

MERANIE OEE AKO Kľúčový ASPEKT PRI HODNOTENÍ EFEKTÍVNOSTI VÝROBNÝCH PROCESOV

MEASURING OEE AS A KEY ASPECT IN EVALUATING THE EFFICIENCY OF PRODUCTION PROCESSES

Ing. Peter Malega, PhD.

Bc. Iryna Cuperová

Technická univerzita v Košiciach

Strojnícka fakulta

Katedra priemyselného a digitálneho inžinierstva

Park Komenského 9, 042 00 Košice,

peter.malega@tuke.sk

Abstract: The aim of this paper is to describe the measurement of Overall Equipment Effectiveness, because this metrics is one of the key aspect for production companies, while it contains all necessary elements of production processes. The first part of the paper describes the efficiency of production processes and you can find there the difference between efficiency and effectiveness. The second part deals with OEE that is the key aspect by measuring the efficiency. The third part is about data for OEE calculation and losses by OEE calculation.

Key words: efficiency, effectiveness, Overall Equipment Effectiveness, production process

Úvod

Úspešne manažovaná spoločnosť má snahu o zvyšovanie efektívnosti výroby a o dosiahnutie najväčšieho efektu, pretože to je jednou z hlavných úloh, ktorá prispieva k ďalšiemu fungovaniu a rozvoju podniku v moderných trhových podmienkach. [1, 9]

Efektívnosť je rozsiahly pojem, preto môže byť sledovaný v podnikoch z rôzneho profesijného pohľadu. Ako nástroj pre sledovanie efektívnosti výroby nadobudol široké uplatnenia vo svete ukazovateľ Celkovej efektívnosti zariadenia (OEE), nakoľko chod výrobného zariadenia zásadne ovplyvňuje docielenie konečných výrobných zámerov podniku.

Efektívnosť výrobných procesov

Neustále sledovanie faktorov a mechanizmov, ktoré ovplyvňujú výrobnú činnosť podniku, je dôležitou podmienkou pre jej efektívnosť a konkurencieschopnosť. Pri výrobnej a hospodárskej činnosti je potrebné dosiahnuť stanovené ciele s čo najmenšími nákladmi na výrobné zdroje, prácu a čas, čo znamená dosahovať najväčší efekt. [3]

Vo všeobecnosti platí, že efektívnosť je ekonomickou kategóriou, ktorá udáva vzťah medzi dosiahnutými výsledkami a zdrojmi spojených s ich výrobou. Inak povedané, je to pomer výsledného

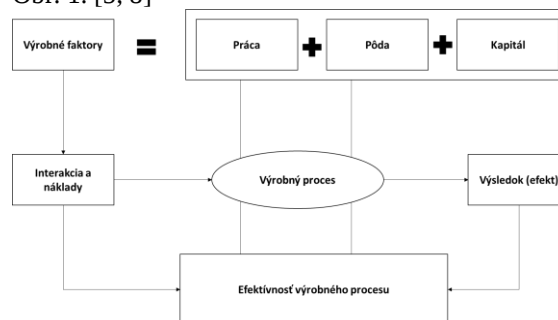
ekonomického efektu k nákladom na jeho dosiahnutie. [2]

Matematicky formalizovaný tvar definície efektívnosti má nasledovnú podobu:

$$E = \frac{Ef}{N} \quad (1)$$

kde: E – efektívnosť,
 Ef – efekt získaný z činnosti podniku za určité časové obdobie, vyjadrený v peňažných jednotkách,
 N – náklady na výrobu za rovnaké časové obdobie, vyjadrené v peňažných jednotkách.

