

Celková efektívnosť zariadenia

Posúdenie efektívnosti prevádzkovania protitlakovo-odberového turbogenerátora

Martin Pokorný

V tomto príspevku by som rád informoval čitateľov o praktickej aplikácii metodiky OEE (overall equipment effectiveness – celková efektívnosť zariadenia), ktorej východiská, prínosy a uplatnenie som vo všeobecnosti predstavil v AT&P journal 7/2003.

Hodnota OEE závisí od indexov produktivity (productivity), funkcie schopnosti (availability) a kvality (quality) vo vzťahu:

$$OEE = i_{\text{productivity}} \cdot i_{\text{availability}} \cdot i_{\text{quality}} \quad (1)$$

kde všetky čísla sú z intervalu <0,1>.

Pre použitie výslednej hodnoty OEE a indexov je možné jednotlivé čísla po vykonaní súčinu vynásobiť ×100 %, potom získame údaje v [%].

Jednotlivé indexy sú definované nasledovne:

$$i_{\text{productivity}} = \frac{\text{aktuálna produktivita}}{\text{optimálna kapacita}} \quad (2)$$

$$i_{\text{availability}} = \frac{\text{aktuálne časové využitie}}{\text{optimálne časové využitie}} \quad (3)$$

$$i_{\text{quality}} = \frac{\text{celkový počet vyrobených produktov} - (\text{počet nepodarkov} + \text{počet prerobených výrobkov})}{\text{celkový počet vyrobených produktov}} \quad (4)$$

V divíznom závode Energetika, ako v prvom divíznom závode v U. S. Steel Košice, sme sa rozhodli používať uvedenú metodiku ako jediný nástroj na posudzovanie efektívnosti prevádzkovania hlavných výrobných agregátov ako sú kotly, turbogenerátory, turbokompresory a turbodúchadlá. Ďalej zvažujeme jej použitie na deliacich zariadeniach vzduchu pre výrobu technických plynov. Všetky tieto výrobné agregáty sú hlavnými energetickými zdrojmi pre celý U. S. Steel Košice.

Ako vyplýva najmä z indexu kvality (4), metodika bola navrhnutá pre zariadenia produkujúce výrobky nespojito. To však neplatí pre turbogenerátor, ktorý elektrickú energiu vyrába spojito. Pri stanovovaní kritérií je však potrebné brať do úvahy charakter výroby, ktorú posudzujeme. V ďalšom texte je opísané, ako sú zadané jednotlivé indexy v aplikácii na posudzovanie efektívnosti prevádzkovania turbogenerátora.

Ako pilotná aplikácia na overenie použiteľnosti metodiky OEE v podmienkach spojitých výroby bol zvolený protitlakovo-odberový turbogenerátor s označením TG3V, ktorý bol v auguste 2003 odozdaný po rekonštrukcii do prevádzky. Ide o 6 MW turbogenerátor, ktorého turbína má výkon 6,6 MW pri 6 060 ot./min⁻¹. Výrobcom turbíny bola 1. brněnská strojírna v roku 1975. S generátorom je turbína spojená prevodovkou so zodpovedajúcim prevodovým pomerom na dosiahnutie 3 000 ot./min⁻¹ pre 6 MW 3-fázový generátor Škoda z rovnakého obdobia so štandardným svorkovým napätím 6 300 V. Tlak admisnej pary turbíny je 1,8 MPa pri teplote 330 °C. Tlak v regulovanom odbere je 630 kPa pri teplote 260 °C. Parametre pary vstupujúcej do kondenzátora sú na hranici sýtosti pri tlaku okolo 10 kPa absolútnych. Turbína má

