SOFTWARE SYSTEM FOR ANALYSIS AND OPTIMIZATION OF COSTS IN A MANUFACTURING ENTERPRISE

VALENTIN G. ZHELYAZKOV **STANIMIR K. ZHELEZOV**

ABSTRACT: *Along with financial management, real-time monitoring of the production hall is another key challenge. Traditionally, management receives information about the status of machines by physically visiting or calling operators – an approach that wastes valuable management time and provides data that may already be outdated by the time it is received. The economic aspect of the problem is particularly significant for tooling costs. Parallel to the financial aspect is the operational monitoring of the production hall. A two-module platform for production process management has been developed and implemented in the Alcomet Automotive production environment. It supports the management of the production process and provides a tool for making informed management decisions.*

KEYWORDS: *Software systems, Software technologies, Web based system, Software platform.*

DOI: https://doi.org/10.46687/ATNO2552

СОФТУЕРНА СИСТЕМА ЗА АНАЛИЗ И ОПТИМИЗАЦИЯ НА РАЗХОДИТЕ В ПРОИЗВОДСТВЕНО ПРЕДПРИЯТИЕ*

ВАЛЕНТИН Г. ЖЕЛЯЗКОВ **СТАНИМИР К. ЖЕЛЕЗОВ**

АБСТРАКТ *Едновременно с финансовото управление, мониторингът на производственото хале в реално време е друго ключово предизвикателство. Традиционно мениджмънтът получава информация за статуса на машините чрез физически обход или телефонно питане на операторите – подход, губещ ценно управленско време и предоставящ данни, които вече може да са остарели в момента на получаването им. Икономическият аспект на проблема е особено съществен за инструменталните разходи. Паралелно с финансовия аспект стои оперативният мониторинг на производственото хале. Разработена е и е внедрена, двумодулна платформа за управление на производствени процеси, в производствената среда на Alcomet Automotive. Тя подпомага управлението на производствения процес и предоставя инструмент за вземане на обосновани управленски решения.*

1 Въведение

Навлизането на дигиталните технологии в производствената сфера е едно от определящите явления на съвременната индустрия. Концепцията за „Индустрия 4.0“, очертана за пръв път на Хановерския панаир през 2011 г. и утвърдена в световен мащаб след 2015 г., поставя в центъра на внимание тясната интеграция между физическите производствени системи и интелигентните информационни решения. Резултатът е т.нар. „киберфизична производствена система“ (CPPS – Cyber-Physical Production System), при която данните за процесите се събират, обработват и анализират в реално време, позволявайки проактивно управление.

* Настоящата статия е частично финансирана по проект № РД- 08-88/02.02.2026 г. на фонд Научни изследвания на ШУ „Епископ Константин Преславски“

Управлението на автоматизирани производствени линии с CNC (Computer Numerical Control) машини [1] е особено чувствителна среда в това отношение. CNC машините представляват значителна капиталова инвестиция – стойността на един съвременен обработващ център може да надхвърли 500 000 евро. Режещите инструменти, използвани от тези машини, представляват втора значителна разходна позиция: при интензивно производство разходите за инструменти могат да достигнат десетки хиляди евро месечно. Неефективното управление на тези разходи и липсата на прозрачност в структурата им директно влияят върху конкурентоспособността на предприятието.

Едновременно с финансовото управление, мониторингът на производственото хале в реално време е друго ключово предизвикателство. Традиционно мениджмънтът получава информация за статуса на машините чрез физически обход или телефонно питане на операторите – подход, губещ ценно управленско време и предоставящ данни, които вече може да са остарели в момента на получаването им.

Целта е да се проектира, реализира и верифицира уеб платформа за управление на инструментални разходи и визуален мониторинг на производствено хале. Разработката е предназначена за внедряване в реална производствена среда за нуждите на Alcomet Automotive – предприятие, специализирано в производството на прецизни алуминиеви компоненти за автомобилната индустрия (BMW, Daimler).

