

# Metrike za merjenje učinkovitosti proizvodnje

Dejan Gradišar<sup>1</sup>, Miha Glavan<sup>1</sup>, Gašper Mušič<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institut Jožef Stefan, Jamova 39, Ljubljana

<sup>2</sup>Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Tržaška 25, Ljubljana  
[dejan.gradisar@ijs.si](mailto:dejan.gradisar@ijs.si), [miha.glavan@ijs.si](mailto:miha.glavan@ijs.si), [gasper.music@fe.uni-lj.si](mailto:gasper.music@fe.uni-lj.si)

## *Metrics for estimation of production efficiency – Abstract*

Within the production companies a vast amount of data about the production is being collected at different levels of control (from process to business, ERP level). Although, there are more and more data available, usually they do not provide as much help as required. For this purpose, it is necessary to ensure that all the appropriate data are available to the interested users as soon as possible. In our case, these are the production operators who control and optimize the production. The data has to be presented in the right context, i.e. with Key Performance Indicators. At the production level decisions are made more frequently than at the business level, thus the need for instant information availability is even more important. Some specifics and requirements when implementing production efficiency metrics are discussed within the paper. The tool for the definition and calculation of KPI is introduced. Its use is illustrated with a case-study where a total assessment of the batch quality is evaluated. The index is assessed by several parameters, according to predefined objective functions. The total score is defined using weighted sum of the partial estimates.

## *Kratek pregled prispevka*

V proizvodnih podjetjih se zbira ogromna količina podatkov, na različnih nivojih vodenja podjetja (od procesnega do poslovnega, ERP nivoja). Čeprav je na voljo vedno več podatkov, pa nam običajno ti niso v tolikšno pomoč, kot bi bilo zaželeno. V ta namen je potrebno zagotoviti, da so vsi podatki na ustrezen način in čim prej predstavljeni vsem zainteresiranim uporabnikom – v našem primeru operaterjem, ki vodijo in optimizirajo proizvodnjo. Podatke je torej potrebno predstaviti v pravem kontekstu, t.j. s ključnimi kazalniki učinkovitosti. V proizvodnji je potrebno sprejemati odločitve hitreje kot na poslovnem sistemu, zato je potreba po sprotnih podatkih še večja. V prispevku bodo poudarjene specifične in zahteve pri vpeljavi metrik za učinkovitost proizvodnje. Kot primer bomo v delu predstavili pripomoček za pripravo in izračun kazalnika za skupno oceno kvalitete izdelka. Kvaliteta vsake šarže nekega izdelka se ocenjuje po več različnih parametrih, glede na predefinirano kriterijsko funkcijo. Skupno oceno izračunamo preko utežene vsote delnih ocen.

## 1 Uvod

V sodobnem svetu se od proizvodnih podjetij zahteva, da se na vedno pogostejše spremembe na trgu odzivajo sprotno. Poleg tega se povečujejo zahteve po čim bolj kakovostnih produktih in čim bolj učinkoviti proizvodnji. Pri tem pa želimo kolikor se le da optimizirati stroške proizvodnje.

Pri vodenju in upravljanju proizvodnje si podjetja pomagajo z informacijsko tehnologijo na različnih nivojih podjetja (od procesnega do poslovnega, ERP nivoja). Tako se v proizvodnih podjetjih preko informacijskih sistemov zbira ogromna količina podatkov. Čeprav imamo na ta način na voljo vedno več podatkov, pa nam običajno ti niso v tolikšno pomoč, kot bi bilo zaželeno.

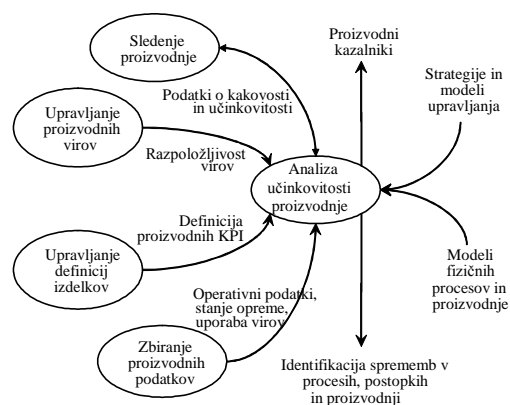
Informacije, ki jih lahko izluščimo iz teh podatkov bi bilo smiselno vključiti v proces odločanja, ki ga opravljajo upravitelji proizvodnje. V ta namen je na prvem mestu potrebno zagotoviti, da so vsi podatki na ustrezen način in čim prej predstavljeni vsem zainteresiranim uporabnikom. Podatke je torej potrebno predstaviti v pravem kontekstu.

