

Komparácia spracovania plastov dvojfarebnou potlačou a IML technológiu pomocou Petriho sietí

Comparison of the plastic processing two-color printing and IML technology using the Petri nets

Peter TREBUŇA,

Milan FILO,

Miriam PEKARČÍKOVÁ



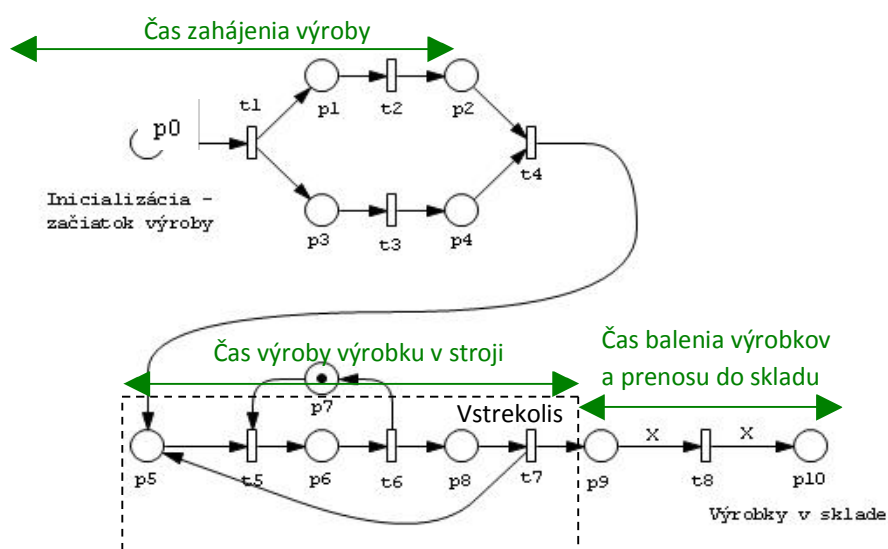
Abstrakt: Cieľom príspevku je analýza konkrétneho výrobného procesu s cieľom zistenia jeho efektivity a návrhu možnej optimalizácie pomocou Petriho siete. Príspevok mapuje hlavný výrobný proces vo firme spracúvajúcej plasty pomocou metódy sieťovej analýzy. Analýza procesu poskytne zhodnotenie aktuálnej situácie vo firme a môže odhaliť slabé miesta v procese a hľadať možnosti zlepšenia.

Kľúčové slová: podnikový proces, analýza procesov, Petriho sieť

Popis procesov aplikáciou Petriho sietí

Jednou z možných metód ako pristúpiť k modelovaniu výrobného procesu je aplikácia Petriho sietí. Príspevok načrtne stručný model, ktorý môže podnikateľovi hypoteticky pomôcť v jeho budúcom rozhodnutí, napríklad na ukážke ušetrenia mzdových nákladov, súvisiacich so znížením stavu zamestnancov na základe zakúpenia CNC technológie do výroby. Pri porozumení princípu má táto metóda vysokú vypovedaciu schopnosť, ktorá môže ľubovoľnému podnikateľskému subjektu na príklade firmy spracujúcej plasty poskytnúť dôležité informácie pre vykonanie rozhodnutia.

Petriho sieť na obrázku 1 znázorňuje chronologický postup výroby téglíka bez potlače, ktorý je zhodný s procesom výroby viečka.



Obr.1 Petriho sieť výroby viečka a téglíka bez potlače

Značenie Petriho siete:

t1 – Začiatok prípravy na štart vstrekolisu	p0 – Inicializácia výroby
t2 – Koniec prípravy materiálu	p1 – Príprava materiálu
t3 – Koniec ohrevu stroja	p2 – Materiál pripravený
t4 – Štart vstrekolisu,	p3 – Zapnutie stroja – ohrev
	p4 – Stroj je nahriaty
t5 – Začiatok výroby téglíku (viečka)	p5 – Uzatvorenie formy
	p6 – Výroba téglíka (viečka)
t6 – Ukončenie výroby téglíku (viečka),	p7 – Stroj je voľný
t7 – Presun výrobku do zásobníka,	p8 – Otvorenie formy, výrobok na výstupe
začiatok balenia do prepravného obalu	p9 – Výrobok v zásobníku, kontrola
t8 – Po naplnení a uzatvorení prepravného obalu výrobkami na množstvo X presun do skladu	kvality, balenie do prepravného obalu
	p10 – Výrobky v sklade

Miesto p9 a p10 má neobmedzenú kapacitu. Všetky ostatné miesta majú kapacitu 1.