Производственият процес преминава през множество етапи – от постъпването на алуминиева заготовка, през грубата и финишната CNC обработка, до крайния контрол на качеството и опаковането за доставка. Всеки етап генерира специфични данни: машинно време, изразходвани инструменти, измервателни резултати и евентуални несъответствия. Без централизирана информационна система тези данни остават разпокъсани между хартиени формуляри, локални Excel файлове на отделните работни места и устна комуникация, което прави невъзможен своевременния анализ на тенденциите.

Икономическият аспект на проблема е особено съществен за инструменталните разходи. При обработка на алуминиеви детайли с висока прецизност режещите инструменти (фрезови глави, свредла, инструменти с поликристален диамант – PCD) се износват сравнително бързо и трябва да бъдат подменяни на регулярни интервали, изчислени според броя обработени детайли. Без систематично проследяване на броя смени, разходваните количества и единичните цени, предприятието няма обективна основа за преговори с доставчиците, нито за сравнение между алтернативни инструментални решения за един и същи технологичен процес.

Паралелно с финансовия аспект стои оперативният мониторинг на производственото хале. В предприятие с десетки CNC центрове, разположени на голяма производствена площ, физическата проверка на статуса на всяка машина отнема значително време от работния ден на отговорните инженери и супервайзори. Когато машина спре поради техническа причина, липса на материал или планова поддръжка, закъснението в идентифицирането на престоя директно намалява общата ефективност на оборудването (OEE – Overall Equipment Effectiveness) – ключов показател в производствения мениджмънт.

Изброените предизвикателства не са специфични единствено за Alcomet Automotive – те са характерни за голяма част от малките и средните машиностроителни предприятия, които работят с чуждестранни автомобилни производители и трябва да отговарят на строги изисквания за документация и проследимост, но не разполагат с бюджет за внедряване на комплексна ERP или MES система от категория SAP или Siemens Opcenter [2,3,4].

2 Видове системи и сравнителен анализ

Пазарът предлага разнообразни видове системи. Познаването им е важно за разбирането на позиционирането на разработената платформа спрямо алтернативите:

Таблица 1 Видове системи

Вид система	Покритие на нуждите	Приложимост
ERP (SAP, Oracle, Dynamics)	Финансово управление, логистика, HR. Инструменталните разходи са периферна функция.	Скъп, сложен, изисква специалисти. Инструменталният мониторинг е слабо развит.
MES (Wonderware, Opcenter)	Производствен мониторинг в реално време, интеграция с PLC/SCADA.	Мощен, но изисква OT инфраструктура. Без финансов инструментален контрол.
CMMS (Maximo, UpKeep)	Управление на поддръжката на оборудване.	Добро за поддръжка, но без 3D визуализация и инструментален финансов мониторинг.
Специализирани инструментални системи (TDM, Zoller)	Управление на инструментални библиотеки, пресмятане, измерване.	Специализирани за инструментален мениджмънт, без производствена карта и live данни.
Настоящата платформа	Инструментален финансов контрол + 3D хале мониторинг в реално време.	Оптимален баланс за нуждите без сложна инфраструктура.

Направен е сравнителен анализ на конкретни съществуващи решения за управление на инструментални разходи[5]. Сравнени са системи като TDM Systems (Tool Data Management) ,Zoller ,Microsoft Excel, Power BI / Tableau, SAP PM (Plant Maintenance).

Анализът показва, че нито едно от съществуващите решения не предоставя едновременно: автоматично изчисляване на цена/детайл при въвеждане на смяна, управление на складови наличности с минимален праг, аналитични справки по проекти и периоди, и – в един пакет – интерактивна 3D карта на производственото хале с live данни. Именно тази комбинация запълва разработената платформа.

От гледна точка на скоростта на внедряване, готовите комерсиални системи изискват период на конфигуриране, обучение на персонала и адаптиране на работните процеси към логиката на продукта, който може да продължи месеци. За разлика от това, разработка „на мярка“ позволява интерфейсът и работният процес да следват точно начина, по който операторите и мениджмънтът на Alcomet Automotive вече работят, минимизирайки съпротивата към промяна и необходимото обучение.

Анализът на производствената среда в Alcomet Automotive идентифицира конкретни проблеми, за всеки от които платформата предлага специфично решение:

Таблица 2 Проблеми и решения

Идентифициран проблем	Решение в платформата
Разходите за инструменти не се проследяват по детайл и проект. Мениджмънтът не знае реалната цена/детайл за всеки инструментален код.	Форма за смяна с автоматично изчисляване: Цена/детайл = Обща цена ÷ Произведени части. Резултатът е видим мигновено.

