

REKONFIGURABILNI PROIZVODNI SUSTAVI I POTREBA ZA NOVIM TEJLORIZMOM

RECONFIGURABLE MANUFACTURING SYSTEM AND THE NEED FOR NEW TAYLORISM

Aleksandar VUKOVIĆ – Milan IKONIĆ – Sandro DOBOVIČEK

Sažetak: Pojam proizvodnja danas je mnogo širi nego što je to bio prije 10 godina. Industrijski poslovni sustavi svoju konkurentnost temelje na kreativnosti i inovacijama kao i na agilnosti svojih proizvodnih kapaciteta. Industrijski poslovni sustavi istodobno (simultano) planiraju, stvaraju, inoviraju i upravljaju životnim ciklusom proizvoda, dobavnim lancima, proizvodnim procesima i ostalim aspektima poslovanja. Životni ciklus proizvoda i dalje se skraćuje dok se raznolikost palete proizvoda povećava time dajući novu dimenziju pojmu masovna prilagodba proizvoda. Proizvodni sustavi uvode nova tehnološka rješenja kako bi odgovorili na iznenadne promjene u okruženju često ne vodeći računa o socio-tehničkom aspektu njihovog uvođenja. Efikasnost proizvodnog sustava ovisi o efikasnosti socio-tehničkog sustava. U ovom radu predstavljen je pristup upravljanju i organizaciji socio-tehničkih sustava unutar rekonfigurabilnih proizvodnih sustava, koji predstavljaju ključnu tehnologiju budućeg razvoja proizvodnje, a utemeljen je na Tejlorovim principima menadžmenta.

Ključne riječi:

- rekonfigurabilni proizvodni sustavi
- novi Tejlorizam
- socio-tehnički sustavi
- proizvodni radnik
- automatizirani procesi

Abstract: The concept of manufacturing is much broader today than it was 10 years ago. Industrial enterprises base their competitiveness on creativity and innovation as well as agility of manufacturing capacity. Industrial enterprises plan, create, innovate and manage the product lifecycle, supply chain, manufacturing processes and other aspects of business concurrently (simultaneously). Shortening of the product life cycle is continuing while the diversity of product range is increasing, thereby giving a new dimension to the concept of product mass customization. Manufacturing systems introduce new technological solutions in response to sudden changes in the environment and they often do not take into account the socio-technical aspect of their introduction. The effectiveness of the production system depends on the effectiveness of socio-technical system. In this paper, the approach for management and organization of socio-technical systems within reconfigurable manufacturing systems, which represents a key technology for future development of manufacturing, is presented and is based on the Taylor's principles of management.

Keywords:

- Reconfigurable manufacturing systems
- New Taylorism
- Socio-technical system
- Manufacturing worker
- Automated processes

1. UVOD

Promjene u društvu i promjene na tržištu uvjetuju kreiranje novih poslovnih modela koji se, da bi bili ostvarivi, moraju oslanjati na postojeće proizvodne paradigme ili uvjetuju kreiranje novih. Proizvodna paradigma predstavlja revolucionarni, novi i integrirani proizvodni model koji nastaje kao reakcija na promjene

1. INTRODUCTION

Society changes and market changes require the creation of new business models which, to be feasible, must rely on an existing production paradigm, or on the creation of a new one. The manufacturing paradigm presents a revolutionary, new and integrated manufacturing model that arises in response to changing societal and market

tržišnog i društvenog okruženja, a ostvaruje se kreiranjem novog tipa proizvodnog sustava [1].

Rekonfigurabilni proizvodni sustav (RPS) obuhvaća skup naprednih tehnologija. RPS omogućava ostvarivanje paradigme globalne proizvodnje i povećava efekte poslovanja unutar paradigme masovne prilagodbe proizvoda približavajući produktivnost linijskih proizvodnih sustava (LPS) prilagodljivosti fleksibilnih proizvodnih sustava (FPS) vodeći računa o jednostavnosti materijalnih tokova i upravljivosti sustavom.

Danas u svijetu LPS i FPS predstavljaju najzastupljenije modele proizvodnih sustava [2]. Principi Tejlorizma odnosno znanstveno utemeljenog menadžmenta u svojoj osnovi još su uvijek čvrsto spregnuti s modelom LPS-a. Kod modela FPS-a principi sukladni Tejlorovim principima ne postoje iako se analizom znanstvenih istraživanja može doći do zaključka da koncept vitke proizvodnje može dati smjernice na temelju kojih se mogu razviti alati za uspješno upravljanje proizvodnjom u pojedinom dijelu industrijskoga poslovnog sustava [3 - 6].

Važnost razumijevanja utjecaja regionalno-kulturoloških razlika na implementaciju koncepta vitke proizvodnje u proizvodnim sustavima istaknuta je u većem broju radova [1, 7, 8]. Mehanizmi prepoznavanja i korištenja prednosti navedenih razlika donekle su obuhvaćeni teorijom socio-tehničkih sustava, a njihova ugradnja u pristup predstavljen u ovom radu iziskuje integraciju poznatih principa i teorija i prilagodbu novom tipu proizvodnog sustava.

Taj sustav naziva se **rekonfigurabilni proizvodni sustav (RPS)** i on predstavlja naprednu tehnologiju. Tehnologija je alat, odnosno dio tehničkog sustava. Tehnologijom upravljaju ljudi koji zajedno sa svojim interakcijama, procesima zapažanja, razumijevanja i analize predstavljaju socijalni sustav. Socijalni i tehnički sustav svojom međusobnom interakcijom čine cjelinu kojom je potrebno upravljati kako bi efekti poslovanja bili zadovoljavajući. U ovom radu predstavljen je pristup upravljanju i organizaciji socio-tehničkih sustava unutar rekonfigurabilnih proizvodnih sustava, koji predstavljaju ključnu tehnologiju budućeg razvoja proizvodnje, a utemeljen je na Tejlorovim principima. Rad je strukturiran u pet poglavlja. U drugom poglavlju objašnjeni su osnovni pojmovi vezani za RPS, Tejlorizam i socio-tehničke sustave. Analiza položaja proizvodnog radnika unutar pojedinog proizvodnog modela s posebnim osvrtom na horizontalnu i vertikalnu integraciju odnosno segregaciju prikazana je u trećem poglavlju, dok je u četvrtom na temelju navedene analize i principa navedenih u drugom poglavlju dan prijedlog novog Tejlorizma. U zaključku je dan osvrt na mogućnost implementacije predloženog pristupa.

surroundings, and is enabled by the creation of a new type of manufacturing system [1].

