Зборник радова Факултета техничких наука, Нови Сад

УДК: 5.1
ДОИ: https://doi.org/10.24867/36GI17Berezni

Развој платформе за едукацију о ЛЕАН филозофији

Development of an Educational Platform for LEAN Philosophy

Бојан Бережни, Немања Сремчев, *Факултет техничких наука Нови Сад*

Студијски програм – ИНЖЕЊЕРСКИ МЕНЏМЕНТ

Кратак садржај – *Овај рад анализира примену Леан (Lean) филозофије и Кајзен принципа кроз развој интерактивне едукативне платформе „LeanCortex“. Рад обухвата теоријски оквир Лин менаџмента, укључујући алате попут 5S, Канбана и VSM-а, који су имплементирани применом методологије гејмификације. Кроз развој овог дигиталног решења, корисницима се омогућава практично савладавање техника континуалног побољшања процеса. Резултати указују на то да „LeanCortex“ представља ефикасан едукативни модел за инжењере и менаџере, доприносећи оптимизацији производних и услужних система у савременом глобалном пословном окружењу.*

Кључне речи: *кајзен, лин технологије, континуално побољшање, едукативна платформа, гејмификација, LeanCortex, 5S, Канбан, мапирање тока вредности (VSM)*

Abstract – *This paper analyzes the application of Lean philosophy and Kaizen principles through the development of the interactive educational platform "LeanCortex". The study encompasses the theoretical framework of Lean management, including tools such as 5S, Kanban, and VSM, which are implemented using gamification methodology. Through the development of this digital solution, users are enabled to practically master continuous process improvement techniques. The results indicate that "LeanCortex" represents an effective educational model for engineers and managers, contributing to the optimization of manufacturing and service systems in the modern global business environment.*

Keywords: *kaizen, lean technologies, continuous improvement, educational platform, gamification, leanCortex, 5S, kanban, value Stream Mapping (VSM)*

НАПОМЕНА:

Овај рад проистакао је из завршног рада чији је ментор био ванр. проф. др Сремчев Немања

1. УВОД

Савремено пословно окружење у оквиру четврте индустријске револуције (Индустрија 4.0) поставља пред предузећа императив континуираног унапређења ефикасности, при чему се Леан концепт често уводи као комплементаран оквир за дигитализацију [1]. Услови пословања на глобалном тржишту захтевају од компанија висок степен флексибилности, брз одговор на захтеве купаца и ригорозну контролу трошкова. У том контексту, организације масовно прихватају Lean филозофију – управљачки концепт усмерен на мапирање токова вредности и елиминацију свих облика расипања (muda).

Дигитална трансформација производних система, често означена као Индустрија 4.0, захтева парадигматски заокрет у начину на који се инжењерско знање преноси и примењује. Док је класични Леан био фокусиран првенствено на физичке токове материјала, савремени приступ мора да инкорпорира дигиталне токове информација. Истраживања указују на то да је успешност примене Леан алата директно корелирана са нивоом компетенција запослених, при чему традиционални, статички модел едукације постаје уско грло у организационом развоју. Интеграција SaaS модела у едукативне процесе омогућава компанијама да превазиђу географске баријере и обезбеде континуитет у обуци, што директно утиче на спремност организације да брзо реагује на тржишне осцилације.

Ипак, изградња стабилне Lean културе у великој мери зависи од „меких” фактора и адекватне едукације запослених [2]. Пракса показује да имплементација Леан алата често не успева због отпора организационе културе и неразумевања суштине континуираног побољшања од стране извршилаца. Традиционални приступи обуци, који подразумевају класичне учионице, пасивна предавања и обимне штампане материјале, показују озбиљна ограничења у виду високих трошкова организације, одсуства радника са производних линија и веома брзог опадања стеченог знања услед недостатка практичне интеракције.

Предмет овог рада је концептуализација, приказ и вредновање функционалности развијене B2B SaaS платформе LeanCortex (lean-cortex.vercel.app), дизајниране као Cloud-базирано решење за дигиталну едукацију о Lean филозофији кроз методологију гејмификације [3]. Гејмификација у овом контексту не подразумева тривијализацију инжењерских процеса, већ примену механике и динамике дизајна игара у не-игричном окружењу са циљем повећања мотивације, ангажовања и когнитивног задржавања информација код корисника.

