

VARIANT T1: SHO MODEL VÝROBY V OBLASTI STROJÁRSTVA

Timotej Bučka (xbucka00)

Adam Pap (xpapad11)

4.decembra

OBSAH

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | Úvod..... | 2 |
| 1.1 | Autori a zdroje faktov..... | 2 |
| 2 | Výroba brzdovej lamely..... | 3 |
| 2.1 | Proces výroby brzdovej lamely..... | 3 |
| 2.1.1 | Lisovanie..... | 3 |
| 2.1.2 | Jednostranné brúsenie..... | 3 |
| 2.1.3 | Vyrovňovanie (cold flattening)..... | 4 |
| 2.1.4 | Pret'ahovanie (broaching)..... | 4 |
| 2.1.5 | Obojstranné brúsenie..... | 4 |
| 2.1.6 | Medzioperačná kontrola (MOK)..... | 4 |
| 2.1.7 | Olejovanie..... | 4 |
| 2.1.8 | Balenie..... | 5 |
| 2.2 | Dôležité dáta výroby..... | 5 |
| 2.2.1 | Časové údaje operácií..... | 5 |
| 2.2.2 | Nastavenie strojov, príprava pracoviska..... | 5 |
| 2.2.3 | Opravy strojov..... | 6 |
| 2.2.4 | Prestávky pracovníkov..... | 6 |
| 2.2.5 | Zásobovanie..... | 6 |
| 3 | Koncepcia modelu..... | 7 |
| 3.1 | Návrh konceptuálneho modelu..... | 7 |
| 4 | Architektúra simulačného modelu..... | 11 |
| 4.1 | Spustenie simulačného modelu..... | 11 |
| 4.2 | Stručný popis implementácie simulačného modelu..... | 11 |
| 5 | Experimenty..... | 13 |
| 5.1 | Experiment č. 0..... | 13 |
| 5.2 | Experiment č. 1..... | 14 |
| 5.3 | Experiment č. 2..... | 16 |
| 5.4 | Záver experimentov..... | 18 |
| 6 | Záver práce..... | 20 |
| 7 | Zdroje..... | 21 |

1 Úvod

Táto práca sa zaoberá modelovaním procesu výroby brzdových lamelov vo firme Miba Steeltec [1]. Práca vznikla ako projekt k predmetu na univerzite VUT FIT, Modelování a simulace (IMS) [2] na tému z oblasti strojárenskej výroby. Cieľom projektu bolo vytvoriť simulačný model procesu výroby brzdovej lamely od príchodu objednávky až po zabalenie hotových výrobkov do krabíc, pričom tento model bol skonštruovaný a validovaný na základe údajov, ktoré boli poskytnuté zamestnancom spomenutej strojárskej firmy.

Za pomoci simulácie sa overuje aktuálna efektivita danej výroby a s ďalším experimentovaním, a rôznymi kombináciami počtov strojov a ďalších faktorov v jednotlivých úkonoch v procese výroby je snaha čo najviac znížiť dobu za ktorú sa spracúvajú palety jednotlivých objednávok.

1.1 Autori a zdroje faktov

Autormi tejto práce sú Timotej Bučka (xbucka00) a Adam Pap (xpapad11).

Daná práca je podporená reálnymi dátami z výrobného procesu firmy Miba Steeltec, ktorej zamestnanec na pozícii technológa [3] bol ochotný s nami konzultovať a poskytnúť informácie na základe ktorých, bol zostavený simulačný model.

2 Výroba brzdovej lamely

Existuje mnoho výrobných postupov ako vyrábať brzdové lamely. Záleží od toho aké vlastnosti chceme aby daná lamela mala a kde bude jej nasadenie. Výrobný proces brzdovej lamely v tejto práci je rozdelený na 8 operácií, na základe dát z firmy Miba Steeltec. Žiadna z operácií nesmie byť preskočená alebo byť vykonaná v inom poradí než je určené pre daný produkt. Pri všetkých operáciách, až na olejovanie, je potrebný človek, zamestnanec, pre počiatkové nastavenia a obsluhu stroja. V nadchádzajúcich krokoch bude prezentovaný proces výroby od príchodu materiálu do skladu po zabalenie hotových výrobkov.

2.1 Proces výroby brzdovej lamely

Výroba začína tým, že do výroby príde objednávka nejakej veľkosti, veľkosť je ohraničená minimom a maximom, nakoľko nie je žiaduce aby sa firma zaoberala zbytočne malými objednávkami (to znamená aby sa vôbec vyplatilo sa objednávkou zaoberať) a tiež aby objednávky neboli prehnane veľké z dôvodu toho aby sa stíhali aj ostatné objednávky.

Ku konkrétnym hodnotám sa nebolo možné dopracovať a tak za pomoci zamestnanca firmy sme určili minimálnu a maximálnu hranicu veľkosti objednávky (1000 – 10 000).

Po tom ako objednávka príde je nutné jej prideliť materiál zo skladu na základe objednaných kusov. V prípade tejto práce sa jedná o 0.5kg [3] spotrebnej váhy na 1 kus. Spotrebná váha znamená, hmotnosť nespracovaného surového kusu materiálu z ktorého vo výsledku bude výsledný produkt s hmotnosťou 0.25kg [3]. Brzdové lamely sa vyrábajú z vysoko uhlíkovej ocele C60 [3]. Následne je objednávka rozdelená na palety po 2000 kusoch, dôvodom prečo 2000 kusov je interný predpis firmy kvôli ľahkej manipulácii medzi jednotlivými operáciami.