V proizvodnem obratu je potrebno sprejemati odločitve hitreje kot na poslovnem sistemu, zato je potreba po sprotih podatkih še večja. Na nivoju proizvodnje se uporabljajo proizvodno-informacijski sistemi MES, ki pokrivajo aktivnosti tretjega nivoja v hierahičnem funkcionalnem modelu, ki je definiran s standardom IEC 62264 [20]. Med aktivnostmi upravljanja proizvodnih operacij je opredeljena tudi *Analiza proizvodne učinkovitosti* (*Production performance analysis*).

Pomanjkljivost sistemov MES je šibka podpora odločanju za potrebe optimizacije in vodenja proizvodnje. Tako bodo v prispevku poudarjene specifične in zahteve pri vpeljavi metrik za bolj učinkovito vodenje proizvodnje. Glavni cilj je preoblikovanje ogromne količine proizvodnih podatkov v uporabno znanje in upravljanje proizvodnje na osnovi tega znanja.

Analizo proizvodne učinkovitosti definiramo kot zbirko aktivnosti, ki analizirajo informacije

o učinkovitosti in poročajo o njih poslovnemu nivoju. To vključuje analizo informacij o časih ciklov proizvodnih enot, izkoriščenosti virov, izkoriščenosti opreme, učinkih opreme, učinkovitosti postopkov in spremenljivosti produktov. Zveze med temi in drugimi analizami so lahko osnova za pripravo poročil o ključnih kazalnikih učinkovitosti (*Key Performance Indicators – KPI*). Te informacije so lahko uporabljene za optimizacijo proizvodnje in optimizacijo izrabe virov. Slika 1 prikazuje povezave aktivnosti analize s preostalimi aktivnostmi upravljanja proizvodnih operacij. Pri vpeljavi KPI-jev je zaželeno tudi upoštevanje standarda ISO 22400 (*Manufacturing operations management – Key performance indicators*, [14]), ki definira standardni nabor kazalnikov.



Slika 1: Vmesniki modela aktivnosti analize proizvodne učinkovitosti, [20]

V naslednjem poglavju bomo predstavili metode in sisteme za merjenje učinkovitosti. V 3. poglavju bo ilustriran postopek modeliranja učinkovitosti šaržne proizvodnje na primeru ocenjevanja skupne kvalitete končne šarže. V zaključku so povzete ugotovitve.

## 2 Merjenje učinkovitosti proizvodnje

Tehnološka učinkovitost proizvodnje podaja razmerje med količino vloženi dejavnikov in količino proizvedenega izdelka. Proizvodnja bo delovala učinkovito, ko bo proizvedla čim več ob čim manjšem vložku.

Za izboljšanje tehnološke učinkovitosti je nujno potrebno spremljati ključne vidike, ki kažejo na učinkovitost proizvodnje. Splošno

uporabljena metoda za prikaz učinkovitosti podjetja in procesov so ključni kazalniki učinkovitosti [1]. Le-ti imajo pomembno vlogo pri vodenju proizvodnje. Omogočajo definicijo merljivih kriterijev spremljanja proizvodnje z različnih vidikov, kot so na primer produktivnost, kakovost proizvodov, upravljanje s surovinami, poraba energije ter njihovo sistematično obvladovanje. Poleg tega lahko na učinkovitost vplivamo tudi preko različnih organizacijskih ureditev ter tehničnih izboljšav.

## 2.1 Sistemi za merjenje učinkovitosti

Namen kazalnikov učinkovitosti je na eni strani zagotavljanje informacij o doseganju zastavljenih ciljev in na drugi strani povezovanje ugotovljenih vrednosti z ukrepi za izboljšanje, ki bi jih bilo potrebno izvesti. V tem smislu so *sistemi za merjenje učinkovitosti* (*Performance Measurement Systems – PMS*) instrumenti za podporo odločanju ([22], [23], [25], [11]) v procesu stalnih izboljšav.

Neely in sod. [25] za označevanje kazalnikov uporabljajo bolj splošen izraz: mere učinkovitosti (*performance measures – PM*). Pripadajoči sistem je sistem za merjenje učinkovitosti (PMS). V njihovem preglednem prispevku so predstavljene mere učinkovitosti, ki so povezane s kakovostjo, časom, stroški in fleksibilnostjo. Folan in Browne [13] sta predstavila koncept evolucije od posameznih mer k strukturnim in proceduralnim okvirom za merjenje učinkovitosti. PMS je unija teh dveh okvirov v en sistem. Bourne in sod. [6] predlagajo, da se izvedba PMS, ki temelji na kazalnikih učinkovitosti, razdeli na tri faze: (i) določanje kazalnikov (ii) implementacija kazalnikov (iii) uporaba kazalnikov. Postavljeni PMS morajo vključevati tudi proces periodičnega pregledovanja in revizije celotnega nabora kazalnikov. Ta naj bi sledil spremembam v konkurenčnem okolju, spremembam strateških usmeritev organizacije in spremembam strukture proizvodnih procesov [30]. Za potrebe spremljanja učinkovitosti v proizvodnih procesih je bilo razvitih več sistemov, npr. IDPMS (*Integrated Dynamic Performance Measurement System*) [13], ki integrira upravljanje podjetja, ekipe za izboljševanje

