

UNIVERZA V LJUBLJANI
EKONOMSKA FAKULTETA

MAGISTRSKO DELO

**SPREMLJANJE UČINKOVITOSTI PROIZVODNJE Z METODO
SKUPNE UČINKOVITOSTI OPREME: PRIMER STEKLARNE**

Ljubljana, november 2016

JAŠA POLUTNIK

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani Jaša Polutnik, študent Ekonomske fakultete Univerze v Ljubljani, avtor predloženega dela z naslovom SPREMLJANJE UČINKOVITOSTI PROIZVODNJE Z METODO SKUPNE UČINKOVITOSTI OPREME: PRIMER STEKLARNE, pripravljenega v sodelovanju s svetovalcem/svetovalko prof. dr. Borutom Rusjanom.

IZJAVLJAM

1. da sem predloženo delo pripravil samostojno;
2. da je tiskana oblika predloženega dela istovetna njegovi elektronski obliki;
3. da je besedilo predloženega dela jezikovno korektno in tehnično pripravljeno v skladu z Navodili za izdelavo zaključnih nalog Ekonomske fakultete Univerze v Ljubljani, kar pomeni, da sem poskrbel, da so dela in mnenja drugih avtorjev oziroma avtoric, ki jih uporabljam oziroma navajam v besedilu, citirana oziroma povzeta v skladu z Navodili za izdelavo zaključnih nalog Ekonomske fakultete Univerze v Ljubljani;
4. da se zavedam, da je plagiatstvo – predstavljanje tujih del (v pisni ali grafični obliki) kot mojih lastnih – kaznivo po Kazenskem zakoniku Republike Slovenije;
5. da se zavedam posledic, ki bi jih na osnovi predloženega dela dokazano plagiatstvo lahko predstavljalo za moj status na Ekonomski fakulteti Univerze v Ljubljani v skladu z relevantnim pravilnikom;
6. da sem pridobil vsa potrebna dovoljenja za uporabo podatkov in avtorskih del v predloženem delu in jih v njem jasno označil;
7. da sem pri pripravi predloženega dela ravnal v skladu z etičnimi načeli in, kjer je to potrebno, za raziskavo pridobil soglasje etične komisije;
8. da soglašam, da se elektronska oblika predloženega dela uporabi za preverjanje podobnosti vsebine z drugimi deli s programsko opremo za preverjanje podobnosti vsebine, ki je povezana s študijskim informacijskim sistemom članice;
9. da na Univerzo v Ljubljani neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravico shranitve predloženega dela v elektronski obliki, pravico reproduciranja ter pravico dajanja predloženega dela na voljo javnosti na svetovnem spletu preko Repozitorija Univerze v Ljubljani;
10. da hkrati z objavo predloženega dela dovoljujem objavo svojih osebnih podatkov, ki so navedeni v njem in v tej izjavi.

V Ljubljani, dne _____

Podpis študenta: _____

KAZALO

UVOD	1
1 KONKURENČNO OKOLJE IN POTREBE PO IZBOLJŠEVANJU POSLOVANJA	6
1.1 Pomen učinkovitosti proizvodnih procesov	6
1.2 Finančni kazalniki in njihove slabosti	7
1.2 Merjenje proizvodne učinkovitosti	9
1.3 Primerjalna presoja	10
2 VITKA PROIZVODNJA IN CELOVITO PRODUKTIVNO VZDRŽEVANJE	11
2.1 Vitka proizvodnja	11
2.2 Opredelitev celovitega produktivnega vzdrževanja	12
2.3 Zahteve pri uvajanju celovitega produktivnega vzdrževanja	14
2.4 Tehnike vzdrževanja	14
3 SKUPNA UČINKOVITOST OPREME OEE	15
3.1 Opredelitev kazalnika skupne učinkovitosti opreme	15
3.2 Področja uporabe in namen	16
3.3 Izračun kazalnika skupne učinkovitosti opreme	17
3.3.1 Opredelitev podkazalnikov OEE	18
3.3.2 Opredelitev napak pri izračunu OEE	19
3.3.3 Opredelitev šestih velikih izgub	20
3.3.4 Izračun OEE po pristopu Nakajime	21
3.3.5 Izračun po pristopu De Groote	22
3.3.6 Prilagoditev izračuna OEE za kapitalno intenzivno industrijo	24
3.4 Vrednosti kazalnika skupne učinkovitosti opreme	26
3.5 Ovrednotenje finančnih izgub s pomočjo skupne učinkovitosti opreme	27
3.6 Omejitve in pomanjkljivosti pri uporabi skupne učinkovitosti opreme	28
3.7 Dopolnitve skupne učinkovitosti opreme	31
3.7.1 Pristopi in dopolnitve kazalnikov učinkovitosti	31
3.7.2 Kazalnik skupne učinkovitosti proizvodne linije OLE	32
3.7.3 Kazalnik skupne učinkovitosti proizvodne linije OEEML	35
3.7.4 Kazalnik skupne učinkovitosti tovarne OFE	35
3.7.5 Kazalnik skupne učinkovitosti pretoka OTE	36
3.7.6 Tipi procesne integracije	37
3.8 Meritve in zbiranje podatkov	37

4 AVTOMATSKO SPREMLJANJE PROIZVODNE UČINKOVITOSTI S KAZALNIKOM OEE NA PRIMERU STEKLARNE	40
4.1 Predstavitev podjetja	40
4.2 Proizvodne linije v SPE SPECIAL	42
4.3 Trenutno spremljanje proizvodne učinkovitosti.....	43
4.4 Namen in cilj projekta OEE	44
4.5 Avtomatsko spremljanje proizvodne učinkovitosti z metodo OEE na liniji 1	46
4.5.1 Omejitev meritev na liniji 1	46
4.5.2 Vroči del proizvodne linije 1	47
4.5.3 Hladni del proizvodne linije 1	50
4.6 Zbiranje podatkov in meritev za OEE.....	53
4.7 Lastnosti meritev in merilnega sistema.....	54
4.8 Izračun OEE	55
4.8.1 Razpoložljivost – A.....	56
4.8.2 Zmogljivost – P	58
4.8.3 Kakovost – Q.....	59
4.8.3 Skupna proizvodna učinkovitost – OEE	59
4.8.4 Zakasnitev podatkov zaradi hladilne peči	60
4.8.5 Izračun OLE, OEEML	60
4.8.6 Izračun OFE, OTE.....	61
4.9 Poročanje podatkov OEE	61
4.10 Trenutni rezultati analiz	65
4.11 Izzivi pilotnega projekta.....	67
SKLEP.....	68
LITERATURA IN VIRI.....	72
PRILOGA	

KAZALO TABEL

Tabela 1: Šest velikih izgub po metodi Nakajime	20
Tabela 2: Dodatne izgube za analizo OEE kapitalno intenzivne industrije	25
Tabela 3: Dimenzije in karakteristike spremljanja skupne učinkovitosti.....	38
Tabela 4: Izračun prihranka in ROI projekta OEE	46

KAZALO SLIK

Slika 1: Struktura dela	5
Slika 2: Temeljni podporni elementi sistema TPM.....	13
Slika 3: Pristop OEE.....	17
Slika 4: Prikaz napak v procesih	19
Slika 5: Izračun OEE po metodi Nakajime (1988).....	21
Slika 6: Izračun OEE po metodi De Groote (1995)	23
Slika 7: Izračun OEE za kapitalno intenzivno in 4-izmensko industrijo.....	24
Slika 8: Izračun finančnega vpliva spremembe OEE	27
Slika 9: Ravni kazalnikov učinkovitosti.....	32
Slika 10: Model kontinuirane proizvodne linije z n operacijami (serijska vezava)	33
Slika 11: Izračun OLE	34
Slika 12: Potek optimizacije učinkovitosti OTE	36
Slika 13: Tipi procesne integracije	37
Slika 14: Proizvodne linije v SPE SPECIAL	42
Slika 15: Procesni tok na liniji 1.....	47
Slika 16: Proizvajanje steklenih izdelkov.....	48
Slika 17: Proizvodna linija 1	51
Slika 18: Postavitev kontrolnih točk na proizvodni liniji 1	52
Slika 19: Izračun OEE na liniji 1.....	56
Slika 20: Zaslonska slika trenutnih vrednosti in trendov A, P, Q	62
Slika 21: Zaslonska slika vrednosti izmeta po točkah.....	63
Slika 22: Zaslonska slika trenda OEE v uri, izmeni in dnevu	64

UVOD

Opis problematike dela. Spremljanje učinkovitosti proizvodnje je v proizvodnih podjetjih ključnega pomena. Še posebej je spremljanje proizvodne učinkovitosti pomembno v kapitalno intenzivnem tipu proizvodnje ter v procesni industriji, kjer se izvaja 4-izmenski delavnik in zamujenih časov ter stroškov izpadov ni mogoče nadomestiti. Izgube proizvodnih dejavnosti tako terjajo visoke stroške, posledica česar je lahko nekonkurenčnost. Točna ocena izkoriščenosti opreme v kapitalno intenzivni industriji je potrebna, saj želi vodstvo spremljati stanje in gospodarno ravnati s svojimi vložki (Jeong & Phillips, 2001). Ključen dejavnik uspešnosti poslovanja proizvodnih podjetij je tako stopnja tehnološkega razvoja in izkoriščenost vgrajene opreme, ki so jo podjetja dolžna izpopolnjevati, v nasprotnem primeru tvegajo prevzem tržnega deleža s strani avtomatizirane konkurence (Mathur, Dangayach, Mittal & Sharma, 2011). Uporaba izključno tehnološko najnaprednejše in posledično stroškovno najintenzivnejše opreme pa brez spremljanja procesa in zagotavljanja visoke učinkovitosti opreme še ne zagotavlja konkurenčnih rezultatov.

Nekatera proizvodna podjetja pa se navkljub potrebi po spremljanju proizvodne učinkovitosti še vedno osredotočajo le na tradicionalne kazalnike poslovanja. Že Kaplan (1984) je opozoril, da je potrebno tradicionalne finančne modele (v osnovi namenjene masovni proizvodnji leta 1925) smiselno posodobiti, da bi ti zajeli fleksibilnost informatizacije in zahteve po konkurenčnosti. Tradicionalne modele s kratkoročnimi finančnimi cilji je tako potrebno nadomestiti z modeli, ki ciljajo k trajni uspešnosti poslovanja podjetij.

Kazalniki učinkovitosti proizvodnje za razliko od tradicionalnih finančnih kazalnikov omogočajo trenutno spremljanje procesov, aktivnejšo obravnavo učinkovitosti in uspešnosti ter orodja za vzročno-posledične analize ukrepov in dejanj, potrebna za doseganje trajne uspešnost. Razlogi slabe učinkovitosti pogosto niso povsem jasni, ker gre za sklop operacij, ki jih je potrebno dodobra spremljati in analizirati, za kar je potreben sistem spremljanja proizvodnje z zagotavljanjem zadostne količine podatkov. Tangen (2003) navaja, da osredotočanje na eno samo meritev najverjetneje rezultira v pod optimizaciji procesov, z večjim številom meritev pa pridobimo bolj uravnotežen in korekten pogled na zmogljivost procesov podjetij.

Podjetja za optimizacije proizvodnih procesov uvajajo metode, kot je celovito produktivno vzdrževanje (angl. *Total Productive Maintenance*, v nadaljevanju TPM). Glavni cilj TPM je dvig učinkovitosti in vzdrževanje polnega potenciala vseh delov opreme. TPM tako pripomore k znižanju časov zastojev, dvigu razpoložljivosti proizvodne opreme in optimizacijam procesov. Vendar pa sistemov, kot je TPM brez ustreznih meril ni mogoče spremljati, posledično tudi ne ugotavljati, če so izvedeni ukrepi uspešni in rentabilni. Brez ustreznega programa spremljanja učinkovitosti v procesni industriji in množici podprocesov

tako ni mogoče locirati ozkih grl, določiti maksimalnih proizvodnih zmogljivosti ter izkoriščenosti. Potrebna je podrobna analiza celotnih sistemov in vseh procesov, kajti osredotočanje in izboljšave na napačnem elementu lahko povzročijo tudi škodo. Odprava napak na opremi, ki ne predstavlja ozkega grla privede celo do dviga neizkoriščenosti (Rose, Odom, Dunbar & Hichma, 1995).

Brez natančnih podatkov ni možna kakovostna analiza učinkovitosti delovanja posameznih sklopov opreme, timov in izmen, saj podatki slonijo le na približnih vrednostih, nanje pa je mogoče celo subjektivno vplivati. Nachiappan in Anantharaman (2006) tako navajata, da so meritve osnova za izboljšave v organizaciji, z njihovo analizo in uporabo v sistemu pa je mogoče doseči dvig skupne učinkovitosti proizvodnje.

Obstaja več načinov spremljanja proizvodne učinkovitosti, eden bolj razširjenih je metoda s kazalnikom skupne učinkovitosti opreme OEE (angl. *Overall Equipment Effectiveness*, v nadaljevanju OEE). OEE je uveljavljen sistem spremljanja učinkovitosti opreme, ki analizira zajete podatke iz proizvodne dejavnosti. OEE se uporablja kot merilo znotraj koncepta TPM, doseganje potenciala opreme pa se po metodi OEE izračuna kot zmnožek 3 dejavnikov, t.i. podkazalnikov (Tangen, 2003):

- A – razpoložljivost (angl. *Availability*, v nadaljevanju tudi A);
- P – zmogljivost (angl. *Performance* v nadaljevanju tudi P);
- Q – kakovost (angl. *Quality*, v nadaljevanju tudi Q).

OEE je izhodišče za razumevanje izgub postrojenj, oz. odpravo le teh, zaradi univerzalnosti pa omogoča tudi primerjavo vrednosti med posameznimi vrstami industrije (Nayak, Kumar, Naidu & Shankar, 2013). Za izračun OEE so ključni kakovostni podatki, na katerih sloni izračun, zato je potrebno definirati ustrezne metode zbiranja podatkov. Ishikawa (1982) navaja, da z meritvami ustvarjamo baze podatkov za izboljšave procesov. Podatke je mogoče naknadno obdelati in z dodatnimi analizami uporabiti v sklopu orodij, kot so šest sigma (angl. *Six-Sigma*), vitka proizvodnja (angl. *Lean*), TPM in ostali.

Obstaja več metod zbiranja podatkov. Po načinu zbiranja se delijo na ročne in avtomatske metode. Slednje so natančnejše, zmožne zajeti več informacij in jih je mogoče lažje uporabljati. Nema lokrat pa je takšno informatizacijo težje vzpostaviti, saj merilna infrastruktura zahteva zadostno število podatkov na ustreznih lokacijah in opremi, izbrana pa mora biti ustrezno glede na namen in pogoje uporabe.

Na podlagi teoretičnih dognanj je obravnavan praktični primer Steklarne Hrastnik, kjer poteka uvajanje sistema spremljanja proizvodne učinkovitosti z metodo OEE. V Steklarni Hrastnik se proizvodna učinkovitost trenutno obravnava na dnevni ravni in ravni posameznih izmen, preko ročnega zbiranja in vnašanja podatkov. Pri trenutnem spremljanju proizvodne učinkovitosti sta temeljna podatka število rezov kapelj (bruto) in število ustreznih

zapakiranih steklenic (neto), ni pa ločenega podatka o razpoložljivosti, zmogljivosti ali kakovosti opreme. Nenatančni podatki različnih virov se med seboj nemalokrat razlikujejo, zbiranje podatkov pa povečini poteka ročno. Zaradi zamudnega ročnega zbiranja in analiziranja podatkov prihaja do zapoznelosti informacij. Podatki se analizirajo predvsem ob koncih izmen, kar pomeni tudi prek 8 ur zamika informacije. Poleg zapoznelosti informacij je težava občasnega in nepopolnega ročnega zbiranja podatkov tudi pomanjkljivost informacij o njihovem točnem časovnem zapisu. Vzročno-posledični efekt ukrepov in njihovih učinkov, pa je mogoče analizirati samo, če obstaja natančen časovni zapis dogodkov.

Za spremljanje učinkovitosti proizvodnje je bila v Steklarni Hrastnik predlagana metoda skupne učinkovitosti opreme OEE. OEE po oceni podjetja s tremi podkazalniki (A, P, Q) zagotavlja vse temeljne potrebne informacije o stanju steklarskih strojev, postrojenj na liniji in zagotavljanju kakovosti formiranja izdelkov. Izračun skupne učinkovitosti opreme je tako predlagan kot vsebinsko ustrezen kazalnik za tip proizvodnje steklenih izdelkov s steklarskimi stroji, pridobljene podatke pa bo mogoče tudi naknadno obdelovati in jih analizirati.

Za zbiranje podatkov je bil predlagan način avtomatske merilne infrastrukture, ki mora zagotavljati vse relevantne informacije. Na proizvodni liniji so bila montirana zaznavala ustreznega tipa, uporabile se bodo tudi informacije obstoječih postrojenj. Merilni sistem mora delovati časovno usklajeno, zato se bodo informacije meritev prenašale v centralni krmilni sistem, ki bo procesiral in analiziral podatke. Informacije o procesu se bodo tudi pravočasno posredovale ciljnim deležnikom, ki vplivajo na proces.

Z analizami in spremljanjem učinkovitosti proizvodnje bo podjetje pridobilo vzvod za vplivanje na učinkovitost proizvodnje in uspešnost poslovanja, ki ga je mogoče uporabiti tudi kot primerjalno meritev s konkurenco ali podobnimi panogami.

Namen. Namen naloge je izboljšati spremljanje proizvodne učinkovitosti z aplikacijo OEE ter zagotoviti ustrežno metodo zbiranja podatkov in meritev na primeru proizvodnje steklene embalaže in namiznega stekla v Steklarni Hrastnik. Posledično se z analizo podatkov pričakuje postopen dvig zmogljivosti celotne proizvodnje.

Cilji. Cilji naloge so:

- določiti metode in kazalnike spremljanja uspešnosti poslovanja podjetij ter učinkovitosti proizvodnje;
- definirati metodo spremljanja proizvodne učinkovitosti OEE;
- poiskati prednosti, slabosti in izzive metode OEE;
- raziskati razširjene modele OEE, ki zajamejo celotne proizvodne linije in proizvodne obrate;

- preučiti sedanje stanje in slabosti spremljanja proizvodne učinkovitosti na primeru tovarne steklene embalaže;
- uvajanje spremljanja proizvodne učinkovitosti z metodo OEE na pilotni proizvodni liniji steklene embalaže;
- določiti metode zajema podatkov proizvodne linije;
- raziskati načine optimizacije spremljanja OEE na določenem primeru.

Metoda dela. Predvidene uporabljene metode dela v nalogi bodo:

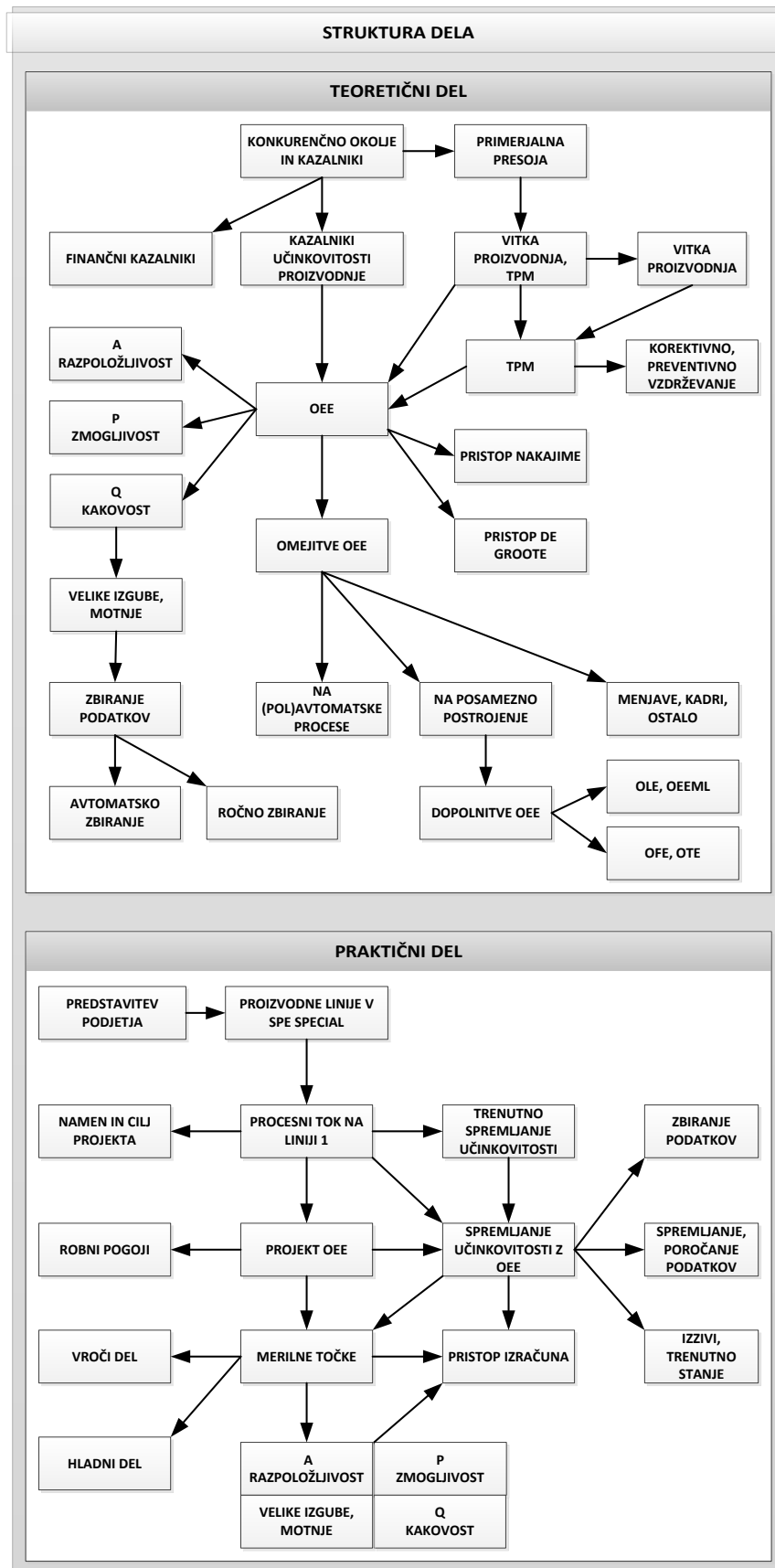
- metoda deskripcije, s katero bomo opisali procese v proizvodni dejavnosti ter teoretična ozadja kazalnikov;
- primerjalna analiza, s katero bomo med seboj primerjali in pojasnjevali različne možnosti izbire dejavnikov in variant;
- študija primera, s katero bomo uvajanje orodja OEE izvedli na primeru steklarne;
- opisna metoda, pri čemer bomo analizirali trenutno stanje spremljanja proizvodnje ter stanje po izvedenih ukrepih;
- konceptualna analiza, ki bo služila za oblikovanje koncepta skozi celotno nalogo.

Struktura dela. Prvi del naloge je teoretični del, kjer je opisano teoretično ozadje spremljanja proizvodne dejavnosti. Opisana je težava tradicionalnih kazalnikov, predvsem finančnih. Prikazanih je več tipov kazalnikov, njihove prednosti in slabosti ter opisi njihove uporabe. Poudarjen je kazalnik skupne učinkovitosti opreme OEE. Prikazan je princip izračuna, različni pristopi, omejitve in razširitve kazalnika OEE, ki ne zajemajo le posameznega stroja, temveč celotno proizvodno linijo, ali celo tovarno. Sledi še poudarek na zbiranju podatkov in meritev, ki so ključne za analiziranje učinkovitosti proizvodnje.

V drugem, praktičnem delu naloge je predstavljeno podjetje Steklarna Hrastnik d.o.o., v katerem se pilotsko uvaja projekt spremljanja proizvodne uspešnosti OEE na avtomatski proizvodni liniji. Detajlno je prikazan procesni postopek, opis postavitve sistema, kontrolnih točk in postopka procesiranja podatkov. Predlagan je postopek izračuna s klasifikacijo podkazalnikov, algoritmov in enačb ter prikazi ekranskih slik poročanja rezultatov. Sledi kratka analiza rezultatov, opis problematike sistema, opisani so tudi pričakovani učinki. Namen sistema je izboljšanje spremljanja učinkovitosti in posledičen dvig proizvodne učinkovitosti z aplikacijo OEE.

Slika 1 prikazuje strukturo dela (teoretični in praktični del) z logičnimi medsebojnimi povezavami:

Slika 1: Struktura dela



1 KONKURENČNO OKOLJE IN POTREBE PO IZBOLJŠEVANJU POSLOVANJA

1.1 Pomen učinkovitosti proizvodnih procesov

Posledica globalizacije je tekmovalnost med proizvodnimi obrati in industrijami, ki se izkazuje v iskanju konkurenčne prednosti na področju tehnološkega razvoja. Konkurenčna prednost zahteva visoke učinkovitosti in zmogljivosti procesov, ki morajo biti primerljive z najvišjimi na globalni ravni.

Charaf in Ding (2015) navajata, da so proizvodna podjetja zaradi vse večje globalne konkurence prisiljena v optimizacijo proizvodnje, da zadostijo spremenljivim zahtevam odjemalcev. Castka, Bamber, Sharp in Belohoubek (2001) navajajo, da morajo podjetja na konkurenčnem trgu poleg fleksibilnosti zagotoviti tudi stalno dvigovanje kakovosti izdelkov, zniževati stroške izdelkov in izkoristiti ves razpoložljiv intelektualni kapital.

Huang et al. (2002) navajajo, da mednarodna konkurenca in globalni trg od tovarn zahtevajo nenehne tehnične izboljšave, da so njihovi izdelki lahko konkurenčni. Kot navajajo Mathur et al. (2001), so podjetja tako vse bolj prisiljena avtomatizirati svoje procese.

Konkurenčna prednost proizvodnega podjetja je odvisna predvsem od učinkovitosti proizvodne opreme, kar zahteva uporabo rigorozno definiranih kazalnikov in sistemov za merjenje proizvodne učinkovitosti (Fleischer & Weismann, v Muchiri & Pintelon, 2008). Braglia, Frosolini in Zammori (2009) navajajo, da so zaradi hitro spreminjajočega se globalnega trga in konkurence potrebni kazalniki učinkovitosti, ki takoj identificirajo in eliminirajo neučinkovitosti in izgube v proizvodnih procesih. Za konkurenčno prednost proizvodnega podjetja, je poleg povpraševanja izdelka na trgu, potrebna visoka učinkovitost postrojenj, ki izdelek proizvajajo.

Kot navaja Blanchard (1997), novi proizvodni sistemi s tehnološkim razvojem in vse večjo kompleksnostjo postajajo dražji za vzdrževanje ter podporo, a ne dosegajo zadovoljstva uporabnikov glede učinkovitosti in zmogljivosti. Sistemi tako pogosto delujejo samo z delno zmogljivostjo, pri čemer je produktivnost nizka, stroški proizvodnje pa visoki. Zaradi tega morajo organizacije stremeti k razvoju medfunkcijskih pristopov in visoko funkcionalnih procesov z vključitvijo širokega nabora zaposlenih in kreiranjem timov, ki imajo široko znanje. V mnogo podjetjih je namreč produktivnost nizka, povezani stroški nedelovanja in vzdrževanja opreme pa eksponentno naraščajo.

Slack et al. (v Tangen, 2003) navajajo, da so temeljni cilji dviga učinkovitosti proizvodnje nižji stroški, večja fleksibilnost, zmanjšana odvisnost, dvig hitrosti proizvodnje in dvig kakovosti. Pri samih procesih se to odraža v tem, da:

- kakovostni procesi ne povzročajo izgub časa, prekomernega vloženega truda in vmesnih prekinitev;
- hitro tekoči procesi znižujejo potrebo po vmesnih varnostnih zalogah (ki izhajajo iz negotovosti glede dobav, proizvodnje in povpraševanja) in znižujejo stroške administracije. Hitrejša je tudi dostava do kupcev;
- prilagodljivi procesi se enostavno prilagajajo spremenljivim okoliščinam in omogočajo enostavne prehode med stanji;
- stroškovno ugodni procesi omogočajo prodajo izdelkov po konkurenčni ceni z dobičkom.

Visoke učinkovitosti procesov je v kapitalno intenzivni industriji mogoče doseči z orodji, uveljavljenimi tehnikami in praksami, kot so npr.:

- celovito produktivno (preventivno) vzdrževanje TPM;
- celovito obvladovanje kakovosti TQM (angl. *Total Quality Management*, v nadaljevanju TQM);
- celovita informacijska rešitev ERP (angl. *Enterprise Resource Planning*);
- proizvodnja brez zalog JIT (angl. *Just In Time*, v nadaljevanju JIT);
- vitka proizvodnja;

napredek teh pa spremljati preko povezanih kazalnikov. Tradicionalni kazalniki so predvsem finančni, ki pa so za proizvodni proces dokaj neuporabni. Sčasoma so se razvili tudi kazalniki proizvodne učinkovitosti, ki analizirajo predvsem informacije povezane s samim proizvodnim procesom.

1.2 Finančni kazalniki in njihove slabosti

Tradicionalni finančni kazalniki, ki jih uporabljajo storitvena in proizvodna podjetja so osredotočeni na finančno poslovanje podjetja in ne na sam proizvodni proces. Tradicionalne kazalnike, kot sta donosnost naložbe ROI (angl. *Return on Investment*, v nadaljevanju ROI) in donosnost kapitala ROE (angl. *Return on Equity*), večinoma oblikujejo finančno računovodske službe in službe notranjega nadzora v sklopu letnih finančnih poročil.

Tradicionalne finančne modele obračunavanja uspešnosti (namenjene masovni proizvodnji) je v proizvodni dejavnosti potrebno posodobiti, da bodo ti zajeli spremenljiv konkurenčen trg in informatizacijo (Kaplan 1984; Charaf & Ding, 2015; Jonsson & Lesshammar, 1999). Charaf in Ding (2015) dodajata, da bi morale finančno računovodske službe podrobno poznati in upoštevati pogoje proizvodnega okolja, v katerem podjetje deluje. Mathur et al. (2011) navajajo, da je veliko finančnikov že dognalo, da obstoječi finančni kazalniki ne zadostujejo za dinamično okolje, ki ga narekuje konkurenčni trg.

Tradicionalni finančni kazalniki imajo več omejitev, zaradi katerih niso uporabni v proizvodnih podjetjih (Bhimani, Horngren, Datar, Foster, 2015; Mathur et al., 2011; Tangen, 2003):

- temeljijo le na historičnih podatkih in tako napovedujejo prihodno stanje predvsem glede na trenutne trende;
- preveč poudarjajo fiksni časovni okvir, ki je v osnovi 1 koledarsko leto. Posledično so cilji vodstva kratkoročni in pomenijo doseganje vnaprej določene finančne napovedi po 1 letu;
- so osredotočeni predvsem k odpravi trenutnih neskladnosti in ne v trajne in kontinuirane izboljšave;
- manjka jim strateški fokus in niso eksterno osredotočeni;
- podpirajo predvsem ozko optimizacijo;
- niso povezani s strategijo podjetja in proizvodnje;
- pogosto podcenijo zmogljivosti procesov in vodijo v pod optimizacije;
- imajo prevelik vpliv.

