

## 4. Kazalniki učinkovitosti



- Spremljanje učinkovitosti proizvodnje
- Ključni kazalniki in mere učinkovitosti
- Sistemi za merjenje učinkovitosti
- Skupna učinkovitost naprav (OEE)
- Razvoj sistemov za spremljanje učinkovitosti

### 4.1 Spremljanje učinkovitosti proizvodnje



- Merilo uspeha proizvodnega podjetja v širšem smislu
  - finančni kazalniki
    - dobiček, ROI (return of investment), ...
  - položaj na trgu
- Znotraj podjetja k uspehu pripomorejo številne funkcije
  - proizvodni sistem predstavlja eno od teh funkcij
  - različne perspektive ocenjevanja uspešnosti proizvodnje
- Dve ključni vprašanji
  - Kaj meriti?
  - Kako meriti?

## Merjenje uspešnosti



- Razvoj merjenja uspešnosti v 90. letih 20. stol
  - veliko število mer uspešnosti
  - preobilje meritev
    - med drugim posledica razvoja informacijske tehnologije
- Potreba po
  - opredelitvi cilja
  - definiciji mer uspešnosti v skladu s postavljenim ciljem
    - mere kot podporno sredstvo pri ugotavljanju, ali potekajo aktivnosti v pravi smeri

## Produktivnost in učinkovitost



- Najpogosteje uporabljeni meri za opisovanje uspešnosti proizvodnega procesa
  - nedosledna raba obeh konceptov
  - nerazumevanje zvez med obsegom proizvodnje in produktivnostjo ter donosnostjo
- Osnova merjenja produktivnosti
  - razmerje med rezultatom proizvodnje in vložkom virov

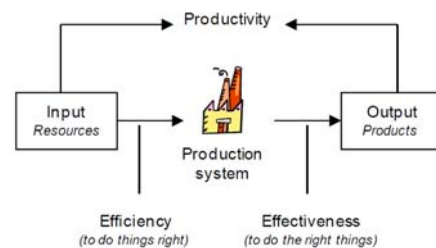
$$\text{produktivnost} = P = \frac{\text{izhodi}}{\text{vhodi}}$$

- različne vrste produktivnosti
  - predvsem pomembno za primerjavo s preteklimi obdobji ali z drugimi podjetji (1. poglavje)

## Produktivnost in učinkovitost



- Zveze med produktivnostjo, učinkovitostjo (efficiency) in uspešnostjo (effectiveness)
  - učinkovitost – delovanje na pravi način
  - uspešnost – delovanje v pravi smeri
  - glede na produktivnost
    - povezava učinkovitosti z vhodi (vložki virov)
    - povezava uspešnosti z izhodi (rezultati proizvodnje)

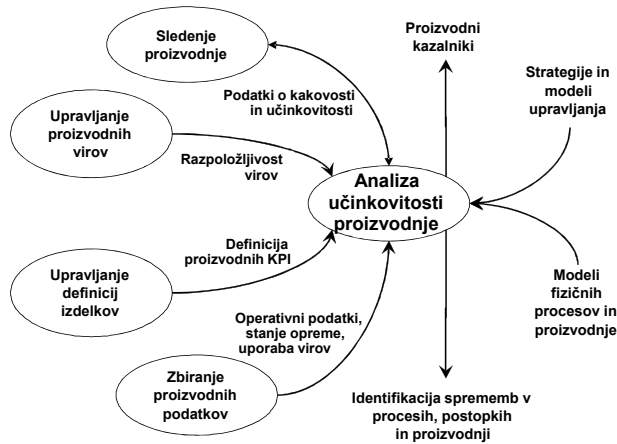


## Merjenje produktivnosti preko časa



- Obide problem definiranja vhodov in izhodov
  - izhod je čas dodajanja vrednosti
  - vhod je skupni čas
$$P = \frac{t_{va}}{t_{tot}} \quad (\text{value added time, total time})$$
- Prednosti
  - čas je preprosto meriti in razumeti
  - olajšuje primerjavo med podjetji in državami, ker je čas neodvisen od strukture stroškov in valute
- Slabosti
  - subjektivna ocena, katere aktivnosti dodajajo vrednost
  - definicija podpira dolgotrajne aktivnosti (ki pa ne potekajo vedno v pravi smeri)

## Analiza proizvodne učinkovitosti



IEC 62264 - Enterprise-control system integration - tretji del:  
Activity models of manufacturing operations management

## 4.2 Ključni kazalniki in mere učinkovitosti



- Splošno uporabljena metoda za prikaz učinkovitosti podjetja in procesov
  - pomembna vloga pri vodenju proizvodnje
  - omogočajo definicijo merljivih kriterijev spremljanja proizvodnje z različnih vidikov
    - na primer produktivnost, kakovost proizvodov, upravljanje s surovinami, poraba energije
  - omogočajo njihovo sistematično obvladovanje
  - poleg tega lahko na učinkovitost vplivamo tudi preko različnih organizacijskih ureditev ter tehničnih izboljšav

## Metodologija ključnih kazalnikov učinkovitosti



- Različna merila, s katerimi je možno vrednotiti učinkovitost in uspešnost
  - pojavljajo se pod različnimi imeni – primer takšnih meril so **armaturna merila** (angl. *Dashboard Measures DM*), ki dajejo uporabniku hiter pregled nad učinkovitostjo podjetja ali organizacije