Napriek tomu pre podrobný prieskum efektívnosti vo výrobnej činnosti nie je postačujúce tento pojem chápať len ako pomer alebo koeficient. Efektívnosť je indikátorom snahy ku dosiahnutiu konečného výsledku. Je to variácia správnosti, presnosti smeru k nemu, ale nie je to samotný výsledok. Zmysel efektívnosti môže byť vyjadrený takýmto matematickým konceptom ako vektor, ktorý umožňuje určiť smer rozvoja výroby. Tým pádom sa pod efektívnosťou rozumie dôsledok skutočnosti, že veci sú vytvárané správne a vedú k úspechu organizácie. Schéma formovania výsledkov a efektívnosti výrobného procesu je zobrazená na Obr. 1. [5, 8]



Obr. 1 Formovanie výsledkov a efektívnosti výrobného procesu

Na hodnotenie efektívnosti výrobného procesu je možné použiť Koncepciu troch „E“ (economy, efficiency and effectiveness). Ide o model hospodárnosti, efektívnosti a účinnosti výroby [4]:

1. *Hospodárnosť (economy)* znamená použitie náležitých množstiev zdrojov primeranej kvality v správnom čase, na správnom mieste a za vhodnú cenu, t.j. správne vynaloženie.

Hospodárnosť vo výrobe je možné dosiahnuť napr. úsporami pri nákupe vstupov (získanie vstupných zdrojov za ceny nižšie ako bolo plánované) a úsporami

pri používaní týchto vstupov (s použitím menšieho množstva vstupných zdrojov pri dosiahnutí plánovaného výstupu). Analytický model pre výpočet hospodárnosti je v tomto prípade nasledovný:

$$EC = \frac{\dot{U}_V}{C_{p.v.}} = \frac{V_{1plan} - V_{1skut}}{V_{1plan}} \quad (2)$$

kde: EC – hospodárnosť výroby,
 $\dot{U}_V$ – úspora vstupov,
 $C_{p.v.}$ – plánovaná cena vstupov,
 V_{1skut} – skutočné množstvo vstupov,
 V_{1plan} – plánované množstvo vstupov.

2. *Efektívnosť (efficiency)* – je pomerom medzi produktom vo forme poskytovaných tovarov (služieb) a výrobnými faktormi (zdrojmi), ktoré sa použili na ich vytvorenie. Charakterizuje mieru racionálneho využitia finančných, organizačných, materiálnych a ľudských zdrojov.

Analytický model pre výpočet efektívnosti je nasledovný:

$$E = \frac{V_2 - V_1}{V_1} = \frac{Ef}{V_1} \quad (3)$$

kde: E – efektívnosť výroby,
 V_1 – vstupy,
 V_2 – výstupy,
 Ef – efekt.

3. *Účinnosť (effectiveness)* – je mierou realizácie plánovanej činnosti a dosiahnutie plánovaných výsledkov. Predstavuje kritérium zosúladienia použitých prostriedkov a výsledkov so stanoveným cieľom.

Analytický model pre výpočet účinnosti je nasledovný:

$$EFF = \frac{V_{2skut}}{V_{2plan}} \quad (4)$$

Kde: EFF – účinnosť výroby,
 V_{2skut} – skutočné množstvo výstupov,
 V_{2plan} – plánované množstvo výstupov.

Vysoká efektívnosť naznačuje, že podnik pracuje na hranici svojich pracovných a technologických schopností, ďalšie zvýšenie výroby je spravidla možné vykonať iba zvýšením jeho technologickej úrovne. Zníženie efektívnosti vedie k tomu, že stúpajú výrobné náklady, resp. klesá produktivita, čo vedie k stratám a k poklesu konkurencieschopnosti podniku. Okrem ekonomického efektu, ktorý je možné dosiahnuť pomocou zlepšenia kvality výrobných procesov, sú aj technické, sociálne, environmentálne a ďalšie výsledky dosiahnuté zavedením inovácií a zabezpečením kvality výrobkov v existujúcich technologických procesoch. [6]

Vzťah medzi pojmami hospodárnosť – efektívnosť – účinnosť je zobrazený na Obr. 2. [2]



Obr. 2 Vzťah medzi pojmami hospodárnosť – efektívnosť – účinnosť

OEE ako kľúčový aspekt pri hodnotení efektívnosti

Celková efektívnosť zariadenia (Overall Equipment Effectiveness – OEE) je hlavný ukazovateľ totálne produktívnej údržby zariadení (TPM), systému zameraného na zlepšovanie výrobných procesov zabezpečením efektívnej prevádzky zariadení a trvania jeho doby životnosti. Kritérium OEE meria, ako efektívne je kapitálové zariadenie využívané identifikáciou obmedzení a aký vplyv majú obmedzenia na OEE. Zameranie OEE a jeho ciele sú znázornené v Tab. 1. [7]