Складовите наличности на инструменти се управляват ръчно в Excel. Честа ситуация: инструментът свършва неочаквано, производството спира.	Tool Inventory с текущо наличие и минимален праг (stock_min). Визуална индикация при достигане на минимума.
Аналитичните справки за разходи по проекти и периоди изискват ръчна обработка в Excel. Закъсняват с дни.	Модул Analysis с филтри по период/проект/инструмент. Данните са актуални в реално време.
Сравнение на разходи между периоди е трудоемко. Не е ясно дали разходите растат или намаляват.	Time Period Comparison – директно сравнение на два произволни периода с графика на разлика.
Мениджмънтът трябва физически да обхожда хале за статус на машините (15+ мин/ден).	3D интерактивна карта с live данни от машинния портал. Статус на всяка машина от офиса.
Данните за престои се получават постфактум от портала. Трудно е да се види цялостната картина.	Графики за престои по причини (Chart.js pie/bar) директно в 3D картата.
Ролите и правата са неясни – всеки вижда и може да редактира всичко.	Три-нивова ролева система: User (оператор), Manager, Admin с ясно разграничени права.

На базата направения анализ са дефинирани функционалните и техническите изисквания към системата. Определени са също така и модулите изграждащи системата с техните функционалности. Също така са дефинирани изискванията към базите от данни и тяхната структура. Платформата трябва да използва две отделни MySQL бази данни – по една за всеки модул.

3 Избор на технологии и реализация

Анализът бе направен на база на най-разпространените съвременни технологии за изграждане на web базирани приложения и сравнение на техните предимства и недостатъци [6,7,8,9,10]. Обърнато е сериозно внимание на използването на web базирани платформи и в други области на бизнеса[11]. Този анализ на технологиите показа следното:

- Комбинацията PHP + MySQL + Vanilla JS осигурява стабилна, лесно поддържана основа без нужда от Node.js инфраструктура.
- Three.js r128 и WebGL правят 3D визуализацията на хале достъпна директно в браузъра без инсталация на допълнителен softuep.
- Chart.js предоставя богат набор от интерактивни диаграми при минимален размер на библиотеката.
- ExcelJS + FileSaver.js осигуряват пълноценен Excel export, изпълнен изцяло на клиентска страна без натоварване на сървъра.
- PHP proxy механизмът решава CORS ограниченията при интеграция с машинния портал.

При реализацията на платформата бе избрано тя да следва класическата трислойна клиент-сървър архитектура: презентационен слой (HTML/CSS/JavaScript), бизнес-логически слой (PHP) и слой за достъп до данни (MySQL). Комуникацията е чрез асинхронни HTTP заявки (Fetch API), обменящи JSON данни.

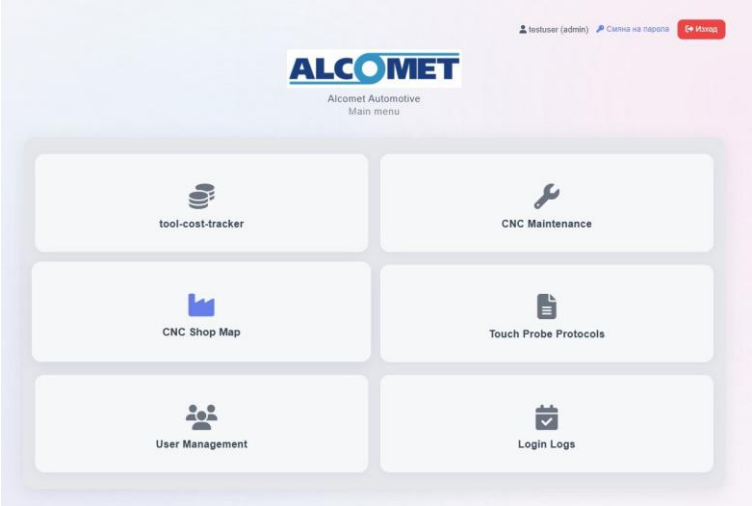
За да бъдат спазени стандартните изисквания за компютърна и мрежова сигурност [12] общата автентикационна система (login.html + sessionStorage) бе споделена между