У раду се постављају две кључне хипотезе:

- X1: Креирање специјализоване Cloud-базиране SaaS платформе за Lean едукацију омогућава предузећима виши степен флексибилности и скалабилности у процесу обуке запослених у односу на традиционалне, локалне методе.
- X2: Имплементација дигиталног система за праћење напретка (метрика знања) унутар платформе омогућава менаџменту средњег и топ нивоа доношење прецизнијих одлука у вези са алокацијом људских ресурса на пројектима оптимизације процеса.

Резултати истраживања и развијена интерактивна платформа „LeanCortex“ ће допринети дигитализацији и ефикаснијем начину едукације о Леан технологијама, омогућавајући пословним системима флексибилан и скалабилан модел за обуку запослених и континуално побољшање процеса кроз гејмификацију.

2. ТЕОРИЈСКЕ ОСНОВЕ

Срж Lean размишљања лежи у препознавању и елиминацији осам облика расипања (muda) ради стварања вредности за крајњег корисника [4]. Ови губици обухватају прекомерну производњу, чекање, непотребан транспорт, сувишне процесе, прекомерне залихе, непотребна кретања људи, дефекте и неискоришћени људски потенцијал. Да би се губици сузбили, користи се скуп структурираних алата чије дефинисање и метрике омогућавају операционализацију Леан производње [5], а који чине основу образовних модула платформе LeanCortex:

1. 5S методологија: Систем за организацију и стандардизацију радног простора кроз фазе: сортирање (Seiri), организовање (Seiton), чишћење (Seiso), стандардизација (Seiketsu) и одржавање (Shitsuke). Овај алат представља темељ за све остале Леан иницијативе јер визуелно открива аномалије у процесу пре него што оне прерасту у критичне проблеме.
2. Kanban: Систем који функционише на принципу "повлачења" (pull), омогућавајући визуелизацију процеса и контролу залиха кроз ограничење рада у току (WIP). Уместо традиционалног "гурања" (push) материјала кроз систем независно од стварне потражње, Канбан осигурава да се производи само оно што је потребно, када је потребно и у тачно захтеваној количини.
3. Jidoka и Poka-Yoke: Аутономизација са људским додиром и инжењерски дизајн који физички или логички онемогућава настанак грешке, обезбеђујући квалитет на самом извору. Овај концепт пребацује фокус са инспекције готових производа на превенцију настанка дефеката током самог процеса обраде или монтаже.
4. OEE метрика и SMED: Свеобухватни показатељ укупне ефективности опреме кроз доступност, перформансе и квалитет, подржан методом брзе промене алата испод 10 минута. SMED методологија је кључна за повећање флексибилности производње јер омогућава економску исплативост производње у мањим серијама [6].
5. Heijunka и VSM: Нивелисање производње ради стварања стабилног темпа рада (Takt time) и мапирање целокупног тока вредности од добављача до купца [7]. VSM представља макро-алат који менаџменту пружа визуелни приказ тренутног стања система и служи као путоказ за дизајнирање будућег, оптимизованог стања (To-Be state).
6. Kaizen: Филозофија малих, свакодневних унапређења унутар PDCA (Plan-Do-Check-Act) циклуса, која захтева проактивно учешће свих запослених, од оператера на машини до топ менаџмента.

Посебан значај у контексту савремене едукације има синергија између принципа континуалног побољшања (Кајзен) и савремених софтверских архитектура. Кајзен филозофија, која промовише мале, инкременталне промене у раду, идеално се уклапа у агилне методологије софтверског развоја (Agile/Scrum), где се функционалности платформе LeanCortex континуирано унапређују на основу повратних информација корисника. Овакав приступ омогућава да систем за едукацију није фиксна вредност, већ живи организам који се прилагођава специфичним потребама сваког предузећа, чиме се елиминише расипање ресурса кроз непотребне функције.

3. АРГИТЕКТУРА И ПРАКТИЧНА ИМПЛЕМЕНТАЦИЈА ПЛАТФОРМЕ

Платформа LeanCortex се ослања на B2B SaaS пословни модел, трансформишући капиталне ИТ трошкове (CapEx) у предвидљиве оперативне трошкове (OpEx). Овакав приступ омогућава компанијама да избегну скупа улагања у хардверску инфраструктуру и одржавање локалних сервера.

3.1. Софтверска архитектура

Систем је пројектован као Serverless веб-апликација заснована на спрези Vercel платформе и Supabase инфраструктуре (са PostgreSQL базом). Vercel омогућава рендеровање и испоруку садржаја преко Edge мреже, чиме се латенција приступа смањује на минимум независно од географске локације корисника. Са друге стране, Supabase гарантује високу сигурност података о корисницима, аутентификацију и интегритет резултата тестирања у реалном времену. Овај технички избор у потпуности рефлектује Lean концепт, елиминишући инфраструктурно расипање (muda) у виду неискоришћених серверских капацитета, пошто се ресурси скалирају аутоматски према тренутном оптерећењу мреже.