Tab. 1 Zameranie a ciele OEE

Celková efektívnosť zariadenia OEE	
Identifikuje:	- potenciál zariadenia - straty - príležitosti
Hlavné ciele:	- zvýšiť produktivitu - znížiť náklady - zvýšiť povedomie o potrebe produktivity strojov - predĺžiť životnosť zariadenia

Obvykle sa s efektívnosťou zariadení asociuje pojem produktivita, čo znamená množstvo výrobkov, ktoré pomocou pracovníka alebo zariadenia môže byť vyrobené za určité časové obdobie. OEE sa však líši od produktivity vo viacerých parametroch.

Efektívnosť zariadenia zahŕňa nielen ukazovatele produktivity, ale aj ukazovatele dostupnosti a kvality. Tým pádom výkon je len jeden z troch prvkov OEE. Pre výpočet OEE je potrebné znásobiť ukazovatele výkonu, dostupnosti a kvality, pričom získaný výsledok bude odrážať percentuálnu hladinu OEE. Prvky systému OEE možno charakterizovať nasledovne [2]:

- Dostupnosť zariadenia predstavuje percento plánovaného času, počas ktorého je operácia k dispozícii na prevádzku. Inak povedané, dostupnosť predstavuje percento času, keď je stroj k dispozícii vyrábať diely.
- Výkonová časť predstavuje rýchlosť, pri ktorej stroj beží, ako percento z jeho navrhovanej rýchlosti. Inými slovami, ide o

skutočnú rýchlosť stroja vo vzťahu k navrhovanej rýchlosti stroja.

- Kvalitatívna časť predstavuje vyrobené dobré jednotky ako percento z celkového počtu vyrobených jednotiek. Inými slovami, ide o percento výsledných dielov, ktoré zodpovedajú špecifickým požiadavkám zákazníka.

Výpočet celkovej efektívnosti zariadenia a jeho zložiek je znázornený na Obr. 3.

$$\text{OEE} = \text{Dostupnosť} \times \text{Výkon} \times \text{Kvalita} \times 100$$

$\frac{\text{Skutočný čas výroby}}{\text{Čistý čas výroby}}$

$\frac{\text{Skutočný výkon}}{\text{Planovaný výkon}}$

$\frac{\text{Skutočný výkon bez zrážok}}{\text{Skutočný výkon}}$

Obr. 3 Výpočet celkovej efektívnosti zariadenia a jeho zložiek

Tab. 2 Hlavné straty na zariadení

OEE FAKTOR	6 VEĽKÝCH STRÁT	PRÍKLAD	CIELE
Straty Dostupnosti	1. Neplánované prestoje	- poruchy stroja vplyvom mechanického, elektrického, pneumatického alebo hydraulického defektu, - ostatné poruchy - chýbajúci materiál, nástroje alebo pomocné látky, - neplánovaná údržba,	nulový stav
	2. Straty kvôli nastaveniam	- zoraďovanie a nastavenie - výmena prípravku, nástroja, - preventívna údržba, - čas nábehu zariadenia,	minimálny stav
Straty Výkonu	3. Behy naprázdno, krátke prestávky	- abnormálna činnosť senzorov, - zaseknutie komponentov, - čistenie/kontrola,	nulový stav
	4. Znížená rýchlosť	- nesúlad medzi navrhnutou a skutočnou rýchlosťou zariadení, - opotrebenie zariadenia, - neefektívna práca operátora,	nulový stav
Straty Kvality	5. Chyby v procese	- nepodarky a nedostatky v kvalite, ktoré potrebujú opravu - nesprávna montáž,	nulový stav
	6. Straty rozbehom	- redukcia času medzi štartom a stabilnou prevádzkou,	minimálny stav

Dôležitosť váhy každého prvku systému celkovej efektívnosti zariadenia je zrejmá. Aj keď je stroj k dispozícii takmer 100% času a je využívaný takmer 100% času, jeho OEE môže byť extrémne nízka. Môže to byť spôsobené výkonom stroja alebo jeho kvalitou produkcie.