proizvodnih procesov in samo proizvodnjo. Suwignjo in sod. [28] so razvili kvantitativne modele za PMS (QMPMS), ki jih lahko uporabimo za identifikacijo dejavnikov, ki vplivajo na učinkovitost in njihovih zvez, za njihovo hierarhično strukturiranje, kvantifikacijo vpliva dejavnikov na učinkovitost in njihovo kvantitativno izražanje. Druga tovrstna metoda za načrtovanje in vzpostavitev sistema PMS je definirana v okviru koncepta ECOGRAI ([29], [12]).

Z globalnega stališča lahko PMS obravnavamo kot več-kriterijski instrument, ki ga sestavlja množica izrazov učinkovitosti (ki jih imenujemo tudi metrike), ki so konsistentno organizirani glede na cilje podjetja [5]. Pri tem so kot metrike lahko uporabljene dejanske meritve kot tudi druge vrste vrednotenja učinkov. PMS je vselej definiran glede na globalni cilj in daje kot rezultat eno ali več mer učinkovitosti z namenom kvantitativnega vrednotenja izpolnjevanja tega cilja.

V splošnem je upoštevan globalni cilj razgrajen na bolj elementarne cilje vzdolž organizacijskih nivojev (strateški, taktični, operativni), medtem ko so lahko elementarni izrazi učinkovitosti, povezani z razgrajenimi cilji, med seboj združeni (agregirani) in na ta način dajejo informacijo o doseganju globalnega cilja. Tak kvantitativni razgrajevalni/združevalni model merjenja učinkovitosti je bil predlagan z namenom nadzora in upravljanja procesa izboljševanja učinkovitosti, torej podpore odločanju v tem procesu ([4], [8]).

Pri tem gre predvsem za to, da so zmožnosti človeka, ki odloča, oz. zmožnosti upravljavca za procesiranje velikega števila performančnih izrazov omejene. Zato so zaželeni bolj zgoščene predstavitve informacij, ki dopolnjujejo številne kazalnike in pripomorejo h globalnemu pregledu nad vpletenimi procesi. Na ta način vzpostavljene relacije med skupnimi in osnovnimi izrazi učinkovitosti dopuščajo tudi razlago in diagnostiko stopnje doseganja ciljev in omogočajo izbiro in proženje ustreznih ukrepov. Znano je, da je eden glavnih izzivov pri upravljanju identifikacija so-odvisnih izboljšav med različnimi področji na čim bolj

učinkovit način, [5]. V tem smislu sta pri snovanju konceptualnih modelov PMS v ospredju dva vidika:

- *Identifikacija strukture učinkovitosti*, torej na eni strani določanje elementarnih kriterijev, ki prispevajo k doseganju globalnega cilja, in na drugi strani koherentni izrazi učinkovitosti, ki odražajo doseganje ciljev v skladu z različnimi kriteriji. V strokovni literaturi najdemo številne prispevke v zvezi s strukturo učinkovitosti: model SMART [10], model ABC/ABM [7], Balanced Scorecard BSC ([22], [23]), PPMS [24], ECOGRAI, [12] ter Quantitative Breakdown/Aggregation Performance Measurement model [8].
- *Identifikacija povezav med osnovnimi izrazi učinkovitosti in globalnim izrazom* z namenom izražanja izpolnjevanja globalnega cilja. Le-ta se v literaturi obravnava predvsem kot problem združevanja (agregacije) elementarnih izrazov učinkovitosti: Računovodsko spremljanje učinkovitosti [20], ABC ([3], [9]), Time based performance measures [1], PCS [16], ECOGRAI [12], QMPMS [28], ter Quantitative Breakdown/Aggregation Performance Measurement model [8]. Pri tem se združevanje učinkovitosti pogosto definira kot posledični korak razgrajevanja ciljev.

Izrazi učinkovitosti se v splošnem obravnavajo neodvisno drug od drugega. Običajno rezultirajo iz primerjave zadanih ciljev in izmerjenih vrednosti, ki opisujejo izvedbo opazovanih procesov in aktivnosti. Te vrednosti izvirajo iz fizičnih sensorjev ali od človeških operaterjev, v vsakem primeru pa se lahko učinki kvantificirajo s fizikalnimi enotami ali produktivnimi razmerji. Vendar je pri več-kriterijskem pogledu pomembno zagotoviti skladnost (koherenco) med elementarnimi in združenimi (agregiranimi) izrazi učinkovitosti.