A reconfigurable manufacturing system (RMS) encompasses a set of advanced technologies. RMS allows for the realization of the global production paradigm and increases business effects within the product mass customization paradigm by means of convergence of the productivity of dedicated manufacturing systems (DMS) with the adaptability of flexible manufacturing systems (FMS), taking into account the ease of material flow and system management.

In the world today, DMS and FMS are the most common models of manufacturing systems [2]. The principles of Taylorism or scientific management at its core are still tightly coupled with the DMS model. For the FMS model, the principles that are consistent with Taylor's principles do not exist, although the analysis of scientific research can come to the conclusion that the concept of lean production may provide some guidance on which tools to develop in order to manage production in a particular area [3 - 6].

The importance of understanding the impact of regional cultural differences in the implementation of the concept of lean manufacturing in production systems has been highlighted in many papers [1, 7, 8]. Mechanisms to identify and take advantage of these differences are partly covered by the socio-technical system theory and their incorporation in the approach presented in this paper requires an integration of known principles and theories and their adaptation to a new type of production system.

This system is called the Reconfigurable Manufacturing System, and it represents an advanced technology. Technology is a tool or a part of the technical system. Technology is run by people who, together with their interactions, the observation processes, understanding and analysis present the social system. Social and technical systems with their mutual interaction make a whole, which is required to be managed so the effects of the business processes are satisfactory. In this paper, the approach for the management and organization of socio-technical systems within reconfigurable manufacturing systems, which represent a key technology for future development of manufacturing, is presented as based on the Taylor's principles. The paper is structured into five chapters. The second chapter explains the basic concepts related to the RMS, Taylorism and the socio-technical systems. The position of production workers analysis with special emphasis on horizontal and vertical integration or segregation within a single production model is shown in the third chapter, while the fourth is based on the analysis and the principles set out in the second chapter and it gives the proposal of the New Taylorism. In conclusion, the possibility of implementation of the proposed approach is presented.

2. OSNOVNI POJMOVI

2.1. Rekonfigurabilni proizvodni sustavi

Rekonfigurabilni proizvodni sustav projektiran je u prvom redu za brzu promjenu strukture hardverskih i softverskih komponenti s ciljem brze prilagodbe proizvodnih kapaciteta i funkcionalnosti za projektiranu familiju proizvoda, a kao odgovor na iznenadne promjene na tržištu ili promjene zakonskih regulativa [9]. On predstavlja novi koncept promjenjivosti koji obuhvaća paradigme moderne proizvodnje kao što su agilnost, prilagodljivost, fleksibilnost i rekonfigurabilnost [10].

Projektiranje RPS-a mora biti usmjereno k brznoj promjeni konfiguracije sustava, proizvodne opreme i kontrola unutar sustava. U proizvodnom procesu mogu se pojaviti nepredviđeni događaji koji su po svojoj prirodi dinamičke varijable teško predvidivih uzroka i posljedica. Na razini sustava mogu se navesti kvarovi pojedinih dijelova sustava (strojevi, manipulatori, ispad električnog sustava, promjena prioriteta itd.), a na razini proizvodnog kapaciteta lomovi alata, kolizija robota i sl. Prepoznavanje i utjecanje na uzroke pojave ovih događaja još uvijek se ne može prepustiti stroju pa radnik unutar RPS-modela mora imati poseban položaj, drugačiji od onih koje je imao u ostalim modelima proizvodnih sustava.

Rekonfigurabilni mehanizmi prepoznati su kao novi tehnološki čimbenici koji omogućavaju sasvim nove strateške pristupe za rješavanje posljedica navedenih nepredvidivih događaja [11]. Mogućnosti korištenja ugrađenih mehanizama najbolje će iskoristiti osoba koja je dovoljno osposobljena da može prepoznati moguću implementaciju dostupnog mehanizma, ali i moguću implikaciju na ostatak procesa i sustav u cjelini.

RPS pružaju kontinuirano stabilnu proizvodnju uz najveće moguće skraćivanje vremena zastoja, brzom zamjenom proizvodnog programa unutar projektirane familije proizvoda te minimalne degradacije izvođenja projektiranih operacija prilikom pojave pogreške [12].

Promjenom strukture RPS-a vrlo brzo može se promijeniti kapacitet proizvodnje unutar projektirane familije. RPS integrira veći broj radnih stanica s rekonfigurabilnom proizvodnom opremom i računalom upravljanim (CNC) strojevima, rekonfigurabilne kontrolne naprave kao i rekonfigurabilni sustav rukovanja materijalom [13].

RPS-i projektirani su za određenu familiju proizvoda te su samim tim pod utjecajem promjena u životnom ciklusu proizvoda unutar te familije. Prilikom optimizacije početne konfiguracije projekta proizvodnog sustava potrebno je uvažavati vrlo kompleksan odnos životnog ciklusa familije proizvoda i životnog ciklusa proizvodnog sustava [14]. Specifičnost novog modela proizvodnog sustava zahtijeva specifičan pristup izboru, osposobljavanju i integraciji proizvodnog radnika.

2. BASIC TERMS

2.1. Reconfigurable manufacturing systems

The Reconfigurable Manufacturing System is one designed primarily for rapid change in the structure of hardware and software components with the goal of rapid adjustment of manufacturing capacity and functionality for the projected product family; and in response to sudden changes in market conditions or changes in legal regulations [9]. It represents a new concept of changeability, which includes the paradigms of modern manufacturing such as agility, adaptability, flexibility and reconfiguration [10].

RPS design must be directed to the fast configuration change of the system, manufacturing equipment and controls within the system. Inside the manufacturing process, unpredictable events may take place, and they are by nature dynamic variables with hardly predictable cause and effect. At the system level, there are failures of certain parts of the system (machines, manipulators, electrical system breakdown, changing priorities, etc.), and on the level of the production capacity broken tools, robot collision etc. Recognizing the causes of occurrence and acting upon them still cannot be left to the machine, so a worker within the RPS model must have a special position, different from those he had in other models of manufacturing systems.

