**Příspěvek byl zveřejněn ve Slévárenství č.5-6,2020, s. 146 -- 151**

**Použití jednoduchých statistických metod k motivaci zaměstnanců ke kontrole technologie**

Jaroslav Šenberger, Václav Kafka, Břetislav Pělucha, Martin Sýkora

**Anotace:**

Na základě analýzy technologie při výrobě litiny s lupínkovým grafitem na 2t indukční peci byla upravena výrobní technologie. Spotřeba základních komponent vsázky, neúplných vlastních nákladů, spotřeby elektrické energie a doby tavby byly sledovány před a po změně technologie. Získané soubory dat, spotřeby komponent, energie, času a nákladů byly testovány jednoduchými statistickými metodami. Cílem bylo určit, zda se změna technologie projevila statistiky významným způsobem na hodnotách sledovaných položek. U souborů bylo zjištěno normální rozdělení. Dále byl proveden test rozdílu výběrového souboru a známého průměru základního souboru a test rozdílu dvou výběrových souborů.

**Klíčová slova:**

Technologie výroby litiny, výpočet nákladů, test normálního rozdělení, t-test, F –test.

1. **Úvod**

Ve slévárnách má technologie použitá ve výrobním procesu rozhodující vliv na náklady spojené s výrobou odlitku. Roli zde hrají dva činitele. Jednak technická úroveň technologie, která je závislá na kvalitě a dalším vzdělávání techniků. Jednak dodržování technologických předpisů, což závisí nejen na kvalitě výrobních dělníků a mistrů, ale i na jejich motivaci k dosažení co nejlepších výsledků. Motivace lze dosáhnout již tím, že výroba je pravidelně kontrolována a dotčení pracovníci jsou pravidelně informováni o výsledcích kontroly. Kontrola nesmí mít restrikční charakter. Nejúčinnějším způsobem motivace je alespoň dvakrát týdně stručně a neformálně informovat zaměstnance o výsledcích výrobní jednotky a jejich podíl na nich a jaký z toho mají užitek. Vzorem vyžití motivace nemusí být pouze zahraniční zkušenosti z USA, Japonska a jiných států.

Nedostižným vzorem nám mohou být Tomáš a Jan Antonín Baťové. Ve své době zavedli nejdokonalejší způsob motivace svých spolupracovníků. Baťové nehovořili o dělnících nebo zaměstnancích ale o spolupracovnících. Není to již krásný způsob motivace? Tím dali najevo, že úspěch podniku závisí na všech v podniku zaměstnaných a jsou proto všichni spolupracovníci. V roce 1924 napsal Baťa stať „Účast dělníků na zisku“. Podnik byl rozdělen na malé dílny nebo oddělení, která hospodařila samostatně a samostatně vedla účetnictví. Účetnictví bylo tak jednoduché, že mu porozuměl každý. Z dosaženého zisku se pak vypočítávala odměna. V případě, že se dílna dostala do ztráty, nebyl uplatněn žádný postih. Totéž platilo, pokud byla jiná oddělení ve ztrátě. Každý člen této malé jednotky znal svůj podíl na dosaženém efektu a hned si mohl spočítat, jaká mu náleží odměna. Výsledky hospodaření byly vyvěšovány každý týden a každý týden byla výplata mzdy. Mezinárodní úřad práce v Ženevě poslal do Zlína svého pracovníka Paula Devinanta, aby studoval Baťovy metody. Baťův přístup k motivaci byl nejen materiální ale i sociální. Svoje zaměstnance si vychovával ve svých učilištích a středních školách, z vlastních prostředků stavěl ve Zlíně nemocnice, komunikace, rodinné domky, rozvodnou elektrickou síť a staral se o zvelebení regionu. Před každým významným krokem předstoupil před zaměstnance a vysvětlil, jaké bude mít navržená změna vliv na jejich postavení. Např. když motivoval zvýšení produktivity práce, ujistil zaměstnance, že nebude nikdo propuštěn, ale bude se víc prodávat [1]. Překvapující je, že autoři věnující se motivaci v průmyslu se k myšlenkám bří. Baťů nevracejí.