V skladu s teorijo merjenj takšno zagotavljanje skladnosti v procesu kvantifikacije pomeni, da morajo biti elementarni izrazi primerljivi, to je, da imata enaki vrednosti (npr. 0,8) po različnih kriterijih

(npr. *Dobavni rok* in *Kvaliteta*) enak pomen pri odločanju. Pri tem mora biti operator združevanja *pomemben* v primerjavi z osnovnimi izrazi. Npr. če je operator združevanja aritmetična sredina, potem se ta zahteva prevede v naslednje: za vsak kriterij mora imeti razlika med dvema vrednostma enak pomen (npr. [0.8 - 0.5] in [0.4 - 0.1]). Na ta način lahko zmanjšanje enega osnovnega izraza kompenziramo s povečanjem drugega. Če bi npr. kot operator združevanja uporabili produkt, potem v tem smislu ni pomembna razlika, ampak razmerje vrednosti.

Prva metodologija, ki je obravnavala ta vidik, je bila metodologija AHP (*Analytic Hierarchy Process*), [27]. Na podlagi obstoječega znanja so določena skalirna razmerja za kvantizacijo uteži v operatorju aritmetične sredine WAM (*Weighted Arithmetic Mean*). Pri tem pristopu je zahtevana določitev »absolutne« ničelne učinkovitosti, ki je v industrijskem kontekstu problematična, saj je tu učinkovitost vselej relativna. Podobno je uporabljena tudi metodologija MACBETH (*Multi Attractiveness Categorical Based Evaluation Technique*) ([2], [8]) za skladno izražanje tako osnovnih kot združenih kazalnikov učinkovitosti. V okviru MACBETH je to zagotovljeno z gradnjo določenih skal, ki so prilagojene operatorjem aritmetične sredine.

V nadaljevanju se osredotočamo na sisteme, kjer izdelki nastajajo v podobnih proizvodnih razmerah in jih obravnavamo združeno kot šarže. V takih proizvodnih sestavih se določen kazalnik, ki kaže na učinkovitost proizvodnje, običajno meri šele, ko je celotna šarža zaključena. Ker to povzroča dodatne probleme pri vodenju proizvodnje, bi bila zaželena napoved kazalnika preko modela.

### 3 Modeliranje učinkovitosti šaržne proizvodnje

V šaržnih procesih dobimo končne količine produkta tako, da končno količino vhodnega materiala obdelujemo z urejenim zaporedjem procesnih aktivnosti preko omejenega časovnega intervala in pri tem uporabimo enega ali več kosov opreme. Izdelava produkta je

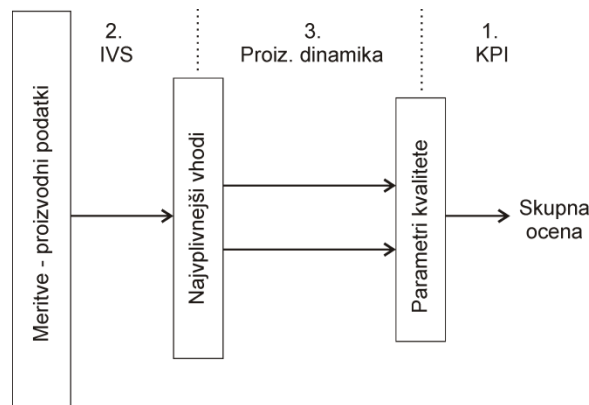
razdeljena na več šarž, tako lahko šaržno proizvodnjo obravnavamo kot ponavljajočo se proizvodnjo. V tem smislu lahko učinkovitost proizvodnje ocenjujemo na osnovi primerjalne analize. Kazalnike primerjamo proti nekim ciljnim vrednostim, t.j. referenčna šarža – pogosto poimenovana kot zlata šarža (*golden batch*). Če je ujemanje karakteristik merjene šarže s karakteristikami referenčne šarže boljše, dobi kazalnik, ki se nanaša na to karakteristiko, boljšo oceno. Kot referenčno šaržo lahko izberemo šaržo, ki je imela v preteklem izvajanju proizvodnje najboljše karakteristike.

Pri vodenju proizvodnje bi bilo nadvse koristno, če bi lahko ocenjevali predikcijo parametrov, ki govorijo o učinkoviti proizvodnji. Pri tem bi se lahko pomagali z modelom, ki ga določimo na osnovi zgodovinskih potekov izdelave šarže, predikcija pa se izračunava glede na trenutno že znane merljive podatke. Pri tem ni cilj modeliranja proizvodnje v tem, da natančno opišemo proces, temveč predvsem zmožnost, da lahko približno ocenimo kompromise, ki jih moramo dosegati pri optimiranju proizvodnje.