двата модула. Сървърната страна на проверката се извършва в съответния action на api.php или cnc_api.php, сравняващ въведеното потребителско име и парола спрямо хеширани с алгоритъма bcrypt стойности в таблицата users, без съхранение на пароли в чист текст. При успешен вход PHP връща JSON обект с идентификатора, потребителското име и ролята на потребителя, а допълнително записва действието в таблицата user_logs (Tool Cost Tracker) или директно в таблицата за запис на влизанията (CNC Maintenance System), формирайки одитна следа за целите на сигурността.

Клиентската страна на автентификацията се изпълнява веднъж при зареждане на всяка защитена страница (чрез слушател на събитието DOMContentLoaded), проверявайки наличието на потребителско име в sessionStorage.

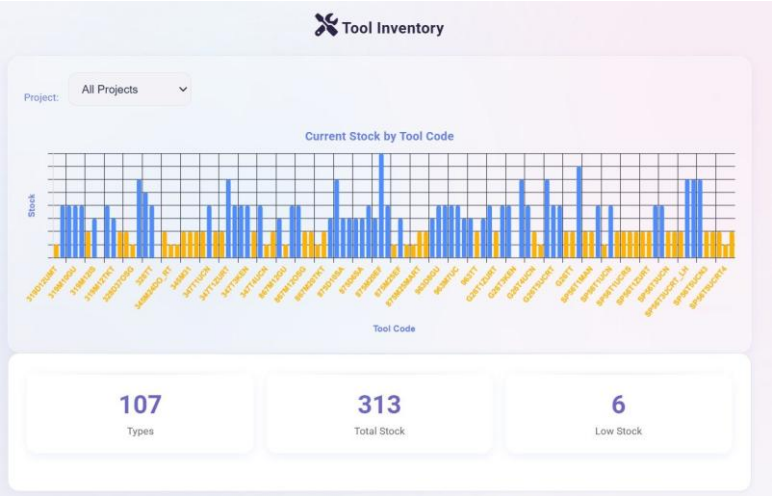
4 Модул Tool Cost Tracker

Модулът Tool Cost Tracker е самостоятелно уеб приложение с централно табло и осем под-страници. Всяка под-страница е фокусирана върху конкретна функционалност и е достъпна от главното меню.



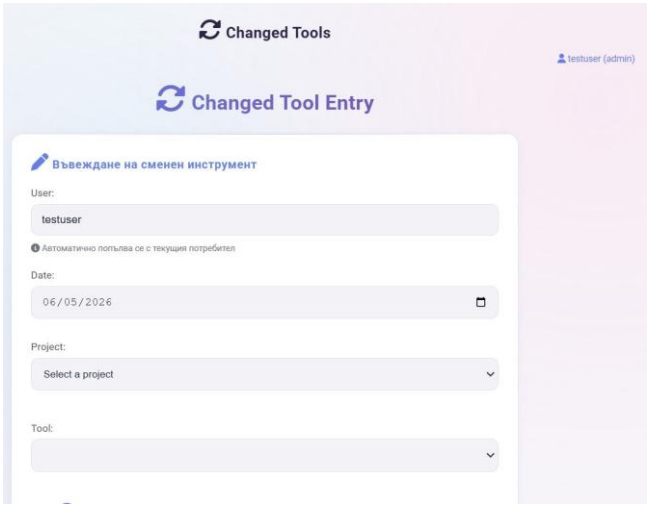
Фиг. 1. Изглед на главното меню на платформата Alcomet Automotive

Tool Inventory е централният регистър на инструментите. Страницата зарежда паралелно проектите и инструментите, след което рендерира Chart.js стълбовидна диаграма и таблица с пет критерия за търсене.