V ideálnom prípade by mal byť každý stroj neustále v dobrom prevádzkovom stave a mal by sa

využívať, kedykoľvek je to potrebné. Efektívne použité zariadenie pracuje vždy s optimálnou rýchlosťou a počas prevádzky nevytvára situácie, v ktorých by sa mohli vyskytnúť defekty produktu.

Fungovanie zariadenia však nie je vždy bezchybné. Stroje nie sú stále v prevádzkyschopnom stave. Dosahovanie maximálnej rýchlosti spracovania výrobku predstavuje značný problém.

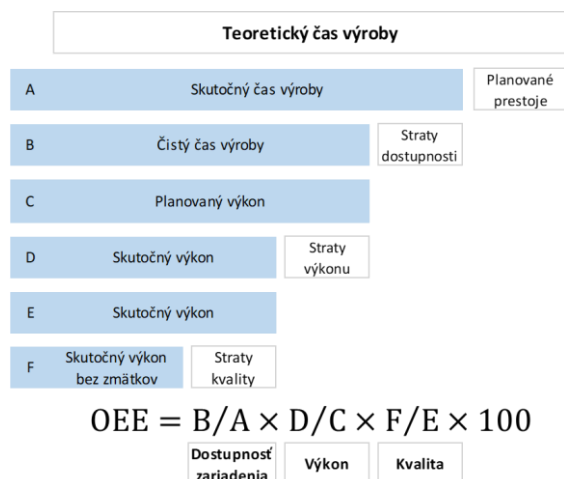
Okrem toho niekedy prevádzka zariadení priamo, resp. nepriamo prispieva k vzniku defektov.

Všetky tieto nedostatky fungovania zariadenia sú podmienené stratami – činnosťami, ktoré nevytvárajú hodnotu.

Pochopenie a schopnosť rozpoznať rôzne typy strát pomôžu správne zmerať celkovú efektívnosť zariadenia a zároveň zlepšiť jeho výkon odstránením týchto strát.

Straty spôsobené zvláštnosťami fungovania zariadenia úzko súvisia s prvkami OEE a znižujú efektívnosť zariadení. V rámci systému totálne produktívnej údržby zariadení je definovaných šesť veľkých strát charakterizovaných v Tab. 2.

Na Obr. 4 je zobrazené, ako straty znižujú dostupnosť zariadení, výkonnosť a kvalitu čím sa znižuje počet dobrých výrobkov, ktoré sa na stroji vyrábajú za jednu zmenu. Úroveň kvality sa dá zvýšiť zvýšením počtu kvalitných výrobkov, ale objem výroby sa nedá výrazne zvýšiť, pokiaľ má podnik nízku dostupnosť a výkonnosť zariadenia.



Obr. 4 Komplexný pohľad na OEE

Proces hodnotenia celkovej efektívnosti zariadenia pozostáva z niekoľkých krokov [2]:

1. Zber údajov:
 - a. Zistenie, čo je potrebné merať. – Predtým, ako sa začne merať OEE, treba sa rozhodnúť, ktoré technické parametre stroja sú na to potrebné. Hlavné parametre, ktoré je potrebné zmerať, súvisia so stratami, ktoré ovplyvňujú efektívnosť fungovania zariadenia (6 veľkých strát).
 - b. Vyvinutie jednoduchých postupov zberu údajov. – Meranie ukazovateľov OEE by nemalo zaťažovať pracovníkov, čo znamená minimálne úsilie pri vyplňaní tabuliek.
2. Spracovávanie dát – analýza údajov a zobrazenie výsledkov v grafoch a tabuľkách. V tejto etape sa uskutoční výpočet ukazovateľov celkovej efektívnosti zariadenia.
3. Uloženie údajov – ukladanie dát musí byť usporiadané. Softvérové zabezpečenie umožňuje automatizovať výpočty a organizovať ukladanie údajov vo vhodnom tvare pre analýzu.
4. Evidencia a posúdenie výsledkov:

- a. Výsledky merania by sa mali prejavovať v grafoch a tabuľkách, ktoré môžu operátori používať.
- b. Zabezpečenie širokého prístupu k výsledkom merania. – Sami od seba indikátory OEE nie sú prospešné, a to najmä vtedy, ak sa zhromažďujú iba pre štatistiku bez analýzy s pracovníkmi v prevádzkach.