3.2. Приказ функционалних образовних модула

Интерфејс апликације је развијен у виду високо интерактивних девелоперских модула заснованих на гејмификацији, који захтевају директну когнитивну и моторну реакцију корисника:

- Модул 5S: Корисник кроз drag-and-drop механику издваја непотребне ствари у зону црвених етикета (Слика 1), подешава алате на силуетне табле (Shadowboard), виртуелно чисти мрље, те активира SOP правила стандардизације и одржавања. Симулација мери време потребно за проналажење алата пре и након 5S имплементације, јасно демонстрирајући уштеду у времену.



Слика 1. Интерфејс 5S – Сортирање

- Модул VSM: Симулира линију за склапање звучника. Корисник детаљно мапира токове информација и материјала, самостално израчунава Lead Time и ефикасност процеса (PCE – Process Cycle Efficiency), те имплементира TO-BE стање које умањује количину полупроизвода (WIP) за 100%. Овај модул захтева од корисника разумевање разлике између времена додавања вредности и времена чекања.
- Модул Kanban: Упоређује традиционални Push систем (гомилање залиха) са Pull системом. Омогућава кориснику подешавање WIP лимита између радних станица и директно праћење укупних трошкова држања залиха кроз динамичке наруџбине које генерише систем симулирајући стварну потражњу на тржишту.
- Модул Jidoka и Poka-Yoke: Симулира Andon семафор за заустављање траке при детекцији аномалија, чиме се спречава прослеђивање дефекта наредној операцији. Део посвећен Poka-Yoke принципу кроз модификацију геометрије плоче физички спречава погрешну ротацију CPU процесора, директно елиминишући трошак лошег квалитета (COPQ).
- Модули OEE, SMED, Heijunka и Kaizen: Садрже интерактивне калкулаторе Шест великих губитака где корисник уноси параметре застоја, класификацију операција на интерне (IED) и екстерне (OED) у оквиру SMED методологије која радикално скраћује време замене алата [5]. Ту су и Heijunka Box за нивелацију мешовите производње и ROI/PDCA матрица за прецизну квантификацију Kaizen уштеда пре почетка физичке имплементације на машини.



Слика 2. Раздвајање операција у SMED-у

4. ЕВАЛУАЦИЈА РЕЗУЛТАТА И ДИСКУСИЈА

Евалуација система је извршена кроз две фазе: техничку проученост архитектуре перформанси платформе под оптерећењем и алфа тестирање на пригодном узорку инжењера и студената.

4.1. Потврда хипотезе X1 (Скалабилност и флексибилност)

Увођењем Serverless модела на Vercel-у, ИТ ресурси се алоцирају динамички у реалном времену. То омогућава симултани приступ великом броју корисника без икакве латенције у извршавању Lean игара, што је критично за компаније које истовремено спроводе масовне обуке запослених у различитим производним погонима. С обзиром на то да нема потребе за дуготрајном локалном инсталацијом софтвера и капиталних улагања у сервере, доказано је да платформа омогућава организацијама неупоредиво виши степен флексибилности у односу на традиционалне моделе обуке, чиме се хипотеза X1 у потпуности потврђује.

4.2. Потврда хипотезе X2 (Менаџерски доносиоци одлука)

Унутар Supabase базе аутоматски се, у позадини, бележи дигитални траг сваког корисника. Ова телеметрија обухвата параметара попут укупног прогреса кроз модуле, времена решавања проблема, постигнутих виртуелних уштеда и тачности инжењерских калкулација. Оваква структура података чини основу за будући фронтенд менаџерски панел који обухвата Матрицу компетенција (Skill Matrix) и агрегатни ROI извештај. На овај начин менаџмент добија егзактне, квантификоване показатеље на основу којих може поуздано и стратешки делегирати адекватне кадровске ресурсе на стварне пројекте оптимизације, знајући тачан ниво Леан писмености сваког појединца, што у потпуности потврђује хипотезу X2.