Reconfigurable mechanisms have been identified as new technological factors that enable completely new strategic approaches for solving the consequences of unforeseen events [11]. A person who is qualified enough to identify possible implementation of the available mechanisms, as well as possible implications for the rest of the process and the system as a whole is going to use the possibilities of built-in mechanisms in the best way. RPS provides a continuous stable production with the greatest possible reduction of downtime, rapid replacement of the production program within the designed product family, and minimal degradation of performance of the designed operation by error occurrence [12].

By changing its structure, RPS can quickly change the volume of production within the projected family. It integrates a number of workstations with reconfigurable manufacturing equipment and computer controlled (CNC) machines, reconfigurable control devices as well as reconfigurable materials handling system [13].

RPSs are designed for a particular product family and are therefore affected by changes in the product life cycle within the family. To optimize the initial configuration of the production system project, it is necessary to respect the very complex relationship between the product family life cycle and manufacturing system life cycle [14]. The specificity of the new manufacturing system model requires a specific approach to the selection, training and integration of manufacturing workers.

2.2. Principi znanstveno utemeljenog managementa

Taylor je predstavio četiri principa, [15], navedena u nastavku. Iza svakog od navedenih principa elaborirani su utjecaji svakoga od njih na organizaciju rada.

1. *Razviti znanstveni pristup upravljanju da bi se zamijenila empirijska znanja radnika.*

Znanja držana u rukama proizvodnih majstora Taylor je reducirao na zakone, pravila i formule. Predložio je prijenos znanja, ali nije dao naznake o tome kako znanje treba prenijeti. Optimizirao je rad na razini zadatka, ali nije uzimao u obzir bilo koji tip varijacije procesa. Tim principom Taylor uspostavlja revolucionarni koncept diskontinuiranih poboljšanja.

2. *Znanstveno utemeljeni odabir, osposobljavanje i razvoj sposobnosti radnika.*

Taylor postavlja pravila za odabir i osposobljavanje proizvodnog radnika. Radnik je promatran kao zamjenjivi, bionički stroj. Uzima u obzir samo fizičke značajke proizvodnog radnika.

3. *Objedinjavanje znanosti i radnika odabranih na znanstveno utemeljeni način.*

Uvedene su detaljne upute za radnike i one predstavljaju znanost. Zadaci su oblikovani na znanstveno utemeljeni način. Zatim se odabire radnik s pravim osobinama, vještinama i znanjima tada je odabran za izvršenje zadatka. Najbolji radnik bio je postavljen kao mjerilo za sve ostale.

4. *Podjela rada na jednake dijelove između radnika i menadžmenta.*

Taylor-ova pretpostavka da svatko treba biti nadziran dovela je do stvaranja višestrukih razina kontrole da bi se osigurala provedba standarda i kvota. To je rezultiralo s organizacijskom strukturom s većim brojem razina.

Tejloristički sustav rijetko koristi unutarnju fleksibilnost industrijskog poslovnog sustava kao što je rotacija zadataka i fleksibilne radne grupe. Također mu nedostaju razrađeni terminski planovi i strategije dodatnog osposobljavanja i stručnog usavršavanja, kao i integriranje strojeva i radne snage. Tejlorističke organizacije karakterizira masovna proizvodnja, visoka razina podjele rada i usko specijalizirani proizvodni radnik koji obavlja samo jedan zadatak. Politika plaća temelji se na objektivnim mjerama učinka radnika.

2.3. Socio-tehnički sustavi

Socio-tehnički sustav je sustav u kojem socijalni dio i tehnički elementi međusobno djeluju usmjereni prema određenom cilju. U današnjem proizvodnom okruženju ciljevi se često mijenjaju, a navedene promjene su iznenadne i teško predvidive. Kompleksni socio-tehnički sustavi, kao što su proizvodni sustavi, učestalo su pod utjecajem varijacija u sustavu. Varijacija u sustavu je nepravilnost koja uzroke nalazi u različitim izvorima unutar sustava, utječe na više agenata, širi se brzo i/ili nepredvidivo između dijelova ili komponenata sustava.

2.2. Scientific Management Principles

In the book, "The Principles of Scientific Management" [15], Taylor presented four principles, shown in the following list. An elaboration on the implications of each principle of work organization is given following each one of them.

1. *Develop a scientific management approach to replace the old rule-of-thumb knowledge of the workmen.*

Taylor reduced the knowledge held in the hands of craftsmen to laws, rules and formulas. He proposed a transfer of knowledge, with no indication of how the knowledge should be transferred. He optimized work on the task level and did not consider any process variations. With this principle, Taylor establishes the revolutionary concept of discontinuous improvement.

2. *Scientifically based selection, training and development of workers' abilities.*

Taylor established rules for manufacturing worker selection and training. He views workers as interchangeable, bionic machines. He reviewed just the physical features of the manufacturing worker.

3. *Bring together the science and the scientifically selected workmen.*

Detailed instructions for workers were introduced and they represented the science. Tasks were scientifically designed. The workman with the right characteristics, skills and knowledge is then selected for the task. The best worker was set as a benchmark for all.

4. *Divide almost equally the work between the workers and the management.*

Taylor's assumption that everyone needs to be supervised led to the creation of multiple layers of control to ensure the enforcement of standards and quotas. This resulted in the multilayer organizational structure. The Tayloristic system hardly ever uses inner flexibility of industrial enterprise like job rotation and flexible task groups. It also lacks elaborated time schedules and strategies of upskilling or further training or the integration of machinery and labour. Tayloristic organizations are characterized by mass production, by high division of labour and the narrowly specialized worker performing a single task. Salary policy is based on objective performance measures of the individual worker.

2.3. Socio-technical systems

A socio-technical system is a system in which the social aspect and technical elements interact in goal-oriented behavior. In today's manufacturing environment, goals change often and these changes are rapid and hardly predictable. Complex socio-technical systems, as are manufacturing systems, suffer increasingly from systemic variances. A systemic variance is an irregularity that originates from multiple sources within the system, affects multiple agents, and propagates quickly and/or unexpectedly among parts of the system or its

Računalom podržani sustavi su sastavni dio industrijskog poslovnog sustava i utječu ne samo na operacijske aktivnosti, nego i na socijalne aktivnosti u proizvodnoj funkciji tvrtke. To naglašava potrebu za inženjeringom socio-tehničkog sustava koji omogućava modeliranje i analizu strukture i interakcija hardverskih i softverskih komponenti s proizvodnim radnikom i ostalim sudionicima u organizacijskoj strukturi.

