

# АНАЛИЗ НА ВЗАИМОВРЪЗКАТА LEAN ПРОИЗВОДСТВО - ИНДУСТРИЯ 4.0 В ПРОИЗВОДСТВЕНАТА ПОДСИСТЕМА

## ANALYSIS OF THE RELATIONSHIP LEAN MANUFACTURING - INDUSTRY 4.0 IN THE PRODUCTION SYSTEM

Nataliya Koleva<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Department of Economics, Industrial Engineering & Management,  
Technical University – Sofia, Bulgaria,  
E-mail: [nkoleva@tu-sofia.bg](mailto:nkoleva@tu-sofia.bg)*

**Abstract.** Lean Manufacturing is widely recognized and accepted concept, which helps enterprises across all industries to increase the efficiency of their production systems emphasizing on strict integration of human factor in the manufacturing process, continuous improvement and increasing value added for customers by avoiding any kind of wastes (Muda, Muri, Mura). Today, a new paradigm called Fourth Industrial Revolution (Industry 4.0) creates new possibilities for the Industrial Enterprises (IE), with the appearance of Cyber-Physical Systems (CPS), Big Data, Cloud Technologies and Internet of Things (IoT). In other words, by using digital technologies IE „*Perfection*“, can be achieved, which is one of the basic principles of Lean Manufacturing. This paper analyses the relationships between Lean Manufacturing and Industry 4.0 and there potential to support each other in order to increase the production system effectiveness.

**Keywords:** Production and Operations Management, Industry 4.0, Smart Manufacturing, Lean Manufacturing, Internet of Things, Cyber-Physical System.

### 1. Въведение

Концепцията Lean Manufacturing (наричана по-нататък за краткост само Lean) е позната още като „Производствената система на Тойота“ (Toyota Production System - TPS) и „Точно на време“ (Just-In-Time - JIT), възниква в годините след Втората Световна Война в Япония [1]. В основата на Lean философията е намаляването на загубите от всякакво естество (*Muda – дейности без добавена стойност, Muri - претоварване на хора и оборудване, Mura - неравномерност*) чрез непрекъснато усъвършенстване на протичащите в предприятието, най-общо казано, бизнес процеси.

В [2] Lean се дефинира като: „*Посветен на преследване на съвършенството систематичен подход за идентифициране и елиминиране на загубите, чрез непрестанно подобряване и осигуряване на непрекъснатост на материалния поток „изтеглян“ от крайния клиент*“. Както може да се заключи и от

тази дефиниция *насочеността към клиента и идентифицирането и изследването на потока на добавената стойност (Value Stream)* са сред основните характеристики на Lean [3,4].

В продължение на няколко десетилетия Lean подпомага предприятията от различни сектори на индустрията, както и такива от сферата на услугите, да повишат ефективността на осъществяваните производствени/операционни процеси и като резултат от това да увеличат добавената стойност за клиентите. Прилагането в пълнота на основните принципи на Lean, както и на принадлежащия ѝ инструментариум поставя основата на т. нар. „Оперативно съвършенство“ (Operational excellence) [5], което изисква изграждането на култура за непрекъснато усъвършенстване. Като се има предвид високата степен на неопределеност и динамика на съвременната бизнес среда, именно стремежа към непрекъснато усъвършенстване на процесите ще подпомогне предприятията да се адаптират към нейните изисквания, с оглед подобряване на своята конкурентна позиция. Въпреки безспорния принос на Lean за усъвършенстване и повишаване на ефективността на осъществяваните производствени/операционни процеси в предприятията, днес изглежда, че тази философия е достигнала своя предел [6] и сама по себе си вече не е достатъчна за преодоляване на предизвикателствата, пред които са изправени производителите в ерата на дигитализацията.