## Tehnološka in stroškovna učinkovitost



- Tehnološka učinkovitost
  - razmerje med količino vloženi tehnoloških dejavnikov in količino proizvedenega izdelka
- Stroškovna učinkovitost
  - razmerje med vrednostjo vložka in vrednostjo rezultata proizvodnje

## Standardni kazalniki tehnološke učinkovitosti



- Kazalnike lahko razvrstimo po naslednjih glavnih podpodročjih:
  - učinkovitost dobavne verige (angl. Supply chain performance)
  - sistemi odločanja in vrednotenja učinkovitosti (angl. decision making and evaluation)
  - tveganje, varnost in zdravje (angl. Risk, safety and health),
  - energetska učinkovitost in emisije CO2 (angl. Environmentally sustainable manufacturing)
  - inovativnost, konkurenčnost in prilagodljivost (angl. Innovation, competitiveness and flexibility)
  - tematike povezane s finančnimi kazalniki in strukturo kapitala podjetij (angl. Financial performance measurements)

## Standardi in priporočila o kazalnikih učinkovitosti



- Standardni nabor kazalnikov definira standard ISO 22400: Manufacturing operations management – Key performance indicators
  - vključuje nabor predpripravljenih kazalnikov s pripadajočimi izračuni, ki jih je možno modificirati in prilagoditi na konkreten proizvodni proces
- Druge iniciative in združenja, ki se ukvarjajo s področjem proizvodnih kazalnikov
  - MESA (MESA International)
  - WERC (Warehousing education and research council)
  - SCOR - Supply-chain operations reference-model (Supply Chain Council)
  - APICS (Association for Operations Management)

## Standardni kazalniki po ISO 22400



- S tehnično učinkovitostjo so povezani predvsem kazalniki:

Produktivnost zaposlenih (Worker productivity),	Stopnja priprave proizvodnje (Preparation degree),
Stopnja dodeljevanja (Allocation degree),	Raven tehnične izrabe (Technical Usage Level),
Pretočnost proizvodnje (Throughput),	Stopnja izmeta (Wastage Degree),
Učinkovitost dodeljevanja (Allocation efficiency),	Kakovost prvega prehoda (First Pass Yield (FPY)),
Učinkovitost (Efficiency),	Razmerje izmeta (Wastage Ratio),
Skupna učinkovitost opreme (OEE Index),	Razmerje popraviljanja (Reworking Ratio),
Neto učinkovitost opreme (NEE Index),	Strojna zmožnost (Machine Capability Index (Cm)),
Razpoložljivost (Availability),	Kritična strojna zmožnost (Critical Machine Capability Index (Cmk)),
Učinkovitost proizvodnje (Effectiveness),	Procesna zmožnost (Process Capability Index (Cp)),
Stopnja kakovosti (Quality Rate),	Kritična procesna zmožnost (Critical Process Capability Index (Cpk)).

## Primer definicije kazalnika



Ime / Naslov kazalnika:	Pretočnost proizvodnje – ang. Throughput
Opis	
Korist / Uporaba:	Pretočnost proizvodnje kaže učinkovitost procesa z razmerjem proizvedene količine proizvodov (ang. produced quantity – PQ) na časovno enoto (ang. throughput time – TPT). Ta kazalnik je pomemben pokazatelj učinkovitosti proizvodnje.
Časovno spreminjanje:	po potrebi, periodično
Opredeleite in izračun	
Formula:	Pretočnost = PQ/TPT
Enota/Mere:	Količinska enota/Časovna enota
Ocena:	Min: 0 Max: odvisno od proizvoda Trend: čim višje, tem boljše
Analiza / Razčlenitev:	Vežan na proizvod Vežan na proizvodno naročilo Vežan na proizvodno enoto
Pripombe	
Opombe / Pojasnila:	Kazalnik se izračuna za delovni proces, ko je le-ta dokončan. Časovna enota so lahko ure ali dnevi, odvisno od tega, kaj je primernejše za merjenje učinkovitosti proizvodnje danega proizvoda.
Organizacijska raven:	Vodja oddelka, vodstvo podjetja

## 4.3 Sistemi za merjenje učinkovitosti



- Performance Measurement Systems – PMS
  - instrumenti za podporo odločanju v procesu stalnih izboljšav
- V splošnem ločujemo
  - mere učinkovitosti (performance measures – PM)
  - pripadajoči sistem za merjenje učinkovitosti (PMS)

## Sistemi za merjenje učinkovitosti



- Priporočila in okvirji merjenja (PM frameworks)
  - strukturni okvir definira tipologijo posameznih priporočil (razvrstitev po posameznih področjih)
  - proceduralni okvir definira postopke za definicijo priporočil iz strategije, njihovo implementacijo in uporabo skozi celoten življenjski cikel.
- PMS je unija strukturnih in proceduralnih okvirov za merjenje učinkovitosti v en sistem