Meranie OEE umožňuje presne zistiť, ktoré straty znižujú efektívnosť využitia zariadení. Pravidelným sledovaním OEE sa dajú identifikovať zákonitosti a trendy spôsobujúce problémy s fungovaním zariadení. Okrem toho, meranie tohto ukazovateľa umožňuje vidieť výsledky operácií na zlepšenie používania zariadenia. [10, 12]

Dáta pre výpočet OEE a straty pri ukazovateli OEE

Dáta, ktoré sú pre výpočet OEE nevyhnutné, je nutné presne definovať, aby bolo možné vykonať jednotné spracovanie a následné vyhodnotenie. Pre zber dát sa využívajú tieto postupy:

- Ručné zoskupenie dát a ich spracovanie (najčastejšie sa využíva Microsoft Excel),
- Poloaautomatický zber dát (kódy prestojov, automatické off-line posúdenie v informačnom systéme).
- Priebežný automatický zber s použitím systémov MES (Manufacturing Executive System) – následné on-line vyhodnotenie s alternatívou optimalizácie daného procesu.

Ukazovateľ OEE ovplyvňuje mnoho strát. Je nutné si ich uvedomiť, následne monitorovať a po vykonaní analýzy je dobré ich eliminovať alebo im v lepšom prípade vďaka prevencii predchádzať.

- Straty spôsobené organizačnými príčinami
Neplánované straty môžu predstavovať aj evidované prestoje, ktoré vznikli rozhodnutím manažmentu napr. z organizačných dôvodov. Medzi spomínané straty sa radí napr. celozávodná dovolenka, štátne sviatky, či neplánované zmeny, ktoré sú spôsobené nedostatkom objednávok a pod.

- Straty kvôli nižšej výkonnosti stroja
Tieto straty sú zapríčinené horším technickým stavom zariadenia. Príčinou môže byť zastaranosť stroja alebo nevhodná údržba. Stroj tak má nižšiu výkonnosť ako pri nadobudnutí a tento fakt nie je jednoduché odstrániť.

- Straty z prestojov
Neplánované prestoje z výrobného času sú vlastne straty, kedy mal daný stroj vyrábať, no bol z rozličných dôvodov odstavený. Patria tu napr. poruchy strojov alebo ich oprava, zmeny vo výrobe

(nastavenie stroja, prestavba), výpadky energie, pozdržanie zapríčinené nekvalitou či rozličné druhy čakania (na obsluhu, resp. materiál).

- Straty z rýchlosti

Medzi straty z rýchlosti sa radí napríklad strata, ktorá nastane, keď je reálna doba nevyhnutná pre vyrobenie jedného kusu dlhšia, ako je predpísaný výrobný čas. Znamená to, že síce daný stroj produkuje výrobky, no nerobí tak s najvyššou možnou konštrukčnou rýchlosťou.

Ďalšou stratou v rýchlosti je malé zastavenie a beh na prázdno, čo znamená, že zariadenie nevyrába stabilnou rýchlosťou a plynulo, taktiež bráni plynulému toku a stráca rýchlosť. Beh na prázdno nie je v tomto prípade spôsobený rôznymi technickými chybami, ale menšími problémami ako je zachytenie výrobkov v stroji, čím nastane blokovanie senzorov.

- Straty kvality

Straty kvality sa odrzkadlia na vyrobených výrobkoch, ktoré úplne nezodpovedajú kritériám kvality požadovanej od zákazníkov. Spomínané straty obsahujú prepracovanie, resp. odpad.

- Straty z chýb údržby

Tieto chyby sú najčastejšie zapríčinené neznalosťou a nedodržaním pracovných štandardov. Údržba si neplní povinnosti – nevykonáva analýzu problémov, no nepozná ani abnormality prevádzky. Opravu porúch nepovažuje za svoju úlohu. Taktiež sa nezaujíma o vady alebo nepodarky. Príčinou býva malý záujem pracovníkov o čistotu pracoviska či stav strojov.

