

# Recenzované výzkumné články

## Analýza stability výrobního procesu prostřednictvím ukazatelů štíhlé výroby

### Analysis of Stability of the Production Process by means Lean Production Indicators

doc. Ing. Petr Besta, Ph.D.; Ing. Andrea Sikorová, Ph.D.; doc. Ing. Kamila Janovská, Ph.D.

VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství, Katedra ekonomiky a managementu v metalurgii, 17. listopadu 15/2172, 708 33 Ostrava-Poruba, Česká republika

*Příspěvek je věnován využití vybraného ukazatele štíhlé výroby při hodnocení variability výkonu na pracovišti. Principy štíhlé výroby jsou založeny na eliminaci všech zdrojů plýtvání. Elementárním zdrojem neefektivit jsou neshodné výroby a všechny druhy nákladů, které s nimi souvisejí. Vznik nejakostní produkce může ovlivnit vysoká variabilita ve výkonu konkrétního pracoviště, ať už je způsobena lidským faktorem, strojem nebo dalšími činiteli výrobního procesu. Jednou z možností jak kvantifikovat variabilitu výkonu je sledování a vyhodnocování parametru hodinové stability. Tento ukazatel může navíc identifikovat přítomnost vymezitelných příčin, které ovlivňují produkci neshodných výrobků a zvyšují celkové náklady výroby. U provozního lisovacího zařízení byl aplikován parametr hodinové stability pro realizovanou výrobní zakázku. Článek se zabývá rozбором výsledků provedeného výzkumu a zjištěných závěrů.*

**Klíčová slova:** náklady; cena; variabilita; kvalita; vada

*The lean approach in the company management means doing just the things that are needed, doing them right for the first time, doing them faster than others, while spending less money. Lean manufacturing, however, is not just a cost reduction for its own sake. Its ultimate goal should be to maximize the value added for the customer. The introduction of lean manufacturing principles is often also associated with lower overheads, higher efficiency of utilizing production areas, or efficiency of the production facility operation. At the same time, lean manufacturing cannot work without a close link with product development and technical preparation of the production, logistics and administration. Lean manufacturing processes are already created in pre-production stages, and a large part of lean business parameters are heavily influenced by the logistics chain or administrative processes. We also understand a lean company as a system that is constantly looking for potential sources of waste in all its processes. Sources of waste can be seen in overproduction, unnecessary work, stock, waiting, inefficient transport, defects, but also the untapped potential of employees. To evaluate the effectiveness of production processes, we can apply a variety of tools and methods that originally have roots in the automotive industry. In recent years, however, they have been increasingly used in metallurgical or mechanical engineering production. A universal tool is the hourly stability indicator. This is used to evaluate variability of the worker or machine performance. In fact, large fluctuations in work performance are often associated with higher incidence of non-conforming production. Within the realized research, a lean production indicator was applied at a selected workplace as an indicator of performance variability. The article deals with the analysis of the research carried out and with the conclusions drawn*

**Key words:** cost, price; variability; quality; defect

Současné trendy a dynamické změny na trzích a v požadavcích zákazníků vedou podniky k aplikaci principů štíhlé výroby. Ze strany zákazníků je vyvíjen neustále se zvyšující důraz na kvalitu, rychlost a flexibilitu v dodávkách. Výrobní podniky se proto neustále snaží o zvyšování hodnoty pro své zákazníky a odběratele. Toto je možné splnit jen při kontinuálním zlepšování podnikových procesů, které se zaměřuje na tyto aspekty: zvyšování produktivity, zvyšování kvality, snižování času zpracování, rozvoj inovací [1].