## Značilnosti sistemov za merjenje učinkovitosti



- PMS obravnavamo kot več-kriterijski instrument
  - sestavlja ga množica izrazov učinkovitosti
    - imenujemo jih tudi metrike
    - kot metrike so lahko uporabljene dejanske meritve kot tudi druge vrste vrednotenja učinkov
- PMS je vselej definiran glede na globalni cilj podjetja
  - kot rezultat daje eno ali več mer učinkovitosti z namenom kvantitativnega vrednotenja izpolnjevanja tega cilja
  - upoštevani globalni cilj je razgrajen na bolj elementarne cilje vzdolž organizacijskih nivojev (strateški, taktični, operativni)
  - elementarni izrazi učinkovitosti, povezani z razgrajenimi cilji, so med seboj združeni (agregirani) in na ta način dajejo informacijo o doseganju globalnega cilja

## Modeli merjenja učinkovitosti



- Kvantitativni razgrajevalni/združevalni model merjenja učinkovitosti
  - zmožnosti človeka za procesiranje velikega števila performančnih izrazov so omejene
  - zaželene so bolj zgoščene predstavitve informacij, ki dopolnjujejo številne kazalnike in pripomorejo k globalnemu pregledu nad vpletenimi procesi
  - vzpostavljene relacije med skupnimi in osnovnimi izrazi učinkovitosti
    - dopuščajo razlago in diagnostiko stopnje doseganja ciljev
    - omogočajo izbiro in proženje ustreznih ukrepov

## Modeli merjenja učinkovitosti



- Snovanje konceptualnih modelov PMS
  - identifikacija strukture učinkovitosti,
    - na eni strani določanje elementarnih kriterijev, ki prispevajo k doseganju globalnega cilja
    - na drugi strani koherentni izrazi učinkovitosti, ki odražajo doseganje ciljev v skladu z različnimi kriteriji
  - identifikacija povezav med osnovnimi izrazi učinkovitosti in globalnim izrazom z namenom izražanja izpolnjevanja globalnega cilja
- Različni načini
  - povezovanja strateških ciljev
  - strukturiranja taktičnih in operativnih kriterijev, ki vplivajo na te cilje

## Konceptualni modeli PMS



Model PMS	Fokus
Model SMART (System Measurement Analysis and Reporting Technique) (Cross in Lynch, 1988-89)	Razgrajevanje ciljev podjetja vzdolž 4 nivojev – podjetje, poslovne enote, operativne poslovne enote, oddelki oz. delovni centri – glede na 10 meril, kot so zamude, kvaliteta, zadovoljstvo strank ...
Model ABC/ABM (Activity Based Costing/Activity Based Modelling) (Brimson, 1991)	Identifikacija aktivnosti in procesov, ki generirajo novo vrednost v podjetju, in identifikacija dejavnikov, ki inducirajo to ustvarjanje vrednosti.
Balanced Scorecard BSC (Kaplan in Norton, 1992, 1996)	Definicija 4 osi (kriterijev) – procesi, učenje organizacije, finančni vidiki, vidiki poslovanja s strankami – s ciljem izražanja učinkovitosti podjetja.
PPMS (Process Performance Measurement System) (Kueng in Krahn, 1999)	Merjenje učinkovitosti podjetja glede na 5 vidikov - finance, inovativnost, poslovanje s strankami, sociološki vidiki in vidiki, povezani z zaposlenimi.
ECOGRAI (Ducq in sod., 2001)	Identifikacija 3 kriterijev – zamude, kvaliteta in stroški – za vse procese/aktivnosti podjetja.
Quantitative Breakdown/Aggregation Performance Measurement model (Cliville in sod. 2007)	Identifikacija kazalnikov učinkovitosti in njihove organizacije za potrebe vodenja v skladu s sistemskim pristopom.

## Združevanje izrazov učinkovitosti



Model PMS	Tip	Združevalni mehanizem
Računovodsko spremljanje učinkovitosti (Accounting) (Johnson, 1975)	Mono-kriterijski	Seštevanje elementarnih stroškov.
ABC (Berliner in Brimson, 1988) (Cooper in Kaplan, 1988)	Mono-kriterijski	Seštevanje elementarnih stroškov v skladu z modelom aktivnosti podjetja (Activity Based Model)
Time based performance measures (Azzone in sod., 1991)	Mono-kriterijski	Seštevanje elementarnih trajanj.
PCS (Performance Criteria System) (Globerson, 1985)	Več-kriterijski	Združevanje »kritičnih« učinkovitosti z uteženim povprečjem (Weighted Arithmetic Mean – WAM)
ECOGRAI (Ducq in sod., 2001)	Več-kriterijski	Združevanje treh kriterijev (trajanje, stroški in kvaliteta) s specifičnimi združevalnimi operatorji (min, max, vsota) tako glede na vključene kriterije in način kombiniranja aktivnosti v procesih: in, ali, zaporedje.
QMPMS (Quantitative Model Performance Measurement System) (Suwignjo in sod., 2000)	Več-kriterijski	Identifikacija kriterijev, ki jih je potrebno upoštevati, s pomočjo spoznavnih zemljevidov (cognitive maps) in združevanje z WAM-operatorjem. Integracija ukrepov z upoštevanjem interakcij med kriteriji. Uporaba metodologije AHP za definiranje uteži.
Quantitative Breakdown/Aggregation Performance Measurement model (Clivillé in sod. 2007)	Več-kriterijski	Identifikacija kriterijev, ki jih je potrebno upoštevati, z vzročno-posledičnimi diagrami in združevanje z operatorjem CI (Choquet Integral). Uporaba metodologije MACBETH za identifikacijo tako elementarnih izrazov kot tudi parametrov CI.