Jako jiný příklad lze uvést úspěšnou motivaci pracovníků ve slévárně Sigma Slatina k. p. Od roku 1980 probíhala motivace tavičů na snížení taveb s nedodrženým chemickým složením. Hlavním problémem ve středisku pecí bylo velké množství taveb s nedodrženým chemickým složením. Řešení se našlo v trvalé motivaci celého kolektivu tavičů. Pro motivaci byla vypsána soutěž, která motivovala taviče ke snížení počtu taveb s  chemickým složením, které nevyhovovalo normě. Na začátku soutěže činil počet taveb s nedodrženým chemickým složením 10,8%. Po roce poklesl na 1,2% [2]. Taviči byli informováni denním hlášením taveb s nedodrženým chemickým složením z laboratoře na vedení tavírny. Vrchní mistr denně výsledky předchozího dne dával na nástěnku. Taviči se rychle začali o výsledky zajímat a volali o výsledky chemického složení po každé tavbě. Každé čtvrtletí byla soutěž vyhodnocena a na schůzi ROH byly výsledky vyhlášeny. Za první místo v soutěži činila odměna 300 Kčs za druhé 200 a za třetí 100 Kčs. Návratnost investice (500 Kčs) byla cca jeden den. Hlavní přínos však spočíval v tom, že taviči se věnovali lépe svoji práci. Podobný efekt měla soutěž o snížení spotřeby elektrické energie, kdy taviči získávali podíl na skutečně dosažených úsporách.

Zajímavý postup zvolila slévárna Beskyd, Frýdlant nad Moravicí [3]. Motivační pobídky byly zvoleny:

* Výkonová norma dýzy. Ukazatel je nezměněn od r. 1993, to znamená, že v současné době je pracovníky běžně překračován na 150 – 250 %.
* Měsíční prodej zboží, ten se již pravidelně upravuje.

Hodnocení používané motivace:

Průměrná mzda tavičů je cca 50 000 Kč/měsíc. Průměrná mzda všech pracovníků slévárny je 44 000 Kč/měsíc. To je jednoznačně nad většinou ostatních českých sléváren. Fluktuace je velice nízká (pokud je, tak pouze v cídírně). Podle ředitele slévárny „lidé sami chtějí pracovat“, sami si kupříkladu určují konce přestávek, „nepustí“ údržbu dělat v jejich pracovní době preventivní údržbu zařízení (až po pracovní době resp. o víkendu) atd. Prostě chtějí si vydělat!

Skutečností je, že slévárna vyrábí s velice nízkými náklady. A navíc provádí vůči svým odběratelům zcela výjimečné kroky. Kupříkladu v době krize 2007-2008, kdy byla její zakázková náplň plně vytížena, snížili oproti uzavřené smlouvě vůči italskému zákazníkovi cenu odlitku s tím, že se jim podařilo zajistit levnější vsázku.

K zavedení účinné motivace je nutné znát skutečné problémy, které jsou ve výrobě. Předcházet by měla analýza výrobního procesu. Jako příklad analýzy uvádíme zkušenosti z jedné slévárny při výrobě litiny GG 30 [4]. Analýza byla uskutečněna v následujících bodech:

1. Kontrola stávajícího technologického předpisu.
2. Kontrola dodržování stávajícího technologického předpisu na reálných tavbách.
3. Návrh nového technologického předpisu.
4. Kontrola dodržování nového technologického předpisu na reálných tavbách.
5. Návrh na motivaci pracovníků, kteří se na výsledcích výroby podílejí.
6. **Charakteristika sledované technologie**

Ve vybrané slévárně bylo sledováno 15 taveb původní technologie. Přímé náklady byly sledovány po jednotlivých položkách. Základní statistické charakteristiky přímých nákladů jsou uvedeny v **Tab. 1a.** Nepřímé náklady byly vypočteny poměrným dílem podle doby tavby se započtením prostojů a jejich základní statistické charakteristiky jsou uvedeny v **Tab. 1b.**

|  |
| --- |
| **Tab. 1a Základní statistické charakteristiky přímých nákladů** |
|   | šrot | VM | VM | špony | surové | FeMn | FeSi | očko. | SiC | nauhlič.  |
| n=15 |   | LLG |  ocel | LLG | železo |   |   | FeSi |   |   |
|   | kg/t | kg/t | kg/t | kg/t | kg/t | kg/t | kg/t | kg/t | kg/t | kg/t |
| min | 184 | 0 | 0 | 98 | 194 | 2,63 | 0,56 | 0,00 | 0,00 | 1,11 |
| max | 537 | 309 | 353 | 378 | 333 | 7,22 | 9,00 | 7,37 | 0,00 | 12,20 |
| s | 85 | 91 | 117 | 82 | 36 | 1,52 | 2,20 | 2,70 | 0,00 | 3,22 |
| průměr | 310 | 104 | 68 | 256 | 264 | 4,66 | 5,27 | 5,10 | 0,00 | 8,07 |