Hrana p9 → t8 a t8 → p10 má násobnosť kapacity prepravného alebo dočasného obalu.

Všetky ostatné hrany majú násobnosť 1.

Inicializácia výroby zahŕňa prípravné práce na štart výroby a to sú:

- príprava suroviny – materiálu na výrobu výrobku a farebného koncentráту pre zafarbenie výrobku na požadovaný odtieň
- príprava stroja – ohriatie na pracovnú teplotu, zapnutie podporných zariadení.

Po úspešnej inicializácii sa spustením prechodu t4 začína výroba výrobku uzatvorením formy – miesto p5 vo vstrekolise. Proces výroby sa končí v mieste p8 otvorením formy a presunom výrobku do zásobníka p9. Úspešné prevedenie prechodu t7 - výrobok opustil vstrekolis a presunul sa do zásobníka, umožní zahájiť nový pracovný cyklus výroby výrobku, čo znázorňuje hrana t7 → p5.

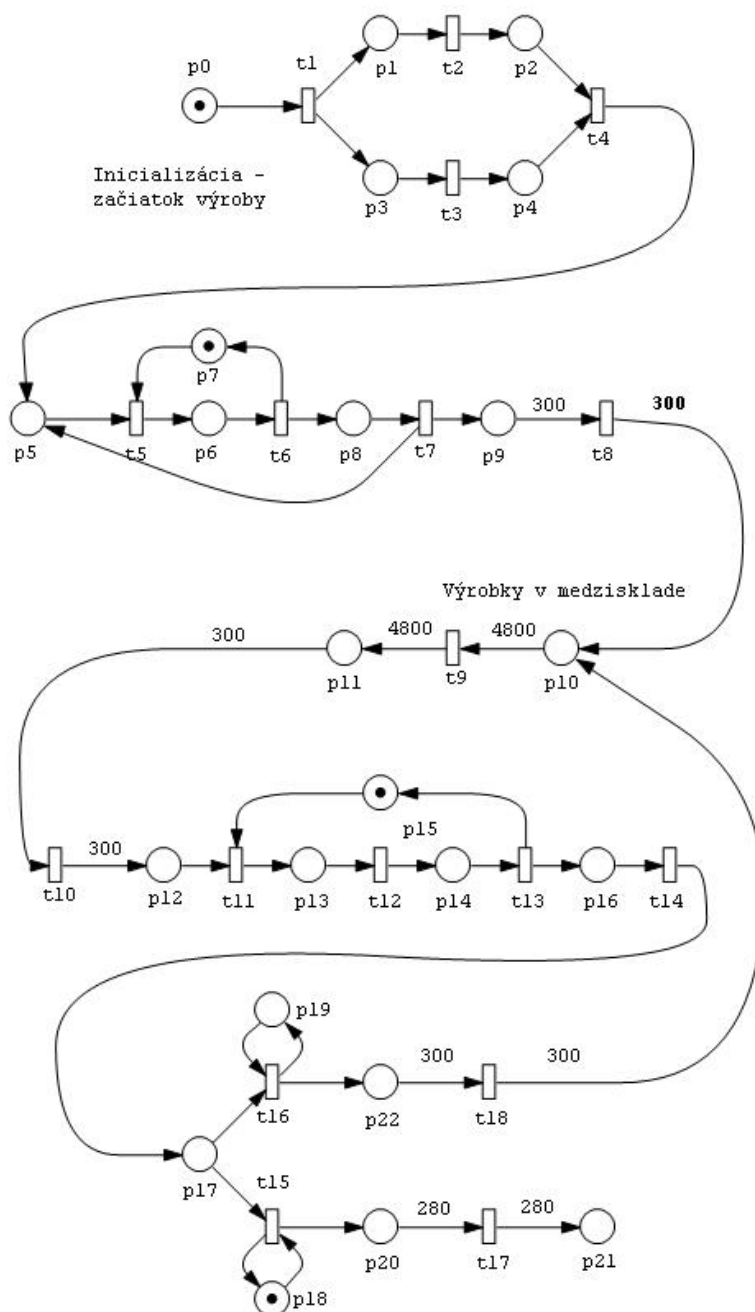
Vstrekolis pracuje v automatickom výrobnom cykle a nevyžaduje zásah človeka za normálnych prevádzkových podmienok. Obsluha vstrekolisu čaká na naplnenie zásobníka - prepravného obalu na kapacitu X. Po naplnení na kapacitu X sa prepravný obal uzavrie a uloží do skladu hotových výrobkov. Proces výroby téglíka bez potlače je praktický zhodný s výrobou viečka pre téglík. Líši sa len kapacitou X prepravného obalu a dĺžkou pracovného cyklu vstrekolisu. Petriho sieť výroby viečka je preto zhodná s Petriho sieťou výroby téglíka.