## Združevanje izrazov učinkovitosti

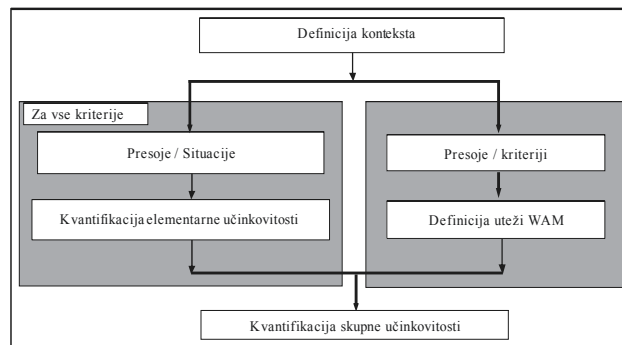


- Pri več-kriterijskem pogledu je pomembno zagotoviti skladnost (koherenco) med elementarnimi in združenimi (agregiranimi) izrazi učinkovitosti.
- V skladu s teorijo merjenj takšno zagotavljanje skladnosti v procesu kvantifikacije pomeni, da:
  - morajo biti elementarni izrazi primerljivi, to je, da imata enaki vrednosti (npr. 0,8) po različnih kriterijih (npr. Dobavni rok in Kvaliteta) enak pomen pri odločanju;
  - 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])

## Združevanje izrazov učinkovitosti



- Metodologija MACBETH (Multi Attractiveness Categorical Based Evaluation TechNique)
  - upoštevanje soodvisnosti med kriteriji



## Uravnoteženi sistem kazalnikov

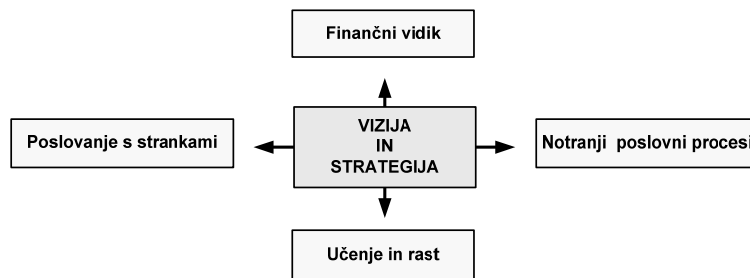


- Uravnoteženi sistem kazalnikov (angl. Balanced Scorecard BSC) sta ga vpeljala Kaplan in Norton (1992)
  - ocenjevanje stopnje doseganja zastavljenih finančnih kot tudi nefinančnih ciljev na najvišjem (poslovnem) nivoju vodenja podjetij oziroma organizacij
  - celosten sistem za vodenje podjetij
  - uravnoteženost
    - nobeden od vidikov ni prekomerno upoštevan, pač pa je obravnavan glede na težo, ki jo ima pri zagotavljanju uspešnosti vodenja podjetja

## Uravnoteženi sistem kazalnikov



- Sistem BSC ocenjuje uspešnost podjetja na štirih področjih delovanja



## Uravnoteženi sistem kazalnikov



- Dodatni proceduralni okvir, s pomočjo katerega so kazalniki lahko implementirani kot sistem in poteka v štirih fazah:
  - *Prevajanje strategije*: povezano s prečiščevanjem strateške vizije podjetja na vseh operativnih nivojih
  - *Komuniciranje in povezovanje*: predstavljanje strategije na različnih nivojih v podjetju in povezovanje s cilji oddelkov in posameznikov
  - *Planiranje poslovanja*: podjetja združijo poslovne in finančne plane
  - *Povratne vezi in učenje*: ta vidik daje podjetjem možnost strateškega učenja na vseh štirih področjih delovanja

## 4.4 Skupna učinkovitost naprav



- V okviru TPM (Total Productive Maintenance) je bil razvit model kvantitativnega vrednotenja skupne učinkovitosti opreme
- Skupna učinkovitost naprav - Overall equipment effectiveness (OEE)
  - ena od uveljavljenih metrik
  - obravnava izgube zaradi različnih motenj v proizvodnji
    - z vidika razpoložljivosti
    - z vidika zmogljivosti
    - z vidika kakovosti
  - omogoča kvantitativno primerjavo različnih proizvodnih podjetij

## Izgube v proizvodnji



- Vidik razpoložljivosti
  - količina časa, ki se potraži zaradi okvar opreme,
  - raven uporabe opreme oz. količina časa, ki se potraži zaradi priprav, nastavitvev in prilagajanj opreme;
- Vidik zmogljivosti
  - zmanjšanje hitrosti proizvodnje na račun manjših zastojev, npr. neobičajnega delovanja strojev, nenadnih zaustavitvev ipd.,
  - zmanjšanje hitrosti proizvodnje zaradi obratovanja opreme s hitrostjo nižjo od nazivne;
- Vidik kakovosti
  - raven proizvodnih izgub, merjena z obsegom nekakovostne proizvodnje zaradi izmeta in predelav,
  - raven ostalih izgub, ki pomenijo zmanjšanje donosa proizvodnje zaradi poskusnih zagonov strojev v času do vzpostavitve stabilnega delovanja opreme.