V neúplných vlastních nákladech jsou zahrnuty dále položky nepřímých nákladů a to: náklady na analýzu kovu, měření teploty, chladící vodu, pohon čerpadel, náklady na odsávání, náklady na výdusku kelímku indukční pece a mzda osádky.

|  |
| --- |
| **Tab. 1b základní statistické charakteristiky vybraných nepřímých nákladů původní technologie** |
|   | doba  | hmotnost | spotřeba | NVN |
|   | tavby | tavby | el. energie |   |
|   | min | t | kWh/t | Kč/t |
| min | 65,00 | 1,80 | 389,46 | 10611,49 |
| max | 185,00 | 2,10 | 873,46 | 13366,30 |
| s | 36,92 | 0,11 | 142,90 | 752,97 |
| průměr | 112,50 | 1,93 | 665,77 | 11604,35 |

Při kontrole stávajícího technologického předpisu byla navržena některé doporučení vedoucí ke snížení nákladů. Například očkování litiny do vsázky karbidem křemíku, část měření teploty sondami nahradit měření optickým pyrometrem, aj. Bylo konstatováno, že současný technologický předpis zajišťuje vyhovující jakost vyráběné litiny.

Na základě zjištění a diskuse s metalurgy byl technologický předpis litiny GG 30 upraven. Opět byl sledován soubor nákladových položek u celkem taveb 15 taveb. Základní statistické charakteristiky souboru přímých nákladů nové technologie jsou uvedeny v **Tab. 2a**, nepřímých v **Tab. 2b**. Zkratka VM znamená vratný materiál tedy vratný materiál litiny a oceli zkratka NVN znamená neúplné vlastní náklady [5].

|  |  |
| --- | --- |
|  | **Tab. 2a Základní statistické charakteristiky přímých nákladů nové technologie** |
|   | šrot | VM | VM | špony | surové | FeMn | FeSi | očko. | SiC | nauhlič.  |
| n=15 |   | LLG |  ocel | LLG | železo |   |   | FeSi |   |   |
|   | kg/t | kg/t | kg/t | kg/t | kg/t | kg/t | kg/t | kg/t | kg/t | kg/t |
| min | 216,22 | 0,00 | 0,00 | 222,22 | 155,24 | 2,70 | 0,00 | 1,89 | 5,41 | 5,33 |
| max | 461,54 | 157,25 | 278,72 | 371,43 | 224,24 | 7,78 | 4,62 | 2,29 | 11,11 | 10,29 |
| s | 97,03 | 65,99 | 106,28 | 53,22 | 16,43 | 1,72 | 1,45 | 0,15 | 1,51 | 1,17 |
| průměr | 354,68 | 46,03 | 89,35 | 328,81 | 191,85 | 4,87 | 2,31 | 2,10 | 8,09 | 7,84 |

|  |
| --- |
| **Tab. 2b základní statistické charakteristiky vybraných nepřímých nákladů nové technologie** |
|   | doba  | hmotnost | spotřeba | NVN |
| n=15 | tavby | tavby | el. energie |   |
|   | min | t | kWh/t | Kč/t |
| min | 40,00 | 1,75 | 477,72 | 8737,91 |
| max | 150,00 | 2,25 | 900,07 | 12295,64 |
| s | 36,00 | 0,12 | 106,12 | 932,29 |
| průměr | 85,71 | 1,85 | 661,06 | 10492,23 |

Ke kontrole dodržování technologického předpisu bylo navrženo použití jednoduchých statistických metod.