V nadaljevanju se osredotočamo na problematiko ocenjevanja kvalitete šarže. V večini šaržnih procesov se končna kvaliteta produkta ne meri zelo pogosto, običajno šele, ko je šarža končana. Direktno in sprotno sledenje parametrom, ki določajo kvaliteto izdelka v večini primerov ni možno. Vseeno pa je mogoče končno kvaliteto izdelka ocenjevati že med izdelavo na osnovi merljivih parametrov, kot so temperatura, tlak, koncentracija, pretok ipd. Podatke s teh sprotnih meritev lahko uporabimo za analiziranje obnašanja procesa in na osnovi ugotovitev izboljšujemo operativne pogoje za izdelavo izdelka s konsistentno kvaliteto.

S formuliranjem postopkov ocenjevanja parametrov, ki vplivajo na končno oceno šarže in z zajemom znanja ekspertov, ki te informacije interpretirajo/analizirajo in jih uporabljajo pri odločanju kako upravljati proizvodne procese, določimo model kazalnika skupne ocene kvalitete šarže. Model mora biti zasnovan tako, da bo omogočal skupno delo različnih vpletenih v projekt: analitiki,

odločevalci,... Našega problema določanja in modeliranja kazalnika se lotimo v treh korakih (Slika 2): (i) določitev kazalnika, (ii) izbor najvplivnejših vhodov ter (iii) identifikacija proizvodne dinamike.



Slika 2: Postopek modeliranja kazalnika skupne učinkovitosti

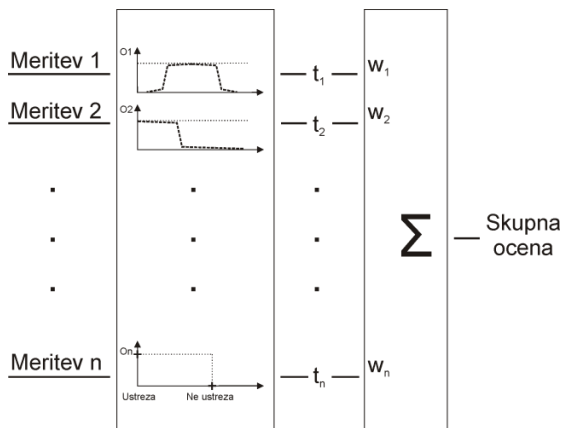
### 3.1 Določitev kazalnika: Skupna ocena kvalitete šarže

Kvaliteto šarže, ki se proizvaja, običajno določamo preko več različnih meritev. V ta namen je potrebno predpisati postopek, ki na osnovi teh meritev poda oceno kvalitete šarže. V tem razdelku je predstavljen sistem za merjenje učinkovitosti (PMS), s katerim bomo ocenjevali skupno oceno kvalitete šarže. Razvita metoda sledi konceptom predstavljenim v 2. razdelku.

Vsak parameter, ki določa učinkovitost šarže, je določen s pomočjo ene ali več meritev. Meritve so najprej ovrednotene glede na kriterije, ki jih vnaprej določi uporabnik (ekspert). Ker vsi parametri niso enako pomembni, jih ustrezno utežimo. Tudi uteži določi uporabnik. Preko določanja kriterijev, po katerih so parametri ovrednoteni in preko uteževanja parametrov, je omogočen zajem ekspertnega znanja. Skupno oceno izračunamo preko utežene vsote teh delnih ocen (Enačba 1).

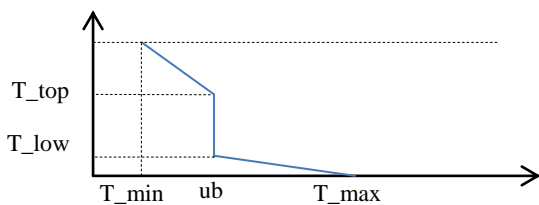
$$u(a) = \sum_{i=1}^n w_i t_i(a) \quad (1)$$

Za potrebe določanja skupne ocene kvalitete šarže je bil izdelan pripomoček, ki implementira to metodologijo. Shema metode je predstavljena na sliki 3.