## Izračun skupne učinkovitosti naprav



- Izračun mere OEE:  $OEE=R \cdot Z \cdot K$

**R – razpoložljivost** (učinkovitost z vidika razpoložljivosti)

**Z – zmogljivost** (učinkovitost z vidika zmogljivosti)

**K – kakovost** (učinkovitost z vidika kvalitete)

- Razpoložljivost  $R$  je definirana z enačbo

$$R = \frac{t_{PR}}{t_O - t_{TZ}} = \frac{t_{PR}}{t_{OO}}$$

$t_{PR}$  – čas proizvodnje (čas, ko naprava izdeluje produkte)

$t_O$  – obratovalni čas (čas, ko tovarna ni zaprta)

$t_{TZ}$  – čas taktičnih zastojev v procesu, napravi

$t_{OO}$  – operativni obratovalni čas (čas, ko naprava obratuje)

## Izračun skupne učinkovitosti naprav



- Zmogljivost  $Z$  je definirana kot

$$Z = \frac{t_{NE} \cdot P_D}{t_{PR}}$$

$t_{NE}$  – normiran čas za izdelavo enote proizvoda

$P_D$  – dejanska količina produkta, ki je bila obdelana v času  $t_{PR}$

- Faktor kakovosti  $K$  prikazuje izgube, ki so posledica neustreznosti določenega dela produktov

$$K = \frac{P_Q}{P_{VSI}}$$

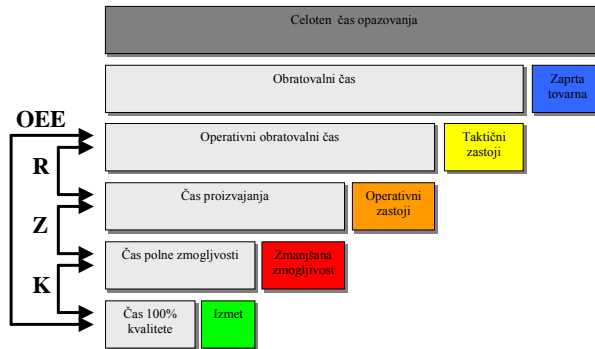
$P_Q$  – količina dobrih izdelkov

$P_{VSI}$  – celotna količina izdelkov, ki vstopijo v operacijo ali proces

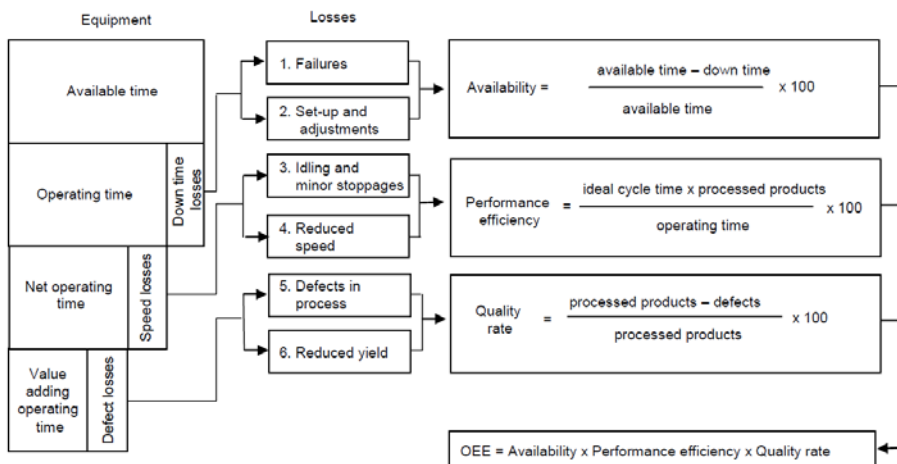
# Izračun skupne učinkovitosti naprav



- Zveze med posameznimi komponentami OEE



# Ilustracija izračuna OEE





## Primer izračuna OEE – podatki



- Obravnavamo en delovni dan: 8 h po 60 min da skupni delovni čas 480 min
- Planirana zaustavitev je bila 30 min
- Zaustavitve zaradi napak so trajale skupno 15 min
- Prenastavitve in popravki parametrov so rezultirali v skupaj 55 min izgubljenega časa
- Povprečno število proizvedenih izdelkov je 250 kosov/dan
- Idealni čas cikla stroja za izdelavo enega izdelka je 1.0 min
- Dejanski čas cikla je v povprečju 1.3 min
- Skupno je bilo v dnevu izdelanih 5 slabih izdelkov

## Primer izračuna OEE – rezultat



A. Bruto delovni čas		$8 \times 60$	= 480 min
B. Planirane zaustavitve			= 30 min
C. Operativni obratovalni čas (A-B)		$480 - 30$	= 450 min
D. Napake			= 15 min
E. Prenastavitve			= 55 min
F. Čas proizvodnje (C-D-E)		$450 - 15 - 55$	= 380 min
G. Razpoložljivost (F/C)		$380/450$	= 84 %
H. Proizvedeni izdelki			= 250 kos
I. Idealni čas cikla			= 1.0 min
J. Dejanski čas cikla			= 1.3 min
K. Dejanska stopnja izrabe (H × J/F)		$250 \times 1,3/380$	= 86 %
L. Stopnja proizvodnje (I/J)		$1/1,3$	= 77 %
M. Učinkovitost (K × L)		$86 \% \times 77\%$	= 66 %
N. Slabi izdelki			= 5 kos
O. Stopnja kakovosti ((H-N)/H)		$(250-5)/250$	= 98 %
Skupna učinkovitost naprav (G × M × O)		$84 \% \times 66 \% \times 98 \%$	= 54 %