Maskel (v Mathur et al., 2011) in Ghalayini et al. (v Mathur et al., 2011) še dodajajo:

- da finančni kazalniki ne izkazujejo relevantnih podatkov za spremljanje proizvodnje;
- niso združljivi z novimi oprijemi menedžmenta, ki v ospredje postavljajo predvsem proizvodno osebje.

Fisher (v Mathur et al., 2011) je mnenja, da so za proizvodne menedžerje finančni kazalniki dokaj neuporabni, ker učinki optimizacij in sprememb v mesečnih poročilih niso vidni dovolj hitro, oz. je sledljivost učinkov precej slaba. Bititci (v Mathur et al., 2011) izpostavlja, da finančni kazalniki zanemarjajo kakovost proizvodnje in silijo v visoke proizvodne zmogljivosti, ki presegajo naročila. Ghalayini in Noble (v Mathur et al., 2011) izpostavljata potrebo po drugačnih kazalnikih.

Sčasoma je postalo jasno, da finančni kazalniki sicer pomagajo menedžmentu pri izdelavi predračunskih izkazov in obvladovanju finančnih sredstev, ne pa tudi pri obvladovanju celovitega poslovanja proizvodnega podjetja, vključno s funkcijo proizvodne dejavnosti. Fleischer et al. (v Muchiri & Pintelon, 2008) so zapisali, da je za uspešno proizvodnjo potrebno upoštevati kazalnike, ki niso zajeti v finančnih merilih. Frost (v Mathur et al., 2011) navaja, da so se zaradi pomanjkljivosti finančnih kazalnikov razvili kazalniki učinkovitosti proizvodnje. Povod za spremljanje proizvodne učinkovitosti je bil predvsem zelo intenziven napredek proizvodne dejavnosti (Kaplan, 1984). Kazalniki proizvodne učinkovitosti s sistematičnim pristopom, predvsem na področju proizvodne funkcije omogočajo koristne spremembe, kot so večja stabilnost poslovanja in povezane koristi finančnih učinkov.

Če so namreč tradicionalni kazalniki osredotočeni predvsem na eno samo perspektivo (finančno), je merjenje proizvodne učinkovitosti multidisciplinarno in zajema več perspektiv in funkcij organizacije (proizvodnja, vzdrževanje, tehnologija, logistika). Tangen (2003) sicer dodaja da imajo tudi tradicionalni kazalniki določene prednosti, saj omogočajo natančne in objektivne meritve, zbiranje podatkov zanje pa ponavadi ne zahteva visokih stroškov. Zaradi omenjenih prednosti je tradicionalne finančne kazalnike smiselno uporabljati v kombinaciji s kazalniki proizvodne učinkovitosti, kot je npr. OEE.

1.2 Merjenje proizvodne učinkovitosti

Proizvodna učinkovitost je temeljni in primerjalni kazalnik uspešnega poslovanja proizvodnih podjetij. Proizvodni sistemi v dejanskih proizvodnih pogojih le redko dosegajo teoretične zmogljivosti, dejanski vložki energije nemalokrat za več kot 50 % presegajo zastavljene cilje, zato je merjenje proizvodne učinkovitosti izrednega pomena (Ingemansson, Ylipää & Bolmsjö, 2005).

Zairi (v Mathur et al., 2011) merjenje proizvodne učinkovitosti smatra kot sprožilec za izboljšave. Podjetja, ki so pričele z merjenjem proizvodne učinkovitosti so namreč sčasoma na trgu postala vodilna. Meritve učinkovitosti proizvodnega procesa med zaposlenimi sprožajo radovednost, poglobljanje, razumevanje ter nove vpoglede v procese.

Neely et al. (v Tangen, 2003) meritve proizvodne učinkovitosti navajajo kot proces popisovanja učinkovitosti in uspešnosti procesov, kazalnike pa kot merila, ki popisujejo te procese. Ustrezno merjenje proizvodne učinkovitosti vodstvu omogoča vpogled v dolgoročno perspektivo in optimalno vlaganje sredstev v najučinkovitejše izboljšave procesov. Mathur et al. (2011) merjenje učinkovitosti smatrajo kot osnovni element, ki je potreben za razvoj podjetja in njegov napredek. Sharma in Bhagwat (v Mathur et al., 2011) merjenje učinkovitosti vidita kot jezik napredka, ki določa kje se s procesom nahajamo trenutno in v kateri smeri se gibljemo.

Nachiappan in Anantharaman (2006) navajata, da so meritve proizvodne učinkovitosti potrebne za identifikacijo napak, kar je osnova za povečanje produktivnosti. Huang et al. (2003) za kazalnike učinkovitosti proizvodnje predlagajo, da ti sledijo poslovni strategiji, kratkoročnim in dolgoročnim ciljem ter se njihove vrednosti stalno optimizirajo glede na analizirane podatke. Tangen (2003) dodaja, da je pri merjenju učinkovitosti potrebno upoštevati večje število meritev, kar zagotavlja uravnotežen pogled na uspešnost delovanja podjetja in učinkovitost procesa, vodstvo pa lahko kazalnike proizvodne učinkovitosti s pridom uporablja za pomembne odločitve (Charaf & Ding, 2015). Kaplan (1984) še dodaja, da vključitev nefinančnih kazalnikov v sistem notranjega nadzora omogoča vpogled v temeljne in kritične dejavnike potrebne za trajno konkurenčno prednost podjetja.

Beamon (1999) navaja potrebne lastnosti uporabnih kazalnikov:

- kazalniki morajo vključevati vsa relevantna stališča – večina obstoječih kazalnikov učinkovitosti npr. spodbuja fleksibilnost, zanemarjajo pa vidik zanesljivosti dobaviteljev. Širše gledano bi se podjetja tako morala bolj posvečati meritvam vhodnih karakteristik in ne (kot je praksa) meriti predvsem izhodne karakteristike izdelkov in procesov (White, 1996);
- kazalniki morajo biti primerljivi pod različnimi pogoji;
- podatke za kazalnike naj bo mogoče izmeriti, meritve za kazalnike pa morajo biti inherentno povezane z vsemi cilji organizacije.

Kazalniki proizvodne učinkovitosti pa morajo izpolnjevati še sledeče (Tangen, 2002, 2003):

- izhajati morajo iz strateških ciljev organizacije, da bo tudi obnašanje zaposlenih konsistentno s cilji organizacije;
- zagotavljati morajo pravočasne, relevantne in točne povratne informacije;
- postopek meritev mora biti operaterjem procesov (katerih učinkovitost se tudi meri) jase, da razumejo na kakšen način njihova dejanja vplivajo na rezultate meritev;
- število meritev (finančnih in nefinančnih podatkov) naj bo omejeno. Velikokrat namreč merjenje učinkovitosti vključuje preveč meritev, posledično celotna »slika« postane nejasna (Jonsson & Lesshammar, 1999). Dodati pa je potrebno, da imajo sicer kompleksne meritve učinkovitosti, ki zahtevajo višjo raven znanja in širši nabor podatkov ponavadi večji doprinos k izboljšavam procesa kot povsem enostavne meritve in podatki.

Kazalniki proizvodne učinkovitosti pa kljub svoji uporabnosti niso prisotni v vseh panogah. Vzrok je kompleksnost takšnih sistemov, predvsem izbira kriterijev, izvajanje meritev in kazalnikov za posamezen proces (Tangen, 2003).

Zaradi množice načinov merjenja učinkovitosti, je smiselno vsak režim merjenja in kazalnike ciljno zasnovati za točno določeno aplikacijo in proces (Tangen, 2003). Carlucci (2010) tako za kazalnike sistema merjenja učinkovitosti in zmogljivosti predlaga izbiro ključnih kazalnikov delovanja KPI (angl. *Key Performance Indicators*). Tipičen kazalnik proizvodne učinkovitosti je kazalnik skupne učinkovitosti posamezne opreme – OEE, ki temelji na filozofiji celovitega produktivnega vzdrževanja TPM in spodbuja procese z visokim izkoristkom ter prakse, kot je vitka proizvodnja. Kazalnik OEE in TPM bosta ločeno obravnavana v nadaljevanju naloge.

1.3 Primerjalna presoja

Rezultati merjenja učinkovitosti so pomembni predvsem za primerjalno presojo (angl. *Benchmarking*). Ta se v industriji uporablja kot orodje spoznavanja uspešnih delovnih praks in njihove umestitve v lasten organizacijski proces. Primerjalna presoja je sistematičen in

kontinuiran proces primerjave delovanja, učinkovitosti in uspešnosti posameznih organizacij ter njihovih procesov z »najboljšimi organizacijami na svetu« (Pandit & Yunjing, v Nachiappan & Anantharaman, 2006).

Globalno uspešna podjetja svoje procese izvajajo učinkovito in dosegajo najvišje globalne standarde proizvodnje (angl. *World Class Manufacturing*, v nadaljevanju WCM). WCM pomeni visoko učinkovite procese in trajen uspeh z organizacijskim okoljem, ki zagotavlja dodano vrednost pred konkurenčnimi podjetji. S primerjalno presojo je mogoče postaviti ustrezne cilje, da organizacija doseže standarde WCM.

Queen (v Nachiappan & Anantharaman, 2006) navaja 3 temeljne tipe primerjalne presoje, ki se jih organizacije poslužujejo:

- interna primerjalna presoja – organizacija sama definira standarde za posamezne oddelke in relativno nanje evidentira učinkovitosti teh oddelkov;
- panožna primerjalna presoja – učinkovitost tovarne se primerja z ostalimi tovarnami v podobnem sektorju industrije;
- primerjalna presoja najboljših praks (angl. *best practice*) – učinkovitost tovarne se primerja z ostalimi tovarnami, ki so vodilne v gospodarstvu (ne glede na njihov končni izdelek ali usluge).

2 VITKA PROIZVODNJA IN CELOVITO PRODUKTIVNO VZDRŽEVANJE

2.1 Vitka proizvodnja

Vitka proizvodnja temelji na japonskem konceptu stalnih izboljšav »Kaizen«. Kaizen spodbuja odkrivanje, analizo in odpravo izgub. S tem se dviguje raven učinkovitosti in dodana vrednost procesov, zmanjšuje pa se delež izmeta (Charaf & Ding, 2015).

Vitka proizvodnja označuje minimalen vložek (angl. *Input*) v proces za ustvarjanje dodane vrednosti izločka procesa (angl. *Value added Output*), oz. odpravo procesov, ki ne ustvarjajo dodane vrednosti. Vitka proizvodnja je osredotočena k razumevanju, poznavanju in izpolnjevanju zahtev kupcev, vitki proizvodni sistemi pa pri nižji proizvodni ceni zagotavljajo višjo kakovost in produktivnost (Munteanu, Gabor, Munteanu, Schreiner, 2010).

Vitka proizvodnja odpravlja izgube in variabilnosti v (Shah & Ward, v Puvanasvaran, Teoh, Tay, 2013):

- nabavni verigi (zaloge, skladiščenja, surovine in materiali);

- procesnem času (izdelavni čas, ohranjanje lastnosti);
- povpraševanju (zadostno in enotno povpraševanje).

Izgube, ki jih odpravlja vitka proizvodnja je mogoče razdeliti v 7 kategorij (Melton, 2005):

- prekomerna proizvodnja (zaradi slabega planiranja);
- čakanje (zaradi pomanjkanja materiala/informacij);
- transport (pri transportu se ne generira vrednosti za kupca),
- previsoke in nepotrebne zaloge;
- preveliko število stopenj procesiranja (zaradi odvečnih operacij v sistemu);
- nepotrebni gibi zaposlenih;
- izmet.

Vitka proizvodnja zahteva strateško naravnost celotne organizacije in sodelovanje vseh zaposlenih. Zaposleni z dobrim poznavanjem strategije prikazujejo višjo stopnjo predanosti (Gagnon & Michael, 2003).

Koncept vitke proizvodnje vključuje različne pristope in orodja, med njimi tudi TPM, ki služi zagotavljanju celovite kakovosti in OEE, ki je kazalnik učinkovitosti z vidika delovanja opreme. Strategijo vitke proizvodnje je smiselno podpreti s kazalniki merjenja učinkovitosti, kot je OEE, saj povezovanje konceptov OEE, TPM in vitke proizvodnje omogoča doseganje standardov WCM (Hayes et al., v Puvanasvaran et al., 2013).

2.2 Opredelitev celovitega produktivnega vzdrževanja

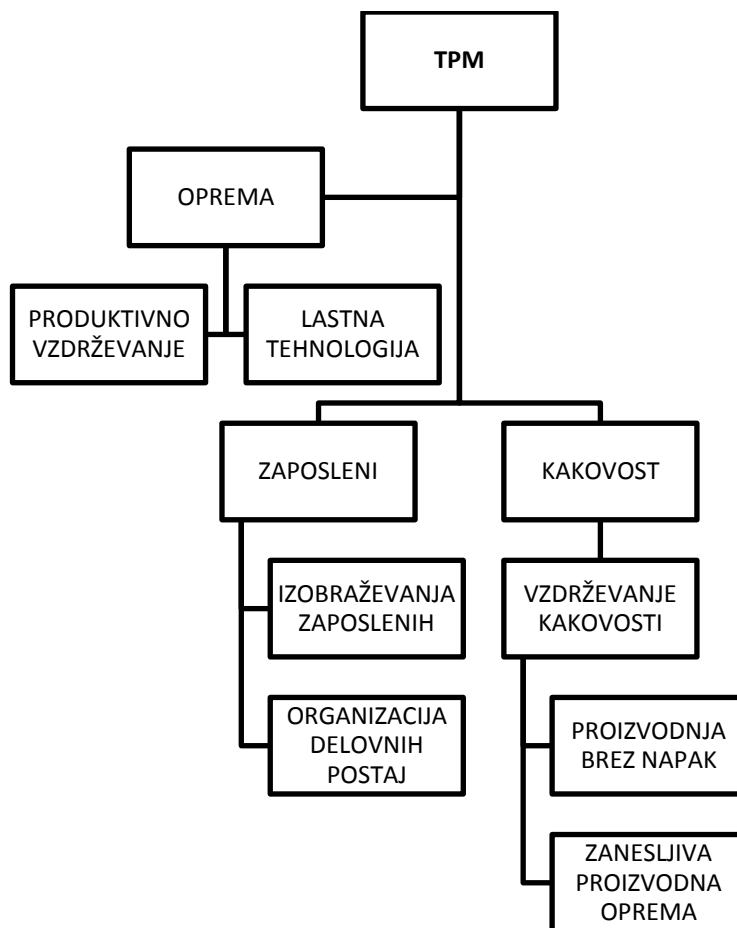
Celovito produktivno (preventivno) vzdrževanje TPM je eno temeljnih orodij proizvodnih podjetij za zagotavljanje celovite kakovosti in konkurenčne prednosti. Filozofija TPM je osredotočena k optimizaciji stroškovne učinkovitosti, kakovost vzdrževanja opreme pa mora dosegati najmanj raven kakovosti izdelkov. TPM je eno temeljnih metod za doseganje višjih izkoristkov in primerjalno presojo (Fluloria & Bharadway, v Nachiappan & Anantharaman, 2006).

Koncept TPM je kot orodje za odpravo težav z vzdrževanjem in podpornimi dejavnostmi v proizvodnji razvil Nakajima (1988). TPM je integriran pristop vzdrževalne in proizvodne dejavnosti ter procesne tehnologije skozi celoten življenjski cikel opreme (Nayak et al., 2013; Blanchard, 1997), s katerim tovarne dosegajo zadovoljivo raven kakovosti izdelkov, zadostitev dobavnim rokom in konkurenčnost cen (Chan, Lau, Ip, Chan & Kong, 2005).

Cilj TPM je doseganje delovanja opreme brez izpadov in napak s pomočjo optimalnega vzdrževanja opreme, kar vodi v dvig proizvodne uspešnosti, zmanjševanje zalog, kleščenje stroškov, podaljševanje intervalov med zaustavitvami in posledično dvigu produktivnosti

dela (Charaf & Ding, 2015; Chand & Shirvani, 2000; Muchiri & Pintelon, 2008; Nayak et al., 2013; Munteanu et al., 2010; Raouf, 1994). Obratovanje pri optimalnih pogojih zagotavlja tako ekonomsko, kot proizvodno maksimalno učinkovitost ter minimalne stroške celotnega življenjskega cikla izdelka LCC (angl. *Life Cycle Costs*).

Slika 2: Temeljni podporni elementi sistema TPM



Povzeto in prirejeno po F. T. S. Chan et al., Implementation of total productive maintenance: A case study, 2005, str. 74, slika 1.

TPM je v osnovi nadgradnja preventivnega vzdrževanja in predvsem poudarja (Chan et al., 2005; Munteanu et al., 2010):

- planiran sistem usposabljanja in vzdrževanja prek manjših skupinic;
- avtonomno vzdrževanja operaterjev, ki s timskim pristopom opravijo del vzdrževalnih aktivnosti.

Chan et al. (2005) so na Sliki 2 prikazali temeljne podporne elemente sistema TPM.

2.3 Zahteve pri uvajanju celovitega produktivnega vzdrževanja

Uvajanje TPM je zelo zahtevna naloga. Pogoj za delovanje TPM je kohezivno prizadevanje celotne organizacije (vzdrževanje, proizvodnja, razvoj, vodstvo). Potrebno je namreč, da deležniki TPM ne sprejmejo kot dodatno, nepotrebno obremenitev, kar je mogoče zagotoviti z (Ljungberg, 1998):

- jasno načrtovanimi aktivnostmi in usmeritvami;
- poznavanjem vzrokov in vpliva izgub. Za uspešen pristop TPM je potrebno zagotoviti natančne podatke o zmogljivosti in učinkovitosti strojev, da se je mogoče lotiti ustreznih izboljšav (Ericsson, v Charaf & Ding, 2015). TPM je tako za ovrednotenje proizvodnih sistemov smiselno povezati s sklopom OEE (Blanchard, 1997; Chan et al., 2005);
- jasno merljivimi, vidnimi in sproti analiziranimi rezultati, ki spodbujajo uvajanje filozofije in spremembe.

Zaradi pozitivnih učinkov in doseganje WCM je smiselno TPM dopolnjevati še z ostalimi orodji vitke proizvodnje, kot so TQM, konceptom proizvodnje s kontinuiranim tokom, filozofijo JIT ter postavitvijo proizvodnih linij v prostoru po kan-ban sistemu, kjer je planiranje proizvodnje orientirano k samemu kupcu in ne tovarni, oz. prostim zmogljivostim (Charaf & Ding, 2015; Chand & Shirvani, 2000).

2.4 Tehnike vzdrževanja

Vzdrževanje je potrebno za zagotavljanje operativnega stanja opreme. Vzdrževalni proces sestoji iz (Raouf, 1994):

- servisiranja: čiščenje, mazanje in potrebne nastavitve opreme;
- nadzora opreme: meritve vibracij, meritve temperaturnih in dimenzijskih sprememb;
- popravil: ta se izvajajo v primeru, ko obraba preseže maksimalne dopustne vrednosti, pri tem govorimo o reaktivnih (kurativnih) ukrepih.

Vzdrževanje se v grobem deli na preventivno (proaktivno, planirano) in korektivno (kurativno, reaktivno), v odvisnosti od priprave dela.

Korektivno vzdrževanje. Korektivno, oz. kurativno vzdrževanje (t.i. gasilski pristop) zagotavlja delovanje opreme do iztrošenja. Kratkoročni stroški delovne sile (oddelka vzdrževanja) so pri tem sicer nizki, vendar obstaja visoko tveganje izpadov in povezanih stroškov. Chand in Shirvani (2000) opozarjata na t.i. začaran krog korektivnega vzdrževanja, katerega realni stroški so lahko zelo visoki in obsegajo:

- izgube proizvodnje in prekinitve plana (izpad zmogljivosti, stroški dela, izpad naročil);

- stroške popravil (rezervni deli, vzdrževalci, podizvajalci);
- stroške povezane z varnostno zalogo.

Stroški izgubljene proizvodnje s povezanimi skritimi stroški lahko predstavljajo celo glavnino proizvodnih stroškov (Ericsson, v Puvanasvaran et al., 2013; Mobley, v Blanchard, 1997). Z razvojem in vse večjo kompleksnostjo in občutljivostjo opreme (elektronika, robotika, sensorika) pa je realno pričakovati, da bodo stroški zaradi neustreznega vzdrževanja v prihodnosti še naraščali. Mobley (v Blanchard, 1997) navaja, da je korektivno vzdrževanje zaradi omenjenih slabosti celo trikrat dražje od preventivnega, ki je opisano v nadaljevanju.

Preventivno vzdrževanje, TPM. Preventivne prakse vzdrževanja vključujejo preventivne meritve, evidence in aktivnosti, s čimer se možnost pojavljanja napak in zastojev na opremi minimizira. Preventivno vzdrževanje je v obratnem sorazmerju s korektivnim vzdrževanjem, ker aktivnosti na področju preventivnega vzdrževanja zmanjšajo potrebo po korektivnih ukrepih (Jeong & Phillips, 2001).

Tovarne morajo za doseganje WCM obstoječe korektivne prakse vzdrževanja nadomestiti s preventivnimi praksami vzdrževanja in z njihovo nadgradnjo (Swanson, 2001). Nadgradnja preventivnega vzdrževanja je pristop TPM, ki s širšim sprejemanjem in delitvijo odgovornosti za stanje strojev, stanje zmogljivosti in vzdrževanja poudarja pomembnost avtonomnega vzdrževanja samih operaterjev. Pri tem je končni cilj celo preseganje konstruirane zmogljivosti proizvodne opreme.

3 SKUPNA UČINKOVITOST OPREME OEE

3.1 Opredelitev kazalnika skupne učinkovitosti opreme

Kazalnik skupne učinkovitosti opreme OEE je temeljni kazalnik učinkovitosti posamezne opreme (Williamson, 2006; Bamber, Castka, Sharp, Motara, 2003; Nachiappan & Anantharaman, 2006; Ljungberg, 1998). Kazalnik je zasnoval Nakajima (1988) v sklopu TPM (Tangen, 2002; Waeyenbergh & Pintelon, 2002).

Različni avtorji navajajo OEE kot:

- rigorozen in natančen kazalnik učinkovitosti opreme, ki je nastal zaradi potrebe po tehnoloških izboljšavah in visokih izkoristkih, ki jih zahteva konkurenčno globalno gospodarstvo (Muchiri & Pintelon, 2008; Nayak et al., 2013);
- orodje za usklajevanje proizvodnega procesa (Muchiri & Pintelon, 2008);
- kazalnik interne učinkovitosti, ki opravlja tudi funkcijo stalnega napredka in razvoja (Johnson & Lesshammar, 1999);

- eno najpogosteje uporabljenih ocenjevalnih metod v industriji in tipičen kazalnik TPM (Nayak et al., 2013; Muthiah, Huang, Mahadevan, 2008);
- kot kazalnik za uspešnost izboljšav procesov v proizvodnem okolju (Dal, Tugwell & Greatbanks, 2000);
- tripartiten pristop, ki s povezavo šestih temeljnih izgub s tremi podkazalniki (A, P, Q) omogoča merjenje učinkovitosti TPM (Williamson, 2006; Nayak et al., 2013);
- metodo meritev na posameznem stroju ali integriranem sistemu, ki osebju omogočajo osredotočanje na potrebne izboljšave in popisuje stopnjo doseganja zelenih karakteristik opreme (Mathur et al., 2011; Williamson, 2006);
- težnjo po izboljšavah znotraj vitke proizvodnje, v kateri zastoji strojev in izostanki proizvodnje niso sprejemljivi, saj onemogočajo ustvarjanje vrednosti za kupca (Charaf & Ding, 2015).

Williamson (2006) navaja, da se glede na dosedanje široko in napačno rabo kazalnika OEE njegova enoznačna opredelitev ne bo uveljavila, do razhajanj definicije prihaja celo med samimi eksperti OEE.

3.2. Področja uporabe in namen

OEE povezuje oddelke proizvodnje, vzdrževanja, nabave in konstruiranja strojev, da se procesi odvijajo z minimalnimi izgubami (Williamson, 2006). Temeljni namen OEE je uporaba informacij za iskanje in odpravo izgub v delovanju posamezne naprave. Ostali nameni uporabe OEE so (Dal et al., 2000; Bamber et al. 2003; Nayak et al., 2013; Charaf & Ding, 2015):

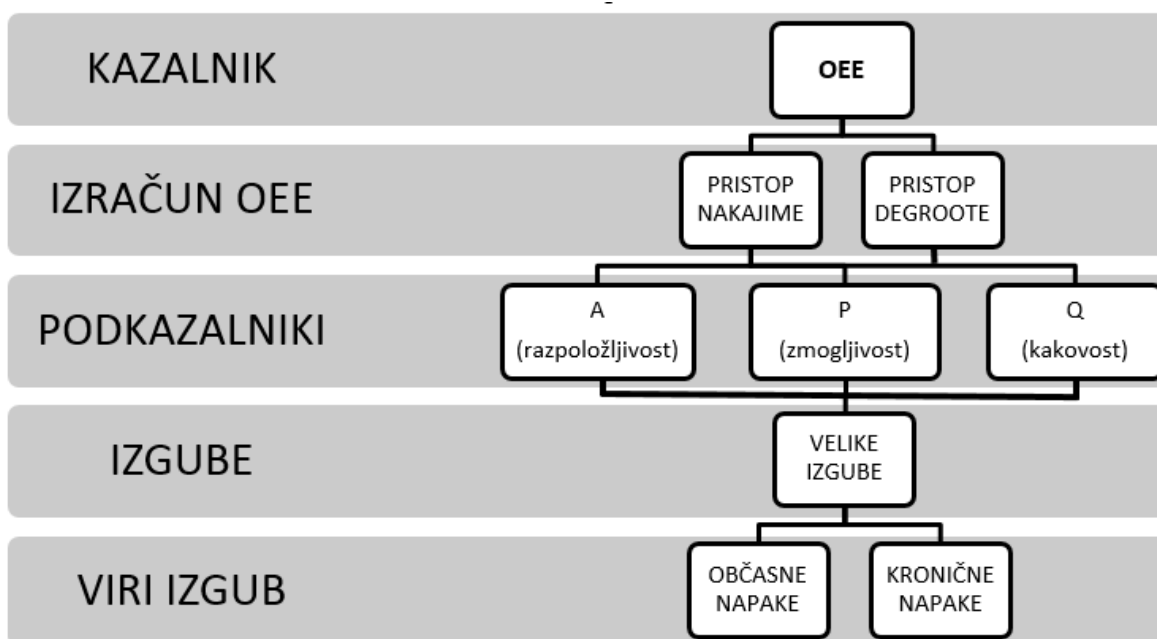
- primerjalna presoja za primerjavo prvotnih in kasnejših zmogljivosti postrojenj;
- primerjalna presoja za primerjavo med sorodnimi postrojenji in orodje za iskanje najšibkejših enot in procesov;
- kazalnik slabe učinkovitosti in zmogljivosti določenega postrojenja, ki zahteva osredotočanje in potrebo po izvajanju TPM. OEE je tako tudi orodje za posredno izboljšavo samega procesa izkoristka (Jonsson & Lesshammar, 1999).

OEE je bil zasnovan v sklopu TPM, njegova uporaba pa se je razširila v praktično vse panoge. S prilagajanjem spremenljivk in formul OEE namreč omogoča prilagoditev na tip industrije, vrsto proizvodnje, namene in cilje uporabnikov (Williamson, 2006; Muchiri & Pintelon, 2008; Mathur et al., 2011; Dal et al., 2000).

3.3 Izračun kazalnika skupne učinkovitosti opreme

Kazalnik skupne učinkovitosti opreme OEE je tripartiten pristop, sestavljen iz produkta podkazalnikov (A), (P) in (Q), ki temeljijo na t.i. velikih izgubah učinkovitosti opreme. Shematski prikaz pristopa je na prikazan Sliki 3.

Slika 3: Pristop OEE



OEE se izračuna kor produkt 3 podkazalnikov po enačbi (1) (Nakajima, 1988).

$$OEE = A * P * Q \quad (1)$$

Podkazalniki:

- A – razpoložljivost (angl. *Availability*, v nadaljevanju tudi A);
- P – zmogljivost (angl. *Performance* v nadaljevanju tudi P);
- Q – kakovost (angl. *Quality*, v nadaljevanju tudi Q).

Za izračun podkazalnikov in OEE se uporabljata 2 temeljna pristopa, njun rezultat pa pod enakimi pogoji naniza identične vrednosti. Pristopa se med seboj razlikujeta v načinu merjenja izgub (Jeong & Philips, 2001):

- 1.) pristop Nakajime (1988) z merjenjem časovnih izgub (časovni delež sprejemljive proizvodnje glede na celoten planiran proizvodni čas) po enačbi (2);

$$OEE = A * P * Q = \frac{SPREJEMLJIV \text{ PROIZVODNI ČAS}}{PLANIRAN \text{ PROIZVODNI ČAS}} = \frac{SPČ}{PPČ} \quad (2)$$

2.) pristop De Groote (1995) z merjenjem izgub v številu izdelkov (delež sprejemljivih izdelkov/tonaže, glede na teoretično uresničljive izdelke procesa v celotnem planiranem proizvodnem času) po enačbi (3):

$$OEE = A * P * Q = \frac{SPREJEMLJIVI \text{ IZDELKI PROCESA V ČASU (NETO)}}{TEORETIČNO \text{ URESNIČLJIVI IZDELKI PROCESA V ČASU (BRUTO)}} = \frac{\#SI}{\#PI + \#RI} \quad (3)$$

3.3.1. Opredelitev podkazalnikov OEE

Razpoložljivost (A). Razpoložljivost stroja po enačbi (4) je razmerje med dejanskim proizvodnim in planiranim časom za proizvodnjo. Razpoložljivost je mogoče izraziti tudi kot razmerje med teoretičnim planiranim številom izdelkov v dejanskem in planiranem proizvodnem času (opredelitev členov s »#« sledi v poglavjih 3.3.4 in 3.3.5) (Nakajima, 1988; De Groote, 1995). Izgube razpoložljivosti zajemajo predvsem časovne izgube, ki so posledice izpadov, okvar ali nastavitvev (korektivno vzdrževanje, časovne izgube menjav in nastavitvev, izgube reinženiringa, izgube namenjene R&R).

$$A = \frac{DEJANSKI \text{ PROIZVODNI ČAS}}{PLANIRAN \text{ PROIZVODNI ČAS}} = \frac{\#PI}{\#PI + \#RI} \quad (4)$$

Planiran proizvodni čas za po prvotni definiciji OEE Nakajime (1988) ne vključuje časa odbitkov zaradi vnaprej planiranih aktivnosti (preventivno vzdrževanje, napovedani zastoji).

Zmogljivost (P). Zmogljivost stroja po enačbi (5) je razmerje med dejansko proizvodno hitrostjo stroja in predpisano (teoretično) razpoložljivo hitrostjo stroja, oziroma med neto in dejanskim proizvodnim časom. Zmogljivost je mogoče izraziti tudi kot razmerje med dejanskim številom izdelkov in teoretičnim planiranim številom izdelkov v dejanskem proizvodnem času (Nakajima, 1988; De Groote, 1995). Izgube zmogljivosti so predvsem: čakanje na material ali operaterja, krajši izpadi delovanja, izgubljeni časi zaradi zmanjšane hitrosti stroja.

$$P = \frac{DEJANSKA \text{ PROIZVODNA HITROST}}{PREDPISANA \text{ RAZPOLOŽLJIVA HITROST}} = \frac{NETO \text{ PROIZVODNI ČAS}}{DEJANSKI \text{ PROIZVODNI ČAS}} = \frac{\#DI}{\#PI} \quad (5)$$

Kakovost (Q). Kakovost stroja po enačbi (6) je razmerje med kakovostno sprejemljivimi izdelki in vsemi (dejansko število) proizvedenimi izdelki v opazovanem času. Kakovost je mogoče izraziti tudi kot razmerje med časom proizvodnje (samo) kakovostno sprejemljivih izdelkov in neto proizvodnim časom (Nakajima, 1988; De Groote, 1995). Izgube kakovosti predstavljajo zavrnjene izdelke zaradi njihove nezadostne kakovosti (posledica okvare stroja in nedoseganja kakovosti pri začetnih nastavitvah do stabilizacije proizvodnje).