Динамичните промени на технологиите, на които сме свидетели през последните години, се превръщат във новият водещ фактор за развитие на индустрията [7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 и др.]. Днес производствения потенциал и конкурентоспособност на предприятията се определя от способността им да се „трансформират“, т. е. *да създадат нов производствен модел*, в съответствие с изискванията на т. нар. „Индустрия 4.0“ (Industry 4.0/I.4.0). Основна движеща сила на тази трансформация са „Интернет на нещата“ (Internet of Things/IoT), „Интернет на услугите (Internet of Services/IoS), „Големи масиви от данни (Big Data/BD), „Облачните технологии“ (Cloud Technologies/CT) и др. под., с чиято помощ се променя съществено работната среда и начина на проектиране, управление и осъществяване на процесите.

Индустрия 4.0 се възприема и разглежда в [7,9,14,15,16,17,18 и др.] като една съвременна концепция насочена към автоматизация и обмен на данни, която предполага един нов „*интелигентен*“ начин за осъществяване на взаимодействие и комуникация между елементите по цялото протежение на логистичната верига. Тя изисква предприятията да насочат вниманието и усилията си към цифрова трансформация на процесите, което предполага обединяване на физическите активи и процеси по проектиране, производство, логистика и др. под., така че да се осигури децентрализирано производство и генериране на стойност в реално време. Цифровите технологии създават възможност за постигане на тясно взаимодействие между физическия и виртуалния свят, което от своя страна представлява фундаментално нов аспект за осъществяване на бизнес/производствените процеси и намира израз в т. нар.

„Кибер-физични производствени системи“ (Cyber Physical Production Systems (CPPS) [19].

Може да се обобщи, че понастоящем дигиталната трансформация има решаваща роля за повишаване ефективността на функционирането на производствената подсистема в частност, а също така и на предприятието като цяло, като позволява да се усъвършенстват осъществяваните производствени и операционни процеси, чрез използването на високо технологични решения. С други думи използването на информационните и комуникационните технологии или най-общо казано технологичния потенциал на Индустрия 4.0 се създават нови възможности за „*непрекъснато усъвършенстване*“, който стремеж се проповядва от философията Lean.

Целта на настоящата разработка е да анализира взаимовръзка между Lean и Industry 4.0, в контекста на разкриване на възможности тези две концепции да си взаимодействат и да подпомагат производствените предприятия в процеса на изграждане на ефективна кибер-физична производствена система.

## 2. Взаимовръзката Lean-Industry 4.0

Предвид поставената цел в настоящата разработка се поставя за решаване следния изследователски въпрос: „*Съществува ли взаимовръзка между концепциите Lean и Industry 4.0*“. Прегледа на литературата [5,20,21,22,23,24,25,26 и др.] по поставения проблем показва наличието на противоречиви мнения. Трябва да се посочи, че преобладава виждането, че Индустрия 4.0 е просто следващият етап в развитието на концепцията Lean [19,20,21,25]. Друга част от авторите обаче [23,25], разглеждат Lean като основа за въвеждането на Индустрия 4.0.

**Тезата на автора** е, че *Lean* и *Industry 4.0* са две концепции, които са взаимозависими и би било по-ефективно да се изследва и обедини техния потенциал, с оглед подпомагане на предприятията в процеса на дигиталната им трансформация.

Като отправна точка на анализа на взаимовръзката между Lean и Индустрия 4.0 се предлага да бъдат използвани основните принципи на Lean философията.

- *Value – Стойност за клиента*

Една от основните характеристики на философията Lean се определя от лозунга „*Клиентът е най-важен*“ (Customer first) [27,28]. Всъщност насочеността към изследване и разбиране на „*стойността за клиента*“ (value for the customer) е в основата на успешното внедряване на Lean, както и на трансформацията в начина на мислене, който налага на тази концепция. Днес посланието на лозунга „*Клиентът е най-важен*“ продължава на бъде актуално, може би дори с по-голяма сила, и също така е в основата на изграждането на т. нар. „*Умно предприятие*“ (Smart Enterprise). Видно е, че движеща сила при Lean, както и при Индустрия 4.0 е процесите да са така проектирани, че бързо да се адаптират и да следват промените в разбирането на клиентите за *стойност*. Понастоящем Индустрия 4.0 благодарение на IoT, BD, CT и др. под. дава възможност да се постигане на по-добро разбиране и навременно