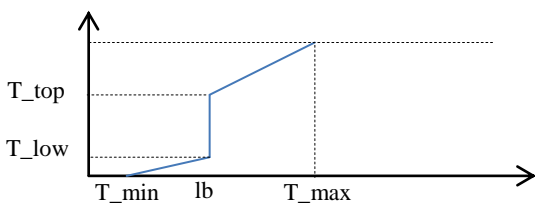


Slika 3: Shema izračuna skupne ocene

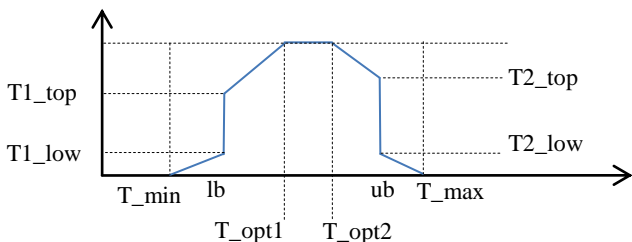
Uporabniku je na voljo pet različnih tipov kriterijskih funkcij, ki jih lahko poljubno priredi (slike 4-7). Privzeti tip kriterijske funkcije je določen že glede na to, kako so podane meje za dovoljene (zaželeno) vrednosti tega parametra. Npr. parameter, ki ima predpisano le maksimalno vrednost je določen z zapisom  $[~ u_b]$  in predvideva tip kriterijske funkcije predstavljene na sliki 4. Vsako kriterijsko funkcijo lahko nato priredimo s pomočjo različnih nastavitvenih parametrov ( $T_{top}$ ,  $T_{low}$ ,  $T_{min}$ ,  $u_b$ ,  $T_{max}$ , ...), glede na zahteve uporabnika.



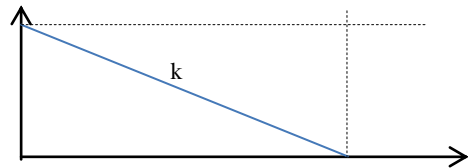
Slika 4: Predpisana maks. vrednost  $[~ u_b]$



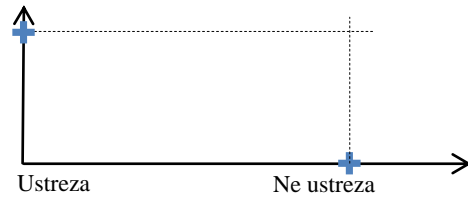
Slika 5: Predpisana min. vrednost  $[l_b ~]$



Slika 6: Predpisani min. in max. vrednost  $[l_b u_b]$



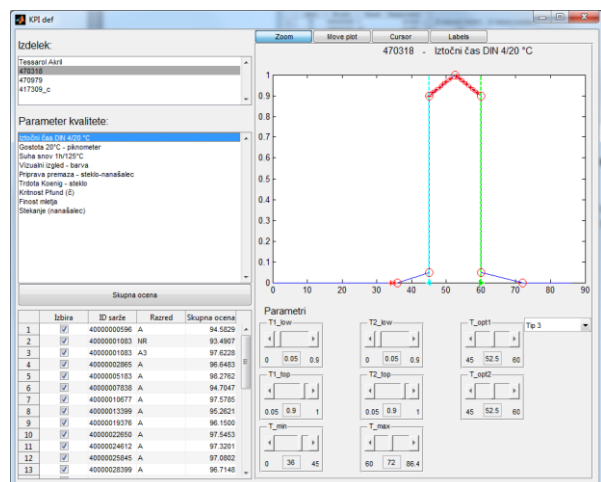
Slika 7: Linearno odvisen parameter  $[~ ~]$



Slika 8: Diskretna vrednost [Ustreza Ustreza]

V primeru, da meritev povsem ustreza zahtevam, podanim s kriterijsko funkcijo, je vrednost njene ocene 1, v primeru, da meritev zahtevam ne ustreza dobi oceno 0 in ustrezno vrednost na intervalu  $(0 1)$ , če meritev delno ustreza zahtevam.

Tako ocenimo vsako šaržo, pri vsakem parametru – dobimo delne ocene šarže ( $t_1...t_n$ ). Preden izračunamo skupno oceno šarže, določimo še uteži posameznih parametrov ( $w_1...w_n$ ). Najbolj pomemben parameter dobi utež 1, medtem ko se uteži preostalih parametrov določijo relativno v razmerju do najpomembnejšega parametra na intervalu  $[0 1]$ . Skupno oceno šarže dobimo z združevanjem (agregacijo) teh delnih ocen, t.j. z uteženo vsoto delnih ocen šarže.



Slika 9: Pripomoček za določanje skupne ocene kvalitete šarže

Rezultati vrednotenja so uporabniku preko uporabniškega vmesnika ustrezno predstavljene, kjer mu je omogočeno tudi ugotavljanje kateri

so tisti glavni dejavniki, ki kritično vplivajo končno oceno. Predstavljena metodologija je implementirana v okviru orodja za analizo proizvodne dinamike.