Proces výroby výrobkov vyššie uvedeným spôsobom je už dostatočne zautomatizovaný. Výroba výrobku prebieha v automatickom cykle, materiál na výrobu podáva do zásobníka stroja nasávací automat z veľkoobjemového zásobníka. Pridávanie farbiva do materiálu zabezpečuje elektronický dávkovač. Úlohou obsluhy je kontrolovať kvalitu a baliť hotové výrobky z veľkoobjemového zásobníka do prepravných obalov, dopĺňať materiál a farbivo. Ďalšia automatizácia, napríklad baliaci automat, by pri súčasnom sortimente a rýchlosti výroby výrobkov nebola efektívna. V súčasnosti obsluhuje jeden pracovník dva výrobné stroje.

Na obrázku 2 je Petriho sieť pre výrobu téglíka s potlačou. Vyrobené téglíky sa ďalej spracovávajú metódou rotačnej sieťotlače. Aby sa mohol začať proces potlače téglíka, je nutné zabezpečiť plynulý priebeh dodávok téglíkov pre pracovisko potlače. Produktivita výroby téglíkov na vstrekolise je v ideálnych podmienkach približne 300 kusov za hodinu. Produktivita potláčacieho pracoviska je priemerne 600 kusov za hodinu pri potlači jednou farbou. Firma si výrobu zabezpečila organizačne tak, že výroba téglíkov prebieha v dvojzmennej prevádzke a potláčacie pracovisko pracuje v jednozmennej prevádzke. Dve pracovné zmeny vyprodukurujú 4800 kusov téglíkov, čo je denná produkcia potláčacieho pracoviska.

Zobrazená Petriho sieť znázorňuje výrobu téglíka a proces potlače téglíka jednou farbou. Po ukončení potlače smeruje hotový téglík miestom p20 po zabalení do prepravného obalu do skladu hotových výrobkov.

Firma produkuje aj výrobky potlačené dvojfarebne. Petriho sieť pre dvojfarebnú potlač zmení počiatočné značenie. Token z miesta p18 sa presunie na miesto p19, čo spôsobí, že výrobky potlačené prvou farbou sa po usušení balia do dočasných obalov a uskladňujú späť do medziskladu. Po potlačení celej výrobnéj dávky prvou farbou sa môže zahájiť proces potlače druhou farbou. Token sa z p19 presunie späť na p18. Výrobná dávka sa z miesta p10 začne prechodom t9 presúvať na pracovný stôl p12 a výrobky sa potlačia druhou farbou. Po ukončení potlače sa už výrobky presúvajú na miesto p20 a po zabalení do prepravného obalu putujú do skladu hotových výrobkov.



Obr. 2 Petriho sieť výroby téglíka s potlačou

Značenie Petriho siete:

t1 – Začiatok prípravy na štart vstrekolisu	p0 – inicializácia výroby
t2 – Koniec prípravy materiálu	p1 – Príprava materiálu
t3 – Koniec ohrevu stroja	p2 – Materiál pripravený
t4 – Štart vstrekolisu,	p3 – Zapnutie stroja – ohrev
	p4 – Stroj je nahriaty
t5 – Začiatok výroby téglíku (viečka)	p5 – Uzatvorenie formy
	p6 – Výroba téglíka (viečka)
t6 – Ukončenie výroby téglíku (viečka),	p7 – Stroj je voľný
t7 – Presun výrobku do zásobníka,	p8 – Otvorenie formy, výrobok na výstupe
začiatok balenia do prepravného obalu	p9 – Výrobok v zásobníku, kontrola
t8 – Po naplnení a uzatvorení dočasného obalu výrobkami na množstvo 300 ks presun do medziskladu	kvality, balenie do dočasného obalu
	p10 – Výrobky v medzisklade
t9 – Požiadavka na dostatočné množstvo pre začatie potlače	p11 – Medzisklad je dostatočne plný
t10 – Začiatok potlače, výber výrobkov z medziskladu	p12 – Výrobky sa vyberajú na pracovný stôl z dočasného obalu
t11 – Začiatok pracovného cyklu	p13 – Prenos výrobku do stroja
t12 – Začiatok potlače	p14 – Výrobok sa potláča
	p15 – stroj voľný
t13 – Koniec potlače, začiatok presunu na sušiacie zariadenie	p16 – Prenos výrobku zo stroja a sušenie
t14 – Koniec sušenia	p17 – Výrobok na výstupe sušenia
t15 – Začiatok balenia hotových výrobkov farbou, potom p19 nemá token	p18 – Výrobok nepotrebuje potlač druhou
t16 - Začiatok balenia čiastočne hotových výrobkov	p19 – Výrobok potrebuje potlač druhou farbou, potom p18 nemá token
	p20 – Balenie do prepravných obalov
t17 – Presun do skladu hotových výrobkov	p21 – Hotové výrobky v sklade
t18 - Presun do medziskladu	p22 – Balenie do dočasných obalov