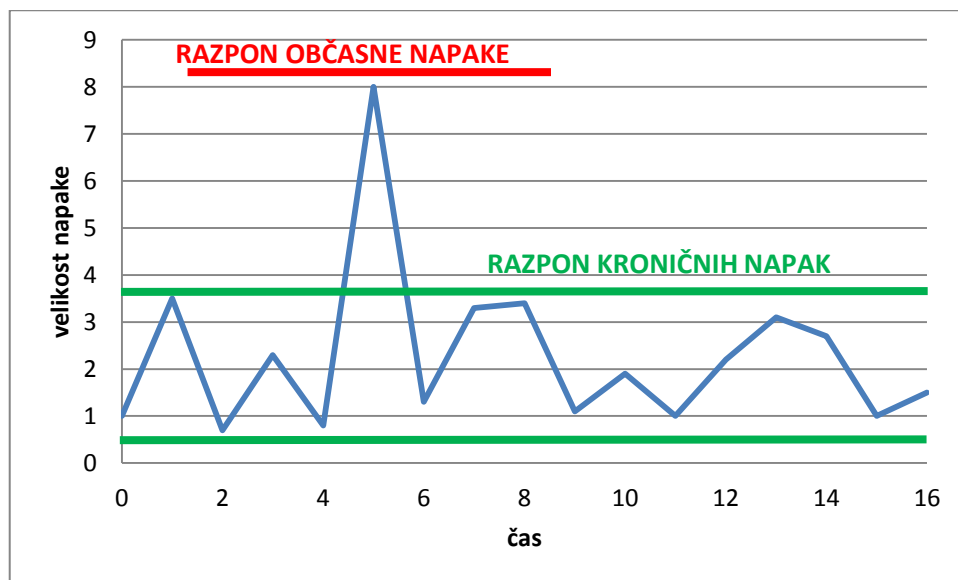
$$Q = \frac{\text{SPREJEMLJIV PROIZVODNI \u010cAS}}{\text{NETO PROIZVODNI \u010cAS}} = \frac{\text{SPREJEMLJIVI IZDELKI}}{\text{DEJANSKO \u0160TEVILO IZDELKOV}} = \frac{\#SI}{\#DI} \quad (6)$$

3.3.2 Opredelitev napak pri izra\u010dunu OEE

Izgube razpolo\u017eljivosti, zmogljivosti in kakovosti so posledica napak – variacij, ki se pojavljajo v procesih. Napake je klju\u010dno prepoznati in v \u010dim ve\u010dji meri odpraviti. Glede na vzroke in pogostost pojavljanja je predlagana razdelitev napak v dve kategoriji, kar je prikazano na Sliki 4 (Bamber et al., 2003; Ljungberg, 1997; Tajiri & Gotoh, v Puvanasvaran et al., 2013; Jonsson & Lesshammar, 1999):

- ob\u010dasne napake;
- kroni\u010dne napake.

Slika 4: Prikaz napak v procesih



Povzeto in prirajeno po C. J. Bamber et al., Cross-functional team working for overall equipment effectiveness (OEE), 2003, str. 226, slika 1.

Ob\u010dasne napake povzročajo ve\u010dji raztros okoli normalnega stanja (nenormalna variabilnost, proces ni pod statisti\u010dno kontrolo). Pojavljajo se naklju\u010dno, imajo mo\u010dan vpliv in ve\u010dje posledice na stabilnosti procesa.

Kroni\u010dne napake so ponavadi manj\u0161e, skrite in kompleksne napake, ki so rezultat ve\u010d so\u010dasnih procesov. Kroni\u010dne napake je te\u017eje identificirati, ker se pogosto dojemajo kot normalno stanje sistema (normalna variacija sistema, proces je pod statisti\u010dno kontrolo). Zaradi pogostega pojavljanja in ponavljanja rezultirajo v nizki razpolo\u017eljivosti opreme in posledi\u010dno dolgoro\u010dno vi\u0161jih stro\u0161kih (Nord et al., v Jonsson in Lesshammar, 1999).

Identifikacija kroničnih napak je možna samo preko primerjave trenutne hitrosti delovanja opreme s teoretično maksimalno hitrostjo opreme. Normalno variacijo je mogoče zmanjšati s preoblikovanjem procesa.

Oba tipa napak – variacij povzročata izgube, ki jih je v sklopu OEE mogoče nadalje razdeliti v t.i. šest velikih izgub (najpogostejša delitev), ki so opisane v nadaljevanju.

3.3.3 Opredelitev šestih velikih izgub

Za izračun izgub, ki vplivajo na učinkovitost opreme, je Nakajima (1988) predlagal klasifikacijo šestih velikih izgub, ki jih je potrebno natančno izmeriti (Muchiri in Pintelon, 2008; Dal et al., 2000). V Tabeli 1 so prikazane izgube, vplivni podkazalnik in praktični primer izgube (na primeru postrojenju paletizerja).

Tabela 1: Šest velikih izgub po metodi Nakajime

Vrsta velike izgube	Podkazalnik	Primer (paletizer)
okvara	A	strojelom paletizerja
menjave med izdelki, zagoni, testiranja, nastavitve (fine), popravki	A	nastavitve po menjavi dimenzij palet
kratke zaustavitve, čakanje na operaterja ali obdelovanca (te zastoje je mogoče hitro odpraviti, vendar zaradi visoke frekvence – pogostosti terjajo visoke izgube zmogljivosti)	P	umazane fotocelice na sprejemu palet
zmanjšana hitrost, kot razlika med dejansko in projektirano hitrostjo stroja	P	palete drugačnih dimenzij, ki zahtevajo daljši procesni čas nastavitvev na paletizerjih
izgube pri zagonu/menjavi: izmet od nastavitve stroja (zagoni, menjave), pa do stabilnega stanja	Q	slaba nastavitvev jutranje izmene vpliva na popoldansko
izgube delovanja: izmet zaradi napačnega delovanja proizvodne opreme	Q	zagozditev palet v paletizerju in poškodovanje le teh

Povzeto in prirejeno po P. Muchiri in L. Pintelon, Performance measurement using overall equipment effectiveness (OEE): literature review and practical application discussion, 2008, str. 3520, slika 1.

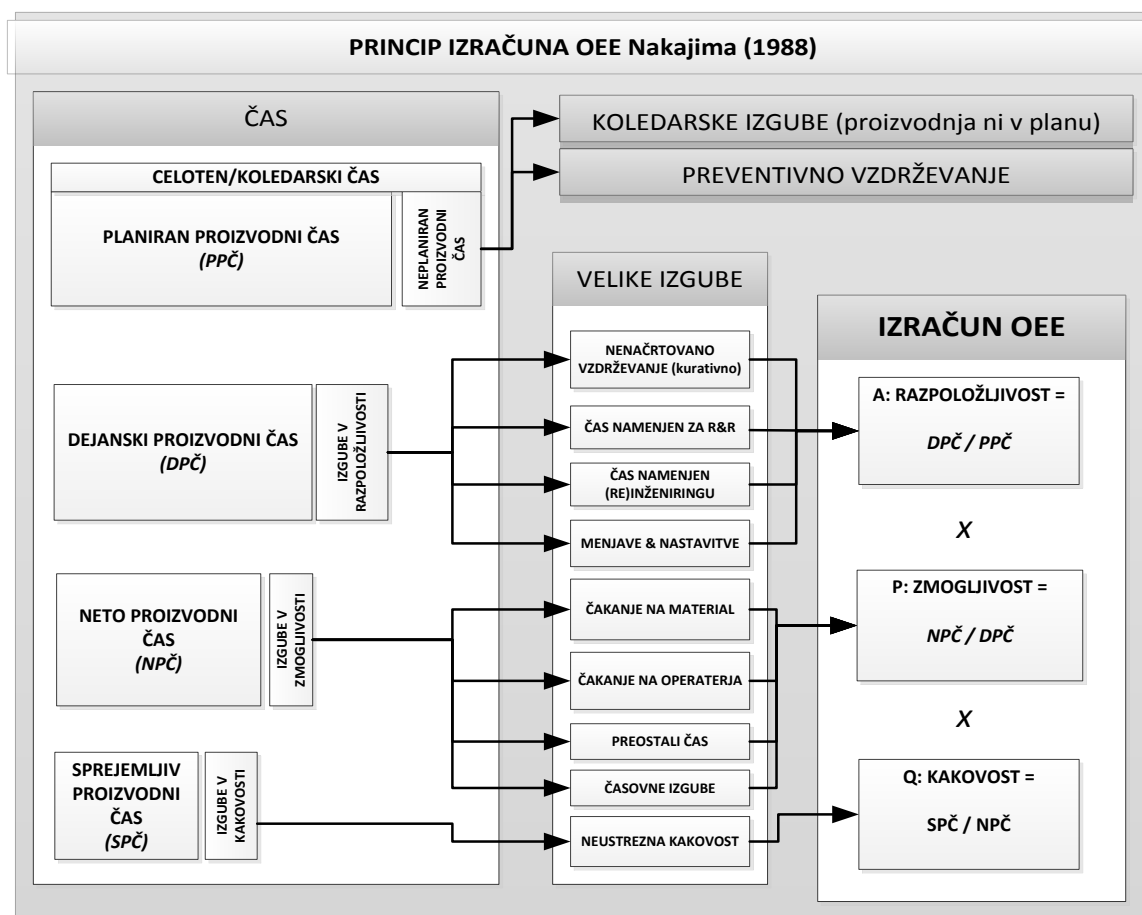
Za boljšo analizo sistema TPM je šest prvotnih izgub smiselno nadalje razširiti v vsaj 16 skupin glede na potrebe posamezne panoge, npr. izgube zaradi pnevmatike, elektrike in podobno (Bamber et al., 2003; Muchiri & Pintelon, 2008; Mathur et al., 2011 Ljungberg, 1998). Podjetje lahko tako razvije svoj sistem klasifikacije izgub, ki je prilagojen sistemu proizvodnje, a povezan s produktom (A), (P) in (Q) (Chan et al., 2005). V nadaljevanju sledi prikaz temeljnih pristopov Nakajime (1988) in De Groote (1995) za izračun OEE. Pristopa sta prikazana z razširitvijo šestih velikih izgub z upoštevanjem dodatnih izgub, prilagojeno izračunu OEE za kapitalno intenzivno industrijo (3.3.6), s čimer je klasifikacija izgub natančnejša.

3.3.4 Izračun OEE po pristopu Nakajime

Pristop in izračun Nakajime (1988) temelji na merjenju časovnih izgub (časovni delež sprejemljive proizvodnje) po enačbi (7). Postopek izračuna je prikazan na Sliki 5.

$$OEE = A * P * Q = \frac{SPREJEMLJIV\ PROIZVODNI\ \check{C}AS}{PLANIRAN\ PROIZVODNI\ \check{C}AS} \quad (7)$$

Slika 5: Izračun OEE po metodi Nakajime (1988)



Povzeto in prirejeno po: C. J. Bamber et al., *Cross-functional team working for overall equipment effectiveness (OEE)*, 2003, str. 228, tabela 1.

Izračun se prične z definicijo izhodišča, ki predstavlja planiran proizvodni čas. Izhodišče ne zajema odbitka zaradi vnaprej planiranih aktivnosti (koledarske izgube, preventivno vzdrževanje). Sledi izračun posameznih velikih izgub, razpoložljivosti, zmogljivosti in kakovosti ter izračun OEE (Bamber et al., 2003):

- **IZHODIŠČE:** izhodišče je planiran proizvodni čas (v nadaljevanju PPČ) in je razlika med celotnim (koledarskim) časom in neplaniranim proizvodnim časom, ki zajema:

preventivno vzdrževanje, praznike, energetske dneve, inšpekcijske preglede, zastoje proizvodnje zaradi pomanjkanja delovne sile, surovin, povpraševanja trga, različnih izobraževanj, izboljšav in odmorov.

- A – IZRAČUN RAZPOLOŽLJIVOSTI: izgube razpoložljivosti zajemajo časovne izgube, ko stroj ni v obratovanju zaradi okvar in ostalih zaustavitev (kurativno vzdrževanje), časovne izgube menjav in nastavitev, izgube reinženiranja (predelav) strojev, izgube namenjene R&R.

Razlika med PPČ in izgubami razpoložljivosti je dejanski proizvodni čas (v nadaljevanju DPČ). Razpoložljivost je razmerje med DPČ in PPČ.

- P – IZRAČUN ZMOGLJIVOSTI: izgube zmogljivosti zajemajo časovne izgube zaradi čakanja na material ali operaterja, časovne izgube krajših izpadov delovanja in časovne izgube izgubljenih časov zaradi zmanjšane hitrosti stroja. Izgube so posledica razlike med dejansko hitrostjo stroja in predpisano (teoretično) razpoložljivo hitrostjo stroja.

Razlika med (DPČ) in izgubami zmogljivosti je neto proizvodni čas (v nadaljevanju NPČ). Zmogljivost je razmerje med NPČ in DPČ.

- Q – IZRAČUN KAKOVOSTI: izgube kakovosti zajemajo časovne izgube zavrnjenih izdelkov zaradi nezadostne (nesprejemljive) kakovosti izdelkov. Izgube so posledica razlike med vsemi proizvedenimi izdelki in kakovostno sprejemljivimi izdelki.

Razlika med NPČ in izgubami kakovosti je sprejemljiv proizvodni čas (v nadaljevanju SPČ), ki predstavlja samo čas proizvodnje kakovostno sprejemljivih izdelkov. Zmogljivost je razmerje med SPČ in NPČ.

- OEE – IZRAČUN OEE: OEE se po enačbi (7) izračuna kot produkt (A), (P), (Q).

Pristop Nakajime je predvsem uporaben v avtomatskem tipu proizvodnje z veliki serijami izdelkov, kjer je proizvodnja enakomerna, čase izgub pa je mogoče ugotoviti iz podatkov postrojenj. V polavtomatskem tipu proizvodnje pa so serije izdelkov ponavadi manjše, zaradi neenakomernih časov procesov (prisoten človeški dejavnik), je tako lažje slediti številom izdelkov (kot časom izgub). Sledi prikaz izračuna OEE po pristopu De Groote, kjer se izgube namesto v času merijo v številu izdelkov in se uporablja predvsem v polavtomatskem tipu proizvodnje.

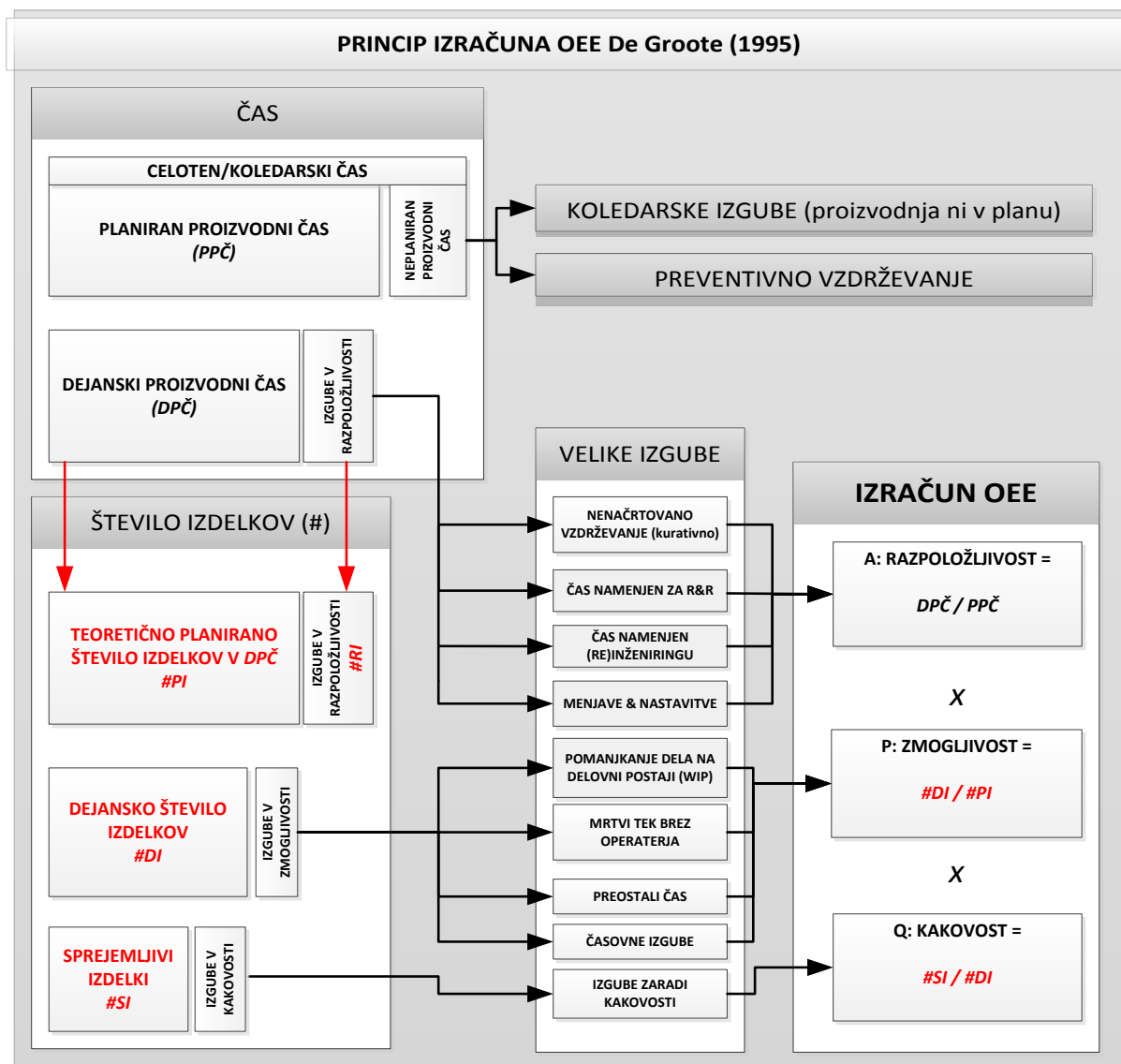
3.3.5 Izračun po pristopu De Groote

Pristop De Groote (1995) temelji na merjenju izgub prek štetja izdelkov po enačbi (8) (delež sprejemljivih izdelkov/tonaže glede na teoretično uresničljive izdelke procesa). Štetje

izdelkov je uporabno predvsem v polavtomatskem tipu proizvodnje, kjer so časi posameznih procesov (teoretični izdelavni časi, dejanski izdelavni časi, časi izgub) težje določljivi. Postopek izračuna je prikazan na Sliki 6 (Bamber et al., 2003).

$$OEE = A * P * Q = \frac{\text{SPREJEMLJIVI IZDELKI PROCESA V ČASU (NETO)}}{\text{TEORETIČNO URESNIČLJIVI IZDELKI PROCESA V ČASU (BRUTO)}} \quad (8)$$

Slika 6: Izračun OEE po metodi De Groote (1995)



Povzeto in prirjeno po C. J. Bamber et al., *Cross-functional team working for overall equipment effectiveness (OEE)*, 2003, str. 228, tabela 1.

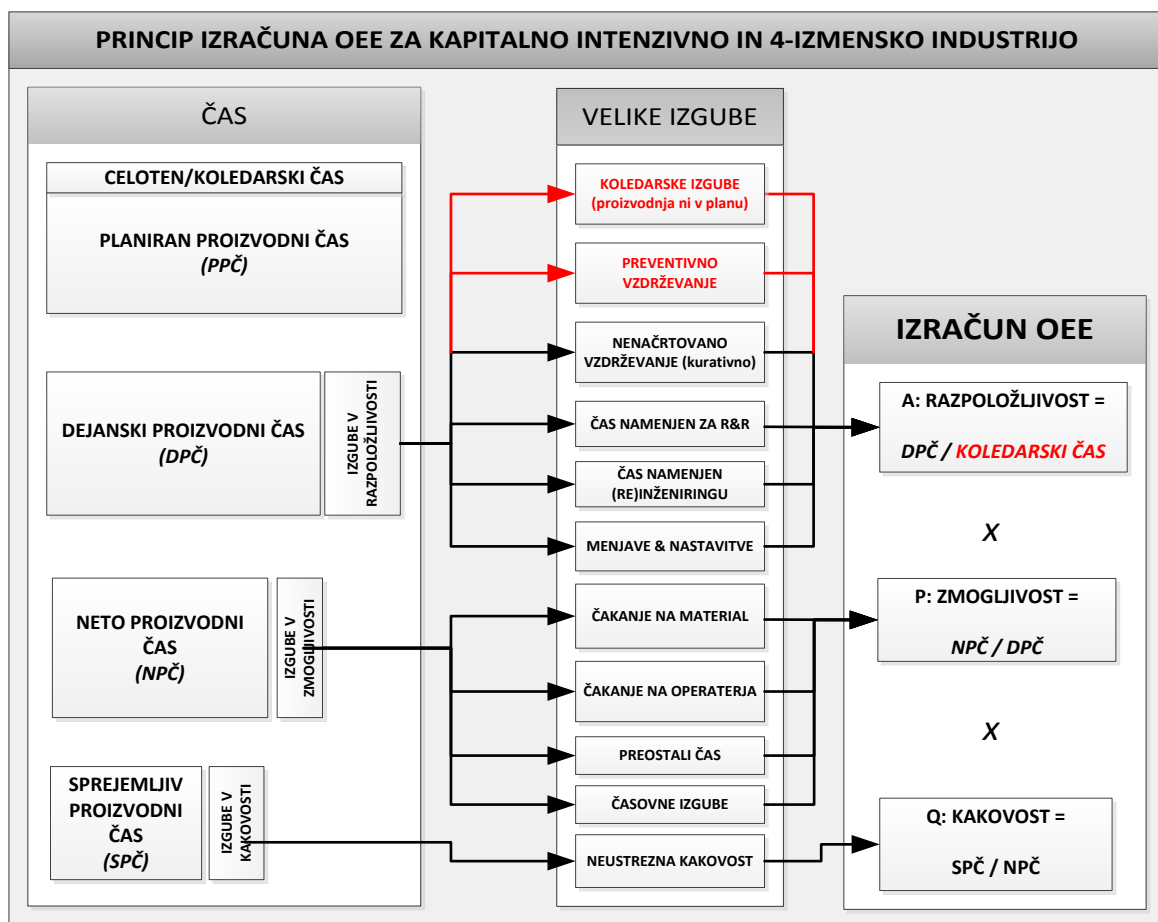
Postopek izračuna po pristopu De Groote je podoben pristopu Nakajime, razlikuje pa se predvsem v (na Sliki 6 prikazano z rdečo) :

- teoretično planirano število izdelkov (#PI) se izkustveno določi kot teoretično število izdelkov, ki jih je mogoče proizvesti v DPČ;
- izgube zmogljivosti in kakovosti se računajo na podlagi števila izdelkov in ne časov.

3.3.6 Prilagoditev izračuna OEE za kapitalno intenzivno industrijo

Ker temeljna pristopa Nakajime in De Groot (Sliki 5 in 6) v izhodiščnem času (PPČ) ne zajemata časov preventivnega vzdrževanja in nenačrtovanih časov proizvodnje – koledarskih izgub (ki se od koledarskega časa odštejejo že prej), so rezultati OEE pri kapitalno intenzivnem tipu industrije zato pomanjkljivi. Ker ti časi niso upoštevani (in analizirani), lahko temeljni definiciji vodita do predolgih (nepotrebnih) vzdrževalnih posegov (Jeong & Philips, 2001).

Slika 7: Izračun OEE za kapitalno intenzivno in 4-izmensko industrijo



Povzeto in prirjeno po K. Jeong in D. T. Phillips, *Operational efficiency and effectiveness measurement*, 2001, str. 1409, slika 2.

V kapitalno intenzivni in 4-izmenski industriji, kjer izgubljenih časov ni mogoče nadomestiti pa imajo izgube in zastoji zaradi preventivnega vzdrževanja in nenačrtovanih časov

proizvodnje zelo velik vpliv. V izračun PPČ je tako smiselno zajeti tudi planirane preventivne vzdrževalne posege in načrtovane zaustavitve, s čimer se dobi boljši vpogled v količino tudi teh izgub. Predvsem to velja za oddelek proizvodnje, ki tako pridobi vpogled nad izgubami, ki niso njihova odgovornost (in njihova krivda).

Za 4-izmensko in kapitalno intenzivno industrijo je zato predlagano, da je izhodišče PPČ, ki je enak koledarskemu času (pri 4-izmenski proizvodnji bo PPČ 168 ur/teden). PPČ tako zajema tudi planirane čase preventivnega vzdrževanja in nenačrtovane čase proizvodnje (vikendi, prazniki), kot je z rdečo prikazano na Sliki 7 (Jeong & Philips, 2001; Nachiappan & Anantharaman, 2006). S tem je mogoče dodatno motivirati oddelke vzdrževanja in planiranja, da z boljšimi orodji, boljšim planom preventivnega vzdrževanja in znanjem povečajo razpoložljivosti.

V kapitalno intenzivni industriji poleg zamenjave PPČ s koledarskim časom Jeong in Phillips (2001) predlagata še dopolnitev osnovne klasifikacije šestih izgub z dodatnimi štirimi izgubami (Tabela 2). Dodatne izgube so bile sicer prikazane že pri pristopu Nakajime in De Groote (Sliki 5 in 6), da je bila razdelitev izgub bolj natančna.

Tabela 2: Dodatne izgube za analizo OEE kapitalno intenzivne industrije

Vrsta izgube	Podkazalnik	Primer
čas namenjen za R & R	A	na opremi potekajo razvojne aktivnosti (testiranje) in ne primarna proizvodnja
čas namenjen (re)inženiringu	A	nadzor nad opremo in morebitne spremembe opreme
čakanje na material	P	stroj in operater sta pripravljena, a obdelovanca ali delovnega naloga ni v napravi
čakanje na operaterja	P	delovni nalog je aktiven, stroj pripravljen, a operater ni na voljo

Povzeto in prirejeno po K. Jeong in D. T. Phillips, Operational efficiency and effectiveness measurement, 2001, str. 1409, slika 2.

Med avtorji se sicer pojavlja dilema, če je takšen pristop v katerem PPČ zajema planirane čase zaustavitev konsistenten z definicijo OEE. Muchiri in Pintelon (2008) namreč navajata, da je OEE kazalnik zmožnosti opreme, da ta deluje brez napak pri konstruirani hitrosti in proizvaja izdelke brez napak (torej vse to pri planiranem obratovanju). Po tej definiciji OEE zajema samo proizvodne izgube, zato PPČ verjetno ne bi smel zajemati planiranega časa izpadov – neplaniranega obratovanja. Konsistentnost je torej vprašljiva, se pa takšen pristop v praksi pogosto uporablja.

3.4 Vrednosti kazalnika skupne učinkovitosti opreme

Vrednost OEE je povsem odvisna od panoge in tipa posamezne operacije, procesa in procesnih dejavnikov, za katere se OEE računa. Velja nenapisano pravilo, da so procesi z vrednostjo OEE prek 0,85 zelo učinkoviti.

V idealnih razmerah naj bi po Nakajimi procesi dosegali sledeče vrednosti podkazalnikov:

- A – razpoložljivost > 90 %;
- P – zmogljivost > 95 %;
- Q – kakovost > 99 %;
- OEE > 84 %.

OEE v podjetjih, ki dosegajo standarde WCM tako po Nakajimi dosega vrednosti okoli 84 %, kar lahko smatramo kot osnovo za primerjalno presojo med proizvodnimi podjetji.

Z razširitvijo uporabe OEE pa različni avtorji vrednosti kazalnika OEE navajajo različno:

- Kotze (v Bamber et al., 2003) smatra, da je realistična vrednost doseganja OEE okoli 0,5;
- Ericsson (v Ingemansson et al., 2005) navaja, da podjetja ponavadi dosegajo vrednosti OEE med 0,3 do 0,8;
- Ljungberg (1998) predlaga, naj se vrednosti OEE gibljejo med 0,6 in 0,75. V študiji avtomobilske industrije navaja vrednost 0,55;
- Williamson (2006) je mnenja, da tudi na ravni WCM ni smotrno definirati univerzalne vrednosti kazalnika OEE, ki bi splošno veljala za različne procese. OEE je namreč povsem odvisen od zmožnosti, zmogljivosti sredstev procesa, tipa procesa, njegove umestitve (ali je ozko grlo) in celo povpraševanja trga. Avtor navaja, da je prizadevanje za doseganje OEE 0,85 ekonomsko neutemeljeno;
- tudi Bamber et al. (2003), Dal et al. (2000) navajajo, da je zaradi različnih okoliščin zelo težko določiti optimalne vrednosti OEE in primerjave OEE med oddelki, podjetji ali celo panogami.

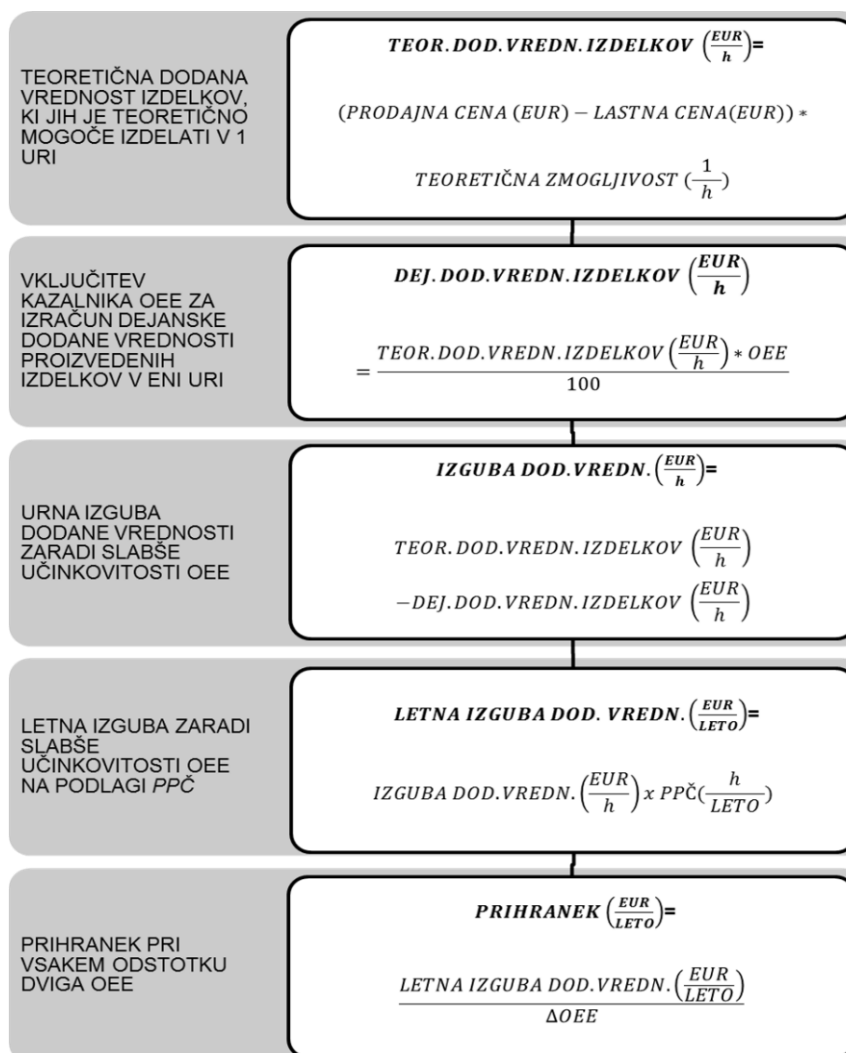
Visoke razlike med vrednostmi OEE in navedene ugotovitve avtorjev dokazujejo, da je OEE mogoče uporabiti predvsem le kot indeks učinkovitosti posamezne opreme znotraj ozkega proizvodnega sistema. OEE je tako predvsem relativni kazalnik stanja določene naprave, ki ga lahko uporabimo za primerljivost v času, že prvotno pa ni bil namenjen primerjavi med različnimi postrojenji, za kar se sicer dandanes uporablja (Williamson, 2006).

