS от своя страна се отличава от тези системи чрез комбинацията на множество функции в един поток. Докато някои системи са само за болести, други само за съдържание на плодове или зрелост, MyTMS предлага откриване на домати, оценка на зрелост, идентификация на болести и дефекти и проследяване на растеж във времето. Освен това MyTMS може да работи не само със статични снимки, но и с видео или стрийм, което позволява по-навременна реакция. Също така проекта използван нова версия на алгоритъм за компютърно зрение – YOLOv11, който бе най-новият към момента на начало на проекта и може да бъде лесно заменен с YOLOv12, който излезе през Февруари 2025-та година. Това може да даде по-добра скорост и точност в сравнение с по-стари или различни модели, които някои от изброените системи ползват.

### Технология

В основата си проекта се уповава силно върху алгоритъма за откриване на обекти YOLOv11 от поредицата на модели за откриване на обекти You Look Only Once, която изкарва нова своя версия почти всяка година, подобрявайки своите алгоритми и възможности с всяка нова версия. Представен на конференцията YOLO Vision 2024, YOLOv11 бележи значителен напредък в технологията за откриване на обекти в реално време [3][10].

Основните функции и подобрения на YOLOv11 включват подобрен архитектурен дизайн, включващ усъвършенствани техники за извличане на функции, подобрена производителност при различни задачи за компютърно зрение, оптимизирана скорост и ефективност в сравнение с предишни версии и по-широк набор от поддържани задачи извън традиционното откриване на обекти.

YOLOv11 развива основата, създадена от неговите предшественици, въвеждайки нови компоненти и оптимизации за постигане на превъзходна производителност на откриване на обекти [4]. Той включва няколко архитектурни иновации:

- C3k2 блок: По-ефективно внедряване на частично тясното място на Cross Stage, използвайки две по-малки навивки вместо една голяма навивка;
- SPPF (Пространствено пирамидно обединяване – бързо) блок: Запазен от предишни версии, но сега вдвоен с нов C2PSA (Конволюционен блок с паралелно пространствено внимание) модул;
- C2PSA блок: Въвежда механизми за пространствено внимание, подобрявайки възможностите за извличане на функции;
- CBS блокове: Използва Convolution-BatchNorm-SiLU слоеве за усъвършенстване на функциите;

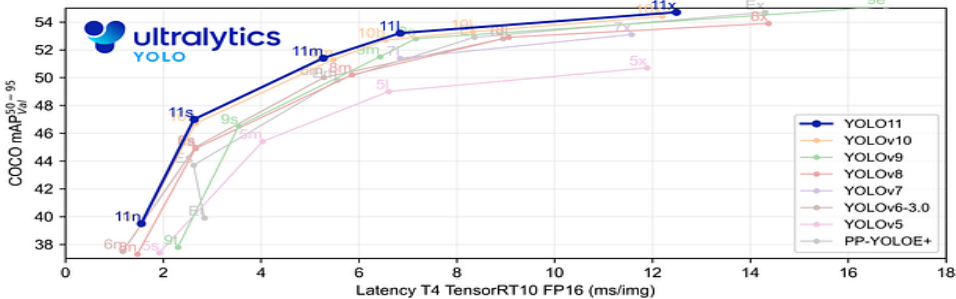
Тези архитектурни подобрения допринасят за по-бърза обработка, като същевременно поддържат или подобряват точността [3]

YOLOv11 поддържа широк набор от задачи за компютърно зрение извън традиционното откриване на обекти, като сегментиране на инстанция, класификация на изображенията, оценка на позата, откриване на ориентирани обекти и автоматично проследяване на обекти

Тази гъвкавост прави YOLOv11 подходящ за различни приложения в различни индустрии [3].

YOLOv11 демонстрира значителен напредък спрямо своите предшественици, като постига по-високи резултати на COCO mAP, като същевременно поддържа по-бързи скорости на извод, показва подобрена производителност в режим с ниска латентност (2-6ms) и показва цялостно по-добри характеристики на мащабиране във вариантите на модела [5], както може да се види на фигура 1.

На фигура 1 YOLOv11 се измерва чрез два ключови показателя: COCO mAP (средна точност) при прагове 50-95 IoU по оста y и латентност (в милисекунди) на изображение по оста x. Забавянето се измерва с помощта на TensorRT10 с FP16 точност на NVIDIA T4 GPU.