Štíhlou výrobu nemůžeme chápat jen jako prosté redukování nákladů. Hlavním cílem je snaha zvyšovat spokojenost zákazníků a přidanou hodnotu výrobků [2]. Štíhlá výroba proto nemůže efektivně fungovat bez úzkého propojení s vývojem výrobků, technickou přípravou výroby, ale také logistikou. Štíhlost podniku vychází již z předvýrobních etap a její efektivita je ovlivněna logistickými a administrativními procesy [3]. Základním cílem štíhlé výroby je pak odstraňování veškerých druhů plýtvání, které se v určité míře vyskytují v každém výrobním procesu. Zdroje plýtvání lze

v přepracované podobě dle [1] klasifikovat jako následující kategorie:

- nadvýroba: vyrábí se příliš mnoho nebo příliš málo,
- nadbytečná práce: činnosti nad rámec definované specifikace,
- zbytečný pohyb: nepřidává hodnotu,
- zásoby: v případě, že přesahují minimum potřebné na splnění výrobních úkolů,
- čekání: na součástky, materiál, informace nebo ukončení strojového cyklu,
- opravování: odstraňování nekvality,
- doprava: každá nadbytečná doprava a manipulace,
- nevyužité schopnosti zaměstnanců: které podnik neumí efektivně využít.

Pro kvantifikaci jednotlivých výše uvedených neefektivit je možné využít řadu ukazatelů. Štíhlou výrobu a její principy nelze ovšem chápat jako přesně definovaný a uzavřený systém, stejně jako parametry a ukazatele, které můžeme využívat. Mimo tradičních logistických a výkonových ukazatelů jsou neustále do systému štíhlé výroby zařazovány nové parametry. Mezi nejčastěji využívané ukazatele můžeme zařadit tyto:

- hodinová stabilita,
- celková efektivita zařízení,
- průběžná doba výroby,
- obrátka zásob ve výrobním procesu,
- C/T úzkých míst (cycle time),
- index přidané hodnoty,
- produktivita výrobních ploch,
- časy seřízení.

Využití uvedených ukazatelů je velmi univerzální, přestože byly nejprve aplikovány v prostředí automobilového průmyslu. Snaha o snižování nákladů a vysoká konkurence ve všech oblastech výrobních procesů však přispěly k rozšíření principů štíhlé výroby a jejich parametrů také do dalších oborů.

Významným segmentem výrobních procesů je zpracování a výroba plastů. Produkty jsou využívány nejen v automobilovém průmyslu, ale také v celé řadě jiných odvětví. Pro výrobu jsou používány vstříkovací lis. Mezi nejčastěji používané druhy plastů patří především: polyethylen, polypropylen, polyamid, polyethylentereftalát, polystyren, polymethylmethakrylát [4].

Výroba plastů je realizována zpravidla jejich vstříkáváním do formy. Forma se upíná na vstříkovací stroj, který naplní celý objem plastovou taveninou. Vstupní surovinou je plastová hmota v podobě granulátu nebo drti [4]. Plastové granule či drť jsou nasypány do podavače licího stroje, který zajišťuje jejich dávkování do tavicí komory. Zde za působení vysokých teplot dochází k vzniku taveniny. Tavenina temperovaná na požadovanou teplotu, je pak vstříknuta do dutiny formy [4]. Při chladnutí dochází u plastů k výraznému objemovému smrštění.

Důsledky tohoto nežádoucího efektu jsou minimalizovány při dotlakové fázi, která navazuje na vyplnění dutiny taveninou. V této dotlakové fázi dochází ještě k přeplnění formy taveninou tak, aby se vyplnil volný objem formy vznikající při postupném smršťování vsázky. Toto je důvod, proč se zmíněná zařízení nazývají vstříkovací lis. Dochází tedy k aplikaci tlaku v tekuté fázi. Zde dochází ke kompenzaci úbytku taveniny v důsledku jejího objemového smrštění. Výrobek se ve formě ochlazuje odvodem tepla přes stěny odlévací formy, až po samotné ztuhnutí. Po ochlazení plastu má již výrobek manipulační pevnost a může být z formy vyjmut.

Při výrobě plastových výrobků může vznikat velké množství různých druhů vad. Mezi nejčastěji se vyskytující vady patří nedodržení tvaru hotového výrobku. Do této kategorie vad řadíme například: přetoky, ořepy, propadliny, staženiny, nerovnost povrchu, neúplné vyplnění dutiny formy, stopy po vyhazovačích ve výlisku, deformace výrobku, nedodržení rozměrů výrobku. Nejakostní produkce výrazně ovlivňuje celkové náklady výroby a konečnou cenu výrobku. Aby bylo možné snižovat podíl vadných výrobků, je důležité přesně dodržovat technologický postup a také kontinuálně sledovat průběh výrobního procesu. Štíhlá výroba umožňuje využívat nástroje, které usnadňují identifikaci příčin vzniku neshodných výrobků. Regulace těchto vymezitelných příčin, pak může z dlouhodobého hlediska zásadně ovlivnit výskyt neshodných výrobků a tedy i náklady s nimi spojené.