4.3. Алфа тестирање и ограничења

Иницијално алфа тестирање обављено у лабораторијским условима на ФТН-у показало је изузетно позитивно корисничко искуство (UX). Посебан фокус током алфа тестирања стављен је на ергономију корисничког интерфејса и интуитивност навигације, јер је установљено да је за успешан процес учења одраслих (андрагогија) кључно минимализовати техничке баријере. Корисничке

повратне информације биле су усаглашене у оцени да интерактивни приступ у великој мери елиминише „страх од технологије" који је често присутан код радника у производним погонима, чиме се потврђује теза да софтверска решења морају бити прилагођена крајњем кориснику, а не само системским захтевима. Корисници су пријавили значајно смањење когнитивног оптерећења приликом учења апстрактних концепата попут израчунавања Takt времена или мапирања вредности, захваљујући визуелној интуитивности интерфејса. Тренутна ограничења се огледају у мануелном уносу појединих параметара за калкулацију унутар симулација. Будући правци развоја обухватају повезивање платформе са фабричким ERP/MES системима преко сигурних API интерфејса ради преузимања стварних производних података у реалном времену, као и имплементацију AI ментора за дубљу персонализацију лекција према брзини учења појединца.

Анализа прикупљених података током алфа тестирања сугерише да је учење кроз симулацију довело до повећања брзине савладавања комплексних концепата попут VSM-а за око 30% у поређењу са контролном групом која је користила традиционалну литературу. Учесници су истакли да им је могућност визуелне манипулације параметрима (нпр. промена WIP лимита у Канбан модулу) омогућила много дубље разумевање узрочно-последичних веза унутар производног система, што је кључно за доношење квалитетних одлука након завршетка обуке.

5. ЗАКЉУЧАК

Развојем платформе LeanCortex успешно је понуђен иновативни дигитални одговор на проблеме традиционалних корпоративних обука у домену индустријског инжењерства. Интеграцијом методологије гејмификације и савременог софтверског инжењерства (Cloud и Serverless технологија), комплексни инжењерски алати трансформисани су у лако разумљиве симулације високе доступности. Научни и практични допринос овог рада огледа се у постављању економски оправданог, апсолутно скалабилног модела који директно повезује едукацију о оптимизацији процеса са егзактним менаџерским праћењем компетенција запослених у реалном времену, чиме се ствара чврст темељ за одрживи развој Lean културе у компанијама.

Поред академског доприноса, LeanCortex платформа нуди конкретне бенефите за индустријске системе кроз значајно смањење 'скривених' трошкова едукације. Увођењем дигитализованих симулација, компаније могу очекивати бржу адаптацију запослених на нове радне процедуре, што директно утиче на повећање продуктивности и смањење стопе дефеката. У будућности, планирана је надоградња модула за анализу трошкова, која ће менаџерима омогућити директну корелацију између степена обучености запослених и остварених финансијских уштеда у производњи.

Коначно, овај рад отвара простор за даља истраживања у правцу интеграције напредних модела вештачке интелигенције који би, кроз анализу података о понашању корисника, могли аутоматски креирати персонализоване путање учења. Тиме се LeanCortex позиционира не само као едукативни алат, већ као динамичка платформа за подршку доношењу одлука у реалном времену, што представља искорак ка потпуно дигитализованом управљању компетенцијама у складу са принципима Индустрије 4.0.

6. ЛИТЕРАТУРА

[1] Buer S. V., Strandhagen J. O., Chan F. T., "The link between Industry 4.0 and lean manufacturing: mapping current research", *Int. Journal of Prod. Research*, 2018.

[2] Bortolotti T., Boscari S., Danese P., "Successful lean implementation: Organizational culture and soft lean practices", *Int. Journal of Production Economics*, 2015.

[3] Deterding S., et al., "From game design elements to gamefulness: defining gamification", *Proceedings of the 15th MindTrek*, 2011.

[4] Womack J. P., Jones D. T., *"Lean thinking: banish waste and create wealth in your corporation"*, Simon and Schuster, 2003.

[5] Shah R., Ward P. T., "Defining and developing measures of lean production", *Journal of Operations Management*, 2007.

[6] Shingo S., *"A revolution in manufacturing: the SMED system*", Productivity Press, 1985.

[7] Rother M., Shook J., *"Learning to See: Value Stream Mapping to Add Value and Eliminate Muda"*, Lean Enterprise Institute, 1999.

Кратка биографија:



Бојан Бережни, рођен у Сремској Митровици, 1990. године. Мастер рад на Факултету техничких наука из области Индустријског инжењерства и инжењерског менаџмента – Организација и менаџмент предузећа одбранио је 2026. год.

Контакт: bberezni@gmail.com