## Referenčne vrednosti OEE

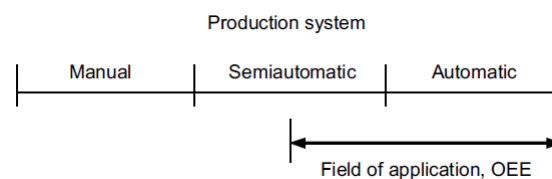


- OEE v primeru je 54 %
  - privzeti podatki so dokaj realistični
  - OEE blizu 100 % je težko doseči
- Za doseganje japonskega priznanja o vzdrževanju skupne produktivnosti (total productivity maintenance) je zahtevana OEE vsaj 85 %
  - razpoložljivost mora biti višja od 90 %
  - učinkovitost mora biti višja od 95 %
  - stopnja kakovosti mora biti višja od 99%

## Uporabnost OEE



- Predvsem v visoko avtomatiziranih sistemih



- izračun OEE predpostavlja določen idealni čas cikla za vsak stroj, ki določa njegovo maksimalno hitrost delovanja
- OEE ne upošteva števila ljudi v proizvodnji

## Modeliranje učinkovitosti proizvodnega procesa



- Celovito vrednotenje učinkovitosti
  - kazalnik OEE se računa na nivoju naprav
  - potrebno je združiti mere za posamezne naprave v enotno mero učinkovitosti delovanja proizvodnega procesa
  - ne gre zgolj za združevanje vrednosti različnih kazalnikov, kot je to primer pri sistemih PMS, temveč je potrebno upoštevati model strukture procesa
- Mere učinkovitosti na nivoju celotnega proizvodnega procesa
  - kratica OFE – Overall Factory Effectiveness
  - mere morajo povzeti dogajanje na posameznih napravah in mu dodati še celostni vidik – to je vidik usklajenosti naprav

## Skupna proizvodna učinkovitost – OTE



- Mera učinkovitosti na nivoju obrata ali tovarne
  - Overall Throughput Effectiveness – OTE
  - izpeljana iz podobne predpostavke, kot mera za skupno učinkovitost naprav (OEE)
  - učinkovitost celotnega proizvodnega procesa je razmerje med dejanskim kvalitetnim produktom in normiranim produktom (proizvedenimi količinami) v nekem izbranem časovnem intervalu

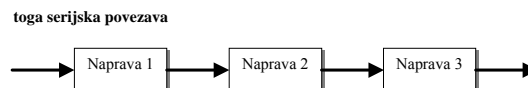
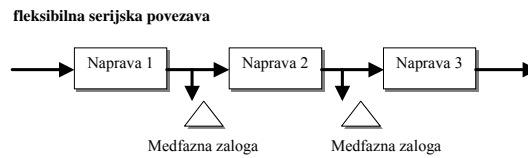
$$OTE = \frac{P_{dejansko}}{P_{norm}} \Big|_{t_{opazovanja}}$$

- potrebno je zajeti veličine na nivoju naprav in jih preračunati na nivo proizvodnje, pri čemer je potrebno upoštevati povezave med napravami

## Zaporedna povezava naprav



- Fleksibilna serijska povezava
- Toga serijska povezava – linija



## Zaporedna povezava naprav



- Privzamemo, da so naprave togo povezane
  - najpočasnejša naprava diktira delovanje celotne linije

$$OTE_{ser} = \frac{\min \left\{ \min_{i=1,2,\dots,n-1} \left\{ OEE_{(i)} \times R_{th(i)} \times \prod_{j=i+1}^n Q_{eff(j)} \right\}, OEE_{(n)} \times R_{th(n)} \right\}}{\min_{i=1,2,\dots,n} \{ R_{th(i)} \}}$$

$Q_{eff(i)}$  – komponenta kvalitete za napravo i (quality efficiency)

$R_{th(i)}$  – komponenta zmogljivosti za napravo i (theoretical processing rate)

$OEE_{(i)}$  – OEE za napravo i

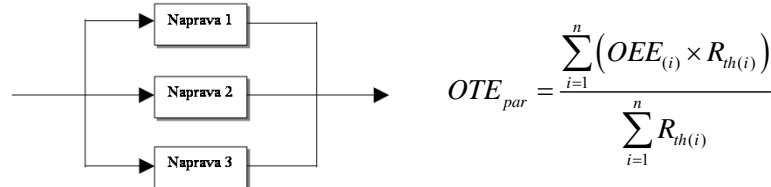
$n$  – število naprav v liniji

## Vzporedna povezava naprav



- Privzamemo, da so naprave med seboj neodvisne
  - izračun učinkovitosti samo neka oblika utežene povprečne vrednosti mer OEE za posamezne naprave
  - privzamemo, da imajo naprave z večjo zmogljivostjo večji vpliv na celotno učinkovitost skupine vzporedno postavljenih naprav