## Hodinová stabilita

Tento ukazatel štíhlé výroby byl původně využíván v automobilovém průmyslu. Jeho využití je však velmi univerzální, což přispělo k jeho využívání také v dalších průmyslových odvětvích. Ve své podstatě hodinová stabilita zobrazuje variabilitu při plnění výrobního plánu (stroje, pracovníka) [5]. Nejčastěji bývá sledována v intervalu jedné pracovní směny a vyhodnocována po jednotlivých hodinách. Často se tento ukazatel sleduje pro výrobní pracoviště, které má charakter úzkého místa. Zde lze předpokládat vysoké požadavky na rovnoměrnost výkonu v průběhu pracovní směny. Vysoké výkyvy ve výkonu pracovníka mohou mít mimo ohrožení plynulosti navazující výroby také další negativní vlivy. Při vysoké variabilitě v pracovním výkonu lze totiž předpokládat větší výskyt neshodné produkce, která může být dána určitou vymezitelnou příčinou. Současně může případný psychický stres obsluhy strojů při realizaci skokově vyššího pracovního výkonu znamenat zvýšení rizika vzniku pracovního úrazu. Je tedy klíčové, aby pracovník pracoval v průběhu pracovní směny rovnoměrně a nikoliv nárazově a rychle. Obecně pak můžeme důvody pro sledování hodinové stability shrnout v přepracované podobě dle [1] do následujících bodů:

- používáním kratších časových úseků můžeme exaktně zjistit příčiny problémů (prostoje z důvodu nedodání materiálu, poruchy stroje, nástroje),

- sledování dlouhodobých trendů,
- identifikace klíčových problémů,
- porovnávání průběžného výkonu více pracovníků,
- zlepšování procesů.
- zvyšování bezpečnosti práce na pracovišti.

Pro hodnocení hodinové stability ve výkonu pracovníka můžeme použít řadu metod. Jednou z možností je prosté využití statistických ukazatelů (míry střední polohy, míry variability). Pro danou časovou řadu charakterizující výkon pracovníka můžeme určit vybraný druh průměru a variačního koeficientu. Syntézou těchto ukazatelů v komparaci s plánovaným výkonem můžeme snadno identifikovat případné odchylky.

Další možností analýzy hodinové stability je využití rov. (1).

$$\text{Hodinová stabilita} = \frac{\text{Počet kusů do výše plánu}}{\text{Počet kusů naplánovaných}} \times 100 (\%) \quad (1)$$

Tento matematický vztah je založen na využití dvou relevantních proměnných. Ve jmenovateli figuruje celkový počet naplánovaných kusů. V čitateli je pak proměnná nazvaná celkem skutečně vyrobeno kusů do výše plánu. Tato proměnná kvantifikuje rozdíl mezi plánovaným a skutečným (dosaženým) výkonem. Podíl obou uvedených proměnných je vynásoben x 100, a zjištěná variabilita má tak rozměr %. Vyšší hodnota znamená větší výkyvy v pracovním výkonu pracovníka (stroje).

Tab. 1 Záznam o výrobě  
Tab. 1 Production record

Pracovní doba		Výrobek s hlavním rozměrem								
		40 mm			65 mm			90 mm		
Čas	Čistý pracovní čas	Plán	Výkon	Do výše plánu	Plán	Výkon	Do výše plánu	Plán	Výkon	Do výše plánu
(hod.)	(min.)	(ks)								
6-7	55	120	105	105	-	-	-	-	-	-
7-8	50	130	136	130	-	-	-	-	-	-
8-9	51	65	40	40	-	-	-	-	-	-
9-10	29	-	-	-	30	15	15	-	-	-
10-11	59	-	-	-	125	138	125	-	-	-
11-12	55	-	-	-	10	0	0	-	-	-
12-13	56	-	-	-	-	-	-	105	115	105
13-14	52	-	-	-	-	-	-	90	104	90
Σ		315	281	275	165	153	140	195	219	195