1. **Statistická analýza sledovaných technologií**
	1. ***Test normálního rozdělení***

Naměřené soubory jednotlivých nákladových položek byly nejprve testovány na normální rozdělení. K testování byl použit program MINITAB. Výsledky testu jsou uvedeny v **Tab. 3**. Pro hodnocení byla zvolena hladina významnosti p = 0,05, to znamená, že odchylky se vyskytují s pravděpodobnosti menší než 95%. Se stejnou hladinou statistické významnosti se počítá i v dalších úvahách.

|  |
| --- |
| **Tab. 3 Výsledky testu normálního rozdělení – parametr p 0,005**  |
|   | šrot | VM LLG | VM ocel | špony | surovéFe | FeMn | FeSi |
| původní technologie  | 0,329 | 0,012 | 0,005 | 0,889 | 0,138 | 0,49 | 0,075 |
| nová technologie  | 0,012 | 0,005 | 0,005 | 0,005 | 0,035 | 0,388 | 0,137 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|   |   | FeSi očko. | SiC | nauhličovadlo | el. energie | NVN | doba tav. |  |
| původní technologie  | 0,005 | - | 0,061 | 0,775 | 0,40 | 0,387 |  |
| nová technologie  | 0,074 | 0,396 | 0,292 | 0,196 | 0,51 | 0,509 |  |

Pokud je parametr p pro test normálního rozdělení větší než 0,05, pak se nedá říct, že soubor nemá normální rozdělení. Soubory původní technologie až na dvě výjimky neodporují normálnímu rozdělení. Znamená to, že vzniklé odchylky jsou náhodné a neuplatňuje se vliv např. osádky pece. V případě souboru „VM ocel“ se materiál vsázkoval na doplnění hmotnosti tavby a jeho přísada byla ovlivněna skladbou vsázky. Předepsaná hodnota spotřeby ferosilicia pro očkování litiny nebyla dodržována a byla ovlivněna tavičem.

U nové technologie se zvýšil počet souborů, které neměly normální rozdělení. Bylo to způsobeno tím, že nový technologický předpis byl upravován podle získaných zkušeností. Vliv v takovém případě nebyl náhodný. Soubory přísad očkovacího ferosilicia a karbidu křemíku neodporovaly normálnímu rozdělení. Odchylky byly tedy náhodné.

* 1. ***Test rozdílu výběrového průměru a známého průměru základního souboru***

Test je zaměřen na zjištění, zda je možné považovat naměřené soubory jednotlivých nákladových položek za výběr ze základního souboru prezentovaného veličinou nákladové položky dané technologickým předpisem.

Kritická hodnota t kr je převzata z [6,7] testovací hodnota „t“ je vypočtena ze vzorce (1):

$t=\frac{\left⌊X-μ\right⌋\*\sqrt{n-1}}{s}$ (1)

X - Průměrná hodnota v souboru sledované položky.

µ - Hodnota daná technologickým předpisem.

n – Počet měření.

s - Směrodatná odchylka v sledovaném souboru.

|  |
| --- |
| **Tab. 4 Test rozdílu výběrového souboru a známého průměru** |
|   | Původní technologie |
|   | šrot |  VM LLG | špony | sur. Fe | FeMn | FeSi | nauh | FeSi oč. |
| tkr | 2,145 | 2,145 | 2,145 | 2,145 | 2,145 | 2,145 | 2,145 | 2,145 |
| t | 0,43 | 1,89 | 2,57 | 14,05 | 3,30 | 10,33 | 0,08 | 7,07 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|   | Nová technologie |
|   | šrot |  VM LLG | špony | sur. Fe | FeMn | SIC | nauh | FeSi oč. |
| tkr | 2,145 | 2,145 | 2,145 | 2,145 | 2,145 | 2,145 | 2,145 | 2,145 |
| t | 0,18 | 11,56 | 9,05 | 1,86 | 10,58 | 0,23 | 2,71 | 0,08 |

Rovněž je zajímavé analyzovat veličiny, které se odchylují od technologického předpisu směrem k nižším hodnotám a sledovat jaký vliv měla odchylka na dodržení podmínek v kupní smlouvě. Ve všech případech byla sjednaná hodnota jakosti výrobků dodržena. Tato analýza odhalila rezervy v používané technologii a následně umožnila změnu technologického předpisu. Analýza uvedených technologií vedla k následujícím doporučením:

**U původní technologie** je technologická hodnota pro přísadu surového železa stanovena na 400 kg/t. Skutečná průměrná spotřeba činila 263 kg/t. Hodnota průměru tohoto souboru se statisticky významně liší od předpisu a příznivě se projevila na NVN taveb původní technologie. Z tohoto důvodu nebyla dodržena také předepsaná hodnota spotřeby špon. Spotřeba feromanganu a ferosilicia se statisticky významně lišily od předpisu. Spotřeba FeMn byla statistiky významně vyšší než udával předpis zatím co spotřeba FeSi nižší.