Neoznačené hrany majú násobnosť 1.
Miesto p9, p10, p11, p12, p20, p21, p22 majú neobmedzenú kapacitu. Všetky ostatné miesta majú kapacitu 1.

Proces výroby s grafickou úpravou technológiou IML

V predchádzajúcom je popísaný spôsob grafickej úpravy téglíka metódou sieťotlače. Firma nepovažuje za ekonomicky efektívne produkovať súčasným strojovým vybavením viac ako dvojfarebnú etiketu. Kľúčový odberateľ požiadal firmu zvýšiť kvalitu poskytovanej grafickej úpravy téglíka.

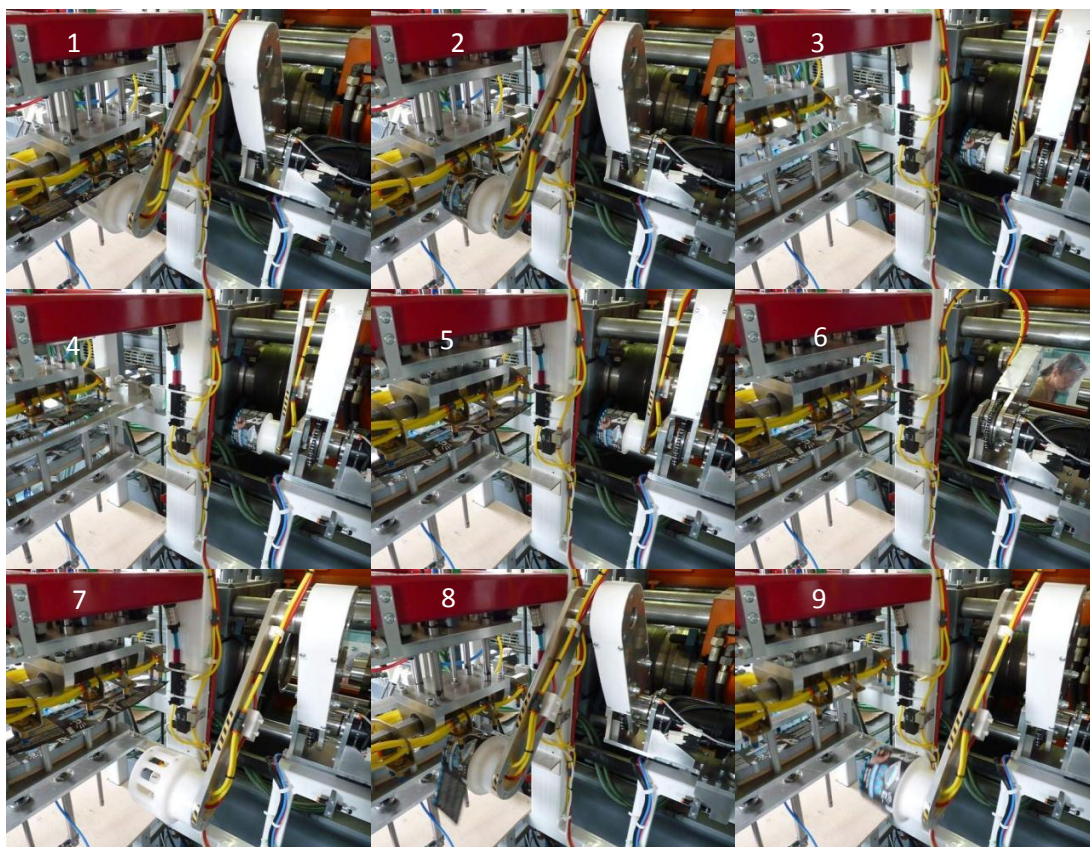
Testovaním súčasnej technológie potlače sa zistilo, že strojom sa nedá zabezpečiť plnofarebná potlač téglíka. Metóda ručného zakladania téglíka nedokáže zabezpečiť dostatočnú presnosť osadenia téglíka do stroja pri tlači ďalších farieb.