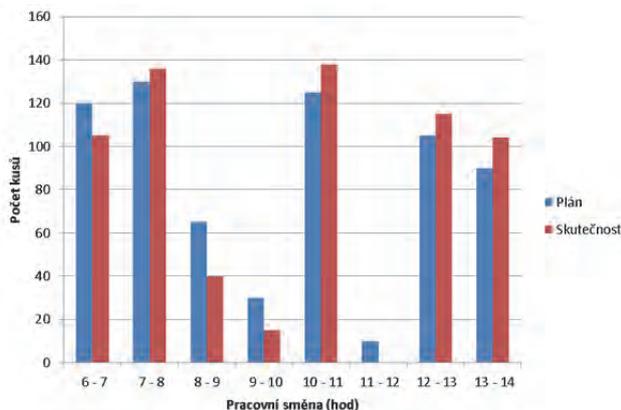
Stanovení hodinové stability pro uvedená data, můžeme zapsat na základě rov. (1), následujícím způsobem:

$$\text{Hodinová stabilita} = \frac{275 + 140 + 195}{315 + 165 + 195} \times 100 = 90,37 \%$$

## Využití ukazatele hodinové stability

V rámci provedeného výzkumu byla stanovena hodnota ukazatele hodinové stability pro operaci lisování plastových dílů. Výrobky jsou dále zpracovávány a jsou určeny pro automobilový průmysl. Provedené měření bylo realizováno pro jednu pracovní směnu na daném výrobním zařízení – vstřikovacím lisu. Pro každou hodinu pracovní směny (v intervalu 6 – 14 hod.) byly určeny parametry nutné pro stanovení hodinové stability. Přesný záznam o průběhu pracovní směny zobrazuje tab. 1. Pro každou pracovní hodinu byl měřen také čistý pracovní čas. Současně bylo sledováno množství vyrobených kusů. Pracovník během sledovaného časového úseku vyráběl tři rozměrově odlišné výrobky (s hlavním rozměrem 40, 65 a 90 mm). Pro každý druh výrobku, je přesně stanovený počet kusů, které musí pracovník za hodinu vyrobit. Tab. 1 ukazuje zjištěné informace o plánu i reálném výkonu. Současně je také zobrazen ukazatel (Do výše plánu), který porovnává obě hodnoty. V případě, že plánovaný počet kusů je vyšší než reálný výkon, je zapsaná do sloupce (Do výše plánu) hodnota o dosaženém výkonu. V případě, že výkon pracovníka je vyšší, než naplánovaná hodnota, je zapsaný počet kusů, které jsou naplánované. Tento postup vychází z principu použité metodologie výpočtu hodinové stability. Metoda výpočtu hodinové stability hodnotí totiž negativně také vyšší výkon než plánovaný, a to s ohledem na možný výskyt neshodné produkce nebo vznik pracovního úrazu. Pro všechny tři druhy výrobků, byly stanoveny hodnoty všech relevantních proměnných, pro určení hodinové stability. V posledním řádku tab. 1 jsou uvedeny součty jednotlivých hodnot, které jsou využity při výpočtu hodinové stability.

zpravidla hodnocená pozitivně a může znamenat menší míru přirozené zmetkovitosti. Z vypočtené hodnoty lze usuzovat, že pracovník v průběhu pracovní doby pracoval relativně stabilně. Tento závěr také potvrzuje grafické zobrazení plánovaného a skutečného výkonu (obr. 1).



Obr. 1 Rozdíly ve výkonu v průběhu pracovní doby  
Fig. 1 Differences in output during working time

Dalším krokem při vyhodnocení variability výkonu může být kvantifikace odchylek v jednotlivých časových úsecích pracovní doby. Tato kvantifikace byla provedena prostým stanovením odchylky výkonu od plánované hodnoty. Výsledky jsou zobrazeny v tab. 2. Pro každou hodinu pracovní směny, je určen absolutní rozdíl v plánovaném a skutečném výkonu a relativní odchylka. Rozptýl hodnot stanovené odchylky se pohybuje v intervalu 4,6 – 100 %. Vysoká horní mez byla vyvolána tím, že v průběhu daného časového úseku (11 – 12 hod.) pracovník nevyrobil žádný kus a věnoval se seřízení výrobního zařízení.