**U nové technologie** je dodržena předepsaná hodnota spotřeby u surového železa a šrotu. Přísada špon je ve skutečnosti významně vyšší než uvádí předpis. Doporučuje se zvážit, zda je možné zvýšit přísadu špon v technologickém předpisu. Spotřeba nauhličovadla závisí na obsahu uhlíku v tavbě. Docílení vyrovnané spotřeby nauhličovadla je možné zajištěním vyšší reprodukovatelnosti chemického složení litiny po roztavení. Průměrná spotřeba feromanganu je nižší než udává předpis. Opět zvážit zda není možné snížit předepsanou přísadu feromanganu. Ferromangan affiné by neměl být přidáván do litiny vůbec. Zvýšení obsahu manganu v litině o 1% způsobí zvýšení obsahu uhlíku v litině o 0,1%. Proto je také nelogické používat FeMn affiné. Zvláště pokud se současně litina nauhličuje.

* 1. ***Test významnosti rozdílů mezi dvěma soubory, výpočet testovacích kritérii***

V praxi nastává případ, kdy dochází v technologii ke změně. Pak jsou k disposici dva soubory. Jeden před změnou a jeden po změně a nabízí se otázka, zda se změna technologie promítla v hodnotách sledovaných dat. Testovací kritérium se vypočítá pro případ shody rozptylů jinak, než pro případ, kdy mezi rozptyly je významný rozdíl. V první fázi se testuje shoda rozptylů. Test významnosti rozdílů mezi dvěma soubory pomáhá určit, zda v uvedeném případě způsobila změna technologie změnu vybraných položek. Testovány byly všechny položky. Zvláštní pozornost byla věnována rozdílu mezi NVN, spotřebou surového železa a spotřebou ferosilicia u sledovaných souborů. Test významnosti rozdílů mezi dvěma soubory probíhá ve dvou krocích. V prvním kroku se testují rozptyly ve druhém výběrové průměry.

1. ***Test významnosti rozdílů mezi dvěma rozptyly (F-test)***

Při testování významnosti rozdílů mezi dvěma rozptyly formulujeme nulovou hypotézu. $∂\_{1}^{2}= ∂\_{2}^{2}$

$∂$2 – odhad rozptylu základního souboru byl vypočten podle rovnice (2)

 $δ\_{1}^{2} = s\_{1}^{2}\frac{n\_{1}-1}{n\_{1}}$ (2)

Testovacím kritériem je v tomto případě hodnota F, která byla vypočtena podle rovnice (3)

 $ F=\frac{∂\_{1}^{2}}{∂\_{2}^{2}} $(3)

Vypočtená hodnota testovacího kritéria F je porovnávána s kritickou hodnotou F0,05 uvedenou v statistických tabulkách. Jestliže F ≤ F0,05 pak nemáme důvod k zamítnutí nulové hypotézy a ve zvolené hladině pravděpodobnosti p = 0,05 platí, že rozdíly mezi rozptyly jsou statisticky nevýznamné. Následuje výpočet testovacího kritéria pro případ $∂\_{1}^{2}= ∂\_{2}^{2}$. Výsledky testu významnosti rozdílu mezi rozptyly u vybraných nákladových položek jsou uvedeny v **Tab. 5**.