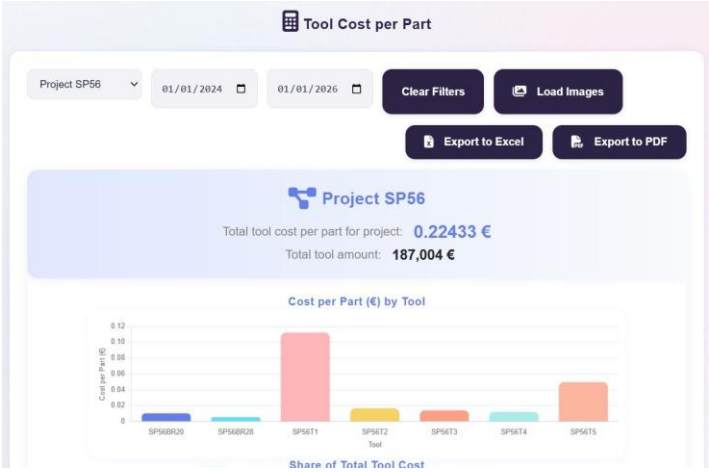
Фиг. 2. Изглед на модул Tool Inventory – диаграма на наличностите и таблица с инструменти

Tool Changes е основният работен екран на операторите. Формата е проектирана за максимална скорост на въвеждане – всичко, което може да се изчисли автоматично, се изчислява.



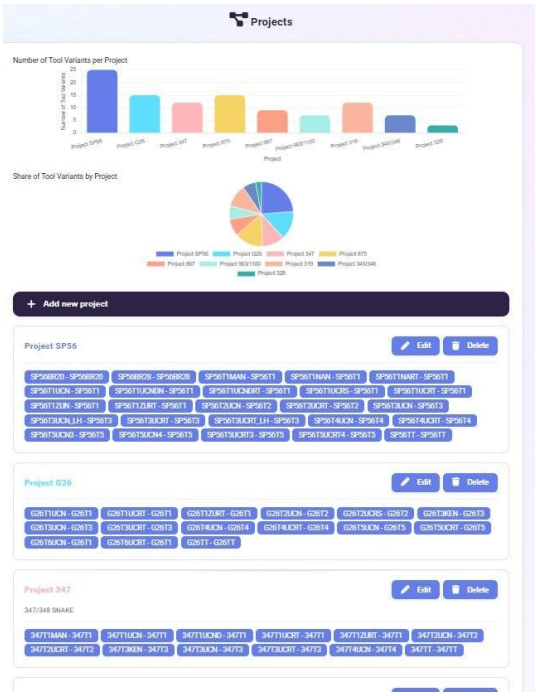
Фиг. 3. Изглед на формата Tool Changes за въвеждане на смяна на инструмент

Analysis предоставя пълен табличен преглед на всички смени с пет критерия за филтриране. От страницата са достъпни бутони за навигация към специализираните аналитични под-изгледи.



Фиг. 4. Изглед на модул Tool Cost per Part с аналитични диаграми

Last Tool Changes предоставя пълна история на всички смени с функции за редактиране и изтриване, достъпни само за Manager и Admin. Страницата поддържа филтри по период, инструментален код, проект и потребител.



Фиг. 7. Изглед на модул Projects – управление на производствени проекти

5 Модул CNC Shop Interactive Map

CNC Shop Interactive Map е технологично най-напредналият компонент на платформата. Реализиран в единичен HTML файл с над 8700 реда код, той обединява Three.js 3D рендеринг, real-time данни от машинния портал, Chart.js диаграми и административни функции.

При отваряне на страницата инициализацията следва строго установен ред: първо се зарежда запазената конфигурация на позициите на 3D моделите от model-positions.php, след което се създава самата Three.js сцена с камера и осветление, последвано от

асинхронното зареждане на декоративните и машинните 3D обекти, и накрая – първото зареждане на производствените данни от машинния портал. Този ред гарантира, че когато потребителят за пръв път вижда картата, моделите на машините вече се изобразяват на правилните позиции, вместо да се „изместват“ видимо след late-loading на конфигурацията.