Tab. 2 Odchylka od plánovaného výkonu  
Tab. 2 Deviation from the planned output

Čas (hod.)	Plán (ks)	Výkon (ks)	Abs. rozdíl	Odchylka (%)
6-7	120	105	15	12,5
7-8	130	136	6	4,6
8-9	65	40	25	38,5
9-10	30	15	15	50,0
10-11	125	138	13	10,4
11-12	10	0	10	100
12-13	105	115	10	9,5
13-14	90	104	14	15,6

Vysoké výkyvy ve výkonu bývají často doprovázeny výskytem vyšší míry neshodné produkce. Pro danou operaci byly vyhodnoceny údaje o množství neshodných výrobků. Tab. 3 zobrazuje odchylky ve výkonu spolu s množstvím neshodné produkce (%). V případě dvou časových úseků je patrná výrazně vyšší hodnota počtu nejakostních výrobků. Toto může být dáno jak variabilitou ve výkonu pracovníka (stres, únava), ale také technologickými aspekty. V časových intervalech mezi 8 - 9hod. a 9 - 10hod. byl výskyt neshodných výrobků jednoznačně vyšší než v dalších časových úsecích.

Tab. 3 Porovnání odchylek od výkonu a množství vad  
Tab. 3 Comparison of output deviations and quantity of defects

Čas (hod.)	Odchylka (%)	Neshodná produkce (%)
6-7	12,5	5
7-8	4,6	3
8-9	38,5	11
9-10	50,0	13
10-11	10,4	6
11-12	100	0
12-13	9,5	4
13-14	15,6	6

Po zjištění nevhodných výrobních parametrů zjištěných výpočtem ukazatele hodinové stability, je následně možné přistoupit k sekundární analýze po jednotlivých hodinách. Toto je již obsahem dalších připravovaných prací. Cílem bude vždy vyloučit příčiny, které nemají náhodný charakter a mohly by z dlouhodobého hlediska zvyšovat podíl neshodné produkce. Pokud se bude výskyt zjištěného problému dále opakovat, je nutné analyticky vyloučit všechny možné příčiny jeho vzniku.

## Závěr

Ukazatel hodinové stability umožňuje analyzovat variabilitu výkonu na daném pracovišti. Zjištěné výkyvy mohou být spojeny s výskytem neshodné produkce a dalšími negativními jevy. Při opakovaném nárazovém výskytu většího množství vadných výrobků můžeme ihned určit, zda jejich vznik probíhal v důsledku vysoké variability výkonu. Měření hodinové stability umožňuje sledovat výkon pracovníka a stabilizovat jej v průběhu pracovní směny. Rovnoměrnost ve výkonu zásadně přispívá ke zvyšování kvality a bezpečnosti práce na pracovišti.

## Poděkování

Práce vznikla za podpory specifického univerzitního výzkumu Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy České republiky č. SP2017/67.

## Literatura

- [1] KOŠTURIÁK, J., FROLÍK, Z. *Štíhlý a inovativní podnik*. Praha: Alfa Publishing, s.r.o., 2006. 237 s., ISBN 80-86851-38-9.
- [2] KOŠTURIÁK, J., CHÁL, J. *Inovace – vaše konkurenční výhoda!* Brno: Computer Press, s.r.o., 2008. 164 s. ISBN 978-80-251-1929-7.
- [3] VEBER, J., PLÁŠKOVÁ, A., HUĽOVÁ, M. *Management kvality, environmentu a bezpečnosti práce*. Praha: Management press, s.r.o., 2010. 560 s., ISBN 978-80-7261-210-9.
- [4] ZEMAN, L. *Vstřikování plastů*. Praha: BEN – technická literatura, 2009. 248 s., ISBN 978-80-7300-250-3.
- [5] WANG, J. X. *Lean Manufacturing: Business Bottom-Line Based*. CRC Press, 2010. 288 p., ISBN 978-1-4200-8603-4.
- [6] WILSON, L. *How To Implement Lean Manufacturing*. McGraw-Hill Professional, 2009, 336 p., ISBN 978-0-0716-2507-4.