Nemalokrat pa se uporaba, beleženje in spremljanje podatkov OEE z namenom doseganja 85 % izkaže kot pozitivno, ker v večini primerov pripomore k dvigu učinkovitosti procesov (Bamber, 2003).

3.5 Ovrednotenje finančnih izgub s pomočjo skupne učinkovitosti opreme

Zaradi visokega finančnega vpliva učinkovitosti delovanja proizvodne opreme, je smiselno prikazati vpliv spremembe proizvodne učinkovitosti OEE na finančni rezultat. Na Sliki 8 je prikazan izračun letnega prihranka glede na spremembo kazalnika OEE, ki se izračuna po enačbi (9) (Chand & Shirvani, 2000):

Slika 8: Izračun finančnega vpliva spremembe OEE



Povzeto in prirejeno po G. Chand in B. Shirvani, *Implementation of TPM in cellular manufacture*, 2000, str. 153.

$$PRIHRANEK \left(\frac{EUR}{LETO}\right) = \frac{LETNA IZGUBA DODANE VREDNOSTI \left(\frac{EUR}{LETO}\right)}{\Delta OEE} \quad (9)$$

3.6 Omejitve in pomanjkljivosti pri uporabi skupne učinkovitosti opreme

OEE je dokaj enostavna meritev, ki lahko ponuja informacije glede stanja in sprememb učinkovitosti procesov (Tangen, v Tangen, 2003). Sam kazalnik OEE v osnovi še ni zadostno orodje za izboljšave, potencial OEE pridobi s povezovanjem podatkov in posledičnem odkrivanju glavnih izgub opreme (Pomorski, v Tangen, 2003). Poleg že opisanega razhajanja in omejitev glede metod izračuna ter določitve planiranega proizvodnega časa (PPČ), ima OEE še vrsto omejitev, ki so prikazane v nadaljevanju.

Omejitev izračuna OEE na raven posameznega postrojenja. Kazalnik OEE je omejen samo na učinkovitost posameznega stroja (postrojenja), kar je za potrebe tovarn in korporacij, ki se osredotočajo predvsem na linijsko proizvodnjo z več stroji nezadostno (Williamson, 2006). V dejanskem proizvodnem okolju je namreč le redkokatera naprava povsem samostojna v delovanju (Nachiappan & Anantharaman, 2006; Muchiri & Pintelon, 2008; Braglia et al., 2009, Huang et al., 2003).

OEE bi teoretično sicer lahko zadostoval za merjenje učinkovitosti proizvodne linije, če bi bili vsi elementi procesa (interakcije med stroji, materiali, osebje, orodji) med seboj popolnoma uravnoteženi in povezani (Scott in Pisa, 1998). Ker je takšen sistem v praksi skoraj neizvedljiv in je učinkovitost odvisna tudi od logistike pretoka materialov med stroji (ne le od samih strojev), je OEE nezadosten kazalnik za linijsko proizvodnjo.

Zaradi omejitve OEE na posamezna postrojenja in potrebe tovarn po nadzoru vseh procesov, so se razvili novi, razširjeni kazalniki, kjer merjenje učinkovitosti zajema več postrojenj, sistemov in celo tovarn: OFE – kazalnik skupne učinkovitosti tovarne (angl. *Overall Factory Effectiveness*, v nadaljevanju OFE), PEE (angl. *Production Equipment Effectiveness*), OPE – kazalnik skupne učinkovitosti obrata (angl. *Overall Plant Effectiveness*, v nadaljevanju OPE), in ostali, ki so opisani v poglavju 3.7 (Muchiri in Pintelon, 2008; Oechsner et al., 2003).

Omejitev izračuna OEE na avtomatske in polavtomatske procese. Kazalnik OEE ni primeren za ročno proizvodnjo, temveč samo za avtomatsko in polavtomatsko proizvodnjo. Vzroka, da OEE ni primeren za ročno proizvodnjo sta (Mathur et al., 2011; Nord & Johansson, v Jonsson & Lesshammar, 1999):

- OEE v izračunu ne upošteva števila delavcev v procesu, kar je temeljni podatek za rezultat učinkovitosti. Ker podatek ni zajet, izračun OEE za ročno proizvodnjo nima uporabne vrednosti;
- OEE v izračunu predpostavlja, da obstaja teoretičen izdelavni čas procesa za vsak posamezen stroj. Glede na odstopanje med dejanskim in teoretičnim izdelavnim časom se izračuna dejanska učinkovitost procesa. Ker pa sta teoretični in dejanski izdelavni čas procesa pri ročni proizvodnji ponavadi fiksna in ju ni mogoče spreminjati (je zahteva

procesa, dogovorjena zmes ali podobno), izračun OEE za ročno proizvodnjo nima velike uporabne vrednosti (Puvanasvaran et al., 2013).

Zaradi naštetih omejitev, je OEE razširjen predvsem na avtomatskih proizvodnih linijah, v kombinaciji z avtomatskim zajemanjem podatkov, kar še dodatno zmanjša možnost človeških napak pri vnosu podatkov (Mathur et al., 2011).

Omejitev uporabe OEE v povezavi s povpraševanjem na trgu in menjavami proizvodnih programov. Kazalnik OEE ne glede na povpraševanje na trgu spodbuja k doseganju maksimalne učinkovitosti in zmogljivosti postrojenj, kar lahko rezultira v nepotrebnih visokih stroških skladiščenja zaloga. Še posebej je to problematično v času nizkega povpraševanja, ko OEE spodbuja k proizvodnji presežka izdelkov (Puvanasvaran et al., 2013). Z zmanjševanjem povpraševanja na trgu je torej potrebno povezati in pričakovati tudi upad OEE.

Kazalnik OEE upošteva menjave kot izgube, ki naraščajo z naborom različnih tipov proizvedenih izdelkov. Z naraščanjem števila menjav naraščajo izgube zmogljivosti P, posledično pada vrednost OEE. OEE zaradi izgub zmogljivosti pri menjavah tako spodbuja k zmanjševanju nabora različnih izdelkov. Podobno kot pri zmanjšanju povpraševanja velja tudi pri multi proizvodnji pričakovati upad OEE. Za čim manjše zmanjšanje zmogljivosti je potrebno, da se podjetja usmerijo v skrajšanje časov menjav, učinkovitejše posege pri menjavah in stabilizacijo proizvodnih pogojev po menjavah. Pogosto uporabljen pristop za skrajšanje časov menjav je metoda SMED (angl. *Single-Minute Exchange of Die*).

Za upoštevanje povpraševanja na trgu in časov menjav bi bilo pri izračunu OEE potrebno upoštevati tudi finančne vplive povpraševanja na trgu, vplive kombinacij različnih izdelkov in stroškov skladiščenja, kar pa je precej zapleteno (Mileham, Culley, McIntosh, Gest & Owen, v Puvanasvaran et al., 2013).

Omejitev uvajanja OEE v povezavi s kadri. Kazalnik OEE nima uporabne vrednosti, če ne sodelujejo vsi deležniki proizvodnega procesa, ki vplivajo nanj. Praksa kaže, da v sami fazi uvajanja sistema merjenja učinkovitosti sodeluje večji tim, po vpeljavi sistema pa je sodelovanja manj in se le še redko iščejo nadaljnji optimizacijski ukrepi. Pogosto je vzrok v pomanjkanju ustreznih kadrov in timov (Puvanasvaran et al., 2013).

Po vpeljavi sistema OEE v proces je zato v aktivno spremljanje učinkovitosti procesov potrebno vključiti tako operaterje postrojenj, vodje procesov, kot tudi vodstvo, da bosta spremljanje in nadzor procesov stalna, temu pa prilagoditi organizacijske metode in filozofijo razmišljanja (Puvanasvaran et al., 2013). Pogosto namreč deležniki zaradi neznanja orodja vitke proizvodnje, kot je OEE, dojemajo za nepotrebna.

Za aktivno vključitev sodelujočih je tako potrebno, da ti dojamejo prednosti in filozofijo vitke proizvodnje, kazalnikov učinkovitosti in ostalih orodij. Tj. mogoče doseči predvsem z ustreznim šolanjem deležnikov (Gagnon & Michael, 2003).

Omejitev uporabe OEE v povezavi s postrojenji kontinuiranega odjema. Metoda OEE nima velike uporabne vrednosti na postrojenjih, ki delujejo kontinuirano in so precej »toga« v smislu spremembe delovanja (jeklarske peči, kotli, tudi steklarske peči). Charaf in Ding (2015) sta prikazala uvajanje OEE na primeru jeklarske peči, ki obratuje kontinuirano 24 ur/dan, 365 dni/leto. Pri tem operaterji opravljajo 4-izmensko delo, proizvodnja na peči obratuje stalno, ne glede na potrebe po odjemu (tonaži) jekla. Razlog kontinuiranega odjema je v tehnologiji peči, saj ugašanje peči ali spreminjanje odjema ni sprejemljivo (povzroči škodo in veliko obrabo materiala peči).

Če bi za spremljanje peči uporabili kazalnik OEE, bi ta spodbujal k stalnemu dvigovanju razpoložljivosti (A) in zmogljivosti (P) procesa na sami peči (odjema jeklene zlitine iz peči). Zaradi tehnoloških značilnosti peči pa se pojavljajo argumenti proti uvedbi OEE za takšen tip postrojenja – peči (Charaf & Ding, 2015):

- če bi sledili OEE, ki spodbuja k stalni visoki zmogljivosti (P) procesa, bi s silovitim spreminjanjem odjema (tonaže) in stalnim prilagajanjem zaradi same fluktuacije odjema iz peči kvečjemu dosegli povečanje stroškov za energente in materiale, obraba peči pa bi bila večja;
- ker so stroški, ki jih proizvaja stroškovni center peči večinoma fiksni stroški, je potencial znižanja stroškov z uvedbo OEE in optimizacijo zelo nizek;
- podatki OEE lahko odkrijejo, da je določeno postrojenje ozko grlo procesov. Ker pa so same peči (znotraj ostalih procesov tovarne) ponavadi predimenzionirane glede na povpraševanje trga, zmogljivost peči ni ozko grlo in je podatek dokaj neuporaben. Poleg tega peči ponavadi neprekinjeno (brez zaustavitev) delujejo po več let in podatek o zmanjšani razpoložljivosti (A) zaradi zaustavitve ni zelo uporaben;
- ker ponavadi med kritičnimi deli proizvodnje obstajajo kritične zaloge, ki bi v primeru kratke okvare lahko dobavo materiala premestile (npr. zaloga jekla med pečjo in proizvodnim delom), je izračun OEE močno otežen.

Charaf in Ding (2015) ugotavljata, da uvajanje OEE za takšen tip postrojenja (jeklarska ali steklarska peč) ni upravičeno, ker ne poda dovolj uporabnih rezultatov. Temeljna prednost zbiranja podatkov za OEE bi bila sicer natančnejša analiza z natančnimi podatki in dnevnik delovanja peči, kar pa je stroškovno neutemeljeno, oz. izvedljivo s cenejšim sistemom spremljanja.

Ostale omejitve OEE. Poleg že naštetih omejitev in slabosti OEE, avtorji navajajo še nekatere dodatne:

- OEE pomanjkljivo upošteva strategije organizacije, smer toka materiala in eksterno uspešnost, kar sta na študiji treh tovarn prikazala Jonsson in Lesshammar (1999);
- pomanjkljivost kazalnika OEE je, da enakovredno obravnava finančni vpliv vseh vrst izgub opreme. Porast kakovosti (Q) za 1 % ima lahko namreč večji vpliv na poslovni rezultat kot dvig razpoložljivosti za 1 %, kar pa OEE ne upošteva (Williamson, 2006);
- zmogljivost (P) je povsem odvisna od trenutnega tipa izdelka na stroju, kar je potrebno upoštevati. Izhodiščna zmogljivost (100 % zmogljivost) mora biti dejanska maksimalna hitrost delovanja strojev pri izbranem izdelku, ki je nikakor ni mogoče preseči. Če je izhodišče nastavljeno prenizko ali za napačen izdelek, bo zmogljivost presegla vrednost 100 % (Ljungberg, 1998);
- omejitev OEE je, da kazalnik neustrezno obravnava zaloge pred in za strojem. V procesu z varnostnimi zalogami je zato potrebno jasno omejiti izračun OEE na sam stroj (brez zalog). Določene razširitve OEE, ki obravnavajo širše sisteme in prisotnost zalog so navedene v nadaljevanju pri dopolnitvah OEE.

3.7 Dopolnitve skupne učinkovitosti opreme

3.7.1 Pristopi in dopolnitve kazalnikov učinkovitosti

Ker je analiza OEE omejena na raven posameznega stroja, je to za potrebe tovarn in korporacij s širšo linijsko proizvodnjo nezadostno. Zaradi tega so bili razviti novi, dopolnjeni kazalniki, ki merijo učinkovitosti procesov več postrojenj, proizvodnih linij in tovarn.

Tovarne so sestavljene iz več samostojnih ali povezanih proizvodnih linij, vsaka linija je nadalje sestavljena iz operacij (procesov), ki predstavljajo posamezne stroje (Slika 9). Tehnične zmogljivosti proizvodnih linij so ponavadi zasnovane glede na povpraševanje na trgu.

Spremljanje samo posameznega procesa (stroja) z OEE je v linijski postavitvi neučinkovito, ker noben stroj ne dela povsem samostojno. Poleg tega je končni cilj dvig učinkovitosti celotne tovarne in ne le posameznega stroja.

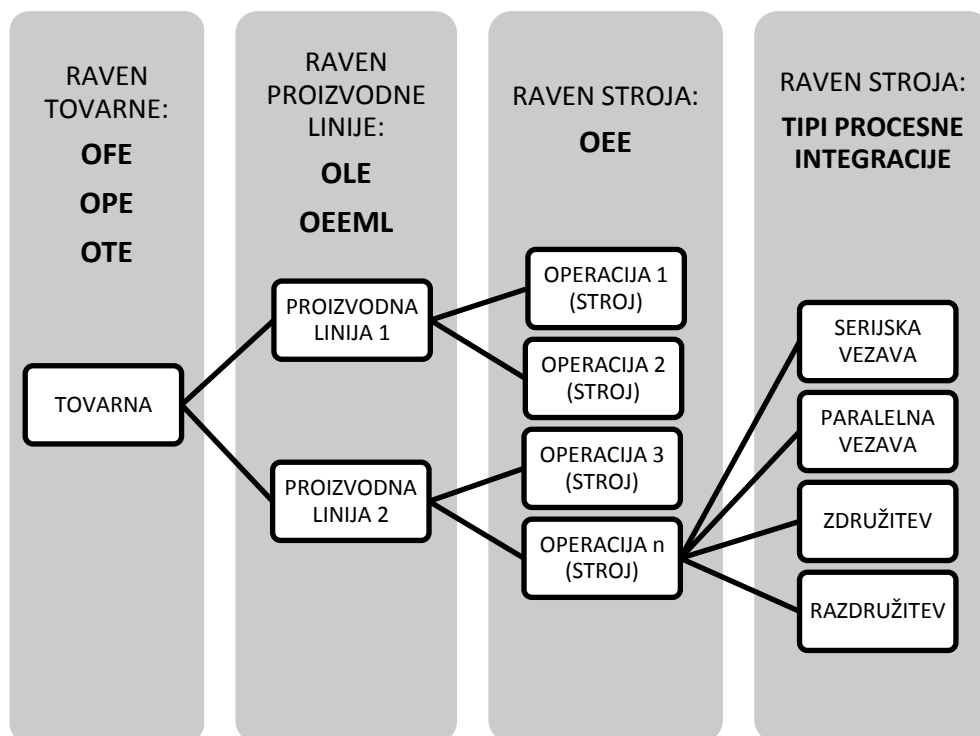
Kazalniki za optimizacijo (učinkovitosti) celotnih proizvodnih linij postajajo vse pomembnejši, ker so postrojenja vse kompleksnejša, procesi pa vse bolj avtomatizirani. Spremljanje učinkovitosti se je zato razvilo v smeri nadzora vse opreme znotraj proizvodnih linij in tovarn, pojavile so se razširjene različice OEE (Muchiri in Pintelon, 2008; Oechsner et al., 2003; Huang et al., 2002):

- OFE – kazalnik skupne učinkovitosti tovarne;
- OPE – kazalnik skupne učinkovitosti obrata;

- OTE – kazalnik skupne učinkovitosti pretoka (angl. *Overall Throughput Effectiveness*, v nadaljevanju OTE);
- OLE – kazalnik skupne učinkovitosti proizvodne linije (angl. *Overall Line Effectiveness*, v nadaljevanju OLE);
- OEEML – kazalnik skupne učinkovitosti proizvodne linije (angl. *Overall Equipment Effectiveness of a Manufacturing Line*, v nadaljevanju OEEML).

Na ravni proizvodnih linij sta v nadaljevanju opisana kazalnika OLE in OEEML, na ravni celotne tovarne pa sta v nadaljevanju opisana kazalnika OFE in OTE (Slika 9).

Slika 9: Ravni kazalnikov učinkovitosti

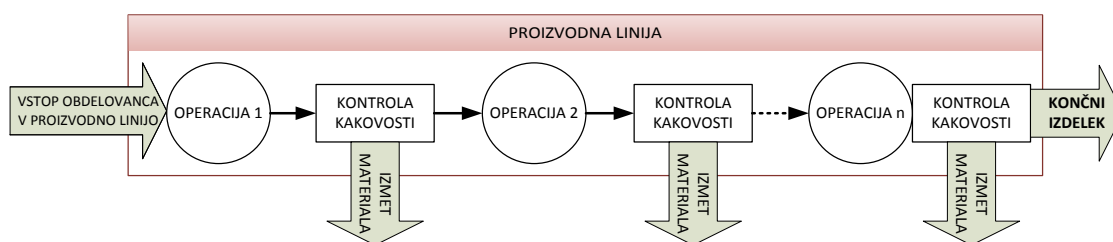


3.7.2 Kazalnik skupne učinkovitosti proizvodne linije OLE

Kazalnik skupne učinkovitosti proizvoda linije OLE obravnava učinkovitost proizvodne linije, ki sestoji iz posameznih operacij (procesov, strojev, postrojenj). Na Sliki 10 je prikazan model kontinuirane proizvodne linije z n operacijami. Pri tem izdelki, oz. obdelovanci:

- vstopajo v prvi stroj (operacija 1), sledi operacija 2, operacija 3 itd.;
- izdelki se skozi celotno proizvodno linijo pomikajo po ustaljeni poti skozi n operacij (strojev). Pri tem neustrezni (pol)izdelki predstavljajo izmet;
- ko izdelek izstopi iz zadnje operacije n proizvodne linije, je to končni izdelek te linije.

Slika 10: Model kontinuirane proizvodne linije z n operacijami (serijska vezava)



Povzeto in prirejeno po R. M. Nachiappan in N. Anantharaman, *Evaluation of overall line effectiveness (OLE) in a continuous product line manufacturing system*, 2006, str. 991, slika 2.

Zaradi medsebojnega vpliva posameznih operacij se je potrebno osredotočiti na učinkovitost proizvodne linije kot celote in ne le na učinkovitost posameznega stroja v liniji. Nachiappan in Anantharaman (2006) predlagata izračun skupne učinkovitosti proizvodne linije OLE, ki podaja učinkovitost kontinuiranega proizvodnega toka, oz. linije.

OLE omogoča:

- analizo delovanja linije in optimizacijo z zmanjševanjem števila operacij v proizvodni liniji;
- primerjalno presojo učinkovitosti proizvodnih linij s konkurenco;
- iskanje ozkega grla. Ozko grlo je operacija znotraj posameznega procesa, ki upočasnjuje celoten proces in je posledica nezadostne zmogljivosti opreme. Vzroki povečanja zmogljivosti procesa so: dvig razpoložljivosti ali zmogljivosti ozkega grla, zmanjšanje dela na ozkem grlu, preusmeritev aktivnosti iz ozkega grla ter sinhronizacija tokov ali proizvodnega programa.

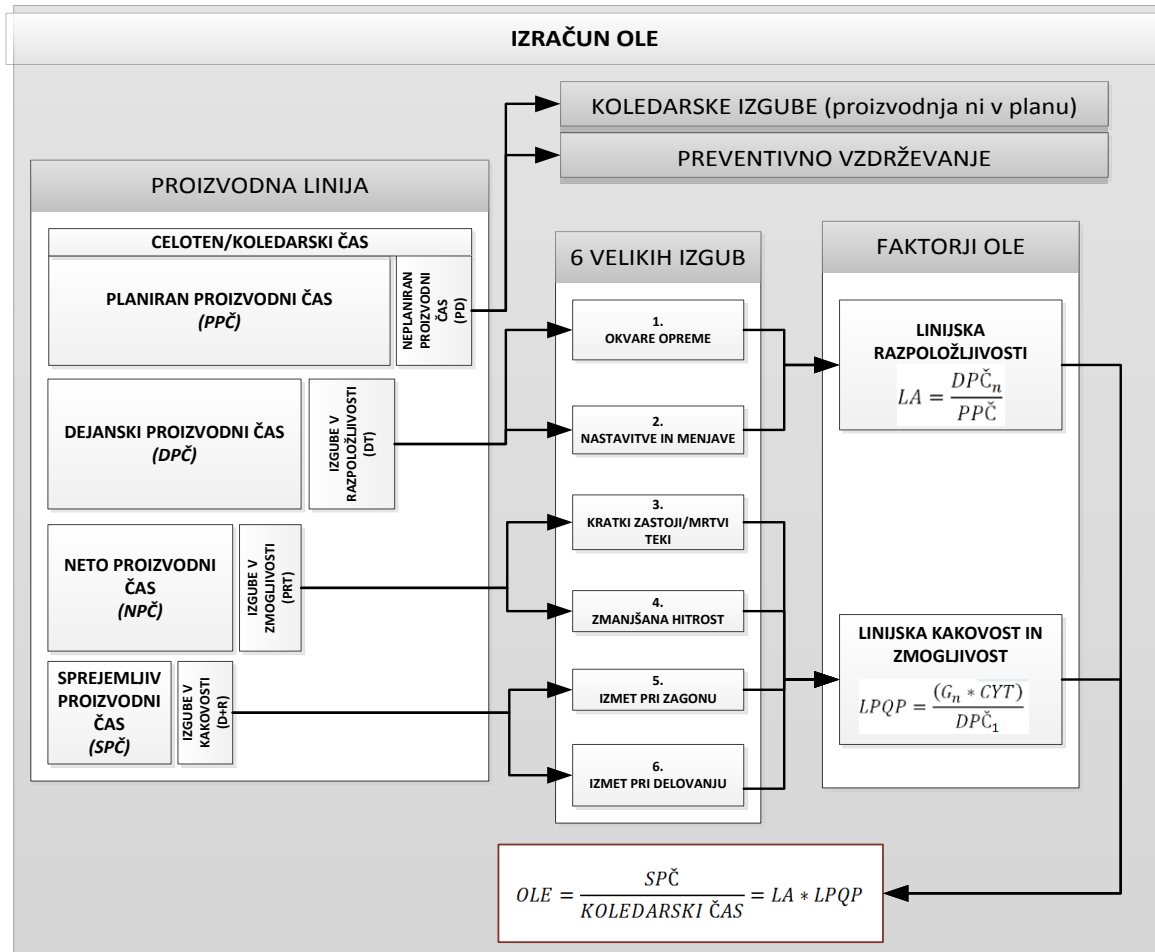
OLE temelji na sledečih predpostavkah (Nachiappan & Anantharaman, 2006):

- potreben je kontinuiran tok, vse operacije morajo biti medsebojno povezane in brez vmesnih zalog;
- izmet (neustrezni in naknadno popravljene izdelke) se ne pošilja naprej;
- DPČ (dejanski proizvodni čas) prejšnje operacije (i-1) je koledarski čas (izhodišče) sledeče operacije (i) v liniji;
- izloček dobrih izdelkov iz prejšnje operacije (i-1) je vložek v naslednjo operacijo (i) v liniji. Ker naslednja operacija zajame samo dobre izdelke, se podkazalnik učinkovitosti linijske zmogljivosti LP (angl. *Line Performance Efficiency*, v nadaljevanju LP) in podkazalnik učinkovitosti linijske kakovosti LQ (angl. *Line Quality Efficiency*, v nadaljevanju LQ) združita v združeno učinkovitost linijske zmogljivosti in kakovosti LPLQ (angl. *Line Production Quality Performance Efficiency*, v nadaljevanju LPLQ).

OLE je zmnožek linijske razpoložljivosti LA (angl. *Line Availability Efficiency*, v nadaljevanju LA) in združene linijske zmogljivosti in kakovosti LPQP.

Slika 11 prikazuje potek izračuna OLE (Nachiappan & Anantharaman, 2006):

Slika 11: Izračun OLE



Povzeto in prirejeno po R. M. Nachiappan in N. Anantharaman, *Evaluation of overall line effectiveness (OLE) in a continuous product line manufacturing system*, 2006, str. 995, slika 3.

Za izračun LA in LPQP je potrebno upoštevati (Nachiappan & Anantharaman, 2006):

- $DPČ_1$ – dejanski proizvodni čas prvega procesa (1) v liniji;
- $DPČ_n$ – dejanski proizvodni čas zadnjega procesa (n) v liniji;
- G_n – število dobrih izdelkov zadnjega procesa (n);
- CYT – izdelavni čas najdaljšega cikla, ki je ozko grlo celotne proizvodne linije.

Temeljni pomanjkljivosti OLE sta (Braglia et al., 2009):

- omejitev izključno na proizvodne linije, v katerih ni prisotnih vmesnih zalog ali ločitev med stroji;
- linijska razpoložljivost LA je usmerjena v učinkovitost zadnjega stroja v liniji, saj je v izračunu OLE upoštevan dejanski proizvodni čas in število dobrih izdelkov le zadnjega procesa, ne tudi vseh vmesnih procesov. Posledično ni mogoče identificirati težav v predhodnih procesih.

3.7.3 Kazalnik skupne učinkovitosti proizvodne linije OEEML

Zaradi navedenih pomanjkljivosti OLE je predlagan nov kazalnik skupne učinkovitosti proizvodne linije OEEML z razčlenitvijo izgub znotraj linije. Za izračun OEEML je predlagana razdelitev izgub na (Braglia et al., 2009):

- izgube, ki so odvisne od strojev. To so npr. izmet, kratki zastoji in nastavitve. Te vrste izgub je mogoče zmanjšati s popravili ali rekonstrukcijami strojev;
- izgube, ki so neodvisne od samih strojev (odvisne od postavitve linije). To so pomanjkanje operaterja, čakanje na vhodne materiale, blokiranja. Te vrste izgub je mogoče zmanjšati s posegi v sistemsko in linijsko infrastrukturo, kot je npr. dimenzioniranje kritičnih zalog, uravnoteženje zmogljivosti strojev, sprememba postavitve strojev;
- izgube, ki so posledica napak v procesnem toku pred strojem (čakanje na vhodni material);
- izgube, ki so posledica napak v procesnem toku izza stroja (blokiranje ali podaljšanje časov ciklov).

Predlagan je pristop, v katerem se za vsakega od strojev naredi izčrpna tabela morebitnih vzrokov izgub za analizo OEEML. Če so v liniji prisotne še vmesne zaloge, pa te razdelijo linijo na več posameznih enot, ki jih je potrebno individualno analizirati in združiti za sestavljeni rezultat OEEML. Kompleksni proizvodni sistemi se tako modelirajo v sestav enostavnejših podsistemov (Braglia et al., 2009).

Prednosti izračuna učinkovitosti OEEML v primerjavi z OLE:

- mogoče je ovrednotiti glavne vzroke izgub in točke znotraj linije, kjer se pojavljajo;
- izračun je mogoče uporabiti tudi v linijah, v katerih so prisotne vmesne zaloge.

3.7.4 Kazalnik skupne učinkovitosti tovarne OFE

Kazalnik skupne učinkovitosti tovarne OFE meri učinkovitost na ravni celotne tovarne. OFE obravnava proizvodni proces in materialni tok kot kompleksno mrežo interakcij med procesnimi orodji, stroji, zaposlenimi, oddelki, sistemi in tovarnami (Scott & Pisa, 1998).

OFE je kazalnik učinkovitosti, ki omogoča tudi planiranje prodaje, analiziranje stroškov in analizo logističnih procesov. OFE je mogoče uporabiti za primerjalno presojo v internem napredku ali med različnimi podjetji.

Za učinkovito delovanje OFE je potrebna močna informacijska podpora in sistemi. Za izračun OFE obstaja več kompleksnih metod, kot so: petrijeve mreže, računalniško podprto modeliranje in matematični modeli, ki preko informacijskih sistemov omogočajo kompleksno analizo in optimizacijo proizvodnih sistemov (Scott & Pisa, 1998).

3.7.5 Kazalnik skupne učinkovitosti pretoka OTE

Drugi kazalnik skupne učinkovitosti na ravni tovarne je OTE. OTE je kazalnik za obravnavo kompleksnih, medsebojno povezanih sistemov. Izračun kazalnika poteka na principu analiz s simulacijami (Huang et al., 2003). OTE je analogen OEE, vendar na ravni tovarne, saj analizira vso opremo proizvodnega sistema. OTE se izračuna po enačbi (10):

$$OTE = \frac{P_{DEJANSKI(TOVARNE)}}{P_{TEORET.(TOVARNE)}} = \frac{DOBRI\ IZDELKI\ TOVARNE\ V\ ČASU}{TEORETIČNO\ URESNIČLJIVI\ IZDELKI\ TOVARNE\ V\ ČASU} \quad (10)$$

Slika 12: Potek optimizacije učinkovitosti OTE



Povzeto in prirejeno po S. H. Huang et al., *Manufacturing productivity improvement using effectiveness metrics and simulation analysis*, 2011, str. 252-255.