V záujme udržania konkurencie schopnosti a expanzie na ďalšie trhy začala firma skúmať možnosti zakúpenia inej technológie potlače. Po prieskume možností výberu vhodnej technológie sa firma rozhodla pre modernú technológiu IML.

Podstatou technológie IML je vkladanie hotovej etikety do lisovacej formy téglíka.

Pracovný cyklus vstrekolisu sa začína vložení etiekty do formy pre téglik. Následne sa forma uzavrie a pokračuje výroba téglika vstreknutím roztaveného termoplastu do formy. Po ukončení pracovného cyklu opúšťa roztvorenú lisovaciu formu hotový – etiketou označený téglik, smerujúci do veľkokapacitného zásobníka hotových výrobkov. Etiketa sa pri procese výroby téglika neoddeliteľne spojí s téglikom, pretože etiketa je vyrobená z identického materiálu ako téglik.

V roku 2010 objednala firma automatický základací stroj etiekiet do formy. Stroj tvorí robotické rameno, zásobník etiekiet a podávací mechanizmus etiekiet zo zásobníka na rameno. Každý stroj sa vyrába na zákazku podľa individuálnych požiadaviek zákazníka a špecifikácie vstrekolisu a pre konkrétny výrobok. Začiatkom roka 2011 bolo zariadenie dodané a uvedené do prevádzky.



Obr. 3 Obrazová sekvencia vkladania IML etiekty do formy

Prvou veľkou výhodou IML etiekiet je ich kvalita prevedenia. Základom etiekty je polypropylénová fólia o hrúbke 55 mikrometra. Etiekty sa tlačia na ofsetovej profesionálnej tlačiarňi v renomovanom polygrafickom centre. Dodávateľ etiekiet používa pri tlači najmodernejšie tlačiarenské stroje. Výsledný produkt je plnofarebná etiketa fotografickej kvality.

Druhou výhodou technológie je možnosť plnej automatizácie vkladania etiekty do lisovacej formy. Existuje možnosť ručného zakladania etiekiet do formy. Praktickou skúškou zakladania bolo overené, že ručné vkladanie etiekty do formy neprimerane predlžuje výrobný cyklus téglika a obsluha nedokáže vložiť etiketu vždy na to isté miesto do formy. Výsledkom ručného zakladania bola nízka produktivita a vysoké množstvo nezhodných výrobkov.

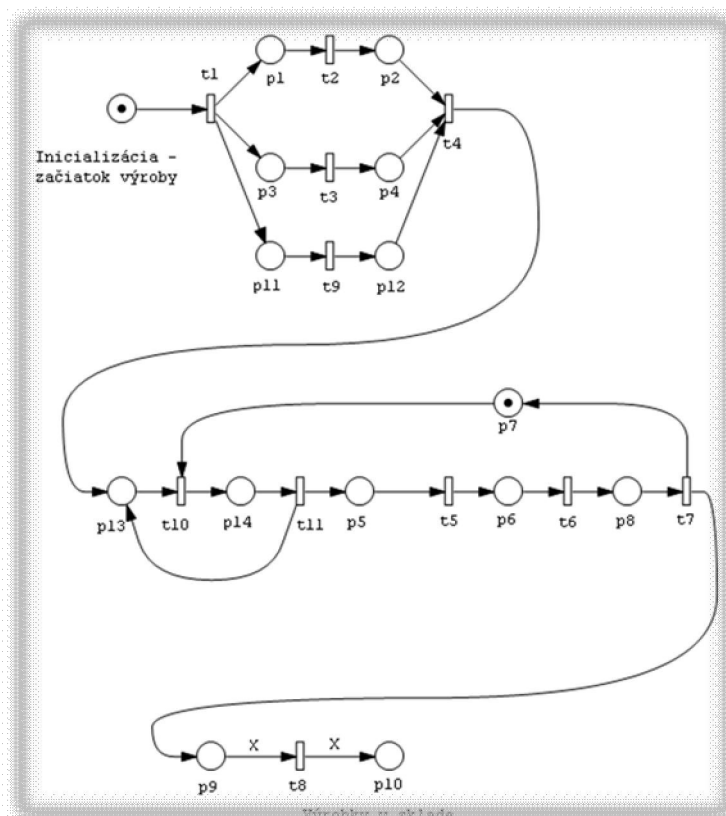


Obr. 4 Automatický zakladač IML etikiet

Zaradenie systému automatizovaného vkladania etikety do formy sa priaznivo prejavilo v procese výroby finálneho výrobku, čo názorne zobrazuje Petriho sieť na nasledujúcom obrázku.