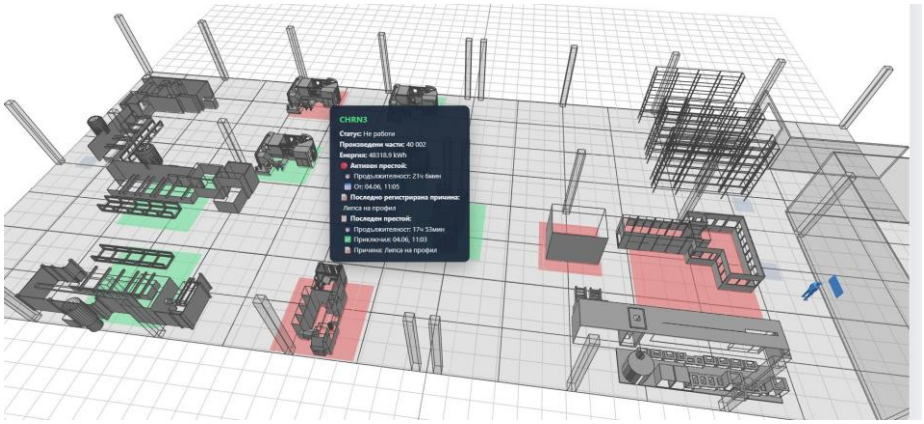


Фиг. 8. Изглед на CNC Shop Interactive Map – 3D карта на производственото хале

Производствените данни, изобразени върху 3D картата, не се генерират и не се съхраняват от самата платформа – те се извличат в реално време от вътрешен машинен портал на предприятието чрез сървърния proxy.php. Конфигурацията обхваща единадесет физически машини: четири обработващи центъра от тип Chiron (chrn1–chrn4), три центъра Heller (Heller1–Heller3), два центъра, означени sw600 и sw620, и два допълнителни – ECLN1 и KRBY.

Статусът на всяка машина се определя от числовия код opMode, връщан от портала, и се превежда от сървъра в пет възможни категории, всяка със собствен цвят за визуализация: изключена (offline, сив цвят), готова (idle, жълт), работи (running, зелен), грешка (error, червен) и поддръжка (maintenance, лилав).

Информационният панел показва комбинация от статични данни (наименование на машината, конфигурирани при инициализацията) и динамични данни от последното опресняване на портала: текущ статус с цветен бадж, брой произведени части, консумирана енергия в киловатчаса, процент работно спрямо престойно време, активен престой (ако машината в момента не работи) с продължителност и причина, и последен регистриран престой с дата на приключването му. Тази информация се актуализира автоматично при всяко следващо автоматично опресняване на данните, дори ако потребителят е оставил панела отворен.



Фиг. 9. Изглед на детайлен информационен панел на машина в 3D картата

Авто-тур режимът е особено полезен за показване на картата на бигскрийн в производствени срещи. При активиране камерата автоматично преминава от машина на машина на фиксиран интервал (шест секунди по подразбиране), плавно интерполирайки позицията си между текущата и целевата точка чрез линейна интерполация (lerp) на всеки кадър от анимацията, вместо да „скача“ рязко между машините. При достигането до всяка машина автоматично се отваря и съответния информационен панел, позволявайки на наблюдаващите в залата да видят последователно статуса на всички машини без ръчна намеса.

6 Резултати от практическата реализация

Платформата е внедрена в производствената среда на Alcomet Automotive. Внедряването протече в две фази: пилотна (1 месец, 2 оператора) и пълно внедряване (целия машинен парк). В таблицата по-долу са описани конкретните измерими резултати.

Таблица 3 Обобщение на резултатите

Показател	Преди	След
Изчисляване на цена/детайл	Ръчно, периодично, с грешки	Автоматично при всяка смяна
Актуалност на финансовите данни	1-2 дни закъснение	Реално време
Идентификация на скъпи инструменти	Не се правеше	2 кода идентифицирани
Неочаквано свършване на инструменти	Периодично	Елиминирано (сигнализация)
Ежедневен обход на хале за статус	45-60 мин/ден	Напълно елиминиран
Ранна идентификация на проблеми	Не	Да – 3 случая
Анализ на причини за престои	Постфактум	В реално време с графики

Показаните резултати потвърждават коректността на архитектурните решения и избора на технологии.

7 Заключение

Направена е реализация на уеб платформа за управление на производствени процеси, включваща два специализирани, взаимодопълващи се модула: Tool Cost Tracker (система за управление на инструментални разходи) и CNC Shop Interactive Map (интерактивна 3D карта на производственото хале с данни в реално време).