улавяне на промените в нагласите и очакванията на клиентите и в зависимост от това се проектира процеса на създаване на стойност, което предполага постигането на по-висока ефективност. В обобщение може да се каже, че що се отнася до разбирането на важността и ролята на клиентите Lean и Индустрия 4.0 „говорят на един език“

- *Value Steam – Верига на добавената стойност*

Вторият принцип на Lean акцентирана на важността на изследването на осъществяваните операции/процеси и идентифицирането на тези от тях, които добавят стойност. За тази цел се разработва т. нар. „Карта на добавената стойност“ (Value Stream Map – VSM). С нейна помощ технологичните потоци от суровини, материали и съпътстващите ги информационни потоци се описват графично, при което фокусът е от момента на приемане на поръчката до момента, в който крайният продукт бива доставен на клиента (Delivery Time). Основната цел при разработването на картата на добавената стойност е да бъдат разграничени дейностите, които добавят стойност към продукта, т. е. носят полезност за клиента от тези, които не добавят стойност. По този начин успешно се анализират и определят загубите, които не могат да бъдат избегнати от тези, които могат да бъдат елиминирани. В контекста на Индустрия 4.0 и стремежа на предприятията към дигитална трансформация много важно значение за осъществяване на процесите придобиват данните и информацията. В този смисъл освен изследването и идентифицирането на дейностите, които добавят стойност (value-adding activities) посредством VSM, възниква необходимостта да се изследва и идентифицира информацията която добавя стойност (value-adding information). Тази необходимост се поражда от факта, че процесите осъществявани в кибер-физичната производствена система се управляват от данни и информация, които трябва да бъдат филтрирани, за да не се отразят на качеството на осъществяване на процесите. Предвид на това, информацията с добавена стойност е от съществено значение за управлението, контрола и изпълнението на дигитализираните процеси, както и за тяхното усъвършенстване.

Може да се обобщи, че от една страна Индустрия 4.0, чрез своите интелигентни приложения и технологии, подпомага и надгражда Lean, тъй като дава възможност да се идентифицират освен дейностите с добавена стойност и информацията с добавена стойност, която е в основата на вземането на решения за начина на функциониране на кибер-физичната производствена система. Също така новите технологии дават възможност да се изгради една динамична карта на добавената стойност, и на тази основа непрекъснато да се актуализират и усъвършенстват процесите. От друга страна обаче, Lean подпомага, чрез своя инструментариум – VSM, мониторирана на процесите в кибер-физичната производствена система (осъществява се в реално време) и може да послужи като добра основа за тяхното проектиране.

- *Flow – Осигуряване на „потоčnost“/непрекъснатост*

Lean изисква стремежът на предприятията да е насочен към постигане на

или доближаване към поточната форма на организация на производството с поединично движение на полуфабрикатите (One-Piece-Flow), ако и където е възможно. Видно е, че отново се акцентира върху „поточността“/непрекъснатостта на материалните потоци (ранжирането на дейностите добавящи стойност в непрекъснат поток). Както стана ясно обаче, в дигитална производствена среда фокуса на вниманието се измества върху управлението на потока от данни и информация. Следователно смисъла на принципа на поточност ще бъде допълнен с изискването за стремеж към непрекъснат информационен поток, които добавя стойност за изпълнение на процесите в кибер-физичната производствена система. Дигитализацията дава възможност за пълно проследяване на работата на системата – във всеки един момент и от всяко място може да се упражнява контрол и да се извършва мониторинг на състоянието на всеки един елемент от логистичната верига. Тук отново Индустрия 4.0 може да използва и надгражда Lean.

▪ *Pull – Прилагане на „принципа на теглене“*

В основата на принципа на тегленето лежи идеята, че инициатор на „задвигването“ на производствения процес е клиентът или потребяващото работно място/производствено звено – при възникването на реалната необходимост от продукта/компонента. По този начин и информацията, и „задвигването“ на процеса протичат в посока, обратна на технологичната му последователност – от последната операция към първата. Този начин на функциониране на системата напълно съответства на Индустрия 4.0. Може да се допълни, че принципа на теглене може да е валиден не само за процеса на производство на крайния продукт, но и за съпътстващите го услуги - в [29] се лансира термина „pull everything“. Стремежа да предприятия трябва да е свързан с разработване и производство на продукти с добавена стойност, със закупуването на които клиента да задвижи процеса (елемент на теглене) по тяхното последващо обслужване в рамките на експлоатационния им живот.