Prilikom oblikovanja sociotehničkog sustava potrebno je poštivati nekoliko osnovnih principa [16, 17]. U ovom radu oni su podijeljeni u četiri grupe:

1. *Principi vezani za organizaciju* orijentirani su prema proizvodnom radniku. Daju osnovne smjernice za sastavljanje radnih grupa, provođenje osposobljavanja, poboljšanje izvedbe, ostvarivanje dobre komunikacije i protoka informacija kroz sustav.

2. *Principi vezani za proizvodni sustav* pokušavaju usmjeriti projektanta sustava prema modularizaciji vodeći računa o otkrivanju varijacija finalnog proizvoda unutar sustava, optimizaciji pričuvne zalihe, reduciranju opće fleksibilnosti i naglašavanju orijentacije prema proizvodu.

3. *Principi integriranja socio-tehničkog sustava* pozicioniraju proizvodnog radnika unutar sustava s naglaskom na diferencijaciji radnih zadataka, postavljanju granica zadataka radne skupine istodobno projektiranje socijalnog i tehničkog dijela sustava.

4. *Principi upravljanja socio-tehničkim sustavom* predstavljaju način smanjivanja broja razina organizacijske strukture. Prijedlog je da se upravljanje zadacima unutar jedne smjene prebaci na radnu skupine Time uloga poslovođe postaje suvišna. On postaje voditelj više radnih skupine preuzima ulogu trenera. Ovakva uloga zahtijeva i dodatni set kompetencija.

Uvođenje novih tehnologija u proizvodni proces rijetko je praćeno usklađivanjem socio-tehničkog sustava, što može dovesti do otpora pravilnoj implementaciji i smanjenja produktivnosti.

3. ANALIZA POLOŽAJA PROIZVODNOG RADNIKA UNUTAR RAZLIČITIH MODELA PROIZVODNIH SUSTAVA

Principi novog Tejlorizma predstavljeni u ovom radu pokušavaju odgovoriti na posebnosti rekonfigurabilnih proizvodnih sustava koji su po definiciji projektirani za proizvodnju familije proizvoda i pokušavaju približiti troškovnu učinkovitost LPS-a s prilagodljivosti FPS-a. Položaj proizvodnog radnika stoga će se promatrati unutar modela višepredmetnih linijskih, fleksibilnih i rekonfigurabilnih proizvodnih sustava.

Tablica 1 prikazuje karakteristike analiziranih modela proizvodnih sustava. Sukladno karakteristikama višepredmetnog linijskog proizvodnog sustava (VLPS) i višepredmetnog fleksibilnog proizvodnog sustava (VFPS) navedenim u [18], u ovom radu su predstavljene i karakteristike rekonfigurabilnog proizvodnog

komponenti. Computers are an integral part of industrial enterprise, influencing not just operational activities but also social activities in manufacturing function. This emphasizes the need for socio-technical system engineering that allows for the modeling and analysis of the structure and interaction of hardware and software components with the manufacturing worker and other actors within the organizational structure.

In the design of a socio-technical system, a few basic principles should be followed [16, 17]. In this article, they are divided in four groups:

1. *Organizational related principles* are oriented on the manufacturing worker. They give some basic pointers for building workgroups, conducting training, increasing performance, achieving good communication and information flow through the system.

2. *Manufacturing system related principles* attempt to direct the system designer to modularization, focusing on the final product variance detection within the system, buffer size optimization, reducing general flexibility and increasing product orientation.

3. *Socio-technical system integration principles* position the manufacturing worker inside the system with an emphasis on work task differentiation, setting workgroup task boundaries and simultaneous design of the social and technical part of the system.

4. *Socio-technical system management principles* present a way of decreasing the number of levels in the organizational structure. The suggestion is to transfer the one-shift tasks management to a work group. With this, the role of foreman becomes needless. He becomes the leader of more work groups and takes the role of trainer. This role calls for an additional set of competences.

The introduction of new technology in the production process is rarely followed by socio-technical system alignment, which can result in resistance to correct implementation and in a decrease in productivity.

3. ANALYSIS OF THE MANUFACTURING WORKER POSITION WITHIN VARIOUS MANUFACTURING SYSTEM MODELS

The principles of the new Taylorism presented in this article try to address the specifics of the reconfigurable manufacturing system that are by definition designed for product family manufacturing, and try to combine the cost effectiveness of DMS with the adaptability of FMS. The position of the manufacturing worker is going to be reviewed within dedicated, flexible and reconfigurable multiproduct manufacturing system models.

In Table 1, the characteristics of the analysed manufacturing system models are shown. According to the characteristics of the multiproduct dedicated manufacturing system (MDMS) and multiproduct flexible manufacturing system (MFMS), mentioned also in [18] this article are reconfigurable manufacturing

sustava. Dobivene su analizom literature i usklađivanjem rezultata s karakteristikama predstavljenim u [18].

Analiza položaja proizvodnog radnika unutar različitih modela proizvodnih sustava izvršena je na temelju sljedećih kategorija pokazatelja:

1. *Vertikalna integracija proizvodnog radnika* podrazumijeva dodjeljivanje različitih vrsta zadataka proizvodnom radniku. Zadaci mogu obuhvaćati zadatke vezane uz kvalitetu, održavanje strojeva, uređaja i naprava, promjene sustava vezane uz promjenu proizvodnog programa itd. Ocjenom 5 ocijenit će se sustav koji ima visok stupanj vertikalne integracije proizvodnog radnika.

2. *Horizontalna segregacija proizvodnog radnika* podrazumijeva stupanj specijalizacije radnog zadatka kojeg može izvršiti jedan proizvodni radnik. Ocjenom 5 ocijenit će se sustav koji ima visok stupanj horizontalne segregacije proizvodnog radnika.

system characteristics. They are derived from analysis of the literature and alignment of the results with the characteristics presented in [18].

Analysis of the manufacturing worker position within different models of production systems is made on the basis of the following factor categories:

1. *Vertical integration of the manufacturing worker* implies assigning different types of tasks to the manufacturing worker. Tasks may include tasks related to quality, maintenance of machinery, equipment and devices, system changes associated with the change of the production program, etc. A grade of 5 will be awarded to a system that has a high degree of manufacturing worker vertical integration.