Разработеното приложение може да подпомогне подготовката и управлението на производствения процес върху текущите проекти и да предостави на мениджмънта инструмент за вземане на обосновани решения.

На базата на предложените технологии са разработени и внедрени двата модула на платформата:

• Tool Cost Tracker автоматизира финансовото управление на инструменталните разходи, предоставяйки реална стойност при директното им внедряване в производствена среда.

• CNC Shop Interactive Map дава на мениджмънта безпрецедентна видимост върху производственото хале без физически обход.

Представените резултати потвърждават коректността на архитектурните решения и избора на технологии. Системата е приета позитивно от всички нива на персонала – операторите оценяват скоростта и автоматизацията, мениджмънтът – видимостта и аналитичността. Разработеното приложение може да подпомогне управлението на производствения процес и да предостави инструмент за вземане на обосновани управленски решения.

Проектът демонстрира значението на тясната комуникация между разработчика и реалните потребители на системата по време на целия процес на разработка. Множество от детайлите в реализацията – автоматичното изчисляване на цена/детайл с прецизност до пет знака след десетичната запетая, разделянето на R&D и RT/RS инструменти в самостоятелна аналитична категория, конфигурируемият интервал на авто-тура за бигскрийн визуализация – не произтичат от абстрактна добра практика, а от конкретна обратна връзка на операторите, технологичните специалисти и мениджмънта на Alcomet Automotive по време на пилотното внедряване, потвърждаваща значимостта на итеративния подход към софтуерната разработка дори при проекти с относително ограничен мащаб.

ЛИТЕРАТУРА: (например)

[1] Siemens AG, SINUMERIK 840D sl/828D Programming Manual, Siemens, 2018.

[2] Видове уеб-базирани приложения и предимства за бизнеса, Devnox, (онлайн), URL: https://devnox.com/uslugi/ueb-bazirani-prilozheniya/bg, посетен на: 14.04.2026.

[3] Opcenter — Управление на производствените операции, SIEMENS (онлайн), URL: https://www.siemens.com/bg-bg/products/opcenter/ посетен на: 15.04.2026.

[4] Софтуер за планиране на ресурсите на предприятието, SAP (онлайн), URL: https://www.sap.com/bulgaria/products/erp.html, посетен на: 15.04.2026.

[5] Сравнителен анализ на програмни продукти за управление на задачи в организацията, PostvAI, (онлайн), URL: https://postvai.com/analizi/task-trackers-software.html, посетен на: 13.04.2026.

[6] Колисниченко Д., HTML5 & CSS3 – практическо програмиране за начинаещи, Асеневци, 2015.

[7] Какво е jQuery и защо да го използваме, SuperHosting Blog, (онлайн), URL: https://blog.superhosting.bg/jquery.html, посетен на: 15.04.2026.

[8] Cabello R. et al., Three.js Documentation (revision r128), Three.js Project, (онлайн), URL: https://threejs.org/docs/, посетен на: 16.04.2026.

[9] What is JavaScript and what is it used for, SpeedFlow Blog, (онлайн), URL: https://speedflow.bg/blog/what-is-javascript-what-it-is-used-for/, посетен на: 16.04.2026.

[10] Дефиниция на MySQL, Facts News, (онлайн), URL: https://bg.facts-news.org/definicija-na-mysql, посетен на: 19.04.2026.

[11] Павлова, Р., Янева Р., ERP системи от ново поколение за аптеки: Ползи от усъвършенстваните модули и оптимизираните процеси, Сборник студентски научни публикации, Факултет по математика и информатика, том 7, 2025, стр. 65-76, ISSN 2683- 023X

[12] Станев, С., Железов, С. (2002). Компютърна и мрежова сигурност. Университетско издателство „Епископ Константин Преславски“, ЦДО Шумен

Валентин Ганчев Желязков
Alcomet Automotive
2230151004@shu.bg

проф. д-р Станимир Кунчев Железов
Шуменски университет „Епископ Константин Преславски“
ORCID ID: 0000-0001-8761-2592
2230151004@shu.bg