Výrazne sa znížil počet mechanických manipulácií s výrobkom. Ušetrili sa skladovacie priestory potrebné pre medzisklad výrobkov čakajúcich na potlač. Zníženie produkcie potláčacieho pracoviska má aj ekologický rozmer. Znižuje sa potreba manipulácie s chemickým materiálom a klesá množstvo chemického odpadu a jeho následnej likvidácie.

Použitím technológie IML etikiet a automatizovaným systémom vkladania etikiet úplne odpadá potreba služieb potláčacieho pracoviska, čo predstavuje teoretickú úsporu dvoch pracovných pozícií v spoločnosti. V roku 2011 by mal objem presunutej produkcie z dvojfarebnej potlače na IML technológiu dosiahnuť približne 85% plánovanej produkcie téglikov, čo je približne 35% všetkých potláčaných téglikov. Metódou dvojfarebnej sieťotlače sa naďalej vyrábajú etikety pre odberateľov s nízkym počtom odoberaných téglikov.



Obr. 5 Petriho sieť výroby téglíka s vkladanou IML etiketou

Značenie Petriho siete:

t1 – Začiatok prípravy na štart vstrekolisu	p0 – inicializácia výroby
t2 – Koniec prípravy materiálu	p1 – Príprava materiálu
t3 – Koniec ohrevu stroja	p2 – Materiál pripravený
t4 – Štart vstrekolisu,	p3 – Zapnutie stroja – ohrev
t9 – Koniec prípravy etikiet	p4 – Stroj je nahriaty
p12 – Etikety v zásobníku pripravené, robot pripravený	p11 – Príprava etikiet
t10 – Etiketa pripravená na vloženie	p13 – Vyberanie etikety zo zásobníka
t11 – Koniec vkladania, etiketa vo forme	p14 – Vkladanie etikety do formy
t5 – Začiatok výroby téglíka (viečka)	p5 – Uzatvorenie formy
t6 – Ukončenie výroby téglíka (viečka),	p6 – Výroba téglíka (viečka)
t7 – Presun výrobku do zásobníka,	p7 – Stroj je voľný
balenia do prepravného obalu	p8 – Otvorenie formy, výrobok na výstupe
t8 – Po naplnení a uzatvorení prepravného	p9 – Výrobok v zásobníku, kontrola začiatok
obalu výrobkami na množstvo X presun	p10 – Výrobky v sklade
do skladu	

Miesto p9 a p10 má neobmedzenú kapacitu. Všetky ostatné miesta majú kapacitu 1. Hrana p9 → t8 a t8 → p10 má násobnosť prepravného obalu. X zvyčajne nadobúda hodnotu 280. Všetky ostatné hrany majú násobnosť 1.

Posúdenie ekonomickej výhodnosti analyzovaných technológií

Už z prvého pohľadu na Petriho sieť pre technológiu IML môžeme konštatovať úsporu dvoch pracovných miest. Na druhej strane sa ale predlží pracovný cyklus vstrekolisu, čo spôsobí pokles produktivity stroja.

Praktickým meraním bolo zistené, že pracovný cyklus vstrekolisu sa vkladáním etikety do formy predlží o cca 3 sekundy. Produktivita stroja sa týmto zníži zo súčasných cca 300 kusov nepotlačených téglíkov na 240 kusov hotových téglíkov. Aby sme mohli objektívne posúdiť ekonomický prínos novej technológie, pokúsim sa spraviť ekonomický prepočet efektívnosti výroby grafickej úpravy téglíka technológiou sieťotlače a porovnať ju s technológiou IML.

Základné vstupné údaje pre porovnanie technológií

Firma vyrába pre najvýznamnejšieho odberateľa téglíky v ročnom objeme približne 600 000 kusov. Z tohto množstva je asi polovica produkcie potlačená jednofarebným motívom a druhá polovica je potlačená dvojfarebným motívom. V roku 2011 plánuje odberateľ udržať odobrané množstvo pri hranici predchádzajúcich rokov. Rok 2011 bude prelomový, odberateľ uvedie na trh všetky verzie doteraz odoberaných téglíkov v novom grafickom prevedení s etiketou IML a očakáva, že nový atraktívny dizajn obalu sa vžije v priebehu roka do povedomia zákazníkov a umožní v nasledujúcich rokoch rastúci dopyt po jeho výrobkoch.