maximálnu hltnosť admisnej pary 65 t/h⁻¹, minimálne množstvo pary do kondenzácie je 15 t/h⁻¹. Generátor je pripojený priamo do rozvodnej siete a nemá na vývode osadený transformátor pre zmenu napäťovej hladiny. Riadiaci systém TG3V je postavený na prvkoch PCC radu B & R 2010. Zabezpečovacím zariadením turbíny je Woodward 505 E. Informačný systém je postavený na IPC Advantech s operačným systémom QNX. Pre aplikáciu SCADA je použitý systém Proteus žilinskej firmy URAP-AUTOMATIZÁCIA, s. r. o., ktorá uvedený systém operatívne rozšírila podľa našich požiadaviek o modul vyhodnocovania OEE. Ako systémy záložného ovládania sú použité dva B & R Provit 2000. Jednotlivé komponenty sú zosieťované štandardnými sieťovými aplikáciami, dlhšie vzdialenosti sú realizované optickými vedeniami. Nie je však mojím cieľom detailnejšie opisovať technické a programové prostriedky IaRS TG3V.

Pozrime sa teraz na to, ako sú v opisovanej aplikácii zadané jednotlivé indexy na výpočet hodnoty OEE.

Index produktivity

Zo vzťahu (2) vyplýva, že aktuálna produkcia je v pomere k optimálnej. V našej aplikácii je to pomer dodanej elektrickej práce do elektrizačnej sústavy U. S. Steel Košice k maximálnej novej práci, ktorá je odvodená zo štítkového údajov o výkone generátora, teda 6 MW. Výkon generátora je násobený trvaním časového intervalu pre určenie maximálne dosiahnuteľnej výroby. Rovnica pre výpočet indexu produktivity je zmenená na:

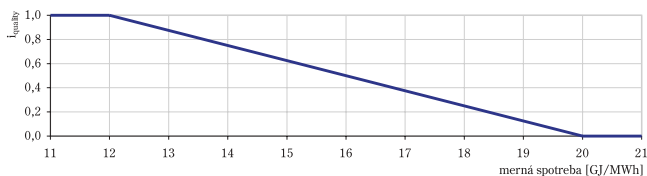
$$i_{\text{productivity}} = \frac{A_{\text{aktuálne}} (\text{MWh})}{A_{\text{maximálne}} (\text{MWh})} \quad (5)$$

Zo vzťahu (5) vyplýva, že index môže nadobúdať hodnoty z intervalu <0,1> podľa skutočnej produkcie. V prípade krátkodobého preťaženia je výsledná hodnota upravená na 1.

Index časového využitia

Ako je uvedené vo vzťahu (3), pri tomto indexe je nutné posudzovať časové využitie agregátu. V tomto prípade posudzujeme čas pripojenia turbogenerátora k elektrizačnej sústave U. S. Steel Košice voči času v danom vyhodnocovanom časovom intervale. Čas pripojenia je odvodený od polohy výkonového vypínača generátora, pričom spätná wattová ochrana stroja zabezpečí jeho odpojenie v prípade chodu TG3V v motorickom režime. Rovnica pre výpočet indexu availability teda významovo nemení tvar:

$$i_{\text{availability}} = \frac{\text{celkový čas zopnutého výkonového vypínača (hod.)}}{\text{celkové trvanie vyhodnocovaného časového intervalu (hod.)}} \quad (6)$$



Obr.1 Závislosť indexu kvality od dosiahnutej MS

Zo vzťahu (6) vyplýva, že index môže nadobúdať hodnoty z intervalu $<0,1>$ podľa skutočného časového využitia.