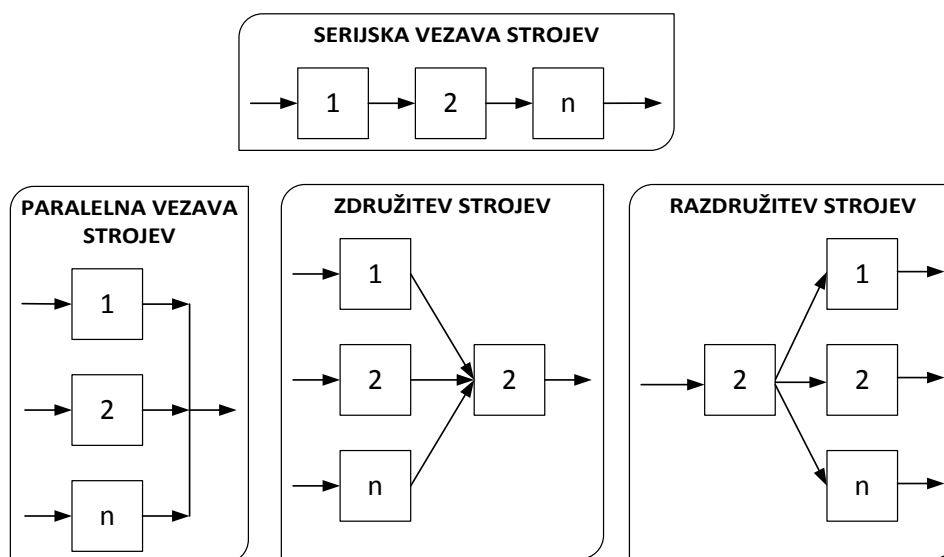
OTE sporoča kateri del opreme predstavlja ozko grlo in na kakšen način ga je mogoče odpraviti. Metoda temelji na modeliranju kompleksnih proizvodnih sistemov, sestavljenih iz enostavnejših podsistemov. Z modeliranjem se ustvari hierarhična mreža elementov, ki vključujejo povezane stroje, materiale, tokove in informacije. Na podlagi modelov sledi izračun kazalnikov (OEE, OTE) in analiza učinkovitosti.

Potek izračuna in optimizacije z OTE je prikazan na Sliki 12 (Huang et al., 2002; Mathur et al., 2011).

3.7.6 Tipi procesne integracije

Proizvodni proces predstavlja procesni tok izdelka. Procesno integracijo, oz. delitev procesov po pretoku je mogoče razdeliti na 4 tipe: serijska vezava (linijska razmestitev), paralelna vezava (skupinska razmestitev), združitev in razširitev – Slika 13 (Mathur et al., 2011). S sestavljanjem različnih kombinacij je mogoče popisati vsak proizvodni sistem, v praksi pa prevladujeta serijska vezava in paralelna vezava procesov.

Slika 13: Tipi procesne integracije



Povzeto in prirajeno po A. Mathur et al., *Performance measurement in automated manufacturing*, 2011, str. 87.

3.8 Meritve in zbiranje podatkov

Kakovostne meritve so ključnega pomena za uporabno vrednost kazalnikov. Izvajanje meritev in ustvarjanje kakovostne baze podatkov služi diagnosticiranju opreme, odpravi napak in dvigu učinkovitosti (Jonsson & Lesshammar, 1999; Jeong & Phillips, 2001; Ljungberg, 1998; Mathur, 2011). Muchiri in Pintelon (2008) navajata, da uspešne

organizacije izvajajo meritve učinkovitosti zelo pogosto, za vsak proces pa je potrebno prepoznati kritične parametre šestih velikih napak.

Meritve skupne učinkovitosti se razlikujejo glede na (White, 1996):

- meritve so lahko internega izvora (npr. meritve dimenzij v oddelku kakovosti) ali pa zunanega izvora (npr. izpolnitev pričakovanj do kupcev);
- meritve so lahko objektivne (temeljijo na neodvisnih meritvah) ali subjektivne (temeljijo na ocenah in mnenjih);
- referenca meritev je lahko interna (historične vrednosti, standardi) ali zunanja (zunanji standardi, primerjalna presoja);
- lokacija izvajanja meritev je lahko na izhodu iz procesa (npr. količina izdelanih kosov) ali na vhodu v proces (npr. kakovost vhodnih materialov s strani dobavitelja);
- podatke meritev je mogoče pridobivati iz avtomatskega ali ročnega sistema zbiranja podatkov (meritev). Opis in primerjava obeh sistemov sledi v nadaljevanju.

Tabela 3: Dimenzije in karakteristike spremljanja skupne učinkovitosti

Dimenzija (kaj meriti)	Zahteva
strategija	sistem naj zajema strateške usmeritve – dolgoročne in kratkoročne dejavnike uspešnosti. Strategija mora biti razumljiva in vzročno-posledično povezana z informacijami. Elementi proizvodne strategije, ki jih je potrebno meriti so: kakovost, stroški, proizvodni čas, dobavni pogoji, fleksibilnost in medsebojni odnosi (Maskel, v Mathur et al., 2011)
procesni tok	vključenih naj bo čim več podatkov o procesih v proizvodni verigi. Potrebno se je osredotočiti na učinkovit pretok materialov in hitre izdelavne čase. Pomembna je celotna preskrbovalna mreža, vključno z dobavitelji in kupci. Možna sta pristopa prek časov ali pretokov izdelkov
notranja učinkovitost	potrebna je primerjava med notranjimi procesi. Temeljna je učinkovitost procesov, smiselno pa je vključiti tudi finančna merila
zunanja učinkovitost	potrebno je meriti zadovoljstvo kupcev in analizirati kupčeve zahteve z direktno povezavo proizvodnega osebja s kupci

Karakteristika (kako meriti)	Zahteva
razvojno gonilo	potrebno je stalno spodbujanje izboljšav, da meritve pokrijejo dejavnike, ki imajo potencial za izboljšave
enostavno in dinamično	izvajanje meritev naj bo enostavno, a dinamično. Zbiranje podatkov mora biti dovolj (a ne preveč) natančno in prilagojeno kompleksnosti procesa (Muchiri & Pintelon, 2008; Jonsson & Lesshammar, 1999)

Povzeto in prirajeno po P. Jonsson in M. Lesshammar, Evaluation and improvement of manufacturing performance measurement systems – the role of OEE, 1999.

V Tabeli 3 so navedene dimenzije (kaj meriti) in karakteristike (kako meriti), ki jih je potrebno upoštevati pri snovanju sistema spremljanja skupne učinkovitosti (Jonsson & Lesshammar, 1999; Caplice & Sheffi, 1995).

Ročni sistemi zbiranja podatkov. Pri ročnem sistemu zbiranja podatkov se meritve beležijo (in opravljajo) s strani osebja. Temeljna prednost ročnega sistema zbiranja podatkov so nižji investicijski stroški, temeljna slabost pa manjša natančnost glede na avtomatske sisteme zbiranja podatkov (Muchiri & Pintelon, 2008).

Do manjše natančnosti podatkov prihaja predvsem zaradi osebja, ki beleži meritve. Vzroki za to so (Ljungberg, 1998):

- pri ročnem izpolnjevanju formularjev opravljenih meritev in poročil za kazalnike s strani operaterjev pogosto prihaja do napak, ker so ti nemotivirani, ne znajo vpisovati podatkov, so nenatančni ali pa se ne zavedajo pomembnosti vpisovanja. Potrebno je, da so formularji enostavni in jasni, operaterji pa se morajo zavedati pomembnosti podatkov za analize (ki pripomorejo k dolgoročnim izboljšavam in skupni koristi);
- pri intenzivnem delu na stroju za beleženje kratkih napak in zaustavitev ni časa, ker so operaterji takrat prioriteto zaposleni z odpravo napak in vzpostavitvijo stroja v operativno stanje. Pri ročnih vnosih tako prihaja do aproksimacij, posledica so netočne analize. Še posebej so problematične kratke, a zelo frekventne zaustavitve, ki se jih ne beleži;
- zaradi oportunitizma obstaja dvom glede manipulacije s podatki. Predvsem v velikih proizvodnih podjetjih, kjer operaterji strojev proizvodne izgube (njihova odgovornost) beležijo kot zaustavitve strojev (s tem odgovornost prenašajo na vzdrževalce), oz. nastavitve strojev (s tem odgovornost prenašajo na time menjav).

Zaradi omenjenih slabosti je predlagana uporaba avtomatskega sistema zbiranja podatkov, oz. kombinacije ročnega in avtomatskega zbiranja podatkov.

Avtomatski sistem zbiranja podatkov. Pri avtomatskem sistemu zbiranja podatkov se meritve beležijo (ponavadi tudi opravljajo) prek informacijsko podprte infrastrukture. Avtomatski sistemi zbiranja podatkov so se razširili v povezavi z avtomatskimi proizvodnimi in merilnimi sistemi.

Temeljna slabost avtomatskih sistemov zbiranja podatkov so višji investicijski in operativni stroški. Temeljne prednosti avtomatskega zbiranja glede na ročno pa so (Ingemansson et al., 2005):

- visoka natančnost časovnega zapisa podatkov;
- objektivno, od operaterja neodvisno zapisovanje podatkov;
- kontinuirano beleženje podatkov v podatkovne baze z enostavnim kasnejšim vpogledom.

Ker za uspešno analizo OEE število neidentificiranih izgub ne sme presegati 3 %, je v bazo podatkov potrebno vnesti res vsak detajl dogajanja. S tem ima avtomatsko zbiranje podatkov višji potencial od ročnega, ki je pogojeno z neprevidnostjo in napakami delavca (Charaf & Ding, 2015).

Avtomatski sistemi zbiranja pa pri vzpostavitvi zahtevajo tehtno obravnavo (Ingemansson et al., 2005):

- ker je količina procesiranih podatkov zelo velika, je podatke potrebno ustrezno filtrirati;
- potrebna je ustrezna klasifikacija proizvodnih napak. Vnos vzrokov napak je lahko sicer povsem avtomatski, vendar je predlagan polavtomatski vnos, kjer vzroke za napake in tipe napak potrjujejo operaterji. Vzroke za napake je potrebno omejiti na sprejemljivo raven, še posebej je potrebno omejiti vnose napak, katerih vzrok je označen kot »neznan«;
- v vseh fazah uvajanja je predlagana vključitev proizvodnega osebja, ki pozna sistem.

Zaradi naštetih zahtev in pogosto neustrezne klasifikacije napak, je predlagana kombinacija avtomatskega in ročnega sistema vnosa podatkov, v katerem ročni vnosi služijo izbiri tipa napak, avtomatski sistem pa beleži natančne podatke o dolžini zastojev in dejanskem izdelavnem času procesov (Ljungberg, 1998).

V praksi ostaja zbiranje podatkov velik izziv, ker različna podjetja podatke zbirajo in interpretirajo zelo različno. Ena pogostih napak je, da se na strojih beležijo izključno časi popravil, ki pa niso enaki časom zaustavitev (ti so daljši). Pogosto imajo celo operaterji procesov, ki največ časa preživijo na samih strojih, povsem napačne predstave o pomembnosti izgub. Analize zbranih podatkov so zato ključne, da se določi kritične dejavnike, ki dejansko znižujejo učinkovitost procesov. Vsako meritev je torej potrebno izvesti pravilno, jo ustrezno interpretirati in analizirati, da bodo podatki za spremljanje učinkovitosti opreme točni.

4 AVTOMATSKO SPREMLJANJE PROIZVODNE UČINKOVITOSTI S KAZALNIKOM OEE NA PRIMERU STEKLARNE

4.1 Predstavitev podjetja

Steklarna je predstavnik procesne industrije, temeljna dejavnost podjetja je proizvodnja izdelkov iz votlega stekla. Steklarna je usmerjena k ustvarjanju enotne konkurenčne prednosti z zagotavljanjem vrhunske kakovosti steklenih izdelkov. Poudarek podjetja temelji na operativni odličnosti vseh procesov z vključevanjem novih tehnoloških rešitev,

optimizacij, avtomatizacij in izboljšav proizvodne učinkovitosti (Steklarna Hrastnik d.o.o., 2015; Steklarna Hrastnik d.o.o., 2016b).

Proces izdelave steklenih izdelkov se procesno grobo deli na:

- prevzem, skladiščenje in manipulacijo surovin: kremenčevega peska, sode, kalcita in aditivov ter energentov;
- pripravi ustrezne zmesi kremenčevega peska (temeljna surovina stekla), recikliranih lastnih črepinj in aditivov;
- topljenje zmesi v steklarskih pečeh, pridobivanje steklene taline – stekla ustreznih lastnosti in kakovosti;
- vlivanje steklene taline v kalupe – orodja;
- formiranje končnih oblik izdelkov na steklarskih strojih;
- transport in temperaturno popuščanje izdelkov;
- kontrolo kakovosti izdelkov;
- pakiranje in odprema izdelkov do končnih kupcev;
- obvladovanju vseh ostalih organizacijskih, okoljevarstvenih procesov in podporne infrastrukture.

Podjetje je krovno sestavljeno iz treh strateških poslovnih enot – SPE (Steklarna Hrastnik d.o.o., 2014; Steklarna Hrastnik d.o.o., 2014b; Steklarna Hrastnik d.o.o., 2015; Steklarna Hrastnik d.o.o., 2016b):

- SPECIAL – enota avtomatske proizvodnje embalažnega stekla s steklarsko pečjo zmogljivosti 138 t/dan (poimenovana B peč). Proizvodni program sestavlja embalažno steklo tehnologije IS, ki zajema steklenice in kozarce za potrebe visokokakovostne embalaže, zaščitnega stekla ter skodelic. Enota bo obravnavana v nadaljevanju;
- VITRUM – enota avtomatske proizvodnje namiznega stekla s steklarsko pečjo zmogljivosti 80 t/dan (poimenovana G peč). Proizvodni program sestavljajo izdelki namiznega programa, kot so vrči, kozarci, svečniki, vaze, krožniki in ostali namizni program ter proizvodni program kozmetične in parfumske embalaže (Steklarna Hrastnik, 2014a; Steklarna Hrastnik, 2016b). Enota v nadaljevanju ne bo več omenjena, fokus je namreč pilotna uvedba OEE na liniji 1 v SPE SPECIAL;
- OPAL – enota ročne proizvodnje razsvetljavnega in ostalega stekla s steklarskima pečema zmogljivosti 3 t/dan (poimenovana F peč) in 8 t/dan (poimenovana EPO peč). Enota v nadaljevanju ne bo več omenjena, saj gre za ročno proizvodnjo, ki ni predmet spremljanja proizvodne učinkovitosti z OEE.

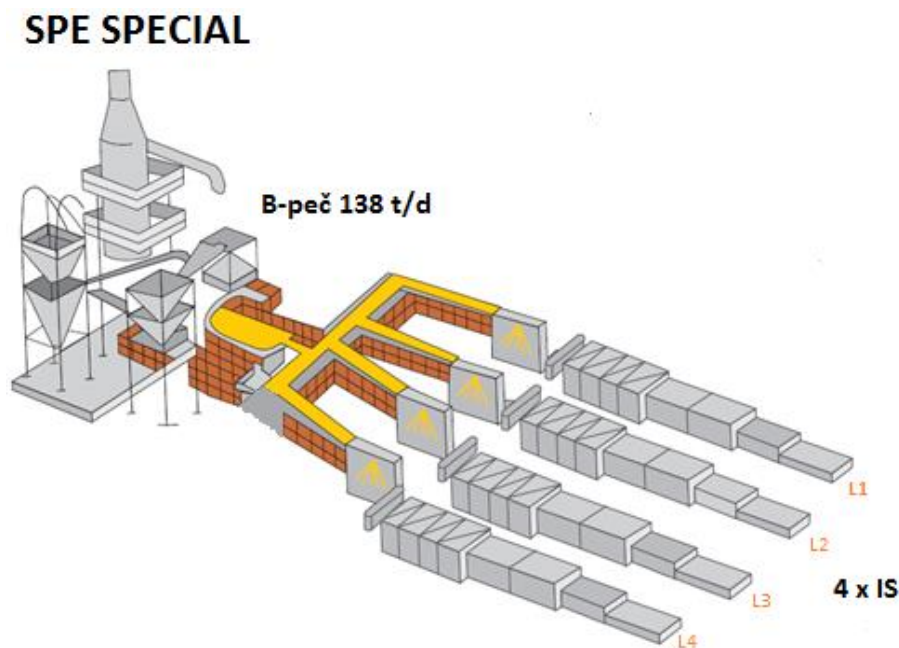
4.2 Proizvodne linije v SPE SPECIAL

Posamezna SPE je sestavljena iz več proizvodnih linij, ki so generatorji oblikovanja steklenih izdelkov. Proizvodna linija je enota, na kateri se iz topljene mase stekla (t.i. kaplje) proizvajajo izdelki enega ali več tipov. Proizvodna linija obsega (Beatson Clark; Siemens Industry, Inc., 2016):

- kanal po katerem iz steklarske peči potuje steklena masa. Kanal poteka od delovnega prostora (zadnji element steklarske peči) do škarij, kjer se formira t.i. kaplja stekla (tekoča faza stekla, ki se zaradi vpliva gravitacije in viskoznosti oblikuje v kapljasto obliko);
- steklarski stroj, ki je lahko tehnologije IS (angl. *individual section*, v nadaljevanju tudi IS stroj), tehnologije prešanja (angl. *press*) ali tehnologije prešanja in pihanja izdelkov (angl. *press & blow*);
- popuščanje izdelkov v peči za popuščanje izdelkov;
- kontrolo izdelkov in pakiranje.

V SPE SPECIAL so skupno 4 proizvodne linije steklarskih strojev IS tehnologije (Slika 14). Vsak IS stroj na liniji je sestavljen iz 6 ali 8 sekcij. Vsaka sekcija omogoča proizvodnjo individualnega tipa izdelka. Na eni proizvodni liniji se pogosto sočasno izdelujejo 3 različni tipi izdelkov.

Slika 14: Proizvodne linije v SPE SPECIAL



Povzeto in prirejeno po Steklarna Hrastnik d.o.o., Pregled investicij, 2016a..

Delo v enotah avtomatske proizvodnje poteka 24 ur, v uporabi je 4-izmenski delovnik. Proizvodnja na posameznih proizvodnih linijah je odvisna od stopnje naročil, v principu pa poteka praktično vse dni v letu, saj je vezana na obratovanje steklarske peči. Steklarska peč mora obratovati neprekinjeno, z določenim odjemom stekla, ki lahko niha le minimalno. Daljše redne zaustavitve proizvodnje so tekom remontov peči (približno vsakih 10 let).

4.3 Trenutno spremljanje proizvodne učinkovitosti

Spremljanje proizvodne učinkovitosti posamezne proizvodne linije trenutno poteka z ročnim vpisovanjem podatkov v tabele. Proizvodna učinkovitost se trenutno (stara metoda) spremlja kot razmerje med številom zapakiranih steklenic na dokončno potrjenih paletah (neto) in številom rezov kapelj (bruto), kot prikazuje enačba (11).

Nastavljeno število rezov kapelj IS stroja (t.i. bruto, oz. #*OPTIMUM*) je osnova za razpoložljivo število steklenic. Na podlagi signala števila odbitih kapelj del kapelj ne pade v IS stroj (izgube v razpoložljivosti 2 – Slika 19). Kaplje, ki padajo v IS stroj se nato formirajo v IS stroju, kjer prihaja do izgub v zmogljivosti in izgub v kakovosti. Ustrezno formirane steklenice (ki so prestale kontrolo kakovosti) se nato zapakirajo v dokončno potrjenih paletah, ki so pripravljene za dostavo kupcu (t.i. neto, oz. #*SI*):

$$UČINKOVITOST_{STARA METODA} = \frac{\text{število zapakiranih steklenic (neto)}}{\text{nastavljeno število rezov kapelj (bruto)}} = \frac{\#SI}{\#OPTIMUM} \quad (11)$$

Podatki o številu rezov kapelj in številu potrjenih palet se vpisujejo vsakih nekaj ur, učinkovitost pa se izračunava in sporoča na koncu vsake izmene (vsakih 8 ur), v obliki poročil izmene. Učinkovitost se izračunava za vsak tip izdelka ločeno in se v poročilih izmene navaja za izdelke vsake proizvodne linije posebej. Takšen način spremljanja učinkovitosti je dokaj zamuden, nenatančen ter ima več slabosti. Slabosti trenutnega spremljanja proizvodne učinkovitosti:

- način je zelo zamuden, saj morajo operaterji strojev in vodje izmen na koncu izmen ločeno vnašati podatke o številu rezov kapelj, o številu zapakiranih steklenic, informacije glede težav proizvodnje in izračunavati učinkovitosti. Za vpisovanje podatkov vodje izmen tako potrebujejo okoli 30 minut, medtem pa so odsotni iz samega procesa proizvodnje;
- možne so napake, do katerih prihaja pri vpisovanju podatkov v tabele. Izmenski vodja lahko napačno vpiše podatke v tabelo, ali pa napačno opravi preračun učinkovitosti (zajame napačen čas, napačno število palet ali kapelj);
- kredibilnost podatkov je vprašljiva, obstaja namreč dvom zaradi manipulacije pri navajanju podatkov. Ker vsak izmed izmenskih vodij odgovarja za uspešnost svoje izmene (na uspešnost je lahko vezan tudi bonus), lahko prihaja tudi do prirejanja podatkov. Vsekakor so možne tudi napake pri navajanju števila kapelj, pri številu

zapakiranih steklenic pa lahko pride tudi do napake v komunikaciji med hladnim delom linije (ki sporoča podatek o številu palet) in izmenskim vodjem vročega dela linije, ki sestavlja poročilo in vpisuje podatke;

- analiza učinkovitosti je v poročilu vidna šele na koncu izmene, torej vsakih 8 ur. Podatka o učinkovitosti tako ni mogoče spremljati v realnem času, temveč kvečjemu za nekaj ur nazaj;
- skladno z zamikom tudi niso vidni alarmi zelo nizke učinkovitosti, do katere lahko pride tekom izmene. Z zamikom informacij posledično prihaja do zamika ukrepov za izboljšave;
- ker je podatkov v tabeli malo (učinkovitost glede na izdelek, temeljne napake), je analiza proizvodnje zelo omejena zaradi manjka informacij;
- ker podatki nimajo časovnega zapisa, je vzročno-posledična analiza ukrepov in odprave napak praktično neizvedljiva. Ker ni podatka o tem, kdaj točno je bila izvedena določena izboljšava ali ukrep in kakšne so bile posledice ukrepa ter kdaj je prišlo do njih, so analize znotraj izmen skoraj nemogoče. Spremembe tekom izmen je torej težko pripisovati zunanjim vplivom;
- trenutno spremljanje učinkovitosti upošteva samo izgube v razpoložljivosti 2 (Slika 19), ne upošteva pa izgub v razpoložljivosti 1 (razpoložljivo število rezov kapelj je #*OPTIMUM*);
- trenutno spremljanje učinkovitosti podaja enoznačen rezultat skupne učinkovitosti samo na podlagi izmeta (razmerje med neto in bruto proizvodnjo), ne podaja pa detajlnih informacije glede razpoložljivosti, zmožljivosti ali kakovosti. Iz trenutnega podatka tako ni možna nadaljnja analiza vzrokov izgub, torej ali je vzrok za izgube samo formiranje izdelkov, težave na posamezni sekciji ali kaj drugega.

4.4 Namen in cilj projekta OEE

Ker avtomatska proizvodnja steklenih izdelkov spada v kapitalno intenzivno in 4-izmensko industrijo, se je potrebno osredotočiti v konstantno spremljanje učinkovitosti proizvodnje. Trenutno spremljanje učinkovitosti poteka na ravni ročnega vpisovanja podatkov, ročnih analiz in poročanja vsakih nekaj ur. Takšna metoda je pomanjkljiva, saj so podatki nenatančni, njihova količina precej omejena, informacije pa se sporočajo šele z zamikom 8 ur – na koncu vsake izmene.

Podatki, ki se trenutno zbirajo, so za poglobljene analize učinkovitosti nezadostni, saj obsegajo predvsem informacije o številu planiranih izdelkov, številu rezov kapelj (bruto) in številu zapakiranih steklenic (neto). Na podlagi razmerja neto in bruto, se izračuna temeljni podatek proizvodne učinkovitosti pretekle izmene. Poleg podatkov o številu in napakah izdelkov, se ročno beležijo tudi podatki o zastojih in ukrepih na strojih, kar je koristno predvsem za analizo vzdrževalnih aktivnosti. Temeljne pomanjkljivosti trenutnega

spremljanja učinkovitosti in analiz so tako: omejena količina podatkov, nenatančno ročno zbiranje, vpisovanje in analiza podatkov ter analiza z visokim časovnim zamikom.

Ker v podjetju želijo dvigniti učinkovitosti in zmogljivosti procesov, je potrebno odpraviti pomanjkljivosti trenutnega spremljanja proizvodne učinkovitosti. S sledenjem in analizo natančnih podatkov v realnem času bi bilo procese lažje spremljati, v primeru težav hitreje obvladovati in prek kasnejših analiz dejavnikov in napak proizvodnega procesa nadalje optimizirati.

Zaradi želje po natančnejših podatkih in s tem dvigu proizvodne učinkovitosti, je bila sprejeta odločitev, da se v sodelovanju s podjetjem Solvera Lynx d.d. izvede avtomatski sistem spremljanja skupne učinkovitosti proizvodnje z metodo OEE v enotah avtomatske proizvodnje (SPE SPECIAL in VITRUM). Avtomatsko spremljanje proizvodne učinkovitosti bo nadomestilo trenutni ročni način spremljanja proizvodne učinkovitosti.

Za spremljanje proizvodne učinkovitosti je bila predlagana metoda OEE, ki je ena najpogosteje uporabljenih ocenjevalnih metod v proizvodni industriji. Temeljna prednost OEE je, da s podkazalniki močno povezuje oddelka proizvodnje in vzdrževanja, ki sta izredno pomembna za stabilno proizvodnjo na steklarskih strojih. Vzdrževanje steklarskih strojev je namreč pri 4-izmenskem delu izrednega pomena, s pristopi TPM pa pri preventivnem vzdrževanju in manjših posegih pogosto sodeluje tudi oddelek proizvodnje.

Namen projekta avtomatskega spremljanja proizvodne učinkovitosti je:

- natančnejše spremljanje in nadzor proizvodnega procesa z avtomatskim sistemom zbiranja podatkov in kazalnikom OEE;
- osredotočanje na potrebne izboljšave pri proizvodnji steklenih izdelkov in spremljanje trenutne stopnje učinkovitosti opreme;
- primerjalna presoja prvotnih in kasnejših meritev učinkovitosti;
- v kasnejši fazi še primerjava učinkovitosti med posameznimi proizvodnimi linijami.

Cilj projekta avtomatskega spremljanja proizvodne učinkovitosti je iskanje vzrokov za napake, hitrejše ukrepanje pri težavah v proizvodnji in dvig učinkovitosti. Planiran dvig učinkovitosti proizvodnje zaradi vzpostavitve sistema OEE je tako na letni ravni ocenjen na vsaj 1 %.

Zaradi obstoječe merilne infrastrukture, ki omogoča veliko podatkov (kontrolna linija in kontrolni stroji), je bila za izvedbo pilotnega projekta izbrana proizvodna linija 1. Na liniji 1 v SPE SPECIAL je na hladnem delu proizvodne linije namreč nameščena kontrolna linija (transportni trakovi) z dvema kontrolnima strojema, ki prek strojnega vida in kontaktnega testiranja izvajata avtomatsko kontrolo in izmet steklenic ter zagotavljata večjo količino podatkov o dimenzijskih meritvah izdelkov.

Tabela 4: Izračun prihranka in ROI projekta OEE

LASTNA CENA IZDELKOV [EUR]	PRODAJNA CENA IZDELKOV [EUR]	POVPREČNA TEORETIČNA ZMOGLJIVOST [rezi/uro]	POVPREČEN TRENUTNI OEE [%]	OCENJEN PPČ [ur/leto]	PRIČAKOVAN DVIG OEE ZARADI SPREMLJANJA [%]
0,8	1	3.600	70	8.600	3
↓					
DODANA VREDNOST IZDELKOV [EUR/h]	DEJANSKA DODANA VREDNOST IZDELKOV [EUR/h]	IZGUBA DODANE VREDNOSTI [EUR/h]	LETNA IZGUBA DODANE VREDNOSTI [EUR/leto]	PRIHRADEK PRI PRIČAKOVANEM 1 % DVIGU OEE [EUR/LETO]	
720	504	216	1.857.600	61.920	
↓					
VIŠINA INVESTICIJE V PROJEKT [EUR]		PRIČAKOVAN PRIHRADEK [EUR/leto]		DOBA VRAČILA - ROI [LET]	
80.000		61.920		1,3	

Povzeto in prirejeno po G. Chand in B. Shirvani, Implementation of TPM in cellular manufacture, 2000, str. 153.

Na podlagi ocenjene višine investicije za izvedbo projekta (80.000 EUR) in planiranega dviga učinkovitosti, bi bilo mogoče oceniti upravičenost projekta prek vračilne dobe vloženega kapitala, oziroma donosnosti naložbe. Temeljni finančni izdelek je investicija v opremo (merilna in elektro oprema, programska oprema). Temeljni finančni učinek OEE je dvig proizvodne učinkovitosti (ocenjen 1 %). Na podlagi izračuna (Tabela 4), bi bila tako vračilna doba projekta 1,3 let. Zaradi relativno kratke vračilne dobe, bi bila izvedba projekta smiselna. Vsi uporabljeni podatki za izračun so sicer prilagojeni, saj gre za poslovno skrivnost podjetja.

4.5 Avtomatsko spremljanje proizvodne učinkovitosti z metodo OEE na liniji 1

4.5.1 Omejitev meritev na liniji 1

Avtomatski sistem spremljanja učinkovitosti OEE bo zasnovan na podlagi izračuna podkazalnikov (A), (P), (Q) na liniji 1. Spremljanje podatkov za OEE na liniji se bo izvajalo med robnima točkama linije, ki sta:

- kanal stekla proizvodne linije 1, kjer operater nastavi število rezov kapelj;
- konec kontrolne linije, kjer se dokončno potrjujejo kakovostno ustrezne palete izdelkov.

S to omejitvijo je privzeto, da analiza steklarske peči (do izstopa stekla iz kanala) ni zajeta v izračunu OEE. Pojav neustrezne steklene taline zaradi težav povezanih s pečjo se

obravnavata kot izredni zastoj, takrat se steklo namreč ne spušča v IS stroj. V določenih primerih pa se neustrezno steklo odraža v napakah samo posameznih steklenic, takrat je znižana kakovost ali zmogljivost procesa.

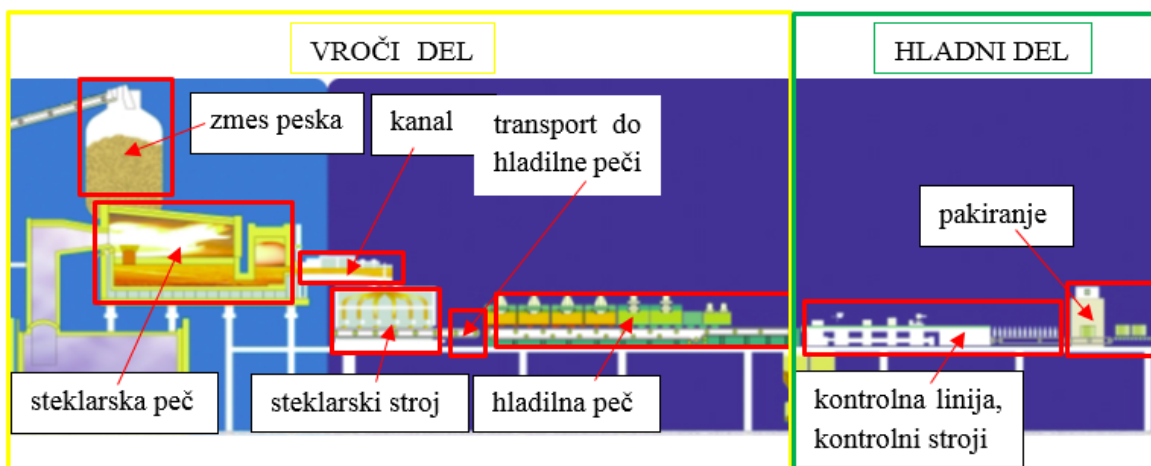
Prav tako analiza zapakiranih in potrjenih palet steklenic po predaji v skladišče ni predmet analize OEE. Z OEE se torej analizira celoten proces od števila rezov kapelj, preko formiranja steklenic na IS stroju, transporta, popuščanja in kontrole do pakiranja steklenic.