Vstupné údaje pre analýzu:

Ročný objem produkcie téglíkov

600 000 ks

Sieťotlač	300 000 ks / 300 000 ks	jednofarebná/dvojfarebná potlač
IML (nezávisle na počte farieb)	600 000 ks	
Obstarávací cena súboru zariadení pre sieťotlač	15000 €	
Obstarávací cena IML technológie	25800 €	
V cene oboch zariadení je zahrnutá plánovaná generálna oprava zariadení v odhadovanej sume	3000 € na stroj.	
Plánovaná životnosť stroja / doba odpisovania	8 rokov	
Mzda obsluhy vstrekolisu	4,08 €/hod.	
Pracovník obsluhy vstrekolisu pracuje súčasne na dvoch strojoch. V tabuľke variabilných nákladov sa bude uvádzať 50% mzdových nákladov, čo zohľadňuje obsluhu jedného stroja.		
Mzda obsluhy potlače(jeden pracovník)	4,62 €/hod.	
Hodinová mzda zahŕňa hrubú mzdu pracovníka + mzdové náklady zamestnávateľa na pracovníka (takzvaná superhrubá mzda).		
Cena elektrickej energie	0,169 €/kWh	

Pre zistenie reálnych nákladov na prevádzku jednotlivých procesov grafického úpravy téglikov sú použité reálne hodnoty čiastkových nákladov, zistené z účtovníctva firmy. V spolupráci s hlavným technikom výroby sa uskutočnilo meranie spotreby elektrickej energie jednotlivých strojov a zariadení a podrobná špecifikácia čiastkových nákladov na výrobu jednofarebnej a dvojfarebnej potlače.

Porovnanie technologických výrobných nákladov

V nasledujúcej tabuľke uvádzame podrobné členenie fixných nákladov pre jednotlivé technológie. Fixné náklady nie sú závislé na veľkosti objemu produkcie, alebo sa menia iba čiastočne.

Tab. 1 Fixné náklady

Fixné náklady			
	Sieťotlač	IML	Poznámka
Obstarávací náklady	14 200 €	25 000 €	Obstaranie + plánovaná generálna oprava
Pravidelná údržba	100 €	100 €	Ročný náklad – zmluvná preventívna prehliadka
Ročný odpis rovnomerný (1/8)	1775 €	3125 €	
Ročné fixné náklady	1875 €	3225 €	

Prameň: Interné podklady spoločnosti, vlastné spracovanie

Môžeme prehlásiť, že modernejšia technológia IML vyžaduje vyššiu vstupnú investíciu, ale špecifikácia technológie i samotný dodávateľ garantujú vysokú spoľahlivosť a porovnateľné náklady na prevádzku, servis a životnosť zariadenia ako poskytuje technológia sieťotlače.

V ďalšej tabuľke sú uvedené variabilné náklady. Veľkosť variabilných nákladov je závislá od vyrábaného množstva. Skutočná veľkosť variabilných nákladov sa určovala z interných materiálov spoločnosti za rok 2010.

Tab. 2 Variabilné náklady

Variabilné náklady			
	Sieťotlač	IML	Poznámka
Mzda - obsluha vstrekolisu	0,0068 €/ks	0,0085 €/ks	50% mzdy
El. energia pre vstrekolis	0,00491 €/ks	0,00599 €/ks	
IML etiketa		0,025 €/ks	
Mzda – jednofarebná potlač	0,0154 €/ks		Mzda dvoch pracovníkov
Matrica	0,00143 €/ks		

Farba a ostatná chémia	0,0031 €/ks		
El. energia pre potlač a sušenie	0,00028 €/ks		
El. energia pre zariadenie IML		Zariadenie je napájané zo vstrekolisu, spotreba je zahrnutá v spotrebe vstrekolisu	
Celkové variabilné náklady na kus výrobku	0,03192 €/ks pre jednofarebnú potlač	0,03949 €/ks	
Mzda – dvojfarebná potlač	0,0308 €/ks		
Matrica	0,00286 €/ks		
Farba a ostatná chémia	0,0062 €/ks		
El. energia pre potlač a sušenie	0,00056 €/ks		
Celkové variabilné náklady na kus výrobku	0,05213 €/ks pre dvojfarebnú potlač	0,03949 €/ks	Pri IML etikete nie je rozdiel v cene

Prameň: Interné podklady spoločnosti, vlastné spracovanie

Tabuľka fixných a variabilných nákladov nám jasne naznačuje, že metóda sieťotlače je výhodnejší variant grafickej úpravy povrchu téglika, ak klient požaduje jednofarebné vyhotovenie a uspokojí sa s výslednou kvalitou grafického prevedenia.