vzporedna povezava

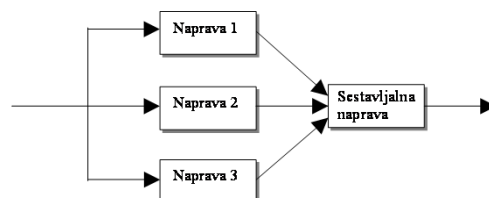


## Sestavljalna povezava naprav



- Predpostavke
  - naprave za izdelavo sestavnih delov so med seboj neodvisne
  - njihova zmogljivost vpliva na delovanje sestavljalne naprave

sestavljalna povezava



## Sestavljalna povezava naprav



- Izračun je podoben izračunu za zaporedno povezavo
  - prispevke naprav utežimo z zahtevano količino polizdelkov

$$OTE_{sest} = \frac{\min \left\{ \min_{i=1,2,\dots,n} \left\{ OEE_{(i)} \times \left( R_{th(i)} / k_{A(i)} \right) \times Q_{eff(a)} \right\}, OEE_{(a)} \times R_{th(a)} \right\}}{\min \left\{ \min_{i=1,2,\dots,n} \left\{ R_{th(i)} / k_{A(i)} \right\}, R_{th(a)} \right\}}$$

$Q_{eff(a)}$  – komponenta kvalitete za sestavljarno napravo

$R_{th(a)}$  – komponenta zmogljivosti za sestavljarno napravo

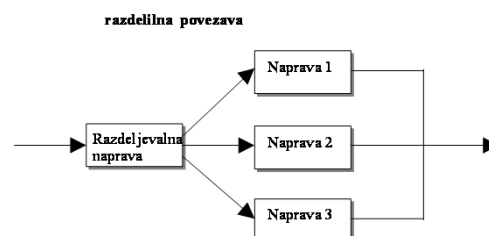
$OEE_{(a)}$  – OEE za sestavljarno napravo

$k_{A(i)}$  – število polizdelkov z naprave  $i$ , ki so potrebni za sestavljanje enega končnega izdelka

## Razdelilna povezava naprav



- Predpostavke
  - naprave so v drugem delu med seboj neodvisne
  - na njih vpliva zmogljivost razdeljevalne naprave



## Razdelilna povezava naprav



- Izračun je podoben izračunu za vzporedno povezavo
  - upoštevamo zmogljivost razdeljevalne naprave in količine polizdelkov, ki jih posamezne naprave dobivajo od razdeljevalne naprave

$$OTE_{razd} = \frac{\sum_{i=1}^n \min \{ OEE_{(e)} \times R_{th(e)} \times k_{E(i)} \times Q_{eff(i)}, OEE_{(i)} \times R_{th(i)} \}}{\sum_{i=1}^n \min \{ R_{th(e)} \times k_{E(i)}, R_{th(i)} \}}$$

$R_{th(e)}$  – komponenta zmogljivosti za razdeljevalno napravo

$OEE_{(e)}$  – OEE za razdeljevalno napravo

$k_{E(i)}$  – število polizdelkov, ki jih razdeljevalna naprave hkrati dostavi napravi  $i$

## Omejitve mere OTE



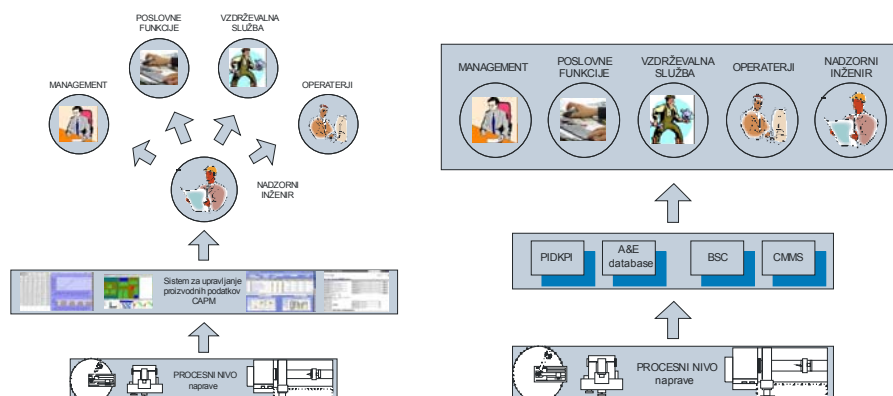
- Pomanjkljivosti mere za zaporedno povezavo naprav
  - vsaka serijska povezava med napravami ni toga
- Splošno
  - OTE nima jasno izraženih komponent
  - vrednoti samo celotno učinkovitost proizvodnega procesa
  - ne daje informacije o tem, ali je vir težav dogajanje na napravah ali so težave na nivoju koordiniranja naprav
  - posledično iz te mere ni mogoče določiti vzrokov za izgube na nivoju celotnega proizvodnega procesa
- Druge mere
  - OLE – Overall Line Effectiveness
  - OEEML – Overall Equipment Effectiveness of a Manufacturing Line