▪ *Perfection – Стремеж към съвършенство*

Процесът на непрекъснато усъвършенстване и елиминиране на загубите „итеративно“ доближава предприятия към „идеала“ за конкретната ситуация. Изпълнението на този цикъл (анализ, идентификация на “Muda”, елиминиране, осъществяване на „подобрените” дейности) и започването му отначало, като се натрупват придобитото знание и добри практики, води до постигането на ефекта на концепцията KIZEN [30]. Този процес изисква извършването на **непрекъсната** оценка на изпълняваните в предприятието производствени процеси и недопускане на примиряване с постигнатото с презумпцията, че не могат да бъдат направени повече подобрения. В контекста на Индустрия 4.0 може да се каже, че стремежът към съвършенство е заложено априори в начина на функциониране на кибер-физичната производствена система. Чрез възможността в реално време непрекъснато да се събират и анализират данни, системата се самообучава и актуализира работата си спрямо конкретната ситуация.

От казаното до тук може да се обобщи, че:

- Индустрия 4.0, с технологичната мощ която носи (интернет на нещата, интернет на услугите, облачни технологии, анализ на големи масиви от данни, 3D-принтиране, симулации и моделиране в реално време и др. под.) създава възможности за подпомагане и предпоставки за усъвършенстване на принципите и прилагане на инструментариума на концепцията *Lean Manufacturing* или *Индустрия 4.0 подпомага прилагането на Lean*. В таблица 1 е представен приноса на Индустрия 4.0 за справяне с седемте източника на загуби предложени от Lean.

Таблица 1.

Седемте вида загуби предложени от Lean и технологиите на Индустрия 4.0, които подпомагат тяхното елиминиране [31]

Технологии на Индустрия 4.0 <i>7<sup>ме</sup> вида загуби на Lean</i>	3D принтиране	Разширена реалност	Симулация и виртуализация	Автономни роботи	Интернет на нещата	Анализ на големи масиви от данни	Облачни технологии
<i>Транспортиране</i>		✓	✓	✓		✓	
<i>Излишни движения и действия</i>		✓		✓			✓
<i>Престои и изчаквания</i>	✓		✓	✓	✓	✓	✓
<i>Запаси и задели</i>	✓				✓	✓	
<i>Самият производствен процес</i>	✓		✓	✓			✓
<i>Свърх производство</i>	✓				✓	✓	
<i>Некачествено свършена работа</i>	✓	✓	✓	✓	✓	✓	

- Изграждането на Lean производствена система или т. нар. “Lean Enterprise” в значителна степен благоприятства въвеждането на Индустрия 4.0 или Lean подпомага въвеждането на Индустрия 4.0.

### 3. Заключение

Настоящата разработка очертава някои перспективи на взаимовръзката между Lean и Industry 4.0. Като в заключение може да се обобщи, че Lean и Industry 4.0 са две концепции, които взаимно се допълват. Основавайки се на твърдението за взаимозависимост между двете концепции в доклада се разглеждат основните аспекти, в които те се подпомагат - от една страна технологичния потенциал и инструментариума на Industry 4.0 подпомагат изграждането на т. нар. *Lean Enterprise*, а от друга - основните елементи и принципи на Lean Manufacturing подпомагат изграждането на ефективна кибер-физична производствена система, която е основата на т. нар. *Smart Factories*. В тази връзка настоящото изследване може да послужи като основа на концептуален модел за интегриране и взаимодействие на елементите, философията и инструментариума на Lean и Industry 4.0, с оглед повишаване на ефективността на

управлението и функционирането на производствената подсистема в съответствие с изискванията на дигитализацията.