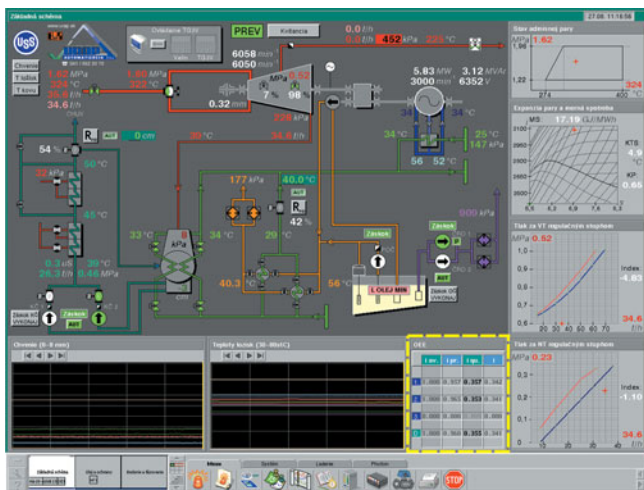
Index kvality

Pôvodný vzťah (4) na posúdenie kvalitatívneho využitia turbogenerátora je nepoužiteľný. Pre tento účel je v našich podmienkach používaný ukazovateľ, zvaný ako „merná spotreba tepla na výrobu elektrickej energie“, ďalej len MS. MS vyjadruje kvalitu premeny tepelnej energie, obsiahnutej v pare, na elektrickú.

Po zohľadnení predpísaných hraničných prevádzkových stavov turbíny z hľadiska pomerov množstiev admisnej pary, emisnej pary a pary vstupujúcej do kondenzátora a po následnom výpočte, bola určená závislosť pre index kvalitatívneho využitia TG3V. Pribeh závislosti je znázornený na obr. 1. Ako vyplýva z grafu, index môže nadobúdať hodnoty z intervalu $<0,1>$ podľa skutočného kvalitatívneho využitia.

Výsledná hodnota OEE je vypočítavaná na úrovni uvedeného systému SCADA automaticky. Výpočet je vykonávaný zo zosnímaných vstupov riadiaceho systému bez možnosti zo strany obsluhy ovplyvniť výsledok iným spôsobom než zmenami prevádzkových stavov turbogenerátora. Každý index je počítaný samostatne v hodinových, zmenových, denných, mesačných a ročných periódach. V uvedených časových periódach je následne vypočítavaná aj výsledná hodnota OEE. V tomto časovom rozlíšení sú jednotlivé indexy, vrátane výsledkov OEE, archivované pre prípadné ďalšie potreby spracovania, porovnávania alebo pre potreby vedenia, spoločne so vstupnými údajmi pre výpočet.

Na obr. 2 a 3 sú zachytené obrazovky aplikácie SCADA TG3V s dôrazom na zobrazenie hodnôt OEE a jeho indexov.



Obr.2 Základná obrazovka pre obsluhu TG3V (čiarkovane označená oblasť hodnôt OEE)

Hodina/Zmena/Deň													
26.08.2003 - 27.08.2003 TG3V OEE													
hodina	Indexy OEE				i avail.		i prod.		i quality		z bil.		
	i avail.	i prod.	i qual.	i	Tcalk.	Tprif.	A/mas.	A/skat.	MSmin	Q	MSskat.	i qual.	
	Asp	Asp	Asp	Asp	Asp	Asp	Asp	Asp	Asp	GJ	GJ/MWh	Asp	
22:00 - 23:00	1,000	0,965	0,356	0,343	1,00	1,00	6,0	5,8	12,00	99,23	17,13	0,700	
23:00 - 24:00	1,000	0,957	0,357	0,342	1,00	1,00	6,0	5,7	12,00	98,44	17,14	0,700	
00:00 - 01:00	1,000	0,955	0,358	0,341	1,00	1,00	6,0	5,7	12,00	98,21	17,14	0,700	
01:00 - 02:00	1,000	0,953	0,359	0,342	1,00	1,00	6,0	5,7	12,00	97,93	17,12	0,701	
02:00 - 03:00	1,000	0,956	0,358	0,342	1,00	1,00	6,0	5,7	12,00	98,28	17,14	0,700	
03:00 - 04:00	1,000	0,952	0,357	0,340	1,00	1,00	6,0	5,7	12,00	97,58	17,15	0,700	
04:00 - 05:00	0,999	0,957	0,358	0,342	1,00	1,00	6,0	5,7	12,00	98,34	17,13	0,700	
05:00 - 06:00	1,000	0,963	0,356	0,343	1,00	1,00	6,0	5,8	12,00	99,11	17,15	0,700	
1. zmena	1,000	0,957	0,357	0,342	9,00	9,00	48,0	45,3	12,00	787,58	17,14	0,700	
06:00 - 07:00	1,000	0,963	0,357	0,344	1,00	1,00	6,0	5,8	12,00	99,08	17,15	0,700	
07:00 - 08:00	1,000	0,967	0,354	0,343	1,00	1,00	6,0	5,8	12,00	99,64	17,17	0,699	
08:00 - 09:00	1,000	0,964	0,353	0,340	1,00	1,00	6,0	5,8	12,00	99,32	17,17	0,699	
09:00 - 10:00	1,000	0,970	0,352	0,342	1,00	1,00	6,0	5,8	12,00	100,03	17,19	0,698	
10:00 - 11:00	1,000	0,961	0,351	0,338	1,00	1,00	6,0	5,8	12,00	99,15	17,19	0,698	
11:00 - 12:00	1,000	0,965	0,351	0,339	0,31	0,31	1,9	1,8	12,00	90,96	17,19	0,698	
12:00 - 13:00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,000	
13:00 - 14:00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,000	
2. zmena	1,000	0,965	0,353	0,341	5,31	5,31	31,9	30,8	12,00	528,17	17,17	0,699	
14:00 - 15:00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,000	
15:00 - 16:00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,000	
16:00 - 17:00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,000	
17:00 - 18:00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,000	
18:00 - 19:00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,000	
19:00 - 20:00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,000	
20:00 - 21:00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,000	
21:00 - 22:00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,000	
3. zmena	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,000	
Spolu	1,000	0,960	0,355	0,341	13,31	13,31	79,9	76,7	12,00	1315,75	17,15	0,700	