## 4.5 Razvoj sistemov za spremljanje učinkovitosti



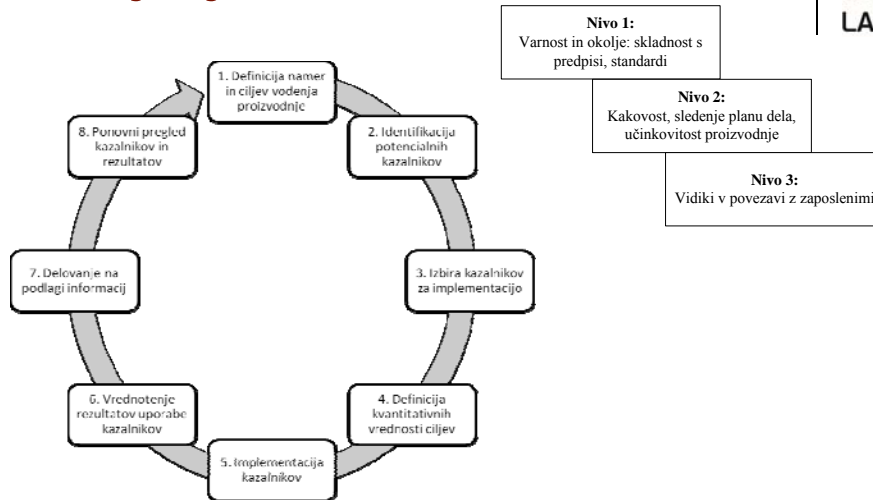
- Dimenzije (atributi) kazalnikov
  - da je kazalnik jasno definiran, je potrebno definirati attribute oziroma dimenzije kazalnika
- Predstavitev vrednosti kazalnikov
  - predstavitev z absolutno vrednostjo,
  - predstavitev z oceno od 0 do 10, linearna skala,
  - predstavitev z normalizirano vrednostjo (običajno je vrednost kazalnika 1 ali 100 %, ko zavzame pričakovano vrednost).
- Hierarhija kazalnikov

## Integracija





## Uvajanje



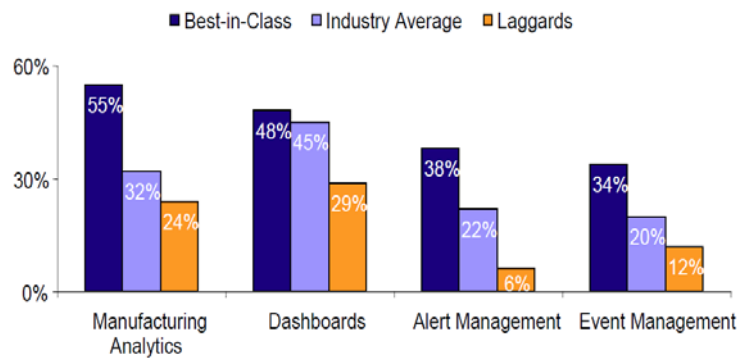
## Uporaba informacijskih sistemov za spremljanje učinkovitosti

	Best-in-Class	Average	Laggards
<b>Knowledge</b>	Data collection from manufacturing operations is automated		
	41%	37%	24%
<b>Knowledge</b>	Manufacturing data is maintained and managed in a data historian application		
	61%	47%	40%
<b>Technology</b>	Percentage of manufacturers currently using technology:		
	• EAM: 39%	• EAM: 20%	• EAM: 20%
	• MES: 35%	• MES: 28%	• MES: 16%
	• QMS: 66%	• QMS: 62%	• QMS: 54%
	• APM: 29%	• APM: 15%	• APM: 6%
	• EMI: 19%	• EMI: 12%	• EMI: 6%
	• SPC: 55%	• SPC: 51%	• SPC: 40%
• BI: 38%	• BI: 26%	• BI: 10%	
<b>Performance</b>	Operational data and metrics are displayed in real-time		
	50%	33%	12%
	Operational metrics linked with financial metrics		
	53%	53%	33%
	Analytics are used to provide predictive insights		
42%	33%	16%	

Source: Aberdeen Group, May 2008



## Tehnološke izvedbe spremljanja proizvodne učinkovitosti



Source: Aberdeen Group, May 2008

## Primeri sistemov



- Rockwell Automation – FactoryTalk Suite
  - družina aplikacij vrste MES, pri kateri je poudarek na izmenjavi podatkov med proizvodnjo in preostalimi deli podjetja v realnem času
  - v skupini Performance & Visibility je tudi aplikacija FactoryTalk Metrics, ki vključuje OEE in še 14 drugih pred-definiranih KPI
- GE Intelligent Platforms – Proficy Plant Applications
  - družina aplikacij, ki sestavlja MES: Proficy Quality, Proficy Efficiency, Proficy Production, Proficy Batch Analysis
  - modul Proficy Efficiency identificira in spremlja dele proizvodnje, ki prispevajo k neučinkovitosti – izvaja analizo temeljnih vzrokov (root cause analysis), pripravlja povzetke arhivskih podatkov, periodična poročila in izračun OEE

## Primeri sistemov



- **Siemens – SIMATIC IT Plant Intelligence**
  - modularni sistem MES, ki se osredotoča na celotno proizvodnjo in povezavo s sistemom ERP
  - posebej sta spremljanju učinkovitosti namenjena modula SIMATIC IT OEE-DTM – overall equipment effectiveness and downtime management ter SIMATIC IT PPA – plant performance analyzer
- **Schneider Electric (Citect) – Ampla**
  - modularni sistem MES, ki vključuje module za planiranje, spremljanje proizvodnje, izračun metrik, ...
  - vključuje spremljanje porabe energije preko celotne proizvodnje in posameznih delov proizvodnje
  - modul Production Analyst povezuje ostale module preko enotnega uporabniškega vmesnika.