Фигура 1: Илюстрация на точността и скоростта на различните модели, разработени от Ultralytics

My Tomato Monitoring System (MyTMS) е система за компютърно зрение, предназначена да наблюдава ферми за домати, използвайки усъвършенствани техники за откриване на обекти и анализ на изображения. Проектът използва YOLOv11, както вече бе споменато и анализира домати за техният етап и здраве. Системата е съвместима с богат набор от цифрови входове, заради гъвкавостта на работната рамка на YOLOv11 – Ultralytics. Тя позволява вход да бъдат най-различни видео и снимковни формати, видео потоци и дори директно папка с файлове [6].

### Архитектура и принцип на работа

Начина на работа на MyTMS позволява четене на n на брой цифрови входа. Към момента версията на проекта работи само с един вход поради нужда от тестване, но в близкото бъдеще всеки от цифровите входове ще бъде на своя собствена нишка, за да се постигне едновременна обработка на няколко потока [11]. Както е илюстрирано на фиг.2, системата зарежда два главни модела за компютърно зрение. Един за проверка на болести по листата и един за проверка на етапа на растеж на домата. Системата проверява първо за болести по листата, в случай че бъдат открити болести, което ще се изясни ако е локализиран визуален признак за болест с над n процента коефициент на сигурност, ще бъде изпратен автоматичен имейл до потребител като предупреждение за болестта. В случай, че болест не бъде открита ще се процедира към проверката на етапа на растеж на домата чрез следващият модел. Ако D открити домати са повече от x прага за максимален брой узрели домати, и са с коефициент на сигурност  $c_i$ , който надвишава n, то ще бъде изпратена имейл нотификация до потребител със съобщение, че е време домати да се оберат [13].

$$(1) \sum_{i=1}^D [c_i \geq n] > x \Rightarrow \text{Изпрати имейл нотификация}$$

Накрая системата записва резултатите в база данни, като при нужда може да съхрани и изображение с визуално отбелязани открития на FTP сървър. Освен това, на база на текущия етап на растеж, и в бъдеще чрез данни от сензори за влажност и температура, системата изчислява приблизителната дата, на която се очаква пълното узряване на следващите домати [8][9][14][15]. Това е описано на формула (2). Този цикъл се повтаря веднъж на m минути според конфигурацията, която потребителя е задал.

$$(2) T_{\text{ripe}} = T_{\text{current}} + \frac{(1 - S_c) \cdot K_s}{R_g \cdot F_e}, \text{ където:}$$

$T_{\text{ripe}}$  – предсказано време в дни до пълно узряване;

$T_{\text{current}}$  – текущото време на наблюдението

$S_c$  – коефициент на зрелост от 0 до 1, оценен от модела;

$K_s$  – константа за размер (напр. 1.0 за малък, 1.3 за голям домати);