2. *Horizontal segregation of manufacturing workers* implies the degree of specialization of work task that can be accomplished by a manufacturing worker. A grade 5 will be awarded to a system that has a high degree of manufacturing workers horizontal segregation.

Tablica 1: Karakteristike modela proizvodnih sustava

Table 1: Characteristics of manufacturing system models

KARAKTERISTIKE SUSTAVA / SYSTEM CHARACTERISTICS	MODELI PROIZVODNIH SUSTAVA / MANUFACTURING SYSTEM MODELS		
	VLPS / MDMS	VFPS / MFMS	RPS / RMS
Proizvodni program (asortiman, količine, dinamika) / Production program (range, volume, dynamics)	Višepredmetan, velike-srednje, ritmička / Multiproduct, large-medium, rhythmical	Višepredmetan, male-srednje, kontinuirana-povremena / Multiproduct, small-medium, continuous-occasional	Višepredmetan, vrlo velike-srednje-male, kontinuirana / Multiproduct, very large-medium-small, continuous
Proizvodna oprema (tip, fleksibilnost, produktivnost, priprema/raspreda) / Manufacturing equipment (type, flexibility, productivity, setup)	Specijalizirana-specijalna, ograničena, visoka, potrebna / Specialized-special, limited, high, needed	Univerzalna-specijalizirana, univerzalna-ograničena, standardna, nepotrebna / universal-specialized, universal-limited, standard, not needed	Rekonfigurabilna-specijalizirana, prilagođena, visoka, potrebna / Reconfigurable-specialized, customized, high, needed
Prostorni raspored (raspored, koeficijent korelacije, hodogram) / Layout (layout, correlation coefficient, workflow)	Jednoredni-dvoredni, homogen -2 do +3, jednosmjernan-dvosmjernan, prolazni / Single row-double row, uniform -2 to +3, one way-two way, transient	Jednoredni-dvoredni, homogen-nehomogen $k = \pm (S_S-1)$, jednosmjernan-dvosmjernan, prolazni-povratni / Single row- double row, uniform-heterogeneous $k = \pm (S_S-1)$, one way-two way, transient-return	Promjenjiv (jednoredni-dvoredni-u obliku-heksagon), homogen $k = 1$, jednosmjernan / Changeable (single row-double row-U shape-hexagon), uniform $k = 1$, one way
Broj operacija na jednom kapacitetu / Number of operations on a single facility	$r = 1$	$r \geq 1$	$r = 1$
Iskorištenje sustava (tehnički stupanj η_t , ekonomski stupanj η_e) / System utilization (technical degree η_t , economic degree η_e)	$\eta_t \geq 0,75$ $\eta_e \geq 0,80$	$\eta_t \geq 0,75$ $\eta_e \geq 0,80$	$\eta_t \geq 0,85$ $\eta_e \geq 0,90$
r – broj operacija na jednom kapacitetu / the number of operations on a single facility η_t – tehnički stupanj iskorištenja / technical system utilization η_e – ekonomski stupanj iskorištenja / economical system utilization			

3. *Korištenje timskog rada i radnih grupa.* Svršishodno i učinkovito korištenje timskog rada i radnih skupina prilikom uvođenja novih tehnoloških rješenja u proizvodni sustav generirati značajne uštede ubrzavajući proces potpune implementacije i podešavanja socio-tehničkog sustava. Ocjena ove kategorije pokazatelja bit će 0 ili 1 ovisno o tome koristi li se u sustavu navedeni pokazatelj.

4. *Utjecaj proizvodnog radnika na produktivnost* može biti izravan (ako zbog stajanja radnika staje proizvodnja) ili neizravan (radnik ne primjećuje varijaciju u procesu, što dovodi do povećanja broja loših komada). Ocjenom 3 ocijenit će se sustav na čiju produktivnost radnik ima velik utjecaj.

5. *Važnost proizvodnog radnika kao izvora informacija* ocijenit će se ocjenama od 0 do 5. Ovaj pokazatelj izražava položaj radnika kao čimbenika prepoznavanja varijacija u sustavu kao i predlagatelja mogućih rješenja, generatora planova itd.

6. *Važnost proizvodnog radnika kao ishodišta informacija* ocijenit će se ocjenom od 0 do 5. Informacije u proizvodnom sustavu mogu biti vezane za izvršenje operacije, djelovanje pojedinog zadatka na sustav, kao i razumijevanje strateških odluka vezanih za proizvodni sustav u cjelini.

7. *Utjecaj upravljanja ljudskim resursima u proizvodnom sustavu.* Povećanjem vrijednosti pokazatelja upravljanja kompetencijama, osposobljavanja, specijalizacije, rotacije proizvodnih radnika smanjit će se vrijednost pokazatelja fluktuacije radne snage. Ocjena 5 dodijelit će se sustavu koji ima sve visoke pokazatelje osim fluktuacije radne snage.

Rezultati analize prikazani su u tablici 2.

3.1. Višepredmetni linijski proizvodni sustav

VLPS je sustav projektiran za proizvodnju velikih količina manjeg broja različitih proizvoda. U svojem tradicionalnom obliku uključuje visokoproduktivnu specijaliziranu i specijalnu opremu ograničene fleksibilnosti. Operacije i međuoperacijski transport često su automatizirani uz homogen koeficijent korelacije.

Proizvodni radnik prilikom izvođenja neautomatiziranih operacija zadatke izvodi vodeći se setom detaljnih uputa. Mora voditi računa o pravodobnom izvođenju zadanih operacija prateći takt linije. Izvodi mali broj relativno jednostavnih i ponavljajućih zadataka. Da bi se osigurala specijaliziranost, uobičajeno je da nema rotacije proizvodnih radnika na liniji. Komunikacijski kanali su kratki, a informacija je najčešće usmjerena prema izvršiocu. Radnik je odabran za izvršenje određenih operacija na temelju svojih antropometrijskih karakteristika, znanja i vještina te se dodatno specijalizira za izvršenje točno određenog skupa operacija koje će izvoditi.

3. *Using teamwork and work groups.* Efficient and effective use of teamwork and work groups during the introduction of new technological solutions in the manufacturing system may generate significant savings by accelerating the process of full implementation and adjustment of the socio-technical system. The grade for this category of indicators will be 0 or 1, depending whether the system uses this indicator.