|  |
| --- |
| **Tab. 5. Výsledky testu významnosti mezi dvěma rozptyly** |
|   | šrot | VM LLG | špony | sur. Fe | FeMn  | FeSi  |
| původní technologie | 7834,43 | 8882,62 | 7281,07 | 1416,96 | 2,47 | 5,22 |
| nová technologie | 10123,13 | 4682,35 | 3045,02 | 290,28 | 3,19 | 2,25 |
| F | 1,29 | 1,90 | 2,39 | 4,88 | 1,29 | 2,32 |
| Fkr. | 3,28 | 3,28 | 3,28 | 3,28 | 3,28 | 3,28 |
|   | F ≤ F0,05 | F ≤ F0,05 | F ≤ F0,05 | F ≥ F0,05 | F ≤ F0,05 | F ≤ F0,05 |
|  |  |  |  |  |  |  |
|   |  FeSi oč. | nauh.  | kWh | NVN | doba tav. | FeSi celk. |
| původní technologie | 7,84 | 11,17 | 73149,68 | 655881,53 | 1466,01 | 4,28 |
| nová technologie | 0,02 | 1,46 | 45609,15 | 934585,48 | 1393,46 | 2,39 |
| F | 332,59 | 7,65 | 1,60 | 1,42 | 1,05 | 1,79 |
| Fkr. | 3,28 | 3,28 | 3,28 | 3,28 | 3,28 | 3,28 |
|   | F ≥ F0,05 | F ≥ F0,05 | F ≤ F0,05 | F ≤ F0,05 | F ≤ F0,05 | F ≤ F0,05 |

Změna technologie měla za cíl především dosáhnout snížení NVN u surového železa, ferosilicia a feromanganu. U uvedených položek a položky NVN byl testován rozdíl výběrových průměrů.

1. ***Test významnost dvou výběrových průměrů t-test jestliže***$ ∂\_{1}^{2}= ∂\_{2}^{2}$

Testovací kritériu t se vypočte z rovnice (4).

$ t=A\_{t}\* \frac{/X\_{1}-X\_{2}/}{\sqrt{n\_{1}\*s\_{1}^{2}+n\_{2}\*s\_{2}^{2}}}$ (4)

Hodnota At zkracuje výpočet a je uvedena ve statistických tabulkách. Vypočtená hodnota t se porovná s hodnotou kritickou hodnotou tp z tabulek.

Pokud je t >tp pak se nulová hypotéza zamítá a tvrdíme, že rozdíl mezi průměry je statisticky významný v hladině p = 0,05 a lze předpokládat, že soubory nejsou vyrobeny stejnou technologií. V opačném případě se s uvažovanou pravděpodobností předpokládá, že změna technologie nevedla u sledovaného souboru ke statisticky významné změně. U položek FeMn, FeSi celk., NVN a doby tavby byl proveden test za předpokladu shody rozptylů ($∂\_{1}^{2}=∂\_{2}^{2}$). Výsledky jsou uvedeny v **Tab. 6**.

**Tab. 6 Výsledky textu významnosti rozdílů dvou výběrových průměrů (**$∂\_{1}^{2}=∂\_{2}^{2}$**)**

Pro test statistické významnosti rozdílů dvou výběrových průměrů byly vybrány položky uvedené v **Tab. 6.** Výsledkem testu je odhad, zda změna technologie se projevila staticky významně na průměrné hodnotě souboru vybrané položky.

|  |  |
| --- | --- |
|

|  |
| --- |
| **Tab. 6 Výsledky testu rozdílů dvou výběrových průměrů** $∂\_{1}^{2}=∂\_{2}^{2}$ |

 |
|  | FeMn C | FeSi celk. | NVN | doba tav. |  |
| t | 3,03 | 8,63 | 3,28 | 1,87 |  |
| tkr | 2,04 | 2,04 | 2,04 | 2,04 |  |
|  | t ≥ t0,05 | t ≥ t0,05 | t ≥ t0,05 | t ≤ t0,05 |  |

Z **Tab. 6** lze s pravděpodobností p = 0,05 přepokládat, že u NVN a celkové spotřeby ferosilicia a feromanganu způsobila změna technologie statisticky významnou změnu průměrných hodnot. Celková spotřeba ferosilicia (FeSi celk.) udává součet spotřeby ferosilicia do tavby a na očkování. U doby tavby, i když se významně zkrátila, není možné předpokládat, že změna byla způsobena změnou technologie.