Temeljni procesni element je steklarski stroj, kjer poteka oblikovanje steklenic in kjer se pojavi večina napak na izdelkih. Do preostalih napak na izdelkih prihaja tudi nadalje pri popuščanju steklenic ter transportu steklenic od steklarskega stroja do paletizacije.

Glavni podatki za analizo OEE bodo števeci števila kapelj, števeci števila steklenic in izmeta teh na določenih lokacijah (t.i. strateške točke) in informacije o dogodkih na posameznih delih linije. Štetje se bo izvajalo z namenskimi zaznavali, ki bodo postavljena vzdolž linije na t.i. kontrolnih točkah.

Sledi opis procesnega toka, elementov linije in kontrolnih točk (kontrolne točke so v tekstu označene s krepkim tiskom). Procesni tok linije je mogoče razdeliti na hladni in vroči del linije, kar je razvidno iz Slike 15 in razčlenjeno v nadaljevanju.

Slika 15: Procesni tok na liniji 1



Povzeto in prirejeno po Beatson Clark, *Glass Process flow*, 2016.

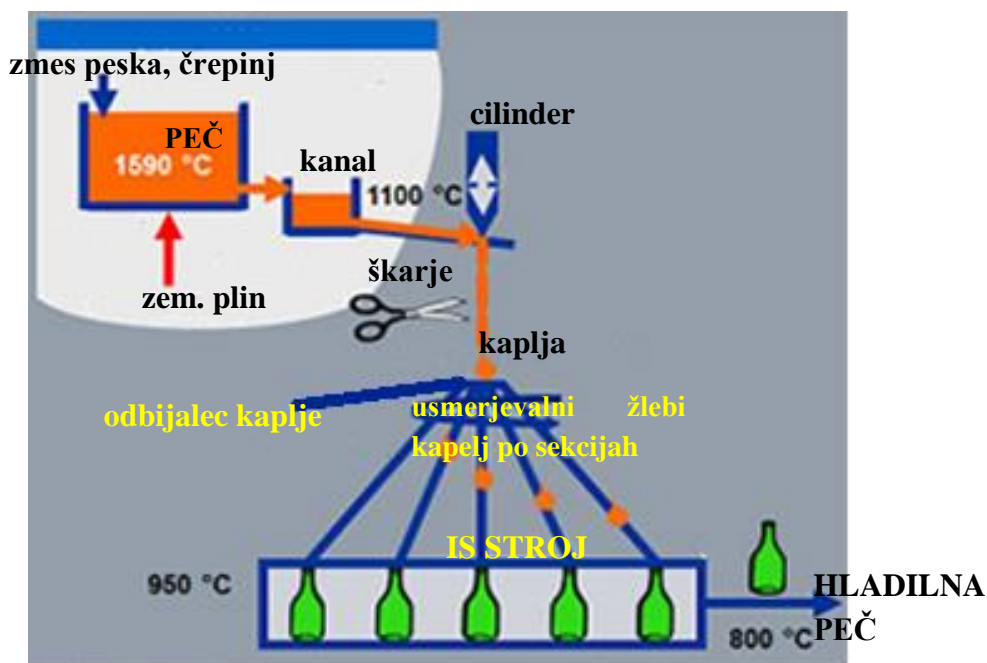
4.5.2 Vroči del proizvodne linije 1

Steklarska peč: steklarska peč proizvaja brezbarvno steklo (angl. *flint glass*) visoke kakovosti, zmogljivosti 138 t/dan. Peč je sestavljena iz talilnega dela in bistrilnega dela, kjer z mešanico zemeljskega plina in zraka poteka taljenje kremenčevega peska v taljeno steklo

in homogenizacija stekla na ustrezno kakovost. Taljeno steklo temperature cca 1400 ° C se znotraj peči kontrolirano pretaka iz bistrilnega dela v t.i. delovni prostor. Iz delovnega prostora se steklo izteka v 4 kanale (angl. *forehearts*), ki ponazarjajo začetek proizvodnih linij. Steklarska peč ni zajeta v preračunu OEE.

Kanali proizvodnih linij: po kanalih se steklo iz delovnega prostora peči kontrolirano pretaka (homogenizira) do zadnje sekcije kanala, kjer poteka kontroliran izpust stekla preko cilindra, ki po principu šobe regulira režo med steklom v kanalu in izpustom iz kanala. Nastavitev odprtine šobe definira pretok curka stekla iz kanala. Princip delovanja je predstavljen na Sliki 16.

Slika 16: Proizvajanje steklenih izdelkov



Povzeto in prirejeno po Siemens Industry, Inc. IS Machine, 2016.

Curek stekla se ciklično reže (nastavljiv čas) z mehanizmom škarij. Pri tem se zaradi visoke viskoznosti stekla in gravitacije formira t.i. kaplja (kaplji podobna gnota stekla, ki nadalje predstavlja stekleno maso posameznega izdelka). Masa in oblika kaplje se nastavljata preko debeline reže in dolžine kaplje (hoda bata in pogostosti reza škarij). Število rezov kapelj (#OPTIMUM) nastavlja operater stroja.

Celotna razpoložljivost, izhodišče, oz. maksimalno število rezov kapelj (#MAXIMUM) je določeno izkustveno glede na dosedanjo maksimalno proizvodnjo enakega izdelka, torej koliko rezov je bilo mogoče pri optimalni proizvodnji v preteklosti. Operater nato sam zmanjša maksimalno število rezov (na #OPTIMUM), če ni zmožen upravljati procesa formiranja steklenic s takšno hitrostjo. To so t.i. **izgube v razpoložljivosti 1.**

Steklarski stroj: formirana kaplja pade v lovilni žleb steklarskega stroja. Mehanizem žleba usmeri kapljo v pripadajočo sekcijo IS stroja, na liniji 1 jih je 8. Vsaka sekcija predstavlja enoto, na kateri je nameščeno orodje – kalup steklarskega stroja, ki s svojo obliko definira tip izdelka – steklenice. Če je aktivnih vseh 8 sekcij, lovilni žleb usmeri kapljo vsakič v naslednjo sekcijo.

Kaplja pade v prvega od dveh kalupov (kompletov orodij) sekcije, v t.i. predoblikovalec, kjer kaplja dobi predobliko. Z energijo komprimiranega zraka, vakuuma in prisilnim premikanjem mehanizmov se iz kaplje formira votli del izdelka (Beatson Clark, 2016). Sledi premik iz predoblike v končno obliko, kjer se izdelek (nadalje steklenica) dokončno formira. Steklenica se po končnem pihanju utrdi in ohladi na cca 500–800 ° C. Kalupe sekcij je potrebno medtem kontrolirano ohlajati z ventilatorskim zrakom, da se ohranja njihova optimalna temperaturna porazdelitev ter ustrezno mazati z mazivi, steklarski stroj pa nadzoruje operater strojnik.

Če se na stroju izvaja menjava programa – orodij, vzdrževalni posegi na vseh sekcijah ali izpad stroja, se lovilni žleb pred IS strojem izmakne v pozicijo izmeta kaplje – **t.i. odbijalec kaplje**. Pri tem kaplje tekom menjave ne padajo v IS stroj, temveč v izmet, na reciklažo. Iz teh kapelj se ne formira steklenica. To so t.i. **izgube v razpoložljivosti 2**. Signal števila odbijalca kapelj definira število kapelj, ki ne gredo v kalupe/orodja ali na sekcijski izmet stroja IS stroja.

Če se na stroju izvajajo manjši vzdrževalni ukrepi ali urejanje samo posamezne sekcije, se lovilni žleb kaplje namenjen v izbrano sekcijo preusmeri v izmet, na reciklažo – **t.i. sekcijski izmet**. Pri tem ostale sekcije delajo nemoteno, nastanejo pa **izgube v zmogljivosti stroja**.

Sekcijski izmet definira delež števila kapelj, ki ne gredo na formiranje v kalupe/orodja IS. Število kapelj, ki gre v kalupe/orodja stroja predstavlja število proizvedenih/formiranih izdelkov #DI. Vse nadaljnje izgube v procesnem toku so **izgube kakovosti**.

Transport formiranih izdelkov #DI iz steklarskega stroja do hladilne peči: steklenico IS stroj postavi na transportni trak (nadaljnje ohlajanje) in transportira v smeri t.i. hladilne peči, ki služi popuščanju notranje napetosti v steklenih izdelkih. Notranja napetost je nastala kot posledica formiranja in neenakomernega ohlajanja steklenic. Na transportnem traku med steklarskim strojem in hladilno pečjo operaterji izvajajo vizualno kontrolo, tam poteka prvi kakovostni izmet steklenic. Izmet je lahko 100 % – **t.i. totalni izmet**, ki je posledica neustrezne kakovosti vseh sekcij IS stroja, pri čemer se vse steklenice pošljejo na reciklažo. Izmet je lahko tudi individualen, kjer operaterji s vizualno kontrolo zavrnejo določen delež steklenic – **t.i. ročni izmet na vročem delu**. Na transportnem traku pred vlaganjem v hladilno peč je postavljena dodatna odprtina za izmet, kamor lahko operaterji v primeru težav s transportom odvržejo steklenice – **t.i. krivinski transfer**. Navedeni izmeti

predstavljajo izgube v kakovosti na vročem delu linije. Vsi nadaljnji izmeti predstavljajo izgube v kakovosti na hladnem delu linije.

Ves izmet (steklenice in kaplje) na vročem in hladnem delu linije se preko odprtih v tleh izloči v etažo pod proizvodnjo, kjer poteka zbiranje in mletje odpadnega stekla v črepinje. Črepinje so recikliran material, ki se ponovno dodaja v steklarsko peč. Črepinje so osnova dobre priprave zmesi za steklo, dovaja se jih kontrolirana količina. Črepinje sicer je mogoče 100 % reciklirati, vendar je za ponovno taljenje teh v steklo potrebno vložiti toplotno energijo in energijo za transport in mletje črepinj na fino granulacijo, kar povzroča stroške.

Glede na opredelitev OEE so črepinje izguba, saj velja: izmet, (četudi) ga je mogoče reciklirati, ne prispeva k dvigu učinkovitosti in je čista izguba. Posledično ves izmet predstavlja izgubo, ne glede na zmožnost recikliranja in vračanja v peč.

Hladilna peč: v hladilni peči se s kontroliranim izgorevanjem zemeljskega plina na gorilnikih in s hitrostjo transportnega traku hladilne peči zagotovijo ustrezni temperaturni gradienti za popuščanje izdelkov. Če so gradienti nastavljeni ustrezno, bo notranja napetost izdelkov na izhodu iz hladilne peči minimalna. V primeru neustreznega procesa popuščanja pa v hladilni peči prihaja do t.i. loma steklenic (razpok v stenah) in povezanega padanja steklenic.

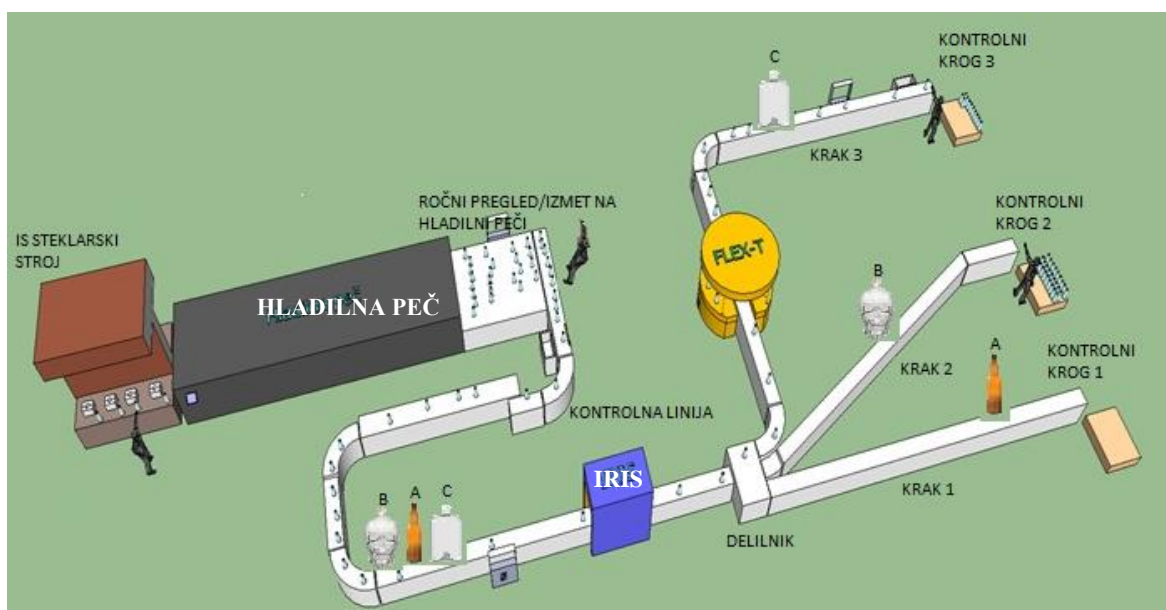
Na izstopu iz hladilne peči se zaključijo t.i. vroči del proizvodne linije (kjer poteka formiranje in popuščanje steklenic) in prične t.i. hladni del proizvodne linije (kjer poteka temeljna kontrola kakovosti in pakiranje steklenic).

4.5.3 Hladni del proizvodne linije 1

Prevzem iz hladilne peči: na hladnem delu proizvodnje iz hladilne peči izhajajo formirane steklenice, ki so prestale popuščanje notranje napetosti. V večini primerov se steklenice iz hladilne peči podajajo na transportni trak kontrolne linije. V določenih primerih (za nadaljnji transport nezadostno stabilnih izdelkov), pa se izdelki ročno pregledujejo in pakirajo že direktno na izhodu iz hladilne peči.

V primeru nestabilnih izdelkov ročno kontrolo izdelkov na koncu hladilne peči tako izvajajo izučeni kontrolorji. Ob hladilni peči so postavljene izmetne luknje, v katere se vrši izmet kakovostno neustreznih izdelkov – **t.i. ročni izmet na hladilni peči**. Vrši se 100 % ročni pregled vsakega posameznega izdelka in ne le vzorčenje. Prikaz postavitve proizvodne linije 1 je prikazan na Sliki 17.

Slika 17: Proizvodna linija 1



Povzeto in prirejeno po Solvera Lynx d.d., Steklarna Hrastnik d.o.o., Funkcionalna specifikacija za informacijski sistem SUO, 2016a.

Kontrolna linija: steklenice iz hladilne peči se podajajo na vibracijske mize kontrolne linije (razen opisanih za nadaljnji transport nestabilnih izdelkov) in transportirajo po transportnih trakovih v prvi kontrolni stroj IRIS. Stroj je inteligentni strojni vid, ki prek 16 kamer visoke resolucije in algoritmov preverja vizualne napake v trupu in ramenih steklenic. V primeru odkrite napake, stroj steklenice izvrže v izmetno luknjo – **t.i. izmet IRIS**.

Steklenice, ki prestanejo kontrolo IRIS, nadaljujejo pot do t.i. mehanskega delilnika, ki s strojnimi vidom steklenice glede na njihovo obliko (hkrati se lahko proizvajajo do trije tipi steklenic na isti liniji – t.i. multi proizvodnja) razdeli na enega od treh dodeljenih krakov. Izdelkom tipa A se tako dodeli krak 1, izdelkom tipa B krak 2, izdelkom tipa C krak 3. Če se proizvaja samo 1 tip steklenice (t.i. solo proizvodnja) ali 2 tipa steklenice, se enega od krakov izloči iz delovanja. Če se proizvajajo več kot trije tipi izdelkov, se vsak naslednji tip ročno pobira in kontrolira ter pakira že na koncu hladilne peči.

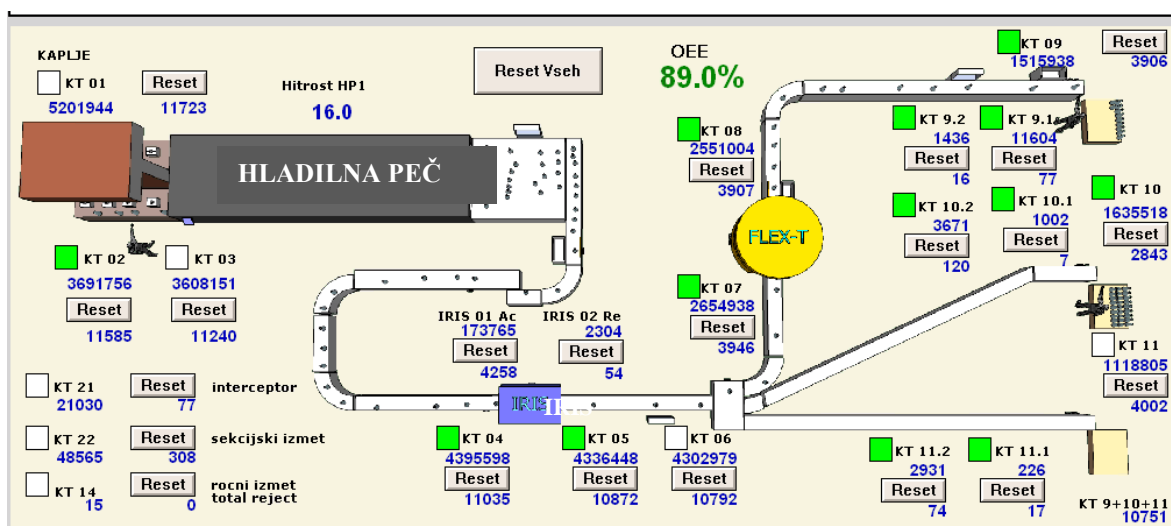
Če so steklenice na kraku 3 cilindrične oblike, se dodatno pregledujejo z drugim kontrolnim strojem FLEX, ki je kontaktni kontrolni stroj z algoritmi inteligentnega strojnega vida. Kontaktni stroj je tipa vrtiljaka – fizično manipulira s steklenico, pri čemer steklenico vrti, jo osvetljuje in pri tem zaznava napake v obliki nepravilnih odsevov. Stroj opravlja tudi meritve dimenzij in z orodji preverja fizične lastnosti luknje ter navoja steklenic. Tudi FLEX vrši izmet izdelkov, ki ne dosegajo minimalnega praga nastavljenih meritev – **t.i. izmet FLEX**. Ker je ta stroj nameščen samo na enemu od treh krakov, omogoča avtomatsko kontrolo le enega tipa izdelkov, ki mora biti cilindričnega oblika (zaradi algoritma, ki izrisuje površino steklenic na razvitem plašču steklenice).

Steklenice na vseh krakih se transportirajo mimo t.i. ogledal, kjer kontrolorji vizualno pregledujejo izdelke, ko ti potujejo mimo osvetljene površine (ogledala). V primeru opaženih napak, kontrolorji ročno izvržejo neustrezne izdelke – **t.i. izmeti na ogledalih**.

Izdelki, ki prestanejo kontrolo kontrolnih strojev in ogledal, se transportirajo do zaključka kontrolne linije, na t.i. kontrolne kroge. Na kontrolnih krogih poteka temeljni, 100 % ročni kakovostni pregled s strani kontrolorjev pred vlaganjem v palete (podobno kot na koncu hladilne peči v primeru nestabilnih izdelkov). Vsakega od izdelkov kontrolor fizično pregleda z namenom iskanja napak, ki bi jih morebitno lahko spregledali kontrolni stroji. V primeru napak kontrolor neprimeren izdelek vrže v zadnjo izmetno luknjo – **t.i. izmeti na krogih**. Če napake kontrolor ne zazna, steklenico zapakira v paleto.

Paleta se nato končno vizualno celostno pregledajo (superkontrola), kakovostno dokončno potrdijo ter ovijejo s folijo. Ovite palete s končnimi izdelki so pripravljene za skladiščenje in odpremo kupcu. V izrednem primeru lahko kupec ali superkontrola zahteva dodaten, t.i. dvojni pregled. Število zapakiranih steklenic v paletah predstavlja #SI. Na Sliki 18 so označene posamezne kontrolne točke (označene KT), ki so bile opisane v tekstu. Pri večini kontrolnik točk sta zapisani dve števili – števec. Zgornji števec prikazuje število vseh steklenic mimo kontrolne točke v določenem času, spodnji števec pa število izmeta na kontrolni točki.

Slika 18: Postavitev kontrolnih točk na proizvodni liniji 1



Povzeto in prirejeno po Solvera Lynx d.d., Steklarna Hrastnik d.o.o., Spremljanje OEE, 2016b.

Na Sliki 18 je z zeleno prikazan trenutni izračun OEE, ki znaša 89 % in je približni kvocient med številom zapakiranih steklenic (KT 9 + KT 10 + KT 11) in številom kapelj (KT 01). Takšen poenostavljen izračun je smiseln samo v primeru solo proizvodnje (na vseh krakih enak izdelek), v primeru multi proizvodnje je namreč potrebno posamezne izdelke

obravnavati ločeno in jih ponderirati po krogih. Zaradi časovnega zamika hladilne peči in povezanega izračuna prihaja do razhajanja med številom prikazanih izdelkov (na Sliki 18) in izračunano vrednostjo OEE.

4.6 Zbiranje podatkov in meritev za OEE

Za spremljanje proizvodne učinkovitosti morajo podatki meritev zagotavljati kakovostne in časovno korelirane informacije v realnem času, pridobljene na relevantnih mestih in z minimalnimi odstopanji. Oprema, ki bo zagotavljala podatke za izračun OEE:

- zaznavala za avtomatsko štetje steklenic na kontrolnih točkah proizvodne linije, ki podajajo informacije o količini izdelkov/izmeta. Zaznavala so bila za projekt OEE izbrana namensko in nameščena na definiranih kontrolnih točkah linije. Tip zaznaval je bil izbran za zaznavo reflektivnih površin stekla, upoštevani so bili pogoji okolja (visoke temperaturne obremenitve, prašnato okolje);
- krmilniki IS stroja, hladilne peči, transportnega sistema in kontrolnih strojev, iz katerih se črpajo podatki;
- terminali za ročni vnos podatkov;
- novi namenski krmilniki za OEE, ki bodo logično povezovali podatke obstoječe in nove opreme na linijah.

Podatki, ki se bodo spremljali iz navedenih virov so:

- število rezov kapelj, signal odbijalca kapelj, signal sekcijskega izmeta (nastavljive vrednosti, ki vplivajo na razpoložljivost);
- podatki o tipih in vzrokih okvar, zastojih na IS stroju (vpliv na razpoložljivost), ki jih preko terminalov ročno vnašajo operaterji strojev. Vzrok za ročno vnašanje in kombinacijo avtomatskega in ročnega sistema vnosa podatkov je široka klasifikacija napak, pri čemer ročni vnosi služijo izbiri tipa napake, avtomatski sistem pa beleži natančne podatke o dolžini zastojev in dejanskem izdelavnem času (Ljungberg, 1998). Z dobro klasifikacijo je potrebno poskrbeti, da število neidentificiranih izgub ne bo presegalo 3 %;
- števci števila steklenic na kontrolnih točkah transporta. Zaznavala so nastavljena pred in za vsako izmetno luknjo, razlika števila steklenic predstavlja izmet (vpliv na kakovost);
- podatki o tipu izdelkov (kalupih), razporeditvi kapelj po sekcijah IS stroja, podatki o dogajanju na posameznih sekcijah (temperature, izmeti po sekcijah), ki so predvsem relevantni za nadaljnjo obdelavo in vzročno-posledične analize;
- podatki o hitrosti in temperaturi v hladilni peči, ki so relevantni za nadaljnjo obdelavo in vzročno-posledične analize;
- podatki o transportnih lastnostih (hitrosti transportnega traku);

- na vročem in hladnem delu proizvodne linije bodo blizu kontrolnih točk nameščeni terminali, oz. zasloni na dotik. Vanje bodo operaterji in kontrolorji glede na prednastavljen nabor napak na izdelkih izbirali in potrjevali najpogostejše vzroke za izmet. To bo osnova za ukrepanje na vročem delu proizvodne linije, saj se bodo s temi informacijami strojniki na IS stroju osredotočili na odpravo najpogostejših napak na izdelkih, ki na hladnem delu linije povzročajo večino izmeta (vzročno-posledični ukrepi);
- kontrolni stroji bodo zagotavljali informacije o dimenzijskih meritvah steklenic in informacije o tipih napak na izdelkih (odstopanje v višini ali premeru izdelka, neustrezen navoj, umazana površina izdelka in podobno), ki povzročajo izmet po posameznih tipih steklenic (vzročno-posledični ukrepi za hitro reakcijo na vročem delu proizvodne linije);
- število zapakiranih steklenic.

Večina podatkov torej izhaja iz sistema avtomatskega zbiranja podatkov, ki je bil navkljub višjim investicijskim stroškom izbran predvsem zaradi:

- zelo visoke količine podatkov števecv (preko 2 steklenici/sekundo), kar je ročno težko merljivo;
- objektivnosti meritev in
- časovnega zapisa vsakega dogodka (koristno za analize).

4.7 Lastnosti meritev in merilnega sistema

Lastnosti izbranih meritev za spremljanje skupne učinkovitosti so sledeče:

- meritve so predvsem internega izvora;
- meritve so predvsem objektivne (temeljijo na neodvisnih meritvah) in delno subjektivne (ročno vnašanje vzrokov zastojev in izmeta);
- reference meritev so interne (število rezov glede na prejšnjo proizvodnjo) in eksterne (standardi meritev dimenzij, dopustne tlačne obremenitve);
- lokacija izvajanja meritev je tako na izhodu iz temeljnega procesa formiranja v IS stroju (proizvedeni izdelki) ali na vhodu v proces (kaplje pred IS strojem);
- podatki meritev so predvsem iz avtomatskega sistema zbiranja podatkov.

Pri snovanju sistema spremljanja skupne učinkovitosti so bile upoštevane naslednje dimenzije in karakteristike (Jonsson in Lesshammar, 1999; Caplice in Sheffi, 1995):

- **STRATEGIJA:** sistem z neposrednim merjenjem kakovosti, razpoložljivosti, zmogljivosti, posrednim merjenjem stroškov ter fleksibilnosti (menjave programov), meri in sporoča ustrezne dolgoročne in kratkoročne dejavnike uspešnosti;

- PROCESNI TOK: sistem deluje po pristopu pretoka izdelkov, orientacije po poteh izdelkov z namenom hitrega pretoka materialov. Zaradi omejenosti na proizvodno linijo ni zajeta širša preskrbovalna mreža dobaviteljev in kupcev;
- NOTRANJA UČINKOVITOST: sistem bo z vključitvijo preostalih linij omogočal dobro primerjavo med notranjimi procesi;
- ZUNANJA UČINKOVITOST: sistem ne meri zadovoljstva kupcev, ker je omejen na samo proizvodno linijo;
- RAZVOJNO GONILO: meritve števila rezov in kakovosti izdelkov neposredno spodbujajo k dvigu učinkovitosti formiranja izdelkov, kjer je potencial za izboljšave;
- ENOSTAVNO IN DINAMIČNO: zbiranje podatkov je ustrezno prilagojeno kompleksnosti.

Poleg zaznavanja je pomembno zagotoviti še kakovostno beleženje, obdelavo in shranjevanje podatkov meritev. Ustrezna procesno nadzorna enota z zadostnimi prostimi zmogljivostmi procesiranja podatkov tako skrbi za obdelavo podatkov. Procesirani podatki bodo posredovani na strežnik, ki bo zagotavljal dislociran dostop ter visoko zmogljivost shrambe podatkov in visoko uporabno vrednost.

Na podlagi opisane tehnologije procesa, navedenih kontrolnih točk, virov, lastnosti podatkov in meritev sledi prikaz izračuna podkazalnikov (A), (P), (Q) in kazalnika OEE.