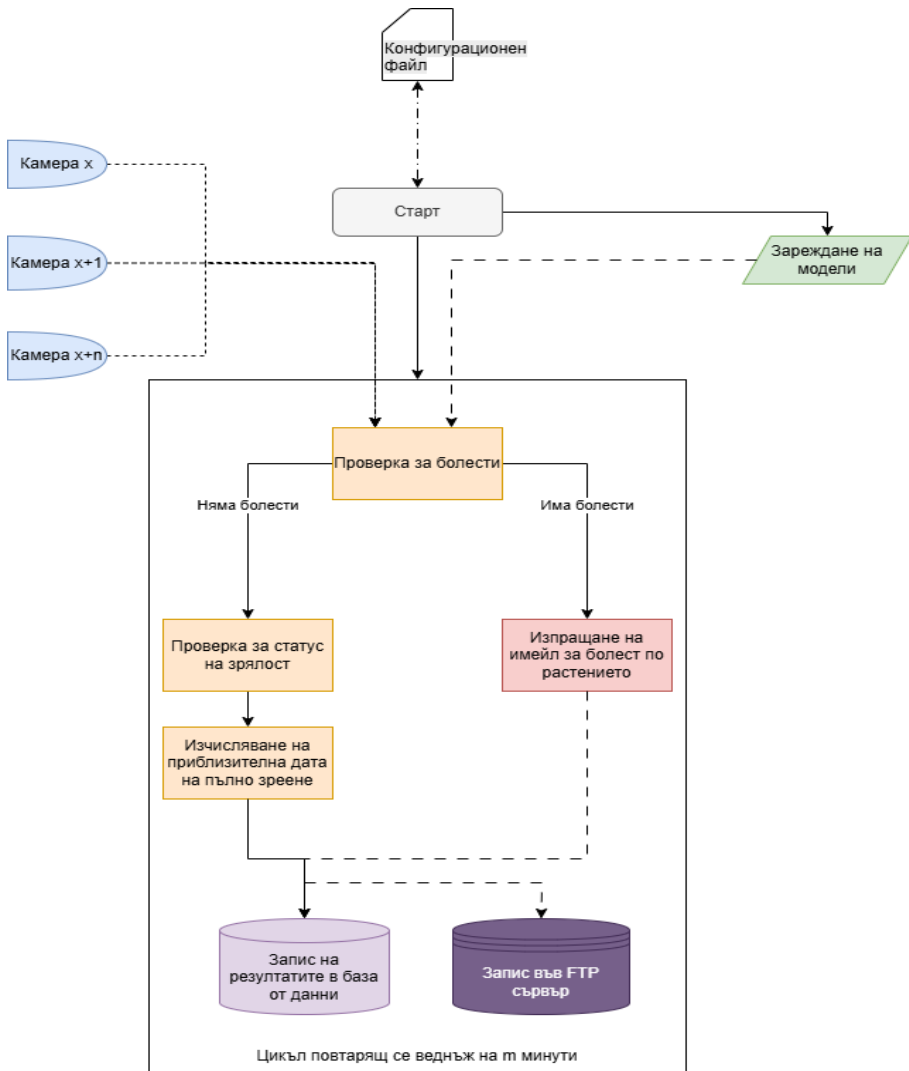
$R_g$  – средна скорост на растеж при нормални условия;

$F_e$  – влияниенавъншнитефактори:  $F_e = f(T_{env}, H, L)$ , където

$T_{env}$  – температура

$H$  – влажност,

$L$  – осветеност



Фигура 2: Графично изображение на начина на работа на MuTMS

MyTMS използва снимкови данни за трениране, както всяка YOLO базирана система. Препоръчително е в продукция, когато системата се използва от клиент, да се разширят основните модели, с които идва системата, за по-високи резултати [7]. Това може лесно да се постигне чрез инструментите, предоставени от Ultralytics. За базовите данни са използвани публични снимкови данни от източници като Kaggle и Roboflow.

Моделите за компютърно зрение изискват количество данни, не по-малко от 300 снимки за клас. Планирани класове за модела за болести са следните: Healthy, Bacterial Spot, Early Blight, Iron Deficiency, Late Blight, Lead Mold, Leaf\_Miner, Mosaic Virus, Septoria, Spider Mites, Yellow Leaf Curl Virus;

Класовете за модела на фаза на растежа биват по-прости, базирани на цвета и размера на доматиите, а именно: b\_green, b\_half\_ripened, b\_fully\_ripened, l\_green, l\_half\_ripened, l\_fully\_ripened; Като индикаторите b и l обозначават размера на домата (big, little).

Важна част от проекта е той да бъде високо конфигурируем, за да може всеки потребител да го персонализира по собствени критерии. За целта се използва лесен за редактиране .ini файл, където могат да се записват различните променливи [12]. Евентуално ще се прегледа и вариант за графичен интерфейс, който да улесни потребителите допълнително.

### Резултати от тестване

MyTMS беше подложена на тестове с цел оценка на точността ѝ при разпознаване на зрелостта на доматиите и диагностициране на болести по листата. Моделът за компютърно зрение в тестовата версия, бе трениран на по-рано наложения минимум от 300 снимки. Тестовите са проведени в контролирана среда, симулираща реални условия на оранжерийно производство, при естествено осветление и разнообразни фонове, с изображения, заснети от потребителско ниво с камера с резолюция 1080p. В резултат на тестване постигнатите метрики биват следните:

№	Условие на теста	mAP (%)	Precision (%)	Recall (%)	Коментар
1	Базов модел (текущи резултати)	68.1	71.2	63.2	Резултати от контролирана среда с 1080p изображения.
2	Увеличен тренировъчен набор (×2 повече изображения)	75.4	78.6	70.1	Повече данни подобряват обобщаването и разпознаването.
3	Използване на аугментации (осветление, ъгъл, шум)	72.0	74.1	68.3	Леко подобрене в устойчивостта към реални вариации.
4	Намалено качество на входа (720p, шум)	59.7	63.5	55.0	Значително влошаване поради загуба на детайл.
5	Реална оранжерийна среда с променливо осветление	64.3	69.0	61.4	Малко по-ниски стойности спрямо лабораторните.
6	Допълнително обучение с реални данни от фермата	77.8	80.2	74.5	Увеличаване на ефективността при реални условия.
7	Ъпгрейд към YOLOv12 (същите данни)	79.2	82.4	75.0	Новата архитектура подобрява скорост и точност.

Тези стойности показват добра обща ефективност на модела, като високата прецизност, която подсказва че при положително откриване на зрели домати вероятността то да е вярно е висока. По-ниската recall стойност показва, че все още има пропуски при засичане на всички зрели екземпляри, което може да бъде подоброено чрез разширяване на набора от обучаващи данни.

Отделно бяха проведени тестове с извлечени от интернет снимки на домати със заболявания, за да се тества съответният модел за тази сфера. Постигнатите резултати от тестовете на модела са следните:

№	Условие на теста	mAP (%)	Precision (%)	Recall (%)	Коментар
1	Базов модел (текущи резултати)	50.0	45.6	43.4	Резултати от начално обучение върху публични набори (Kaggle, Roboflow).
2	Увеличен тренировъчен набор (×2 повече данни)	58.9	55.3	51.7	Повече данни подобряват способността за разпознаване на редки болести.
3	Допълнителни аугментации (ъгли, контраст, яркост)	54.2	50.8	48.6	Леко подобрене при условия, близки до реалните.
4	Ниско качество на входа (720p, компресия)	42.5	39.0	37.2	Влошени резултати поради загуба на визуални детайли по листата.
5	Реални снимки от оранжерия с естествено осветление	48.1	46.5	43.9	Почти идентична ефективност с лабораторната среда.
6	Добавени собствени снимки от фермата (fine-tuning)	63.4	59.8	56.2	Значително подобрене при адаптация към специфични условия.
7	Ъпгрейд на YOLOv12 без промяна в данните	66.1	62.3	59.0	Новата архитектура повишава скорост и стабилност на откриването.

Тези тестове сочат към начален, но обещаващ стадий в развитието на болестния модел. Неговата ефективност може да се подобри значително чрез допълнително обучение с по-голям и по-разнообразен набор от данни, специално събран от реални насаждения.

Резултатите показват, че MuTMS вече постига адекватна точност за практически приложения в реална среда, особено при оценка на зрялост. Болестният модел служи като основа за по-нататъшно развитие, като може да се надгради с допълнителни данни и техники за подобряване на обобщаващата способност.

### Заклучение

Компютърното зрение играе ключова роля в трансформацията на индустрията за отглеждане на домати, предоставяйки нови възможности за прецизност, ефективност и устойчивост в земеделските практики. Проектът МуТMS демонстрира как авангардните технологии като YOLOv11 могат да се интегрират за решаване на конкретни проблеми, свързани със здравето и растежа на домати, както и да оптимизират процесите по отглеждане на домати на фермерите.

Макар че предизвикателствата като нуждата от стабилни данни, интеграция и високи първоначални разходи все още са препятствие, потенциалът на компютърното зрение да подобри вземането на решения го прави неотменна част от бъдещето на устойчивото земеделие. С по-нататъшното развитие на технологиите и тяхното адаптиране към реалните нужди на фермерите, може да се очаква значително подобрене както в качеството, така и в количеството на продукцията.

Компютърното зрение вече не е просто иновация – то се утвърждава като необходим инструмент за постигане на ново ниво в модерното земеделие.