## Литература

1. OHNO T., Toyota Production System: Beyond Large Scale Production. Productivity Press, Cambridge, MA, 1988.
2. IFS Research & Development AB, Lean Enterprise development in Engineer-To-Order Companies, White Paper, 2004, [www.ifsworld.com](http://www.ifsworld.com)
3. MOSSMAN, A., Creating Value: An Sufficient Way to Eliminate Waste in Lean Design and Lean Production. Lean Construction Journal, pp. 13 – 23, 2009.
4. NEDJALKOV, L., ANDREEV, O. & DAKOV, I., Principi na proizvodstvenata sistema na Tojota za osigurivane na visoko kachestvo na produkcviata, 15-ta mezhduнародna nauchna konferencia „Menidzhmant i Inzhenering’17”, ISSN 1314-8907, 2017
5. TSOPLANIDIS, A., With Lean Thinking and Industry 4.0 to Operational Excellence, 2017, [https://cdn2.hubspot.net/hubfs/2721102/AFO17/SCM\\_2017\\_III\\_AFO\\_131\\_Lean\\_Thinking\\_Industry\\_4.0.pdf](https://cdn2.hubspot.net/hubfs/2721102/AFO17/SCM_2017_III_AFO_131_Lean_Thinking_Industry_4.0.pdf)
6. ERLACH, K., Value Stream Design: The Way Towards a Lean Factory, Springer, 2013
7. KOLEVA, N., Industry 4.0’s Opportunities and Challenges for Production Engineering and Management, ISJI, Issue 1, pp. 17-18, ISSN 1314-8907, 2018
8. KOLEVA, N., Metodika za izsledvane stepenta na razvitie na digitalizaciata na proizvodstvoto v balgarskite industrialni predpriatia, Uchastie v 16-ta Mezhduнародna nauchna konferencia „Menidzhmant i Inzhenering’18“, str. 707-713, Sozopol, ISSN 1310-3946, 2018
9. ANDREEV, O. & PENEVA, G., Problems Concerning Operations System of the Enterprise in the Context of Industry 4.0, X International Scientific Conference “E-Governance & E-Communications”, pp. 165-170, ISSN 2534-8523, 2018.
10. ANDREEV, O. & PENEVA, G., Metodicheski podhod za izsledvane na vazmozhnostite za vnedriavane na Industria 4.0 v balgarskite industrialni predpriatia, Uchastie v 16-ta Mezhduнародna nauchna konferencia „Menidzhmant i Inzhenering’18“, 24-27 yuni, str. 739-745, Sozopol, ISSN 1310-3946, 2018
11. ANDREEV, O., Operations System Agility – the Underlying Factor for Mass Customization and the Most Important Feature of New Industrial Revolution, International Journal for Science and Innovations for the Industry, Issue 1, ISSN 1314-8907, 2016
12. NIKOLOV, B., Possibilities and Restrictions in Forming and Development of the Innovative Potential of the Enterprises in Bulgaria, International Scientific Journal Innovations, Year VII, Issue 1 /2019, pp. 6-8, ISSN (Print) 2603-3763, ISSN (Online) 2603-3771
13. KOLEVA, N. & ANDREEV, O., Wnedriavane na LEAN-proizvodstvo v balgarsko industrialno predpriatie, Sbornik ot nauchnitrudove – 13-ta Mezhduнародna nauchna konferencia “Menidzhmant i Inzhenering’16”, Sozopol, ISSN 1310-3946, str. 1084-1094, 2016
14. ZHOU, K., LIU, T. & ZHOU, L., Industry 4.0: Towards Future Industrial Opportunities and Challenges, International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery, pp. 2147-2152, 2016
15. BRETTEL, M., FRIEDERICHSEN, N., KELLER, M. & ROSENBERG, M., How virtualization, decentralization and network building change the manufacturing landscape: an Industry 4.0 Perspective, International Journal of Information and Commu-