Záver

S výrobným procesom a samotnými výrobkami sa spája aj efektívnosť a kvalita výroby. V akomkoľvek výrobnom procese sa tvoria straty, ktoré musí podnik sledovať a následne riešiť. Tým predíde plytvaniu, ktoré môže podnik pripraviť o tržby alebo ovplyvniť čas dodávok výrobkov zákazníkom. Tieto skutočnosti potom oslabujú konkurenčné postavenie spoločnosti na trhu. Vplyv konkurencie kladie veľký dôraz na efektívnosť, ktorá je pri výrobe veľmi dôležitá. [11, 13]

OEE sa využíva na monitorovanie a taktiež zvyšovanie efektivity výrobných procesov, či už sa jedná o stroje, výrobné bunky alebo montážne linky. Poskytuje celkový rámec, ktorý slúži na meranie efektívnosti výroby. Cielový proces, ktorý slúži na systematické zvyšovanie produktivity obsahuje vizualizácie, pravidelný zber dát alebo prípadné opravné postupy, či ich relevantné vyhodnocovanie, čo smeruje k zvýšeniu OEE. Ukazovateľ OEE nie je nutné sledovať na úplne všetkých výrobných zariadeniach, pretože je efektívnejšie sa zamerať na zvyšovanie tohto koeficientu pri zariadeniach, ktoré majú vysokú variabilitu procesu, ďalej pri nestabilných zariadeniach, na úzkych miestach či zariadeniach, ktoré majú zvýšené percento chybných výrobkov.

Príspevok bol riešený v rámci projektu 019TUK-4/2022 Príprava manažérov nových výrobných štruktúr budúcnosti na princípoch „Overall Equipment Effectiveness“ (OEE) prostredníctvom vzdelávania študentov v predmete Manažment výroby v študijnom programe Priemyselné inžinierstvo.

Literatúra

- [1] Callender, G.: Efficiency and Management. Taylor & Francis Group. 2008. ISBN 0-203-88895-2.
- [2] Cuperová, I.: Hodnotenie efektívnosti výrobných procesov v podniku. Bakalárska práca. TU SJF v Košiciach. 64 s. 2021.
- [3] Konopka, J. - Trybula, W.: Overall equipment effectiveness (OEE) and cost measurement [semiconductor manufacturing], In: Nineteenth IEEE/CPMT International Electronics Manufacturing Technology Symposium, Austin: IEEE, 1996. s. 137-140. ISBN 0-7803-3642-9.
- [4] Košturiak, J., Frolík, Z.: Štíhlý a inovatívni podnik. 1. vyd. Praha: Alfa Pub-lishing, 2006, 238s. ISBN 80-86851-38-9.
- [5] Kupkovič, M.: Faktory ekonomickej efektívnosti. ALFA, vydavateľstvo technickej a ekonomickej literatúry, 1987.
- [6] Neumaierová, I., Neumaier, I. 2002. Výkonnosť a tržní hodnota firmy, 1. vyd. Praha: GRADA Publishing, 2002. 216 s. ISBN 80-247-0125-1.
- [7] Rajnoha, R. et al. 2013. Meranie a riadenie výkonnosti podnikov, 1. vyd. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2013. 313 s. ISBN 978-80-228-2554-2.
- [8] Stamatis, D. H.: The OEE Primer: Understanding overall equipment effectiveness, reliability, and maintainability. New York: Productivity Press, 2010. 502 s. ISBN 978-1-4398-1406-2.
- [9] Straka, L.: New Trends in Technology System Operation. Proceedings of the 7th conference with international participation, Presov, pp. 385, 2005.
- [10] Sudit, E. F.: Effectiveness, quality and efficiency: a management oriented approach. Kluwer Academic Publishers. 1996, 119 s.
- [11] Šutaj-Eštok, A., Liberko, I., Sirková, M.: Process management in relation to the systems thinking. In: Management 2012 : research management and business in the light of practical needs. - Prešov : Bookman, 2012. p. 214-218. ISBN 978-80-89568-38-3.
- [12] Tuček, D. – Bobák R., Výrobní systémy. 2. upr. Vyd. Zlín: Univerzita Tomáše a Bati ve Zlíně, 2006, ISBN 80-7318-381-1.
- [13] Vochozka, M. 2011. Metody komplexního hodnocení podniku. Praha: Grada Publishing, 2011. 248 s. ISBN 978-80-247-3647-1.