### Литература

- 1 J. Marks, „How Computer Vision Is Changing Agriculture in 2023“, Voxel51, 30. 01. 2023. [Онлайн]. Available: <https://voxel51.com/blog/how-computer-vision-is-changing-agriculture-in-2023/>. [Отваряно на 10. 12. 2024].
- 2 T. Malche, „Tomato Leaf Disease Detection and Diagnosis using Computer Vision“, Roboflow, 19. 07. 2024. [Онлайн]. Available: <https://blog.roboflow.com/tomato-leaf-disease-diagnosis/>. [Отваряно на 10.12. 2024].
- 3 R. K. a. M. Hussain, „YOLOv11: An Overview of the Key Architectural Enhancements“, Arxiv, 23. 10. 2024. [Онлайн]. Available: <https://arxiv.org/html/2410.17725v1#:~:text=YOLOv11's%20innovative%20design%20incorporates%20advanced,from%20object%20detection%20to%20classification>. [Отваряно на 11. 12. 2024].
- 4 G. Boesch, „YOLO11: A New Iteration of “You Only Look Once”“, Viso, 15. 10. 2024. [Онлайн]. Available: <https://viso.ai/computer-vision/yolov11/>. [Отваряно на 11. 12. 2024].
- 5 T. Vuaprakhong, „YOLOv11: Transforming Real-Time Object Detection and Segmentation in 2024“, Medium, 12. 10. 2024. [Онлайн]. Available: <https://medium.com/@tententgc/yolov11x-segmentation-transforming-real-time-object-detection-and-segmentation-in-2024-b0811007ce22>. [Отваряно на 12. 11. 2024].
- 6 Mert, „How to use YOLOv11 for Object Detection“, Medium, 05 10 2024. [Онлайн]. Available: <https://medium.com/@Mert.A/how-to-use-yolov11-for-object-detection-924aa18ac86f>. [Отваряно на 11. 12. 2024].
- 7 Jan Erik Solem, „Programming Computer Vision with Python“, 2012. [Онлайн]. Available: [http://programmingcomputervision.com/downloads/ProgrammingComputerVision\\_CCDraft.pdf](http://programmingcomputervision.com/downloads/ProgrammingComputerVision_CCDraft.pdf). [Отваряно на 10. 10. 2025].
- 8 Naika, Shankara & Jeude, Joep & Goffau, Marja & Hilmi, Martin & Dam, Barbara. Cultivation of tomato production, processing and marketing. 2019. [Онлайн].

- Available:  
[https://www.researchgate.net/publication/331167081\\_Cultivation\\_of\\_tomato\\_production\\_processing\\_and\\_marketing](https://www.researchgate.net/publication/331167081_Cultivation_of_tomato_production_processing_and_marketing). [Отваряно на 09. 10. 2025].  
S. Kajiba, „Tomatoes Farming Book”, *Scribd*.
- 9 <https://www.scribd.com/document/737919649/Tomatoes-Farming-Book> .  
Peiyuan Jiang, Daji Ergu, Fangyao Liu, Ying Cai, Bo Ma, A Review of Yolo
- 10 Algorithm Developments,  
Procedia Computer Science, Volume 199. 2022. Pages 1066-1073, ISSN 1877-0509. [Онлайн]. Available:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050922001363> .  
[Отваряно на 10. 10. 2025].  
F. Alvi, “Data annotation – a beginner’s guide”, *OpenCV*, 03. 11, 2025. [Онлайн].
- 11 Available: <https://opencv.org/blog/data-annotation> . [Отваряно на 10. 10. 2025].  
Lenz, Moritz. Parsing INI Files Using Regexes and Grammars. (2020).  
10.1007/978-1-4842-6109-5\_9.
- 12 Ghalme, Shubham & Shelke, Kanchan & Kadam, Rutuja & Tupe, Umakant.
- 13 Automated Emails and Data Segregation using Python. (2023). 1701-1705.  
10.1109/ICSCSS57650.2023.10169850.
- 14 Satvoldiev, Abrorjon. THE COLLABORATION OF PYTHON AND  
DATABASES: A MODERN APPROACH TO DATA-DRIVEN APPLICATIONS.  
INTERNATIONAL JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY. (2025). 2.  
88-90. 10.70728/tech.v2.i06.032.
- 15 Kumar, Vipin & Dalal, Tarun. A Review on FTP Client/Server Technology.  
(2015). Journal of Advance Research in Computer Science & Engineering (ISSN:  
2456-3552). 2. 13-19. 10.53555/nncse.v2i6.443.