- nication Engineering, Vol: 8, No1, pp. 37-44, 2014
16. Kontsepsia za tsifrova transformatsia na balgarskata industria (Industria 4.0), 2017 [https://www.mi.government.bg/files/useruploads/files/ip/kontsepsia\\_industria\\_4.0.pdf](https://www.mi.government.bg/files/useruploads/files/ip/kontsepsia_industria_4.0.pdf)
  17. PEREIRA, A. & ROMERO, F., A Review of Meanings and the Implications of the Industry 4.0 Concept, Manufacturing Engineering Society International Conference (MESIC), 28-30 June, Spain, pp. 1206-1214, 2017
  18. World Economic Forum, White Paper - Digital Transformation of Industries: In collaboration with Accenture Digital Enterprise, 2016, <http://reports.weforum.org/digitaltransformation-of-industries/wp-content/blogs.dir/94/mp/files/pages/files/digitalInterprisenarrative-final-january-2016.pdf>
  19. BCG, Man and Machine in Industry 4.0. How will Technology Transform the Industrial Workforce Through 2025? [http://englishbulletin.adapt.it/wp-onte/uploads/2015/10/BCG\\_Man\\_and\\_Machine\\_in\\_Industry\\_4\\_0\\_Sep\\_2015\\_tcm80-197250.pdf](http://englishbulletin.adapt.it/wp-onte/uploads/2015/10/BCG_Man_and_Machine_in_Industry_4_0_Sep_2015_tcm80-197250.pdf), 2015
  20. KOLBERG, D. & ZÜHLKE, D., Lean Automation enabled Industry 4.0 technologies, IFAC Conference OnLine paper 48-3, pp. 1870-1875, 2015
  21. MAYER, A., WEIGELT, M., KÜHL, A., GRIMM, S., ERLI, A., POTZEL, M. & FRANKE, J., Lean 4.0 – A Conceptual Conjunction of LEAN Management and Industry 4.0, 51<sup>st</sup> CIRP Conference on Manufacturing System, pp.623-628, 2018.
  22. ARCIDIACINO, G., & PIERONI, A., The Revolution Lean Six Sigma 4.0, International Journal on Advanced Science Engineering Information Technologies, Vol.8, No 1, ISSN 2088-5334, pp.141-149, 2018
  23. LEYH, C., MARTIN, S., & SCHÄFFER, T., Industry 4.0 and Lean Production – A Matching Relationship? An analysis of Selected Industry 4.0 Models, Proceedings of the Federated Conference on Computer Science and Information Systems, pp. 989-993, ISSN 2300-5963, 2017
  24. TAMÀS, P., & ILLES B., Process Improvement Trends for Manufacturing Systems in Industry 4.0, Academic Journal of Manufacturing Engineering, Vol. 14, Issue 4, pp. 119-125
  25. MRUGALSKA, B. & WYRWICKA M., Towards lean production in Industry 4.0, 70<sup>th</sup> International Conference of Engineering, Project, and Production Management, pp. 466-473, 2017.
  26. NETLAND, T., Industry 4.0: Where does it Leave Lean?, pp. 22-23, 2015
  27. WOMACK, J., JONES, D. & ROOS D., The Machine that Changed the World: The Story of Lean Production – Toyota's Secret Weapon in the Global Car Wars that is Revolutionizing World Industry, New York, Free Press, 1990
  28. FOUND, P. & HARRISON, R., Understanding the Lean Voice of the Customer, International Journal of Lean Six Sigma, Vol. 3 (3), pp. 251-267, 2012
  29. LEE, J., KAO, H. A. & YANG S., Service Innovation and Smart Analytics for Industry 4.0 and Big Data Environment, Procedia CIRP, Vol. 16, pp. 3-8, 2014
  30. NEDJALKOV, L., ANDREEV, O. & DAKOV, I., Prilozhenie na kizen Sistema e balgarsko industrialno predpriatie, 13-ta Mezhdunarodna nauchna konferencia "Menedzhmant i Inzhenering'15", ISSN 1314-8907, 2015
  31. SANDERS, A., SUBRAMANIAN K., REDLICH T. & WULFSBERG J. P., Industry 4.0 and Lean Management – Synergy or Contradiction?, Journal of Industrial Engineering and Management, Vol. 9 (3), pp. 811-833, 2017