### 3.2 *Izbor najvplivnejših vhodov*

V sistemu MES imamo na voljo veliko količino proizvodnih podatkov, izmed katerih so tudi tisti, ki odločujoče vplivajo na kvaliteto končnega produkta. Pri modeliranju sistemov naletimo na problem, katere izmed potencialnih vhodov vključiti v model. Izbrati je potrebno le tiste vhode, ki pomembno vplivajo na izhodno dinamiko, saj lahko s tem pomembno pripomoremo k poenostavitvi problema in k natančnosti dobljenega modela. Metode izbire najvplivnejših vhodov in pristopi pri analize le-teh so podrobno predstavljene v [17].

Glavne dejavnike, ki vplivajo na kvaliteto izdelka, delimo v dve skupine. Po eni strani na kvaliteto končnega izdelka vplivajo parametri kvalitete surovin, ki so bile uporabljene za izdelavo tega izdelka, po drugi pa vsi proizvodni postopki, ki so bili uporabljeni pri tem.

### 3.3 *Identifikacija proizvodne dinamike*

V tretjem koraku modeliranja kazalnika kvalitete (slika 2) določimo preslikavo med najvplivnejšimi vhodnimi parametri in izhodnimi parametri kvalitete, [16]. Uporabimo eksperimentalno modeliranje, pri čemer izhajamo iz danih podatkov o zgodovini kazalnika (*Skupna ocena kvalitete šarže*) in parametrov, ki to oceno določajo, ter podatkov o pripadajoči zgodovini vplivnih veličin. Ti podatki podajajo vhodno-izhodno karakteristiko. Modeliranje z umetnimi nevronskimi mrežami ter mehko modeliranje sta ena izmed najprimernejših pristopov. Ker se kazalnik kvalitete razlikuje za posamezne produkte, je potrebno za vsakega izmed njih določiti svoj lasten model kazalnika.

Vhode v model predstavljajo parametri, ki pomembno vplivajo na končno kvaliteto, torej tisti, ki so bili kot taki identificirani v prejšnjem koraku. To so na primer: kvaliteta/starost vhodnih surovin, hitrost disolviranja,

temperature v rezervoarju, časi mešanja, razporeditev delovnih nalogov, temperatura, vlažnost v obratu, ipd. Izhodi modela pa so parametri, na osnovi katerih določamo skupno oceno kvalitete šarže. Za vsak izhodni parameter načrtamo svoj model. Te modele lahko uporabimo za napovedovanje posameznih parametrov in na ta način tudi skupno oceno kvalitete.

Uporabniku je v prvi vrsti na voljo vpogled v skupni kazalnik KPI, ki govori o skupni oceni kvaliteti šarže. Če želi, pa mu je na voljo možnost raziskovanja vzrokov za tako oceno kvalitete preko modelov, ki napovedujejo vrednosti posameznih parametrov (*drill-down*).

## 4 **Zaključek**

V prispevku je predstavljen pregled področja merjenja učinkovitosti proizvodnje. Sistematično spremljanje učinkovitosti je nujno, če želimo uspešno upravljati opravila v proizvodnji. Še posebna pozornost je potrebna pri spremljanju učinkovitosti v šaržni proizvodnji. Glede na to, da so ocene učinkovitosti določene šele po koncu izdelave šarže, si pomagamo z modeli. V prispevku je podana rešitev modeliranja kazalnika *Skupna ocena kvalitete šarže*, ki jo izvedemo v treh korakih: (i) določitev kazalnika, (ii) izbor najvplivnejših vhodov ter (iii) identifikacija proizvodne dinamike. Posebej je poudarjen postopek določanja kazalnika, za katerega je predstavljena metodologija, ki je implementirana v okviru orodja za analizo proizvodne dinamike.

## 5 **Zahvala**

Kompetenčni center za sodobne tehnologije vodenja delno financirata Republika Slovenija, Ministrstvo za izobraževanje, znanost, kulturo in šport ter Evropska unija (EU), in sicer iz Evropskega sklada za regionalni razvoj.