1. ***Test významnost dvou výběrových průměrů t-test, jestliže*** $∂\_{1}^{2}\ne ∂\_{2}^{2}$

U souborů surového železa a nauhličovadla nebyla zjištěna shoda rozptylů a k testování rozdílů výběrových průměrů bylo testovací kritérium t vypočteno podle rovnice (5). Kritická hodnota t\*p  se kterou bylo testovací krtérium porovnáváno byla vypočtena rovnicí (6)

 $ t= \frac{/x\_{1}-x\_{2}/}{\sqrt{\frac{s\_{1}^{2}}{n\_{1}-1}+\frac{s\_{2}^{2}}{n\_{2}-1}}}$ (5)

Kritická hodnota rozdělení $t\_{p}^{\*}$ se kterou bylo testovací kritérium porovnáváno byla vypočtena rovnicí (6). t´ a t“ jsou hodnoty uvedené ve statistických tabulkách [6].

 $t\_{p}^{\*}= \frac{t\_{p}^{´}\*\frac{s\_{1}^{2}}{n\_{1 }-1}+t\_{p}^{"}\*\frac{s\_{2}^{2}}{n\_{2 }-1}}{\frac{s\_{1}^{2}}{n\_{1 }-1}+\frac{s\_{2}^{2}}{n\_{2 }-1}}$ (6)

Za předpokladu ($∂\_{1}^{2} \ne ∂\_{2}^{2}$) jsou vypočtené testovací kritérium t = 2,61 a kritická hodnota $t\_{p}^{\*}$ uvedeny v **Tab. 7**.

|  |
| --- |
| **Tab. 7 Výsledky testu významnosti**  |
|  **rozdílů výběrových průměrů** $∂\_{1}^{2}\ne ∂\_{2}^{2}$ |
|   | Fe | nauh. |
| t | 15,71 | 1,41 |
| t\* | 2,61 | 2,61 |

Pro soubor spotřeby surového železa byla vypočtena hodnota t = 15,71. Kritické hodnota t\* – rozdělení byla vypočtena t\* = 2,61. Platí t > t\*, nulová hypotéza se zamítá a platí, že po změně technologie byla průměrná spotřeba surového železa do tavby významně jiná než průměrná hodnota u původní technologie.

 U spotřeby nauhličovadla byla vypočtena t = 1,41. Nulová hypotéza se nezamítá a změna spotřeby nauhličovadla u nové technologie není statisticky významná.

**Shrnutí výsledků uvádějící vliv změny technologie na vybrané nákladové položky**

Při výrobě litiny s lupínkovým grafitem na 2t indukční peci, byla prověřena používaná technologie a navržena její změna. Vliv změny technologie na vybrané nákladové položky byl sledován na dvou souborech o 15 tavbách. První soubor dat byl získán z tavicích protokolů u původní technologie, druhý soubor byl naměřen na tavbách po změně a je označen jako nová technologie. Základní statistické charakteristiky obou souborů jsou uvedeny v **Tab. 1a, 1b** a **Tab. 2a 2b**. V neúplných vlastních nákladech byla zjištěna průměrná úspora 1112,12 Kč. U nové technologie byla snížena spotřeba surového železa na úkor šrotu, litinového vratného materiálu, ocelového vratného materiálu a špon. Úpory feroslitin se dosáhlo přísadou karbidu křemíku, který nahrazoval dražší FeSi a nauhličovadlo. FeMnaff byl nahrazen levnějším FeMn C. Zvýšení obsahu Mn o 0,1% přísadou uhlíkového feromanganu zvýší obsah C v tavbě o cca 0,01% a použití FeMnaff nemá smysl. Významně se zkrátila doba tavby. Uvedený efekt je obvykle pozorován, jestliže osádka pece zjistí, že je technologie sledována. Lze tedy změnu doby tavby vysvětlit motivací osádky.

Po změně technologie se změnily položky suroviny, doba tavby, spotřeba elektrické energie a NVN. Statistickými metodami bylo zjišťováno, které vlivy se na změnách podílely. Při prvním šetření byly soubory testovány na normální rozdělení. Výsledky testu jsou uvedeny v **Tab. 3**. U původní technologie až na dvě výjimky měly všechny soubory normální rozdělení. Rozptyl nebyl ovlivněn činností obsluhy, která by spotřebu položek usměrňovala. U nové technologie nebylo zjištěno normální rozdělení u více souboru. Je zřejmé, že u nové technologie byly konány ještě úpravy navrženého technologického postupu.