V prípade dvojfarebného prevedenia potlače sa už nedá jednoznačne prehlásiť, akú metódou grafickej úpravy zvoliť. Sieťotlač sa vyznačuje nižšími fixnými nákladmi, ale vyššími variabilnými nákladmi ako metóda IML.

Technologické výrobné náklady určíme zo vzťahu:

$$N_T = F + V \cdot Q \quad [€]$$

N_T – celkové technologické náklady

F – fixné technologické náklady

V – variabilné náklady

Q – výrobné množstvo

Po dosadení nákladov a predpokladaného ročného výrobného množstva do vzťahu získame ročné technologické výrobné náklady podľa jednotlivých technológií.

Ročné náklady technológiou sieťotlače:

$$N_{TA} = 1875 \text{ €} + 0,05213 \text{ €/ks} \cdot 300000 \text{ ks}$$

$$N_{TA} = 17514 \text{ €}$$

Ročné náklady na technológiu IML:

$$N_{TB} = 3225 \text{ €} + 0,03949 \text{ €/ks} \cdot 300000 \text{ ks}$$

$$N_{TB} = 15072 \text{ €}$$

Porovnaním dvoch alebo viacerých spôsobov výroby sa dá určiť kritické množstvo vyrábaných výrobkov. Pre kritické množstvo platí, že $N_{TA} = N_{TB}$. Je jedno, ktorú technológiu si zvolíme, technologické náklady budú rovnaké.

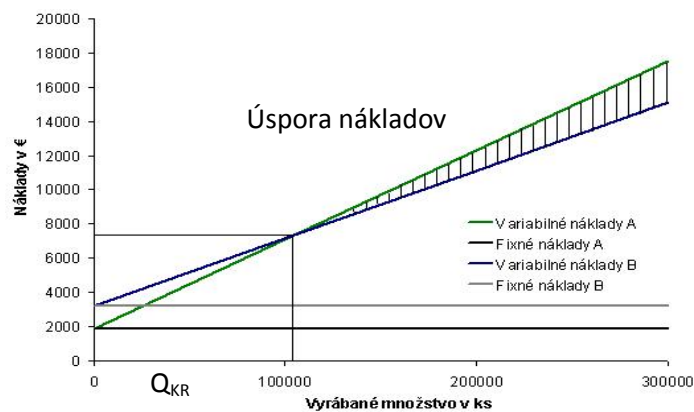
Po dosadení a úprave získame vzťah pre Q_{KR} :

$$Q_{KR} = \frac{|F_A - F_B|}{|V_A - V_B|} \quad [ks]$$

Výpočet kritického množstva pre technológie sieťotlače a IML:

$$Q_{KR} = \frac{|F_A - F_B|}{|V_A - V_B|} = \frac{|1875 - 3225|}{|0,05213 - 0,03949|} = \frac{1350}{0,01264} = 106803,8 \text{ ks}$$

Výpočet kritického množstva nám ukazuje hranicu výhodnosti použitia technológie IML, pri rozhodovaní o presune výroby z technológie sieťotlače na IML.



Obr. 6 Graf technologických nákladov a kritického množstva

Vyššie uvedený výpočet dokazuje, že pri súčasnom výrobnom množstve je pre viacfarebnú grafickú úpravu výhodnejšia technológia vkladania etikiet IML.

Príspevok bol pripravený v rámci riešenia grantového projektu VEGA č. 1/0102/11 Metódy a techniky experimentálneho modelovania vnútropodnikových výrobných a nevýrobných procesov.

Autori:

doc. Ing. Peter TREBUŇA, PhD., Ing. Miriam PEKARČÍKOVÁ, PhD., Technická univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta, Katedra priemyselného inžinierstva a manažmentu, Nemcovej 32, 042 00 Košice, e-mail: peter.trebuna@tuke.sk, miriam.pekarcikova@tuke.sk.

Dr.h.c. Ing. Milan FILO, PhD. ECO-INVEST, a. s., Bratislava

**LOGISTICKÝ
MONITOR**

Internetové noviny pre rozvoj
logistiky na Slovensku.

ISSN: 1336-5851