4.8 Izračun OEE

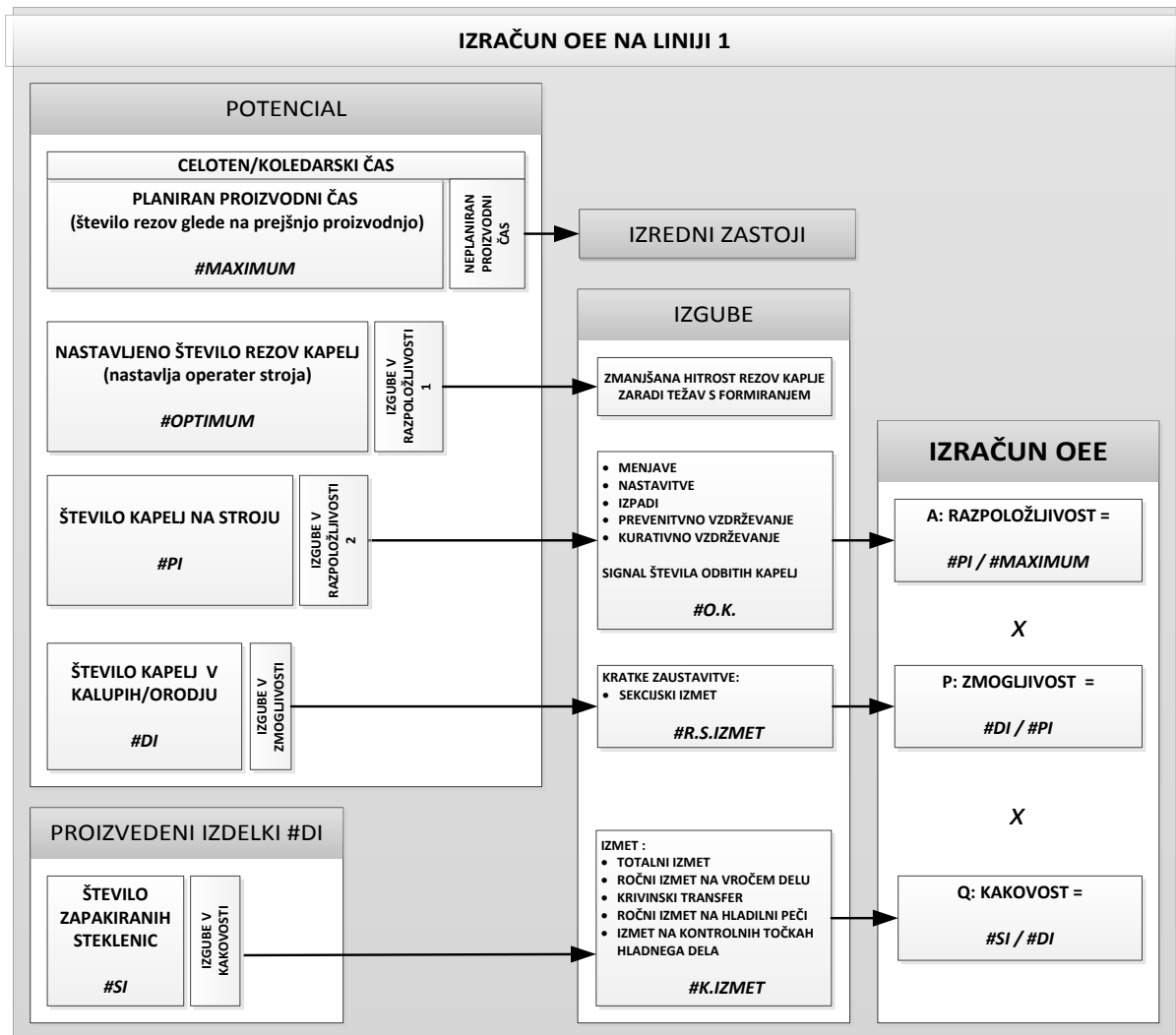
Za merjenje izgub je bil uporabljen pristop De Groote, ki meri izgube v številu izdelkov (in ne času), glede na teoretično uresničljive izdelke procesa po enačbi (3). Ker gre za kapitalno intenzivno industrijo in specifičen primer, je bila prvotna metoda izračuna neustrezna. Za namen meritve učinkovitosti je predlagana tehnološkemu procesu prirejena metoda, kombinacija izračuna OEE po pristopu De Groote in pristopa za kapitalno intenzivno industrijo (Jeong & Philips, 2001). Metoda je prikazana na Sliki 19, z nekaterimi temeljnimi značilnostmi:

- PPČ ni enak koledarskemu času, ker koledarske izgube proizvodnje (izredni zastoji) spadajo pod neplaniran proizvodni čas. Izredni zastoji so namreč posledica zunanjih dejavnikov (pomanjkanje energentov, naročil, potreba po remontu peči ali kanalov), katerih vzrok ni v sami proizvodnji liniji in jih ni smiselno vključevati v izračun učinkovitosti same proizvodne linije. Ker pa izredni zastoji predstavljajo pomemben izpad poslovanja in jih je potrebno spremljati in analizirati, služba notranjega nadzora izredne zastoje obravnava na ločenih poročilih;
- preventivno vzdrževanje spada pod izgube razpoložljivosti in ne pod izredne zastoje, ker je pomembnost razpoložljivosti pri 4-izmenskem delu izrednega pomena. Če bi namreč

preventivno vzdrževanje umestili pod izredne zastoje, ne bi bilo evidence in naslova teh zastojev, kar je neustrezno za obravnavo v 4-izmenski industriji;

- izračun izhodišča, torej razpoložljivega (maksimalnega) števila izdelkov (t.i. #MAXIMUM) temelji na podatku interne reference meritve maksimalne razpoložljivosti proizvodnje izdelka v preteklosti, ki je zabeležena. Če se ugotovi, da je maksimalno število mogoče preseči, je potrebno nemudoma dvigniti prag.

Slika 19: Izračun OEE na liniji 1



Povzeto in prirejeno po C. J. Bamber et al., *Cross-functional team working for overall equipment effectiveness (OEE)*, 2003, str. 228, tabela 1.

4.8.1 Razpoložljivost – A

Zaradi 4-izmenskega dela in kapitalno intenzivne industrije, je po principu Jeong in Phillips (2001) izhodišče izračuna koledarski čas. PPČ predstavlja koledarski čas z odbitkom

izrednih zastojev. Izredni zastoji so planirani in neplanirani izpadi zaradi ne dobave energentov, remontov, preslabe kakovosti steklene mase iz peči in podobno.

Ker gre za štetje izdelkov, se glede na razpoložljivi čas PPČ in interno referenco najvišje pretekle razpoložljivosti izdelka (rezov/minuto) določi *#MAXIMUM*. Maksimalno število rezov za določen izdelek je podatek za 100 % razpoložljivost in mora biti dejansko nastavljeno na najvišjo možno hitrost, ki je ni mogoče preseči, ta je na namreč referenčna. Maksimalno število rezov za določen izdelek je odvisno od oblike izdelka, karakteristik izdelka, karakteristik steklarskega stroja in orodja, karakteristik stekla in sposobnosti operaterja. V kolikor se ugotovi, da je število rezov lahko višje, je potrebno nemudoma korigirati referenco na višjo vrednost.

Operater nato zaradi morebitnih težav s formiranjem izdelka nastavi (nižje) dejansko število rezov kapelj *#OPTIMUM* (rezov/minuto). Razlika med *#MAXIMUM* in *#OPTIMUM* predstavlja izgube v razpoložljivosti 1. Nastavljeno število rezov kapelj *#OPTIMUM* je pogojeno s trenutno zmožnostjo obvladovanja procesa formiranja stekla v orodju – kalupu sekcije steklarskega stroja. Operater mora v ozko odmerjenem času poskrbeti za ustrezno porazdelitev temperature orodja in steklene mase ter preoblikovanje mase v izdelek brez nedovoljenih napak. Večje število rezov v časovni enoti skrajša čas zadrževanja v kalupu, kar oteži stabilen nadzor nad oblikovanjem mase. Operater torej z znižanjem števila rezov stabilizira proces formiranja, vendar s tem izgublja na izgubah v razpoložljivosti 1. Število rezov je mogoče spreminjati in nastavljati prek nadzorne plošče.

Med delovanjem stroja prihaja do daljših zaustavitev zaradi menjav in preventivnega ter kurativnega vzdrževanja. Pri tem se meri signal odbijalca kapelj *#O.K.*, ki ne grede v IS stroj. Razlika med *#OPTIMUM* in *#PI* (število kapelj na stroju) predstavlja izgube v razpoložljivosti 2. Izračun razpoložljivosti je prikazan v enačbi (12):

$$A = \frac{\#OPTIMUM - \#O.K.}{\#MAXIMUM} = \frac{\#PI}{\#MAXIMUM} \quad (12)$$

- na podlagi interne reference je določeno maksimalno število rezov/minuto *#MAXIMUM*;
- nastavljeno število rezov *#OPTIMUM* je posledica neobvladovanja hitrosti formiranja izdelkov. Z nižanjem hitrosti in razpoložljivosti 1, proces formiranja postaja lažje obvladljiv;
- od nastavljenega števila rezov *#OPTIMUM* se odštejejo vplivi zastojev – menjave, izpadi, ko je aktiven odbijalec kapelj (vsaka odbita kaplja predstavlja 1 impulz *#O.K.*).

Temeljni dejavniki izgub razpoložljivosti so:

- obvladovanje procesa formiranja v odvisnosti od hitrosti. Proces formiranje je odvisen od vrste spremenljivk (zahtevnosti in oblike izdelka, kakovostnih karakteristik izdelka,

tehničnih karakteristik steklarskega stroja, stanja in kakovosti orodja, karakteristike stekla, sposobnosti operaterja);

- trajanje kurativnih in preventivnih vzdrževalnih ukrepov na strojih (planiranje vzdrževalnih aktivnosti in okvare);
- število in trajanje dnevnih menjav programov (celotnih in po sekcijah).

K zmanjšanju kurativnih in preventivnih ukrepov vzdrževanja močno pripomorejo operaterji strojev, ki v skladu s filozofijo TPM sami avtonomno izvajajo določena vzdrževalna dela in pravočasno opazijo nepravilnosti, saj dodobra poznajo sestav in delovanje strojev. Aktivnosti preventivnega vzdrževanja so tako jasno načrtovane, pri tem pa gre za širše sprejemanje odgovornosti za stanje strojev, cilj je namreč doseganje WCM. Pomembno je poudariti, da se v sklopu TPM ločeno merijo (krajši) časi popravil in (daljši) časi zastojev, da se definira učinkovitost in odzivnost oddelka vzdrževanja.

Ker se menjave programov – kalupov vršijo praktično vsakodnevno (v povezavi s strategijo zagotavljanja visoke fleksibilnosti), imajo izgube menjav visok vpliv na razpoložljivosti in zastoje. Poleg tega gre tudi za sočasno proizvodnjo več izdelkov (multi proizvodnja), zaradi česar še dodatno narastejo časi menjav (Mileham et al., 1997). Menjave vplivajo na vse parametre procesa in povzročajo nestabilnosti (mase steklenih kapelj, druga orodja, temperaturni šoki, režimi nestabilnosti v odjemu peči). Po vsaki menjavi programa je zaznati prehodni pojav do doseganja stabilne karakteristike parametrov, kar vpliva predvsem na kakovost pri formiranju izdelka. Izvajanje menjav pa je nuja, saj tako narekuje trg.

4.8.2 Zmogljivost – P

Vse kaplje na stroju $\#PI$ se razdelijo v orodja $\#DI$ in na sekcijski izmet $\#R.S.IZMET$, ki je posledica kratkih zaustavitev in predstavlja izgube zmogljivosti. Izračun zmogljivosti je prikazan v enačbi (13):

$$P = \frac{\#PI - \#R.S.IZMET}{\#PI} = \frac{\#DI}{\#PI} \quad (13)$$

- število vseh kapelj na stroju je $\#PI$;
- od vseh kapelj na stroju se jih zaradi kratkih zaustavitev del preusmeri v sekcijski izmet $\#R.S.IZMET$, preostali del v formiranje v kalupe/orodja in nadalje predstavlja izdelke.

Temeljni dejavniki izgub zmogljivosti so kratke zaustavitve, ki so posledica:

- vzdrževalnih ukrepov s strani operaterjev, ki zajemajo čiščenje strojev, mazanje in manjše nastavitve. Do izvedbe avtomatskega spremljanja je podatek o kratkih zaustavitvah neznan, saj ni natančnih podatkov o količini in trajanju kratkih zaustavitev.

Po izvedbi avtomatskega spremljanja se bodo vse zaustavitve časovno beležile na IS stroju, operater pa bo ročno na panelu vnašal vzroke zaustavitev.

4.8.3 Kakovost – Q

Vse kaplje $\#DI$, ki se formirajo v orodjih predstavljajo izdelke. Del izdelkov je kakovostno sprejemljiv za pakiranje $\#SI$, preostali del je kakovostni izmet $\#K.IZMET$ na vročem ter hladnem delu linije in predstavlja izgube kakovosti. Izračun kakovosti je prikazan v enačbi (14):

$$Q = \frac{\#DI - \#K.IZMET}{\#DI} = \frac{\#SI}{\#DI} \quad (14)$$

- število vseh formiranih izdelkov je $\#DI$;
- število kakovostno neustreznih izdelkov, ki gre v izmet je $\#K.IZMET$;
- število kakovostno ustreznih izdelkov, ki se dokončno zapakirajo je $\#SI$.

Temeljni dejavniki izgub kakovosti so posledica:

- neustrezne kakovosti stekla (izvor steklarska peč, kanali, šobe), ki povzročajo napake na posameznih izdelkih;
- neustreznega formiranja na steklarskem stroju (težave z modeli, nastavitvami, energenti, vzdrževanjem stroja);
- neustreznega transporta (padanje, drsenje);
- neustreznega popuščanja izdelkov v hladilni peči (gradienti temperature, čas popuščanja);
- neustrezne kontrole kakovosti (izdelki so ustrezni, a jih kontrola označi za neustrezne).

Kakovostni izmet na kontrolnih točkah ugotavljajo delno operaterji strojev (na vročem delu linije) in kontrolorji (na hladnem delu linije). Zahteve glede potrebne ravni kakovosti so odvisne od kakovostnega razreda izdelka. Obstajajo 3 kakovostni razredi (S, P in SP). Razred S ima najnižje zahteve glede kakovosti, najvišji razred SP pa dopušča zelo malo kozmetičnih napak. Ne glede na kakovostni razred niso dovoljene napake, ki bi lahko ogrozile fizikalne lastnosti izdelka. Vsak izdelek z nedopustno napako predstavlja kakovostni izmet ($\#K.IZMET$).

4.8.3 Skupna proizvodna učinkovitost – OEE

Na podlagi opisanih podkazalnikov (A), (P), (Q) je mogoče izračunati OEE kot zmnožek vseh treh podkazalnikov, kar prikazuje enačba (15). Pomembna razlika med staro in novo metodo spremljanja učinkovitosti je, da nova metoda zajema tudi izgube v razpoložljivosti 1, ki jih stara metoda ni zajemala (razpoložljivo število rezov kapelj je $\#MAXIMUM$). Na ta

način je mogoče slediti trenutni izgubi v razpoložljivosti 1 – operaterjevi trenutni nastavitvi rezov glede na referenčno prejšnjo proizvodnjo.

$$UČINKOVITOST_{NOVA METODA} = \frac{\text{število zapakiranih steklenic (neto)}}{\text{št.izd.glede na pr.proizvodnjo}} = \frac{\#SI}{\#MAXIMUM} \quad (15)$$

4.8.4 Zakasnitev podatkov zaradi hladilne peči

Temeljna tehnološka ovira pri spremljanju učinkovitosti proizvodnje je čas, ki je potreben za popuščanje steklenic. Zadrževalni čas steklenic v hladilni peči namreč znaša tudi prek treh ur. Ker je hladilna peč zaprti tunel, se ta obravnava kot »črna škatla« in spremljanje kakovosti steklenic znotraj procesa popuščanja ni mogoče. To pomeni, da se steklenice od vstopa na vročem delu linije do izstopa na hladnem delu linije zadržujejo prek 180 minut, šele po tem času kontrola kakovosti na hladnem delu sprejme steklenice.

Zaradi zadrževalnega časa je rezultate ukrepov (vzročno-posledična informacija) formiranja opaziti šele po več kot treh urah, ko se vrši pregled kakovosti na hladnem delu linije. Tj. potrebno upoštevati tudi pri prevzemu izmene, kjer je prvih 180 minut rezultatov izgub kakovosti na hladnem delu linije posledica prejšnje izmene. Zamik časa se pri izračunu OEE zaenkrat korigira z enotno časovno referenco.

4.8.5 Izračun OLE, OEEML

Ker gre za proizvodno linijo, ki je sestavljena iz 3 temeljnih postrojenj (procesov) v serijski vezavi (steklarski stroj, transportni trakovi na vročem delu linije, hladilna peč), bi bilo mogoče izračunati tudi kazalnik skupne učinkovitosti proizvodne linije (OLE ali OEEML). Ker pa se je takšen izračun zaradi kompleksnosti v tej fazi izkazal za neizvedljivega, ni bil izveden. Argumenti proti izračunu OLE, oz. OEEML so:

- ni mogoče izvajati kontrole kakovosti za IS strojem ali za transportnim trakom ločeno, kajti izdelki morajo sprva v popuščanje v hladilno peč. Posledično ni mogoče ugotoviti kakšna je učinkovitost posameznega procesa;
- ozko grlo proizvodne linije (resurs znotraj proizvodne linije, ki določa maksimalni pretok in je posledica nezadostne zmogljivosti opreme) je znano in je hitrost formiranja steklenic na IS stroju, ki je najbolj zahteven proces v proizvodni liniji. Zmogljivost in razpoložljivost vseh procesov pred in za formiranjem na steklarskem stroju je višja:
 - zmogljivost kanala stekla je višja kot dopušča formiranje in ni ozko grlo procesa.;
 - zmogljivost hladilne peči je predimenzionirana, omogoča večji transport stekla (t/dan), kot pogojuje formiranje in ni ozko grlo procesa;
 - transportni trakovi do hladilne peči in transport od hladilne peči preko kontrolnih strojev in proces pakiranja so tudi dimenzionirani za višje zmogljivosti in ne predstavljajo ozkega grla.

Na podlagi tega je bilo ugotovljeno, da izračun OLE oz. OEEML v trenutni fazi ni izvedljiv, ker mora vsak izdelek prek vseh procesov, preden je mogoče določiti kakovost izdelka. V fazi kakovostnega pregleda pa izgube povečini ni več mogoče pripisati posameznemu procesu (formiranju, popuščanju ali transportu).

Razvoj proizvajalcev kontrolnih strojev in opreme v steklarski industriji pa se vse bolj usmerja v kontrolo izdelkov že na vročem delu proizvodne linije. Tehnologija zajema predvsem infrardeče kamere, ki prek zajemanja toplotnega sevanja spremljajo porazdelitev stekla na še vročih izdelkih direktno iz IS stroja. Na podlagi tega bodo informacije o dimenzijskih meritvah, o kakovosti in temeljnih napakah izdelkov na voljo že pred vstopom v kanal hladilne peči. Napake na izdelkih bo mogoče odpraviti že prej, s segmentacijo in analizo vročega in hladnega dela proizvodne linije, pa bo izgube kakovosti mogoče pripisati posameznemu postrojenju (IS stroju, transportnim trakovom ali hladilni peči). Na podlagi teh informacij bi izračun kazalnika skupne učinkovitosti proizvodne linije (OLE ali EEML) postal smiseln, ker bi bilo mogoče vsak proces obravnavati ločeno.

4.8.6 Izračun OFE, OTE

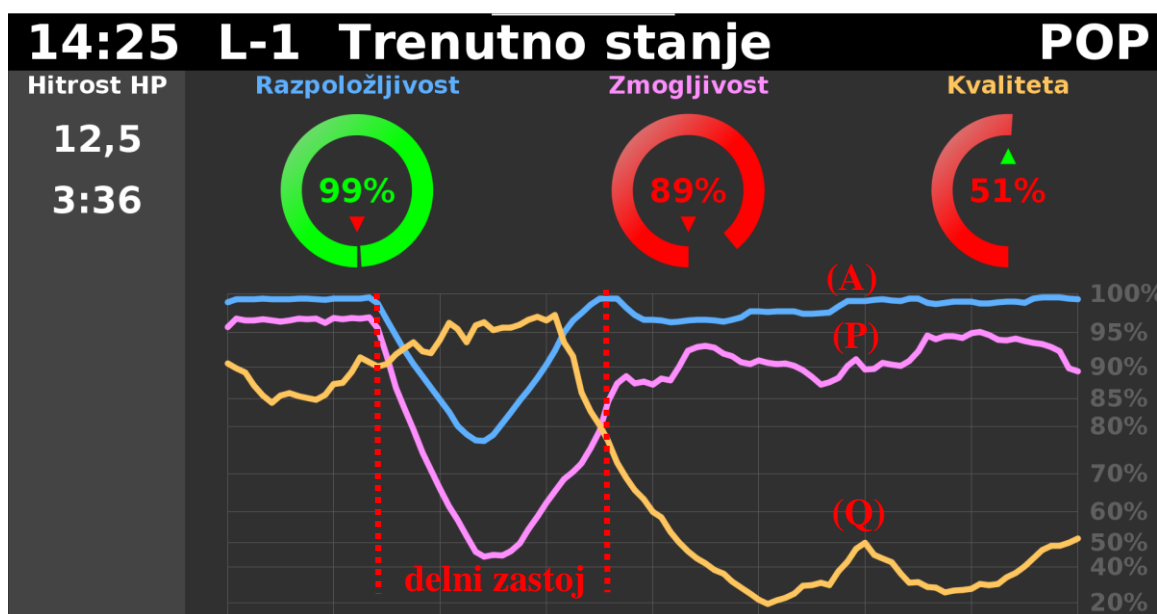
Enostaven izračun skupne učinkovitosti na ravni tovarne (OFE in OTE) po enačbi (10) bo smiseln, ko se bo avtomatsko spremljanje proizvodne učinkovitosti izvedlo na vseh proizvodnih linijah. Prej je takšen izračun nesmiseln, saj ni zadostnih podatkov za analizo celotne tovarne.

4.9 Poročanje podatkov OEE

Izračun OEE bo potekal po navedenih enačbah, potrebno pa je zagotoviti, da bodo rezultati izračuna OEE vidni vsem deležnikom procesa. S pregledom nad trenutnim stanjem proizvodnje in analizo OEE bo vodstvo razpolagalo prek oddaljenega dostopa. Proizvodno osebje (operaterji strojev, kontrolorji in ostali deležniki) pa bo podatke proizvodne učinkovitosti OEE spremljalo preko več zaslonov v vročem in hladnem delu proizvodne linije. Na zaslonih na strateških mestih se bodo vrstili in izmenjevali prikazi stanja v obliki ekranskih slik.

Trenutno so predvidene 3 ekranske slike. Prva ekranska slika (Slika 20) bo prikazovala trenutne vrednosti razpoložljivosti, zmogljivosti, kakovosti in trende teh:

Slika 20: Zaslonska slika trenutnih vrednosti in trendov A, P, Q



Povzeto in prirejeno po Solvera Lynx d.d., Steklarna Hrastnik d.o.o., Spremljanje OEE, 2016b.

Na Sliki 20 so prikazani:

- nad zgornjem delu slike je prikazan trenutni čas in navedba, da gre za popoldansko izmeno (POP);
- na zgornjem levem delu slike je prikazana hitrost mreže hladilne peči (12,5 enot) in zadrževalni čas popuščanja (3 ure, 36 minut) v hladilni peči, od katerega je odvisen časovni zamik steklenic med vhomom v hladilno peč (na vročem delu linije) in izhodom iz hladilne peči (na hladnem delu linije);
- znotraj treh obarvanih krogov so prikazane trenutne vrednosti podkazalnikov OEE: (A) – 99 %, (P) – 89 %, (Q) – 51 %. Trenutne vrednosti se glede na predoločene vrednosti obarvajo v zeleno (sprejemljivo) in rdeče (nesprejemljivo). S puščico je pod vsako izmed trenutnih vrednosti prikazan trenutni trend gibanja podkazalnika. Izračunavanje trenutnih vrednosti se sporoča in poteka na minutnem nivoju;
- trije grafi prikazujejo trende (A), (P), (Q) v času zadnjih 8 ur (mreža je razdeljena v 8 stolpcev). Izbran časovni razpon zajema trajanje posamezne izmene. Na trendih je z rdečo (črtkana črta) označen čas delne menjave programa na delu stroja (delni zastoj), ki je potekal v prvi polovici izmene. Proces delne zaustavitve stroja je trajal okoli 1 ure (od pričetka upada razpoložljivosti do minimuma grafa), nato je sledil ponoven zagon stroja, ki je traja okoli 1 ure (od minimuma razpoložljivosti do stabilne vrednosti). Opaziti je sledeče:
 - s pričetkom menjave sledi strm upad razpoložljivosti (A) in zmogljivosti (P) zaradi delne zaustavitve stroja. Po zaključku delne menjave (najnižja točka obeh grafov)

sledi opazen dvig (A) in (P) na podobno, a nižjo raven kot pred menjavo (posledica nestabilnosti).

- padanje kakovosti (Q) procesu menjave sledi z zamikom. Razlog je v tem, da s pričetkom menjave novih izdelkov na traku ni več (stroj ni aktiven), posledično tudi ni izmeta in negativnega vpliva na kakovost. Zadnji izdelki, ki so nastali pred menjavo pa se bodo popuščali še 3,5 ur, preden se bo sploh lahko vršil pregled in morebiten izmet. Upad kakovosti sledi šele z zaključkom menjave, ko so prvi novi izdelki že na traku, vendar se zaradi njihove slabe kakovosti (posledica nestabilnosti po menjavi) vrši skoraj 100 % izmet že na vročem delu proizvodne linije. Sama kakovost (Q) pa pada počasneje, saj se sočasno pregledujejo še izdelki z zamikom 3,5 ur iz hladilne peči (katerih kakovost je podobna kot pred menjavo – okoli 95 %). Ker pa se njihov delež relativno na nove izdelke sčasoma manjša, temu sledi tudi padanje kakovosti (Q).

Slika 21: Zaslonska slika vrednosti izmeta po točkah

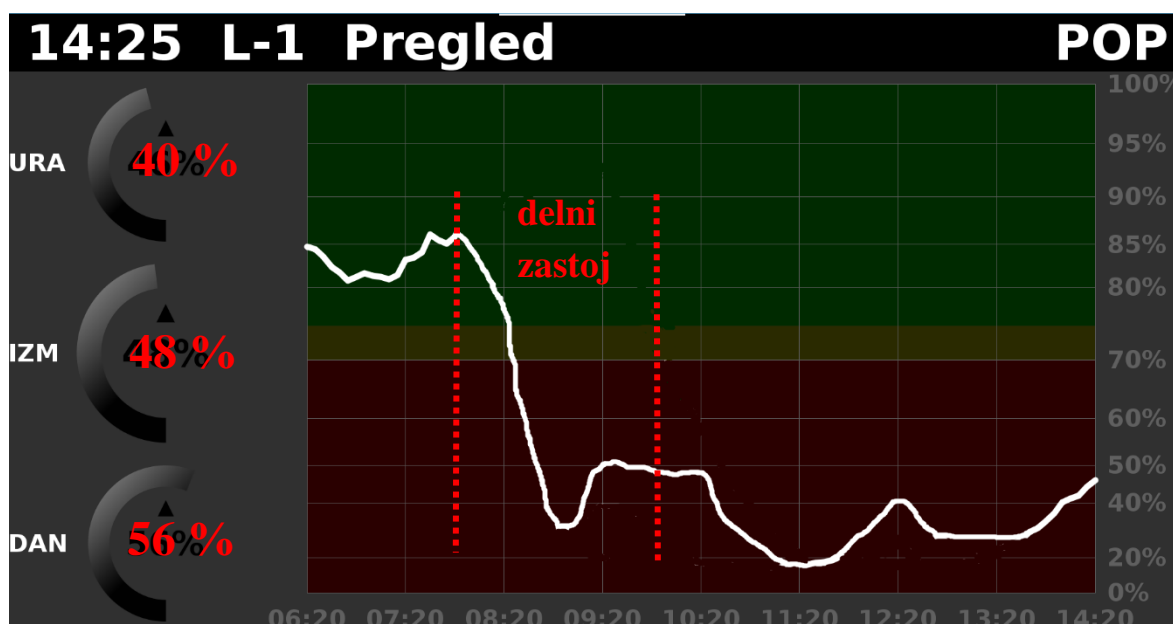
14:25 L-1 Trenutni izmet		POP	
Izmet vroči del	11,2%▲	Izmet hladni del	57,9%▼
Odbijalec kaplje	0,7%▲	Hladilna peč	35,8%▼
Ročni izmet	1,2%▲	Iris	4,1%▼
Sekcijski izmet	2,1%▲	Ogledalo	0,0%●
Totalni izmet	0,1%▼	Flex-T	0,6%▼
Krivinski transfer	7,2%▲	Krog 1	8,0%▲
		Krog 2	4,3%▲
		Krog 3	5,0%▼

Vir: Solvera Lynx d.d., Steklarna Hrastnik d.o.o., Spremljanje OEE, 2016b.

Druga zaslonska slika (Slika 21) prikazuje povprečne vrednosti izmeta (#K.IZMET) po kontrolnih točkah znotraj časovnega cikla potovanja izdelkov skozi hladilno peč (3 ure 36 minut). Na podlagi tega je mogoče izračunati izgube kakovosti, prikazane pa so lokacije izmeta. Iz slike je opaziti, da izmet na vročem delu znaša 11,2 %, izmet na hladnem delu (kjer je večina kontrole) pa 57,9 % od vseh proizvedenih izdelkov (#DI). Skupen povprečen izmet (#K.IZMET) v obdobju zadnjih 3 ur in 36 minut tako znaša okoli 69 %, (Q) posledično okoli 31 %. Vrednost se razlikuje od vrednosti (Q) = 51 % na Sliki 20. Razlog je v tem, da je na Sliki 20 prikazana trenutna vrednost (Q) na minutnem nivoju, na Sliki 21 pa povprečna vrednost (Q) v zadnjih 3 urah in 36 minutah.

Tretja zaslonska slika (Slika 22) prikazuje trend gibanja OEE v zadnjih 8 urah in povprečne vrednosti OEE v zadnji uri, izmeni in dnevu. Na grafu je z rdečo (črtkana črta) označen čas delne menjave programa. Opaziti je, da je pred menjavo vrednost OEE dosegala okoli 80 %, s pričetkom menjave pa vrednost OEE zaradi zaustavitve stroja in znižanja (A) in (P) pada. Na sredini časa menjave (v najnižji točki OEE), je bil stroj ponovno zagnan. Vrednost (A) in (P) z zagonom stroja ponovno narašča, vendar je kakovostnih izdelkov iz časa pred menjavo vse manj, novi izdelki (po menjavi) pa so zaradi nestabilnih razmer precej nekakovostni. Približno 6 ur po menjavi vrednost OEE ponovno narašča z doseganjem zadostne kakovosti izdelkov po menjavi (ta čas je zelo odvisen od lastnosti izdelka, ki se trenutno proizvaja).

Slika 22: Zaslonska slika trenda OEE v uri, izmeni in dnevu



Povzeto in prirejeno po Solvera Lynx d.d., Steklarna Hrastnik d.o.o., Spremljanje OEE, 2016b.

Predlagane zaslonske slike se sproti razvijajo z namenom iskanja optimalnega prikaza in so bile že nekajkrat spremenjene in dopolnjene. Na podlagi zaslonskih slik je trenutno mogoče:

- spremljati razpoložljivost in zmogljivost IS stroja;
- spremljati lokacije in posledično vzroke za kakovostni izmet;
- slediti odmiku od ciljnih vrednosti učinkovitosti;
- analizirati učinke ukrepov (preko povratne zanke);
- spremljati odmike učinkovitosti glede na prejšnje izmene. Trenutne vrednosti in časovni trendi bodo imeli zaradi tekmovalnosti med izmenami predvidoma visok psihološki vpliv, posledično je predviden pozitiven trend dvigovanja učinkovitosti;
- generirati alarme pri prenizkih vrednostih učinkovitosti in akutno ukrepati ter daljnoko opozarjati vodstvo podjetja.

Trenutna analiza z izrisom trenda OEE in prikazom povprečne vrednosti za zadnjih 24 ur, bo po pričakovanjih imela pozitiven vpliv pri menjavi izmen, ko zaradi menjave ekip na strojih prihaja do večjih deviacij in predvsem trenutnih padcev učinkovitosti. Po pričakovanjih sodeč je namreč produktivnost izmene najvišja sredi izmene (stabilni parametri), pri pričetku in koncu izmene pa je ta nižja. Izmena pri prevzemu na strojih namreč potrebuje določen čas za stabilizacijo in obvladovanje razmer, proti koncu izmene pa utrujenost in težki pogoji dela (vročina, prah) botrujejo k znižanju koncentracije in produktivnosti. Ker je med posameznimi izmenami prisotna tekmovalnost, so v principu mogoče tudi zlonamerne sabotaze stabilnih pogojev pred predajo izmene. Z obstoječim načinom spremljanja učinkovitosti (podatki so se beležili le na ravni posameznih izmen po preteku delavnika), trendom ni bilo mogoče natančno slediti. S spremljanjem trenutnih podatkov in krivulj pa bo mogoče zaznati vsako deviacijo in jasno popisati pogoje ter jih tudi analizirati.