V dalším šetření bylo sledováno, jak je dodržována technologickým předpisem předepsaná spotřeba jednotlivých položek a to testem rozdílu výběrového souboru a známého průměru. Známým průměrem byla předepsaná hodnota v technologickém předpisu. Jestliže se výběrový soubor statisticky významně liší od známého lze předpokládat, že technologický předpis u sledované přísady není dodržen. Výsledky jsou vedeny v **Tab. 4.** Předepsané hodnoty spotřeb jednotlivých položek jsou uvedeny ve zprávě [5]. Složení vsázky určuje přísada surového železa. U původní technologie byla přísada surového železa statisticky významně nižší oproti předpisu. U nové technologie byla přísada surového železa dodržována. V předpisu by měla být pozorována změněna přísady špon a vratného materiálu LLG. Předpis na přísadu karbidu křemíku u nové technologie způsobil změnu spotřeby ferosilicia a nauhličovadla. Reprodukovatelnost hodnot jednotlivých přísad závisí na reprodukovatelnosti chemického složení. Osádka pece by mohla být motivována na dodržení tolerancí předepsaného chemického složení. Po dosažení reprodukovatelnosti základních prvků po roztavení lze lépe řídit technologií a snížit spotřebu nákladově vyšších položek.

Rozdíly mezi původní a novou technologií byly testovány ve dvou krocích. V prvním kroku byl testován rozdíl mezi rozptyly. Výsledky jsou uvedeny testu shody rozptylů v **Tab. 5**. Vlastní test významnosti mezi výběrovými průměry byl vypočten pro položky se statisticky významnou shodou rozptylů$ ∂\_{1}^{2}=∂\_{2}^{2}$. U souborů feromangan, ferosilicium celkové, neúplné vlastní náklady a doba tavby byla zjištěna shoda rozptylů. Výsledky testu rozdílu výběrových průměrů jsou uvedeny pro tyto položky v **Tab. 6.** U položek surové železo a nauhličovadlo nebyla zjištěna shoda rozptylů. Shoda výběrových průměrů je testována kritériem t s kritickou hodnotou t\* rozdělení, která byla vypočtena rovnicí (6). Rozdíly mezi spotřebou surového železa u původní a nové technologie jsou statisticky významné a lze tvrdit, že změna technologie vedla k statisticky významné změně spotřeby surového železa. Pro položky s neshodnými rozptyly $∂\_{1}^{2}\ne ∂\_{2 }^{2} $jsou výsledky testu uvedeny v**Tab. 7.** U nového technologického předpisu byla statisticky významně snížena spotřeba surového železa. Spotřeba nauhličovadla se podle očekávání zkrátila, snížení není ale statistiky významné.

Autoři práce přepokládají, že k významnému snížení nákladů po změně technologie přispěla i kontrola technologie a zapojení obsluhy pece do sledování nákladů. Obsluha pece byla motivována zájmem vedení provozu.

Literatura:

1. Ivanov, M.: Sága o životě a smrti Jana Bati a jeho bratra Tomáše. Nakladatelství „Lípa“ Vizovice 1998. ISBN 80-86093-14-X
2. Šenberger, J.: Nepublikovaná zpráva metalurgického vývoje Sigma Slatina k. p., 1982.
3. Ústní sdělení ředitele Ing. Vladimíra Rojička, 26. ledna 2019.
4. Kafka, V., Carbol Z., Herzán M., Lána I., Mrózek M., Novobilský M., Opler A., Pělucha B., Sýkora M., Šenberger J., Turoň M., Závrbská M.: Uplatněni motivace a problémy řízení nákladů ve slévárnách, závěrečná zprava, PROJEKT XIX, s. 1–68, CD ROM. ČSS, OK ekonomická, říjen 2019.
5. Kafka V., Carbol Z., Herzán M., Lána I., Mrózek M., Novobilský M., Opler A., Pělucha B., Sýkora M., Šenberger J., Turoň M., Závrbská M.:Odborná komise ekonomická ukončila PROJEKT XIX zaměřený na motivaci pracovníků a řízení nákladů tekutého kovu, Slévárenství 1-2, 2020, s. 33 – 35, ISSN 0037- 6825,
6. Reisenauer, R.: Metody matematické statistiky. Vydalo SNTL Nakladatelství technické literatury, n. p. Praha 1970.
7. Ligeš, J., Laga, J.: Základní statistické tabulky. SNTL, Praha 1978.