4. *The impact of the manufacturing worker on the productivity* can be direct (if the workers delay causes production delay) or indirect (the worker does not notice a variation in the process which leads to an increase in the number of bad pieces). A grade 3 will be awarded to the system on whose productivity the worker has a major impact.

5. *The importance of the manufacturing worker as a source of information* shall be scored with grades from 0 to 5. This indicator expresses the position of the worker as a factor in recognizing variations in the system and proponents of possible solutions, plan generator, etc.

6. *The importance of the manufacturing worker as the information destination* will be awarded a grade from 0 to 5. The information in the manufacturing system can be related to the execution of operations, influence of a given task to the system, and an understanding of strategic decisions related to the manufacturing system as a whole.

7. *The impact of human resource management in the manufacturing system.* By increasing the value of indicators of competencies management, training, and specialization, rotation of manufacturing, workers will reduce the value of labor turnover. A grade of 5 will be assigned to a system that has a high value for all of the indicators except labor turnover.

Analysis results are presented in Table 2.

3.1. Multiproduct dedicated manufacturing system

MDMS is a system designed for the high volume low variety product manufacturing. In its traditional form, it includes highly productive specialized and special equipment with limited flexibility. Operations and trans-operational transport are often automated, having a uniform correlation coefficient.

While performing non-automated operations, the manufacturing worker is guided by a set of detailed instructions. He must take into consideration the operation performance timing following the line tact. He performs a small number of relatively simple and repetitive tasks. To ensure specialization, it is common that there is no rotation of the production workers on the line. Communication channels are short and information is mostly directed towards the worker. The worker is chosen to carry out certain operations on the basis of his anthropometric characteristics, knowledge and skills, and further specializes in the execution of the specific set of operations that he will run.

Razumijevanje funkcioniranja procesa u cjelini i šireg konteksta operacija koje izvršava nije predviđeno. Zadaci vezani uz održavanje strojeva i uređaja, kvalitetu, planiranje, terminiranje i praćenje proizvodnje te prikupljanje i obradu podataka radnog mjesta gotovo nikad nisu dodijeljeni radniku unutar VLPS modela proizvodnog sustava.

Understanding the functioning of the process as a whole and the wider context of operations carried out is not planned. Tasks related to the maintenance of machinery and equipment, quality, planning, scheduling and production monitoring and workplace related data collection and processing are almost never assigned to the worker within the MDMS manufacturing system model.

Tablica 2: Položaj proizvodnog radnika unutar različitih modela proizvodnih sustava

Table 2: Manufacturing worker position within various manufacturing system models

Red. br. / No	KATEGORIJE POKAZATELJA / FACTOR CATEGORIES	OCJENE MODELA PROIZVODNIH SUSTAVA / MANUFACTURING SYSTEM MODELS GRADES		
		VLPS / MDMS	VFPS / MFMS	RPS / RMS
1	Vertikalna integracija proizvodnog radnika / Vertical integration of manufacturing worker	0 - 1	2 - 3	3 - 5
2	Horizontalna segregacija proizvodnog radnika / Horizontal segregation of manufacturing workers	4 - 5	3 - 5	2 - 3
3	Korištenje timskog rada i radnih grupa / Using teamwork and work groups	0	2 - 3	3 - 5
4	Utjecaj proizvodnog radnika na produktivnost / The impact of the manufacturing worker on the productivity	4 - 5	3 - 4	3 - 4
5	Važnost proizvodnog radnika kao izvora informacija / The importance of manufacturing worker as a source of information	0 - 1	2 - 4	5
6	Važnost proizvodnog radnika kao ishodišta informacija / The importance of manufacturing worker as the information destination	1 - 2	2 - 3	5
7	Utjecaj upravljanja ljudskim resursima u proizvodnom sustavu / The impact of human resource management in the manufacturing system	2	2 - 3	4 - 5

3.2. Višepredmetni fleksibilni proizvodni sustav

Fleksibilni proizvodni sustav smanjuje razine zaliha i ostale rezerve u sustavu povećavajući međuovisnost u procesu proizvodnje i isticanje proizvodnih probleme. Učinkovito suočavanje s tim problemima zahtijeva motivirane, vješte i prilagodljive radnike. Kombinirajući redukciju rezervi u sustavu s razvojem navedenim karakteristikama radne snage, fleksibilni proizvodni sustavi osiguravaju uvjete pod kojima će inovativni postupci upravljanja ljudskim resursima najvjerojatnije generirati ostvarive ekonomske pokazatelje. Ljudski

3.2. Multiproduct flexible manufacturing system

A flexible manufacturing system reduces inventory levels and other buffers, increasing interdependence in the manufacturing process and highlighting manufacturing problems. Dealing effectively with these problems requires motivated, skilled, and adaptable workers. By combining the reduction of buffers with the development of these work force characteristics, flexible manufacturing systems create the conditions under which innovative human resource management practices are most likely to generate effective economic performance.

resursi mogu biti primarni izvor održive konkurentske prednosti za industrijsko poduzeće. Znanja o proizvodima, procesima i kupcima zaposlenika koji je uključen u uobičajenu praksu i obrasce društvenih interakcija može stvoriti organizacijske sposobnosti koje je teže kopirati.

Fleksibilni proizvodni sustav integrira fleksibilnu CNC-opremu koja posjeduje više stupnjeva slobode kretanja alata i stezne naprave. Prostorni raspored ovakvih sustava je jednoredan i dvoredan, a koeficijent korelacije homogen i nehomogen. Proizvodni radnik zadužen je i za izvršenje vertikalno raspoređenih operacija vezanih uz kvalitetu, održavanje i naručivanje alata. Informacije koje moraju biti dostupne proizvodnom radniku unutar VFPS-modela uključuju informacije o proizvodima, specifičnim postupcima i procedurama.

3.3. Rekonfigurabilni proizvodni sustav

Idealan RPS posjeduje šest ključnih karakteristika, a one se odnose na projektirani RPS kao i na pojedine komponente tog sustava [1]. Navedene karakteristike su:

- Modularnost,
- Integrabilnost,
- Prilagođena fleksibilnost,
- Skalabilnost (sposobnost promjene kapaciteta),
- Izmjenjivost,
- Dijagnostibilnost (sposobnost ustanovljavanja pojave pogrešaka).