Obr.3 Obrazovka detailného zobrazenia OEE hodnôt v časovom rozlíšení hodina/zmena/deň

Na obr. 2 je zachytená obrazovka, ktorá je určená základnej obsluhu a dozoru TG3V. V spodnej časti obrazovky je umiestnené okno s jednotlivými indexmi a hodnotami OEE za aktuálny deň, v členení podľa pracovných zmien (pozn.: prvá pracovná zmena začína o 6:00 ráno). Zobrazenie hodnôt na obr. 2 slúži na okamžité sledovanie vývoja efektívnosti prevádzkovania TG3V počas aktuálneho dňa.

Na obr. 3 je zobrazený spôsob detailného rozpisu indexov a výsledných hodnôt OEE. Uvedený obrázok je v časovom rozlíšení hodiny za zmenu a za deň. Pre potreby ďalšej analýzy prípadných problémov a nedostatkov sú spoločne s výsledkami zobrazené aj vstupné hodnoty pre výpočty jednotlivých indexov. Okno tohto zobrazenia je otvárané po voľbe v menu systému SCADA. Uvedená maska zobrazenia je rovnaká aj pre ďalšie dve zobrazenia: dni v mesiaci a mesiace v roku. Pri všetkých uvedených zobrazeniach je možné ľubovoľne meniť koniec časového intervalu s tým, že po výbere je časový interval zobrazený s navoleným konečným bodom.

Komentár k obr. 2 a 3:

Výsledky OEE na úrovni 0,34 vypovedajú o týchto skutočnostiach:

1. Číslo nie je nijako dodatočne upravované a má tú hodnotu, akú v skutočnosti dosiahlo.
2. Ako z uvedeného vyplýva, miera časového využitia a miera kvantitatívneho využitia agregátu je na vysokej úrovni, avšak miera kvalitatívneho využitia má nižšiu úroveň z dôvodu nutnosti aktuálneho prevádzkového radenia stroja (nezaradený regulovaný odber).

Ako z uvedeného vyplýva, použitie metodiky OEE je možné aj v podmienkach výrobných agregátov produkujúcich spojité výrobky. Tento príspevok poukazuje na jeden z možných spôsobov výpočtu OEE pri výrobe elektrickej energie. V záujme relevantnosti hodnôt OEE je potrebné zvoliť kritériá výpočtov indexov tak, aby zachytávali reálny prevádzkový stav výrobného agregátu.

Pokračovanie na strane 69