## 7 Literatura

- [1] Azzone, G., Masella, C., Bertele, U. (1991). Design of performance measures for time based companies. *Int. J. Oper. Prod. Man.*, 11 (3), 1991.
- [2] Bana e Costa, C. A., De Corte, J. M., Vansnick, J. C. (2003). MACBETH. *Working paper. London School of Economics*. 3-56.
- [3] Berliner, C., Brimson, J. (1988). Cost Mangement for today Adavanced Manufacturing. *The CAM-1 Conceptual Design*, Harvard Business School Press, 1988.
- [4] Berrah, L., Mauris, G., Vernadat, F. (2004). Information aggregation in industrial performance measurement: rationales, issues and definitions. *Int. J. Prod. Res.* 42 (20).
- [5] Berrah, L., Cliville, V. (2008). Towards a Quantitative Performance Measurement Model in a Buyer-Supplier Relationship Context. V: *Supply Chain, Theory and Applications*, I-Tech Education and Publishing, Vienna, Austria.
- [6] Bourne, M.C.S., Mills, J.F., Wilcox, M., Neely, A.D., and Platts, K.W. (2000). Designing, implementing and updating performance measurement systems. *Int. J. Oper. Prod. Man.*, 20 (7), 754–771.
- [7] Brimson, J. A. (1991). *Activity Accounting*. Editions John Wiley and Sons. New York.
- [8] Clivillé, V., Berrah, L., Mauris, G. (2007). Quantitative expression and aggregation of performance measurements based on the MACBETH multi-criteria method. *Int. J. Prod. Econ.*, 105 (1), 171-189.
- [9] Cooper, R., Kaplan, R.H. (1988). *Measure costs right- make the right decision*, Harvard Business Review, 66 (5), 106-111.
- [10] Cross, K. F., Lynch, R. L. (1988-89). The SMART way to define and sustain success. *National Productivity Review*, 8 (1), 23-33.
- [11] De Toni, A., Tonchia, S. (2001). Performance measurement systems: models, characteristics, and measures. *Int. J. Oper. Prod. Man.*, 21 (1-2), 46-70.
- [12] Ducq, Y., Vallespir, B., Doumeingts, G. (2001). Coherence analysis methods for production systems by performance aggregation. *Int. J. Prod. Econ.*, 69 (1).
- [13] Folan, P. in J. Browne (2005). A review of performance measurement: Towards performance management, *Comput. in Ind.*, 56, 663-680.
- [14] Fukuda Y, Patzke R (2010). Standardization of key performance indecator for manufacturing execution system. V: *Proc. of SICE Annual Conference 2010*, 263-265.
- [15] Ghalayini, A.M., Noble, J.S. (1996). The changing basis of performance measurement. *Int. J. Oper. Prod. Man.*, 16 (8), 63-80.
- [16] Glavan M., Gradišar D., Strmčnik S., Mušič G., (2013). Production modelling for holistic production control. *Simulation modelling practice and theory*, 30, str. 1-20.
- [17] Glavan M., Gradišar D., Atanasijević-Kunc M., Strmčnik S., Mušič G., (2013). Input Variable Selection for Model-Based Production Control and Optimisation. *Int. J. Adv. Manuf. Tech*, In press.
- [18] Globerson, S. (1985). Issues in developing a performance criteria system for an organisation. *Int. J. Prod. Res.*, 23 (4), 639-646.
- [19] Gradišar D., Petrič I. (2012). Ključni kazalniki učinkovitosti za proizvodnjo. *ERK 12*, Portorož.
- [20] IEC (2007), IEC 62264-3, *Enterprise-Control System Integration – Part 3: Activity models of manufacturing operations management*, Int. Electrotechnical Commission.
- [21] Johnson, H.T. (1975). Management accounting in early integrated industry, E.I. Dupont de Nemours Powder Company 1903-1912. *Business History Review*, 184-204.
- [22] Kaplan, R.S., Norton, D.P. (1992). The balanced scorecard - Measures that drive performance. *Harvard Business Review*, 70 (1), 71-79.
- [23] Kaplan, R.S, Norton, D.P. (1996). Using the balanced scorecard as a strategic management system. *Harvard Business Review*. 75–85.
- [24] Kueng, P, Krahn, A.J. (1999). Building a Process Performance Measurement System: Some Early Experiences. *J. Sci. Ind. Research*, 58, 149-159.
- [25] Neely A., Gregory M., Platts K. (1995). Performance Measurement System Design - A Literature Review and Research Agenda, *Int. J. Oper. Prod. Man.*, 15(4), 80-116.
- [26] Neely, A. (1999). The performance measurement revolution: why now and what next. *Int. J. Oper. Prod. Man.*, 19 (2), 205-228.
- [27] Saaty. T. (2004). The analytic hierarchy and the analytic network processes for the measurement of intangible criteria and for decision making. V: *Multiple Criteria Decision Analysis*. Kluwer Academic Publishers, 345-407.
- [28] Suwignjo P., Bittici U.S., Carrie A.S. (2000). Quantitative models for performance measurement system. *Int. J. Prod. Econ.*, 64:231-241.
- [29] Tasiopoulos, I.P. and Panayiotou, N. (2000). The integration of activity based costing and enterprise modelling for reengineering purposes. *Int. J. Prod. Econ.*, 66, 33–44.
- [30] Veleva, V., Ellenbecker, M. (2001). Indicators of sustainable production: framework and methodology. *J. Cleaner Production*, 9, 519-549.