Navedene karakteristike u velikoj mjeri utječu na položaj proizvodnog radnika unutar RPS. Da bi karakteristike sustava kao što su modularnost i integrabilnost bile potpuno iskorištene potrebno je ostvariti visoku razinu vertikalne integracije.

Radnik dobiva upute i osposobljavanje za rad na pojedinom radnom mjestu, ali uz česte rotacije sustava i automatski dolazi do horizontalne integracije radnika. Za promjenu strukture i prostornog rasporeda RPS-a potrebno je uložiti timski napor, imajući u vidu da se proizvodni program sustava u potpunosti mora izmijeniti i uhodati unutar jedne smjene. Važnost protoka informacija i komunikacije u ovakvom sustavu posebno je izražena, budući da je RPS dio agilne i rekonfigurabilne organizacije u kojoj se pri pojavi iznenadnih promjena na tržištu mora pravovremeno reagirati.

4. NOVI TEJLORIZAM

Budućoj proizvodnji treba pristupiti holistički koristeći standardizirane procese u socio-tehničkim sustavima.

Uloga proizvodnog radnika u budućnosti će se promijeniti. Njegova uloga će biti uloga znanstvenog menadžera koji koristi eksplicitno znanje uz pomoć inteligentnih tehničkih sustava [19].

Human resources can be a primary source of sustainable competitive advantage for an industrial enterprise. Employee knowledge about products, processes, and customers, which is included in routines and social interaction patterns, can create organizational capabilities that are more difficult to imitate.

The flexible manufacturing system integrates flexible CNC equipment that has more degrees of freedom for the tool and clamping devices. The layout of these systems is single row and double row, and the correlation coefficient is homogeneous and heterogeneous. The production worker is also responsible for the execution of vertically distributed operations related to quality, maintenance and tools ordering. Information that must be available to a manufacturing worker within the VFPS model includes products, specific processes and procedures information.

3.3. Reconfigurable manufacturing system

An ideal RPS has six key characteristics, and they refer to the designed RPS as on the individual components of the system [1]. Those characteristics are:

- Modularity,
- Integrability,
- Customization,
- Scalability (ability to change capacity),
- Convertibility,
- Diagnosability (ability to detect the appearance of errors)

These characteristics greatly affect the position of the manufacturing workers within the RMS. To fully exploit system characteristics such as modularity and integrability, it is necessary to achieve a high level of vertical integration.

The worker receives instruction and training for operations in a particular workplace, but with frequent system rotations, the horizontal integration of workers comes automatically. To change the structure and layout of the RPS there is a need for a team effort, bearing in mind that the production program has to be completely changed within a single shift. The importance of information flow and communication in such a system is especially emphasized, because the RPS is part of an agile and reconfigurable organization in which the occurrence of sudden changes in the market should be reacted upon promptly.

4. NEW TAYLORISM

Future manufacturing needs to be holistically approached with standardised processes in socio-technical systems.

In the future, the role of the manufacturing worker will change. His role will be the role of scientific manager using explicit knowledge and assisted by intelligent technical systems [19]. Taylorism was oriented on

Tejlorizam je bio usmjeren na povećanje učinkovitosti ljudskog rada. Danas je u gotovo svim područjima proizvodnje korištena zadnja generacija automatizacije i računalom podržanih sustava.

Tejlorizam iziskuje čvrstu kontrolu izvođenja standardiziranih zadataka od srednjeg menadžmenta. Novi Tejlorizam koristi standardizirane procedure da bi sustav funkcionirao sukladno projektiranom optimalnom procesu. Dio uloga srednjeg menadžmenta spušta se na nižu razinu povećavajući stupanj vertikalne integracije.

Zbog tehnički kompleksnog sustava potrebno je proizvodnim radnicima osigurati adekvatno osposobljavanje u svim relevantnim područjima, a ono mora biti provedeno tijekom cijelog radnog vijeka radnika. Pretpostavka je da će se time smanjiti fluktuacija radne snage. Prijedlog je da se poveća stupanj rotacije radnika unutar proizvodnog sustava. Radnici imaju određenu razinu općih znanja i vještina, ali sukladno svojim predispozicijama zadržavaju položaj specijalista u određenom području. Ovime se izražava potreba za povećanim korištenjem timova i radnih grupa te težnja za postizanjem sinergijskog efekta. Timovi se organiziraju kao timovi lake kategorije.

Ovime je dan prijedlog osnovnih postavki novog Tejlorizma. Za postavljanje sustava organizacije i upravljanja RP-sustavima potrebno je provesti istraživanje i provjeru ovdje predstavljenih prijedloga.

5. ZAKLJUČAK

U ovom radu prikazan je pristup organizaciji i upravljanju složenim socio-tehničkim sustavima unutar rekonfigurabilnih proizvodnih sustava. Pristup je utemeljen na Tejlorovim principima znanstveno utemeljenog menadžmenta koji su prilagođeni modernim proizvodnim sustavima.

Na temelju analize 20 proizvodnih sustava linijskog i fleksibilnog modela dodijeljene su ocjene pojedinim kategorijama pokazatelja za pojedini model proizvodnog sustava. Time se izvršila kvantifikacija pokazatelja na temelju koje su se, korištenjem prethodno provedene analize karakteristika RPS-a, odredile i ocjene tog modela. Analiziranjem sličnosti i razlika pojedinog modela proizvodnog sustava i poznavajući proizvodne paradigme na temelju kojih se razvio pojedini model došlo se do prijedloga novog Tejlorizma.

U sklopu ovog rada nisu se predstavila strukturirana pravila po točkama, nego su dana općenita rješenja. Dolazi se o zaključka da je potrebno provesti daljnje istraživanje u ovom području kako bi se mogla predložiti konkretna rješenja za specifične probleme unutar modela rekonfigurabilnog proizvodnog sustava.

increasing the effectiveness of human work. Today, in nearly all areas of manufacturing, the latest generation of automation and computer aided systems is used.

Taylorism requires tight control of the execution of standardized tasks by middle management. The new Taylorism uses standardized procedures to make the system function according to the optimal process design. Part of the role of the middle management is reduced down to the lower level, and in such a way it increases the degree of vertical integration.