4.10 Trenutni rezultati analiz

Trenutne analize spremljanja učinkovitosti prikazujejo visoko nihanje proizvodne učinkovitosti, kar je pričakovana posledica same narave proizvodnega sistema. Vzrok za nihanje vrednosti podkazalnikov (A, P, Q) so pogoste menjave in ostale nestabilnosti v procesu (zastoji na opremi, nastavitve, spremembe temperaturnih režimov, preventivni in kurativni vzdrževalni ukrepi). Na podlagi dosedanjega spremljanja sistema so rezultati merjenja proizvodne učinkovitosti sledeči:

- ocenjena srednja vrednost razpoložljivosti pri stabilni proizvodnji trenutno niha okoli 95 %, rezultat pa med menjavami in zastoji strojev zaradi vzdrževalnih ukrepov pade na vrednost okoli 0 %. Oddelek vzdrževanja sicer poskuša preventivne vzdrževalne ukrepe združevati z zastoji zaradi menjav, da bi bilo zaustavitev karseda malo. Direktno po menjavi in odpravi napak na opremi razpoložljivost naraste na okoli 20 %, nato pa polagoma narašča;
- ocenjena srednja vrednost zmogljivosti pri stabilni proizvodnji trenutno niha okoli 90 %. Zmogljivost med kratkimi zastoji zaradi vzdrževalnih ukrepov na posameznih sekcijah (mazanje orodja, obnavljanje orodja, popravilo posamezne sekcije) pade na vrednost okoli 85 % in je odvisna od števila zaustavljenih sekcij in trajanja zaustavitve (1 sekcija predstavlja 1/8 stroja). Zmogljivost med kompletnimi menjavami pade na vrednost blizu 0 %, saj kaplje ne padajo v sekcije stroja. Po začetnih nastavitvah pri menjavi, zmogljivost naraste na okoli 40 % in polagoma narašča;
- ocenjena srednja vrednost kakovosti je povsem odvisna od tipa izdelka in niha od 40 % do 99 % (oblikovno enostavnejši izdelki dosegajo višjo raven kakovosti kot izdelki kompliciranih oblik, izmet pa je odvisen tudi od kakovostnega razreda proizvodnje). Pričakovano je pri zastoji proizvodnje vrednost kakovosti 0 %, po nastavitvah pa ta povsem v odvisnosti od kompleksnosti artikla narašča. Kakovost narašča najpočasneje od vseh podkazalnikov, saj je doseganje ustrezne kakovosti pri procesu formiranja

artiklov najbolj zapleteno z vidika doseganja stabilnih temperatur, hitrosti, hlajenja in ostalih nastavitvev na stroju;

- ocenjena srednja vrednost OEE trenutno niha od 60 % do 90 %;
- ker so v proizvodnem procesu prisotne pogoste menjave, ki vidno znižujejo učinkovitost (Sliki 20 in 22), bi bilo smiselno menjave in nastavitve opravljati čim redkeje (temu prilagoditi plan proizvodnje), skrajšati njihove čase in jih izvajati karseda učinkovito;
- ker preventivni in kurativni vzdrževalni ukrepi (zastoji) močno znižujejo učinkovitost proizvodnega procesa, jih je potrebno karseda optimizirati. Oddelek vzdrževanja s planiranimi ukrepi preventivnega vzdrževanja skrbi, da do zastojev zaradi kurativnega vzdrževanja praktično ne prihaja. Na podlagi dobrih praks vzdrževalci preventivno vzdrževanje na strojih izvajajo v času menjav programov, da je vpliv zastojev zaradi vzdrževanja minimalen (združevanje zastojev vzdrževanja z zastoji stroja zaradi menjave). Z analiziranjem podatkov OEE je tako mogoče natančno analizirati ukrepe in posledice vzdrževanja.

Doseganje stopnje WCM, ki je po Nakajimi 84 %, je zaenkrat zaradi narave procesa vprašljivo. Tudi sicer pa Bamber et al. (2003), Dal, Tugwell in Greatbanks (2000) navajajo, da je zaradi različnih okoliščin zelo težko določiti optimalne vrednosti OEE, ki med panogami močno nihajo. Vsekakor je potrebno stalno spremljanje in prizadevanje za dvig srednjega in trenutnega stanja OEE.

Dodatna prednost spremljanja OEE in baze podatkov bo v analiziranju napak, ki povzročajo izgube razpoložljivosti, zmogljivosti in kakovosti v povezavi s proizvodnjo točno določenega izdelka. Z analizo podatkov bo tako mogoče odkriti katere napake so občasnega značaja (večji raztros okoli normalnega stanja) in katere napake so kroničnega značaja (kompleksne napake nizkega raztrosa okoli normalnega stanja).

Identifikacija kroničnih napak bo kompleksnejša in bo možna samo s primerjavo trenutne zmogljivosti opreme s teoretičnim maksimumom. Identifikacija občasnih napak pa bo enostavnejša in bo omogočala ciljno identifikacijo vzrokov za upad trenutne učinkovitosti proizvodnje ter delitev odgovornosti na deležnike. To bo imelo tudi visok psihološki vpliv in pritisk na vsakega posameznika in oddelek, da optimalno opravi svoje delo (timi priprav orodja, timi dodeljenih strojnikov po posameznih strojih, vzdrževalci).

V analizo proizvodne učinkovitosti bi bilo v prihodnosti smiselno vključiti tudi finančni vidik poslovanja. Z določitvijo in spremljanjem trenutnih stroškov izmeta, stroškov porabljene energije in stroškov vzdrževalnih aktivnosti, bi lahko določili trenutne lastne cene vsakega izdelka, oz. kombinacije izdelkov v sočasni proizvodnji. Takšna analiza bi omogočala ovrednotenje vplivov zunanjih dejavnikov in izvajanje optimalnega planiranja proizvodnje glede na proizvodne kapacitete in povpraševanje na trgu.

4.11 Izzivi pilotnega projekta

Zagon projekta na pilotni liniji 1 je trajal več mesecev, projekt pa je v stalnem izpopolnjevanju. Zelo pomembni so predvsem predlogi in pripombe proizvodnega osebja (izmenovodij, strojnikov), ki najbolj aktivno spremljajo stanje učinkovitosti trenutnih izmen na ekranskih slikah in tako izpostavijo problematiko. Temeljni izzivi pri zagonu spremljanja učinkovitosti so naštetih v nadaljevanju.

- **ISKANJE IZVAJALCA REŠITVE:**
na mednarodnem trgu sicer obstajajo določene že razvite kompleksne rešitve spremljanja učinkovitosti proizvodnje v steklarski industriji. Takšne rešitve pa so izredno drage, zato je bil interes naročnika, da uporabi svoje bogato znanje tehnološkega procesa in poišče kompetentnega partnerja pri razvoju programa. Izbran je bil način sodelovanja prek skupnega razvoja, pri čemer je izvajalec ponudil svoje strokovno znanje, razvoj programske opreme in elektronske storitve, naročnik pa je definiral tehnološki del procesa in zahteve. Sodelovanje med partnerjema je dobro in poteka na strokovni ravni.
- **TEHNOLOGIJA ZAZNAVAL IN POSTAVITEV TEH:**
potrebno je bilo izbrati zaznavala, ki so ustreznega tipa (glede na zaznavanje refleksnih površin stekla), ki morajo biti prilagojena pogojem dela (visoke temperature, prašni delci) in omogočati natančne in dolgoročno zanesljive meritve. Izbrana zaznavala je bilo potrebno tudi postaviti na strateške lokacije, predvsem so to kontrolne točke izmeta.
- **VKLJUČITEV OBSTOJEČIH PODATKOV OBSTOJEČE OPREME:**
ker se v sistem OEE povezujejo obstoječe naprave (prek obstoječih krmilnikov), ki temu niso bile prvotno namenjene, je bilo potrebno pripraviti dostope in protokole na teh napravah ter podatke ustrezno prenašati v centralni krmilnik OEE in jih obdelovati. Nemalokrat proizvajalci opreme ne dopuščajo možnosti branja podatkov s krmilnikov, kar lahko povzroča težavo.
- **IZRAČUN IN FORMULACIJA KAZALNIKOV:**
izračun podkazalnikov in OEE se sproti prilagaja in razvija glede na opazovanje sistema. Metoda izračuna je prilagojena tehnološkemu procesu, vendar je pogojena z lokacijo in tehnologijo zaznaval, s podatki iz obstoječih krmilnikov in z zamikom zaradi zadrževalnega časa popuščanja.
- **OBLIKOVANJE USTREZNIH EKRANSKIH SLIK:**
v razvoj ekranskih slik (slike 20, 21, 22) na zaslonih proizvodne linije, je bilo vloženo veliko truda in optimizacij, da bi te prikazale potrebne podatke – trende in izračune učinkovitosti na proizvodnji liniji. Glede na vzpostavljanje sistema je pričakovati, da se bodo ekranske slike nadalje optimizirale.

- **TEŽAVE S STABILNOSTJO SISTEMA IN OPREME:**
pri vzpostavitvi pilotne linije so nastajale težave s stabilnostjo sistema, ki so posledica medsebojne komunikacije opreme, težav s programsko opremo (hrošči), napak v programiranju, neustreznem rokovanju z zaznavali in podobno. Težave so v fazi uvajanja povzročale občasni izpad sistema OEE ali nepravilne podatke, vzrok zanje pa so bila tudi premaknjena ali umazana zaznavala na liniji (neustrezno rokovanje delavcev na liniji). Sčasoma bodo s spremljanjem sistema pripravljene tudi ustrezni protokoli preventivnega vzdrževanja opreme, da bo sistem stabilen.
- **PRIVAŽANJE OSEBJA IN SPREJEMANJE SPREMENB:**
pričakovati je, da bodo prehod, razumevanje in sprejemanje OEE kot temeljnega indikatorja stanja proizvodnje pri vseh deležnikih dolgoročen proces. Zaradi določenih »porodnih krčev« in izzivov pri uvajanju in testiranju sistema, je kredibilnost v sistem spremljanja učinkovitosti OEE na začetku dokaj nizka. Razlog je predvsem to, da prinaša določene nove zahteve in spremembe, ki zahtevajo dodaten napor. Z vzpostavitvijo stabilnega sistema pa je pričakovati, da bo sistem OEE postal širše sprejemljiv in kredibilen kazalnik dejanskega stanja ter prava orientacijska vrednost za vse deležnike. Šele takrat bo dodana vrednost sistema maksimalna.

SKLEP

Spremljanje učinkovitosti proizvodnje je v kapitalno intenzivni in 4-izmenski panogi, kot je steklarstvo, zelo pomembno, ker finančni kazalniki ne zagotavljajo zadostnih informacij za dvig proizvodne učinkovitosti in povezane uspešnosti podjetja. Zaradi slabosti finančnih kazalnikov, je potrebna uporaba sistemov in kazalnikov za merjenje proizvodne učinkovitosti. Eden najbolj razširjenih kazalnikov na tem področju je kazalnik OEE, ki je bila izbrana metoda spremljanja učinkovitosti v primeru Steklarne Hrastnik.

Obstoječi, stari način spremljanja proizvodne učinkovitosti v Steklarni Hrastnik je za popis in spremljanje procesa izdelave steklenih izdelkov precej neučinkovit, saj temelji na ročnem vnašanju podatkov in ročnih izračunih proizvodne učinkovitosti. Pri tem je prisotnih več slabosti, zaradi človeškega faktorja namreč prihaja do pogostih napak, podatki pa se sporočajo z zamikom in posledično ne omogočajo spremljanja trenutne učinkovitosti. Posledično tudi ni mogoča analiza trenutnega stanja, hitre optimizacije in odprave napak, kar znižuje učinkovitost procesov.

Zaradi omenjenih slabosti trenutnega spremljanja učinkovitosti, je bila sprejeta odločitev v izvedbo avtomatskega spremljanja učinkovitosti proizvodnje z metodo OEE. Metoda OEE je bila izbrana, ker kazalnik OEE omogoča kakovostne analize procesov ter identifikacije in eliminacije napak procesov s segmentacijo le-teh. V primeru Steklarne Hrastnik metoda OEE omogoča tudi nekatere dodatne prednosti v povezavi s samim tipom proizvodnje steklenih izdelkov:

- v Steklarni Hrastnik se uporablja precej zahteven strojni park, ki zahteva kakovostno preventivno vzdrževanje, saj so zaradi izpadov proizvodnje povezani finančni stroški precej visoki. Metoda OEE temelji na konceptu TPM, oziroma močnem povezovanju funkcije proizvodnje in vzdrževanja z optimizacijo slednje;
- ker so variabilni stroški zaradi porabe energentov precej visoki, je potrebna natančna analiza učinkovitosti proizvodnje, kar metoda OEE omogoča;
- v Steklarni Hrastnik se proizvajajo visoko kakovostni izdelki, katerih proces izdelave je izredno specifičen, menjave proizvodnih programov pa so zelo pogoste. Poleg menjav proizvodnih programov, se ponavadi izvaja tudi sočasna proizvodnja različnih izdelkov. Zaradi navedene specifikacije proizvodnje, je povezana učinkovitost proizvodnje nižja, metoda OEE pa z ločenim izračunom razpoložljivosti, zmožljivosti in kakovosti za vsak tip izdelka in kombinacijo le-teh, omogoča optimizacije procesov in odpravo ozkih grl.

Na podlagi izbrane metode spremljanja učinkovitosti, je bilo sprva potrebno teoretično temeljito preučiti model kazalnika skupne učinkovitosti opreme OEE. Na podlagi teoretičnega ozadja metode OEE, ter poznavanja in preučitve samega proizvodnega procesa, je bil na pilotni liniji razvit in procesu prilagojen matematični model izračunavanja učinkovitosti proizvodnje. Model je povsem prilagojen samemu proizvodnemu procesu Steklarne Hrastnik. Matematični model je bilo potrebno dopolniti z vzpostavitvijo kompleksnega sistema meritev, ki je nastal na podlagi poglobljenega znanja o procesu. Na podlagi razvitega matematičnega modela in sistema meritev, je bil na pilotni liniji L1 izveden model spremljanja proizvodnje s postavitvijo ustrezne merilne in procesne infrastrukture, oziroma zaznavali in podporno tehnologijo. Po potrditvi modela in postavitvi infrastrukture, je sledila faza zagona projekta OEE.

Z zagonom projekta avtomatskega spremljanja proizvodnje, bo mogoče odpraviti pomanjkljivosti trenutnega spremljanja učinkovitosti, projekt pa bo omogočal:

- spremljanje trenutnega stanja proizvodnje prek nameščenih zaslonov v proizvodnji. Na podlagi tega bo trenutno stanje razpoložljivosti, zmožljivosti in kakovosti vidno vsem deležnikom procesa, kar bo imelo pozitiven psihološki vpliv na izvajanje njihovega dela;
- s pomočjo analiziranja opreme in vzrokov izgub proizvodnih časov, bo mogoče odpraviti ozka grla in posledično dvigniti učinkovitost proizvodnje;
- na podlagi spremljanja trenutnega stanja in opozarjanja na variacije, je pričakovati skrajšanje reakcijskega časa pri težavah v proizvodnji ter skrajšanje časov nastavitvev in menjav, kar omogoča višjo vrednost razpoložljivosti, oziroma povezane učinkovitosti;
- s pomočjo hranjenja podatkov bodo na voljo izredno široke in uporabne baze podatkov, ki bodo z nadaljnjimi obdelavami omogočale kakovostno analizo proizvodnje, iskanja ozkih grl in ostalih ključnih kritičnih točk ter operacij in izgub, ki znižujejo učinkovitost proizvodnje. Analiziranje podatkov se bo izvajalo tako na trenutni ravni za prikaz učinkovitosti OEE (podatki zadnje izmene, zadnje ure), kot tudi kasneje, pri čemer bo

preko mehanizma povratne zanke z nadaljnimi analizami podatkov (Six-Sigma ipd.) mogoče najti vzporednice med vzroki in posledicami.;

- na podlagi analize podatkov je pričakovana detajlna analiza obstoječe kadrovske strukture deležnikov (tako številčno, kot kvalitativno) ter sčasoma priprava optimalne kadrovske strukture, ki zvišuje dodano vrednost procesov in ne povzroča dodatnih stroškov;
- analiza spremljanja učinkovitosti bo postala še pomembnejši indikator poslovanja, ko bo spremljanja proizvodne učinkovitosti mogoče povezati s finančnimi podatki, kot so stroški energentov, lastni stroški izdelkov, stroški vzdrževanja, stroški kadrovske strukture in ostali. S povezovanjem finančnih podatkov in podatkov analize proizvodne učinkovitosti bo tako mogoče izboljšati planiranje procesov, optimizirati stroške in dvigniti uspešnost poslovanja.

Na podlagi navedenih prednosti in pričakovanih učinkov, je pričakovana optimizacija proizvodnega procesa tako pri obstoječih, kot pri prihodnjih zmogljivostih delovnih sredstev. Na podlagi pozitivnih učinkov spremljanja učinkovitosti, je predviden dvig učinkovitosti proizvodnje na ravni vsaj 1 %, kar pri obstoječem obsegu proizvodnje pomeni dokaj kratko vračilno dobo glede na investicijski vložek in predvidene minimalne stroške vzdrževanja sistema.

Napovedi in izračuni pa temeljijo na predpostavki, da bo projekt OEE sprejet kot uporaben indikator stanja proizvodnje z vidika vseh deležnikov. Učinkovito delovanje sistema je mogoče le z nadaljnimi stalnimi analizami in optimizacijami procesa, izobraževanjem in sodelovanjem vseh deležnikov proizvodnje, sodelovanjem projektnega tima, ki koordinira uvajanje sistema in sodelovanjem menedžmenta, ki podpira celotno filozofijo sistema. Predvsem zaradi aktivnega vključevanja temeljnih deležnikov v proces, se na nameščenih zaslonih v proizvodnji stalno izmenjujejo in prikazujejo ekranske slike trenutnega stanja, ki se prilagajajo glede na opažanja deležnikov. Na podlagi je bil sistem karseda približan deležnikom. Glede na dosedanje delo na pilotnem projektu in pozitiven pristop vseh deležnikov je pričakovati, da bo sistem zelo funkcionalen in koristen, še posebej, ko bo vzpostavljen na vseh proizvodnih linijah.

Projekt že izkazuje uporabno vrednost, predvsem zaradi pozitivnega psihološkega vpliva stalnega spremljanja učinkovitosti na ekranskih slikah. Vsakršen upad učinkovitosti je namreč takoj viden, zaradi česar je prisotno tudi stalno prizadevanje deležnikov, da do tega ne pride. Poleg tega je možna tudi jasna primerjava med delom posameznih izmen, kar onemogoča sabotaze pri predaji izmene. S spremljanjem učinkovitosti je opaziti, da učinkovitost procesov močno niha, predvsem glede na sam tip izdelka, kadrovsko strukturo (izmeno) in pogoje stekla. Na podlagi tega se ustvarjajo baze podatkov, kjer se hranijo podatki o učinkovitosti za vsak posamezen tip izdelka, ki se kasneje analizirajo.

Uporabna vrednost projekta OEE je dokaj visoka, ker model omogoča spremljanje učinkovitosti v vseh procesnih podjetjih s podobnim tipom proizvodnje. Če se bo model izkazal za zelo uporabnega, je predvideno celo njegovo trženje na tujih trgih, predvsem v steklarnah podobnega tipa. Na sistemu je v prihodnosti sicer predvidena še nadgradnja spremljanja učinkovitosti z izračunom učinkovitosti proizvodne linije in nadaljnjo segmentacijo linije na posamezne procese, kar bo mogoče doseči s tehnološkim razvojem strojnega vida in kontrolnih strojev. Ko bo mogoče izračunati učinkovitost proizvodne linije, pa bi bilo vse proizvodne linije z modeliranjem smiselno povezati v sistem spremljanja učinkovitosti celotnega obrata, oziroma tovarne. Takšno spremljanje učinkovitosti na ravni tovarne bi omogočalo maksimalne koristi, ker bi bili učinki optimizacij še večji. V vsakem trenutku bi tako bil mogoč daljinski dostop do večine proizvodnih procesov, kar bi vsekakor pozitivno vplivalo na dvig povezane uspešnosti poslovanja podjetij.

LITERATURA IN VIRI

1. Bamber, C. J., Castka, P., Sharp, J. M., Motara, Y. (2003). Cross-functional team working for overall equipment effectiveness (OEE). *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 9(3), 223–238.
2. Beamon, B. M. (1999). Measuring supply chain performance. *International Journal of Operation Management*, 19(3), pp. 275–292.
3. Beatson Clark. (b.l.). Glass Process flow. Najdeno 27. septembra 2016 na spletnem naslovu: <http://www.beatsonclark.co.uk/pdf/FactoryPoster.pdf>
4. Bhimani, A., Horngren, C. T., Datar, S. M., & Foster, G. (2015). *Management and cost accounting*. Harlow: Pearson Education.
5. Blanchard, B. S. (1997). An enhanced approach for implementing total productive maintenance in the manufacturing environment. *Journal of Quality in Maintenance*, 3(2), 69–80.
6. Braglia, M., Frosolini, M., Zammori, F. (2009). Overall equipment effectiveness of a manufacturing line (OEEML). *Journal of Manufacturing Technology Management*, 20(1), 8–29.
7. Caplice, C, Sheffi, Y. (1995). A review and evaluation of logistics performance measurement systems. *International Journal of Logistics Management*, 6(1), 61–74.
8. Carlucci, D. (2010). Evaluating and selecting key performance indicators: an ANP-based model. *Measuring Business Excellence*, 14(2), 66–76.
9. Castka, P., Bamber, C. J., Sharp, J. M., Belohoubek, P. (2001). Factors affecting successful implementation of high performance teams. *Team Performance Management: An international Journal*, 7(7/8), 123–134.
10. Chan, F. T. S., Lau, H. C. W., Ip, R. W. L., Chan, H. K., Kong, S. (2005). Implementation of total productive maintenance: A case study. *International Journal of Production Economics*, 95(1), 71–94.
11. Chand, G., Shirvani, B. (2000). Implementation of TPM in cellular manufacture. *Journal of Materials Processing Technology*, 10, 149–154.
12. Charaf, K.; Ding, H. (2015). Is Overall Effectiveness (OEE) Universally Applicable? The Case of Saint-Gobain. *International Journal of Economics and Finance*, 7(2), 241–252.
13. Dal, B., Tugwell, P., Greatbanks, R. (2000). Overall equipment effectiveness as a measure of operational improvement a practical analysis. *International Journal of Operations & Production Management*, 20(12), 1488–1502.
14. De Groote, P. (1995). Maintenance performance analysis: a practical approach. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 1(2), 4–24.
15. Gagnon, M. A., Michael, J. H. (2003). Employee Strategic Alignment at a Wood Manufacturer: An Exploratory Analysis Using Lean Manufacturing. *Forest Products Journal*, 53(10), 24–29.

16. Huang, S. H., Dismukes, J. P., Shi, J., Su, Wang, G., Razzak, M. A., Robinson, D. E. (2002). Manufacturing System Modelling for Productivity Improvement. *Journal of Manufacturing Systems*, 21(4), 249–259.
17. Huang, S. H., Dismukes, J. P., Shi, J., Su, Q., Razzak, M. A., Bodhale, R., Robinson, D.E. (2003). Manufacturing productivity improvement using effectiveness metrics and simulation analysis. *International Journal of Production Research*, 41(3), 513–527.
18. Ingemansson, A., Ylipää, T., Bolmsjö, G. S. (2005). Reducing bottlenecks in a manufacturing system with automatic data collection and discrete-event simulation. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 16(6), 615–628.
19. Ishikawa, K. (1982). *Guide to Quality Control*. Tokyo: Asian Productivity Organization.
20. Jeong, K., Phillips, D. T. (2001). Operational efficiency and effectiveness measurement. *International Journal of Operations & Production Management*, 21(11), 1404–1416.
21. Jonsson, P., Lesshammar, M. (1999). Evaluation and improvement of manufacturing performance measurement systems – the role of OEE. *International Journal of Operations & Production Management*, 19(1), 55–78.
22. Kaplan, R. S. (1984). The Evolution of Management Accounting. *The Accounting Review*, 59(3), 390–418.
23. Ljungberg, Ö. (1998). Measurement of overall equipment effectiveness as a basis for TPM activities. *International Journal of Operations & Production Management*, 18(5), 495–507.
24. Mathur, A., Dangayach, G. S., Mittal, M. L., Sharma, M. K. (2011). Performance measurement in automated manufacturing. *Measuring Business Excellence*, 15(1), 77–91.
25. Melton, T. (2005). The Benefits of Lean Manufacturing - What Lean Thinking has to Offer the Process Industries. *Chemical Engineering Research and Design* 83(A6). 662–673.
26. Muchiri, P., Pintelon, L. (2008). Performance measurement using overall equipment effectiveness (OEE): literature review and practical application discussion. *International Journal of Production Research*, 46(13), 3517–3535.
27. Munteanu, D., Gabor, C., Munteanu, I., Schreiner, A. (2010). Possibilities for increasing efficiency of industrial equipments. *Bulletin of the Transilvania University of Braşov*, 3(52), 1404–1416.
28. Muthiah, K. M. N., Huang, S. H., Mahadevan, S. (2008). Automating factory performance diagnostics using overall throughput effectiveness (OTE) metric. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 36(7/8), 811–824.
29. Nachiappan, R. M., Anantharaman, N. (2006). Evaluation of overall line effectiveness (OLE) in a continuous product line manufacturing system. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 17(7), 987–1008.
30. Nakajima, S. (1988). *Introduction to TPM*. Cambridge: Productivity Press.

31. Nayak, D. M., Kumar, M. N., Naidu, S. G., Shankar, V. (2013). Evaluation of OEE in a continuous process industry on an insulation line in a cable manufacturing unit. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 5(2), 1629–1634.
32. Oechsner, R., Pfeffer, M., Pfitzner, L., Binder, H., Müller, E., Vonderstrass, T. (2003). From Overall Equipment Effectiveness to Overall Fab Effectiveness (OFE). *Materials Science in Semiconductor Processing*, 5. 333–339.
33. Puvanasvaran, P., Teoh, Y. S., Tay, C. C. (2013). Consideration of demand rate in Overall Equipment Effectiveness (OEE) on equipment with constant process time. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 6(2), 507–524.
34. Raouf, A. (1994). Improving Capital Productivity through Maintenance. *International Journal of Operations & Production Management*, 14(7), 44–52.
35. Rose, E., Semiconductor, H., Odom, R., Dunbar, R., Hichma, J. (1995). How TOC and TPM work together to build the quality toolbox of SDWTs. *Electronics Manufacturing Technology Symposium* (str. 56–59). Austin, Texas, IEEE.
36. Scott, D., Pisa, R. (1998). Can overall factory effectiveness prolong Moores law? *Solid State Technology*, 41(3), 75–82.
37. Samad, M. A., Hossain, M. R., Asrafuzzaman, M. (2012). Analysis of Performance by Overall Equipment Effectiveness of the CNC Cutting Section of a Shipyard. *ARNP Journal of Science and Technology*, 2(11), 1091–1096.
38. Siemens Industry, Inc. (2016). *IS Machine*. Najdeno 27. septembra 2016 na spletnem naslovu: <http://www.industry.usa.siemens.com/drives/us/en/motion-control-systems-and-solutions/motion-control-industry-solutions/glass/pages/hollow-glass.aspx>
39. Solvera Lynx d.d., Steklarna Hrastnik d.o.o. (2016a). *Funkcionalna specifikacija za informacijski sistem SUO* (interno gradivo). Ljubljana: Solvera Lynx d.d., Steklarna Hrastnik d.o.o.
40. Solvera Lynx d.d., Steklarna Hrastnik d.o.o. (2016b). *Spremljanje OEE* (interno gradivo). Ljubljana: Solvera Lynx d.d., Steklarna Hrastnik d.o.o.
41. Steklarna Hrastnik d.o.o. (2014a). *Konsolidirano letno poročilo podjetja Steklarna Hrastnik d.o.o. za leto 2013*. Hrastnik: Steklarna Hrastnik d.o.o.
42. Steklarna Hrastnik d.o.o. (2014b). *Uspešen zaključek naložbe v enoti SPECIAL*. Najdeno 27. septembra 2016 na spletnem naslovu: <http://www.steklarna-hrastnik.si/medijsko-sredisce1/sporocila-za-javnost/576->
43. Steklarna Hrastnik d.o.o. (2015). *Konsolidirano letno poročilo podjetja Steklarna Hrastnik d.o.o. za leto 2014*. Hrastnik: Steklarna Hrastnik d.o.o.
44. Steklarna Hrastnik d.o.o. (2016a). *Pregled investicij* (interno gradivo). Hrastnik: Steklarna Hrastnik d.o.o.
45. Steklarna Hrastnik d.o.o. (2016b). *Revidirano letno poročilo podjetja Steklarna Hrastnik d.o.o. za leto 2015*. Hrastnik: Steklarna Hrastnik d.o.o.
46. Swanson, L. (2001). Linking maintenance strategies to performance. *International Journal of Production Economics* 70(3), 237–244.

47. Tangen, S. (2003). An overview of frequently used performance measures. *Work Study*, 52(7), 347–354.
48. Waeyenbergh, G., Pintelon, L., (2002). A framework for maintenance concept development. *International Journal of Production Economics*, 77(3), 299–313.
49. White, G.P. (1996). A survey and taxonomy of strategy-related performance measures for Manufacturing. *International Journal of Operations and Production Management*, 16(3), 42–61.
50. Williamson, R.M. (2006). Using Overall Equipment Effectiveness: The metric and the measure. *Strategic Work System, Inc., Columbus NC 28722*, 1–6.

PRILOGA

PRILOGA: Seznam uporabljenih kratic

Kratica	Angleški izraz	Pomen
A (v povezavi z OEE)	Availability	Razpoložljivost opreme (podkazalnik OEE)
DPČ		Dejanski proizvodni čas
ERP	Enterprise resource planning	Celovita informacijska rešitev
JIT	Just In Time	Proizvodnja brez zalog
KPI	Key Performance Indicator	Ključni kazalnik delovanja
LA	Line Availability Efficiency	Podkazalnik linijske razpoložljivosti za OLE
LCC	Life Cycle Costs	Stroški celotnega življenjskega cikla izdelka
LP	Line Performance Efficiency	Podkazalnik linijske zmogljivosti za OLE
LPLQ	Line Production Quality Performance Efficiency	Podkazalnik združene linijske zmogljivosti in kakovosti za OLE
LQ	Line Quality Efficiency	Podkazalnik linijske kakovosti za OLE
NPČ		Neto proizvodni čas
OAE	Overall Asset Effectiveness	Skupna učinkovitost opreme
OEE	Overall Equipment Effectiveness	Skupna učinkovitost opreme
OEEM	Overall Equipment Effectiveness of a Manufacturing Line	Skupna učinkovitost proizvodne linije
OFE	Overall Factory Effectiveness	Skupna učinkovitost tovarne
OLE	Overall Line Effectiveness	Skupna učinkovitost proizvodne linije
OPE	Overall Plant Effectiveness	Skupna učinkovitost obrata
OTE	Overall Throughput Effectiveness	Skupna učinkovitost pretoka
P (v povezavi z OEE)	Performance	Zmogljivost opreme (podkazalnik OEE)
PEE	Production Equipment Effectiveness	Skupna učinkovitost opreme
PPČ		Planiran proizvodni čas
Q (v povezavi z OEE)	Quality	Kakovost opreme (podkazalnik OEE)
R&R		Razvoj in raziskave

ROE	Return On Equity	Donosnost kapitala
ROI	Return On Investment	Donosnost naložbe
SMED	Single-Minute Exchange of Die	Metoda skrajšanja časov pri menjavah
SPČ		Sprejemljiv proizvodni čas
TPM	Total Productive Maintenance	Celovito produktivno (preventivno) vzdrževanje
TQM	Total Quality management	Celovito obvladovanje kakovosti
WCM	World Class Manufacturing	Proizvodnja na stopnji svetovnega razreda