Because of the technically complex system, it is necessary to ensure adequate training in all relevant areas for the manufacturing workers, and it must be done continuously throughout the work lifetime of workers. The assumption is that this will reduce staff turnover. The proposal is to increase the degree of rotation of workers within the production system. Workers have a certain level of general knowledge and skills, but in accordance with their predispositions, they retain the position of specialists in a particular area. By this, the need for an increased use of teams and working groups is expressed in striving to achieve a synergistic effect. Teams are organized as lightweight teams.

Herein is the proposal of the basic settings of the new Taylorism. To set up the system for organization and management of RP systems, it is necessary to conduct research and examination of the proposal presented here.

5. CONCLUSION

In this paper, the approach to the organization and management of complex socio-technical systems within reconfigurable production systems is presented. The approach is based on Taylor's principles of scientific-based management that are adapted to modern manufacturing systems.

Based on an analysis of 20 manufacturing systems of dedicated and flexible models, ratings to specific categories of indicators for a particular model of the manufacturing system are assigned. By this, the quantification of indicators is achieved and based on them, using a previously conducted analysis of RPS characteristics, a grade of that model is determined.

By analyzing the similarities and differences of each manufacturing system model and by knowing the basic paradigm on which a single model was developed has led to the proposal of a new Taylorism. Structured rules, point per point, are not presented as a part of this work. A general solution is provided. The conclusion can be drawn that it is necessary to conduct further research in this area in order to propose concrete solutions to specific problems within the reconfigurable production system model.

LITERATURA REFERENCES

- [1] Koren, Y.: *The Global Manufacturing Revolution: Product-Process-Business Integration and Reconfigurable Systems*, John Wiley and sons, New Jersey, 2010.
- [2] ElMaraghy, H.A.: *Flexible and reconfigurable manufacturing systems paradigms*, International Journal of Flexible Manufacturing Systems, Vol. 17. (2005), No.4, pp.261-276.
- [3] Cordero, R., Walsh, S.T., Kirchoff, B.A.: *Organization technologies, AMT and competent workers: Exploring relationships with manufacturing performance*, Journal of Manufacturing Technology Management, Vol. 20 (2009) Iss: 3, pp.298 – 313.
- [4] Gurumurthy, A., Kodali, R.: *Application of benchmarking for assessing the lean manufacturing implementation*, Benchmarking: An International Journal, Vol. 16 (2009) Iss: 2, pp.274 – 308.
- [5] Arnheiter, E.D., Maleyeff, J.: *The integration of lean management and Six Sigma*, The TQM Magazine, Vol. 17 (2005), Iss: 1, pp. 5 – 18.
- [6] Chen, H., Taylor, R.: *Exploring the impact of lean management on innovation capability*, Portland International Conference on Management of Engineering & Technology, 2009. Picmet, 2009, pp. 826 – 834.
- [7] Christopherson, S.: *Barriers to US style lean retailing: the case of Wal-Mart's failure in Germany*, Journal of Economic Geography, Volume7, (2007) Iss.4, pp. 451-469.
- [8] Koren, Y., Heisel, U., Jovane, F., Moriwaki, T., Pritschow, G., Ulsoy, G., Van Brussel, H.: *Reconfigurable Manufacturing Systems*, Annals of the CIRP, Vol. 48, (1999), No.2, pp. 527-540.
- [9] ElMaraghy, H.A.: *Changeable and Reconfigurable Manufacturing Systems*, Springer Series in Advanced Manufacturing, Springer-Verlag London Limited, 2009.
- [10] Bruccoleri, M., Pasek, Z.J., Koren Y.: *Operation management in reconfigurable manufacturing systems: Reconfiguration for error handling*, International Journal of Production Economics, Volume 100, (2006) Iss 1, pp. 87-100.
- [11] Nourelfath, M., Ait-kadi, D., Soro, W.I.: *Availability modeling and optimization of reconfigurable manufacturing systems*, Journal of Quality in Maintenance Engineering, Vol. 9 (2003) Iss: 3, pp.284 – 302.
- [12] United States Patent 6349237.
- [13] Hon, K.K.B., Xu, S.: *Impact of Product Life Cycle on Manufacturing Systems Reconfiguration*, CIRP Annals - Manufacturing Technology Volume 56, (2007) Iss 1, pp. 455-458.
- [14] Taylor, F.W.: *The Principles of Scientific Management*, New York: Harper Bros., 1911.
- [15] Holweg, M.: *The genealogy of lean production*, Journal of Operations Management Volume 25, (2007), Iss. 2, pp. 420-437.
- [16] Mumford, E.: *The story of socio-technical design: reflections on its successes, failures and potential*, Information Systems Journal, Volume 16, (2006), Iss. 4, pp. 317–342.
- [17] Rhodes, D.H., Ross, A.M.: *Shaping Socio-technical System Innovation Strategies using a Five Aspects Taxonomy*, http://seari.mit.edu/documents/preprints/RHODES_EUSEC10.pdf, 2010.
- [18] Mikac, T.: *Projektiranje proizvodnih sustava*, skripta, Tehnički fakultet Rijeka, 2004.
- [19] Westkämper, E.: *Reconfigurable Manufacturing Systems and Transformable Factories – Chapter 2 - New Trends in Production*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2006.

ZAHVALA

Ovaj rad je rezultat istraživanja na znanstvenom projektu Modeliranje naprednih proizvodnih struktura kod inteligentne proizvodnje 069-0692976-1740, podržanom od Ministarstva znanosti, obrazovanja i športa, Republike Hrvatske.

Primljeno / Received: 20.10.2010.

Pregledni članak

Adresa autora / Authors' address
Assist. Aleksandar Vuković
Ship Technology Offshore - Ulsteinvik
Rolls-Royce Marine AS
Sjøgata 80
6065 Ulsteinvik
NORWAY
Assoc. Prof. D. Sc. Milan Ikonić
Assist. Sandro Doboviček
Tehnički fakultet Sveučilišta u Rijeci
Vukovarska 58
51000 Rijeka
HRVATSKA

Aleksandar.Vukovic@rolls-royce.com
Milan.Ikonic@riteh.hr
Sandro.Dobovick@riteh.hr

ACKNOWLEDGEMENT

This paper is the result of research on scientific project Modeling of advanced production structures in intelligent manufacture 069-0692976-1740, supported by the Ministry of Science, education and sport, Republic of Croatia.

Prihvaćeno / Accepted: 28.10.2010.

Subject review