V rámci výroby po dokončení každej operácie je nutné paletu v rámci výrobných haly preniesť pomocou vysokozdvížneho vozíka na zhromažďovacie miesto pre ďalšiu operáciu. Tento úkon zaberie zvyčajne okolo 15 minút [3], v závislosti od prevádzky v hale samotnej.

2.1.1 Lisovanie

Obsluha stroja (1 zamestnanec) ako prvé nastavuje stroj 60 minút [3], potom dochádza k procesu lisovania, kde nástroj danému dielu dodá požadovaný tvar. Stroj pracuje rýchlosťou 1ks/1s. Vylisované kusy sa následne prostredníctvom pásu presúvajú na paletu kde sa poukladajú.

2.1.2 Jednostranné brúsenie

Ako je paleta prinesená k jednostrannej brúske, obsluha (1 zamestnanec) začne s nastavovaním stroja, čo zaberie 10 minút [3], následne sa začína s jednostranným brúsením vylisovanej lamely aby sa odstránili ostriny po procese lisovania [3]. Brúska pracuje rýchlosťou 1ks/10s. Obrúsené kusy sa opäť prostredníctvom pásu naskladajú na paletu a prepravujú sa k ďalšej operácii.

2.1.3 Vyrovnávanie (cold flattening)

Palety obrúsených kusov sa prenesú k vyrovnávaniu tzv. cold flattening. Obsluha nastaví hrúbku na ktorú stroj bude upravovať jednotlivé kusy za 10 minút [3]. V tejto práci sa uvažuje o hrúbke jedného dielu 2 mm [3]. Táto operácia slúži k vyrovnaniu dielu na požadovanú rovinu [3]. Stroj pracuje rýchlosťou 1ks/10s. Spracované kusy sa opäť naskladajú na paletu a prepraví sa k ďalšej operácii.

2.1.4 Preťahovanie (broaching)

Po vyrovnaní (cold flattening) prichádza na rad ďalšia operácia a tou je preťahovanie. Obsluha (1 zamestnanec) začne s nastavovaním stroja, čo zaberie 50 minút [3]. V tejto operácii sa pracuje nie s jednotlivými kusmi, ale hneď s niekoľkými kusmi naraz s tzv. paketmi (niekoľko dielov naskladaných na sebe). Paket výrobkov sa pretiahne cez nástroj, kde sa mechanickým odoberaním materiálu vytvorí požadované ozubenie na lamele. Počet kusov v pakete závisí od hrúbky výrobku (v tejto práci to sú 2 mm). Jedná sa o to aby vo výsledku bola hrúbka celého paketu aspoň 30mm [3]. Stroj pracuje rýchlosťou 1 paket/2.5 minút [3].

Po preťahu nasleduje čistenie, kde súčiastky sa pomocou vodných trysiek umyjú a vysušia aby sa zbavili nečistôt z predošlých krokov.

2.1.5 Obojstranné brúsenie

Následne sa palety po preťahu dostávajú k obojstrannému brúseniu. Obsluha ako prvé nastavuje brúsku 10 minút [3]. Po nastavení sa začne s obrusovaním povrchu výrobku tak aby sa odstránili všetky ostriny prípadne iné nečistoty z predošlých procesov, ktoré mohli počas nich vzniknúť na lamele [3]. Stroj pracuje rýchlosťou 1ks/10s [3].

2.1.6 Medzioperačná kontrola (MOK)

Po obojstrannom brúsení dochádza k medzioperačnej kontrole kvality výrobkov kde sa kontroluje jak po vizuálnej stránke či sa nenachádzajú nejaké nedokonalosti na výrobkoch (rôzne zárezy, otláčky, vrypy, nečistoty na povrchu). Mimo toho sa kontroluje aj či má výrobok požadovanú rovinnosť prostredníctvom stroja do ktorého zamestnanci vkladajú jednotlivé kusy, ak prejdú majú správnu rovinnosť ak nie sú poslané na prerobenie (tzv. rework). Kontrolu robia zvyčajne 10 zamestnanci, ktorým trvá prezretie jedného kusu približne 10 sekúnd [3].

2.1.7 Olejovanie

V prípade už spomenutého olejovania zamestnanec nie je potrebný z dôvodu toho, že olejovanie sa vykonáva prostredníctvom dvoch naolejovaných automaticky otáčajúcich sa valcov cez ktoré prechádzajú kusy a naolejované sa už ukladajú do krabíc. Táto operácia je potrebná z dôvodu aby lamely nezhrdzaveli počas prevozu k zadávateľovi objednávky [3]. Stroj vie naolejovať jednu súčiastku za 2s.

2.1.8 Balenie

Hotové, a naolejované kusy sa začnú ukladať do krabíc. Jedna krabica smie mať maximálne hmotnosť 10kg [3] z dôvodu, toho, že v skladoch objednávateľa pracujú aj ženy a preto je váha v rámci interných predpisov obmedzená. Balenie vykonávajú opäť 10 zamestnanci, kde každému zamestnancovi trvá balenie jednej 10kg krabice približne 3 minúty. [3]

2.2 Dôležité dáta výroby

2.2.1 Časové údaje operácií

Aj keď informácie ktoré nám boli poskytnuté zamestnancom spomenutej firmy sú značne podrobné u jednotlivých operáciách zamestnanec nebol schopný dodať presné časové údaje. Preto sa v tejto práci predpokladá, že dané časové údaje sú závislé na viacerých faktoroch v rámci výroby, ako napr.: kvalita resp. stav materiálu, kvalifikovanosť zamestnancov, kvalita strojov ktoré vykonávajú jednotlivé operácie. Avšak bez týchto časových údajov sa táto práca nezaobíde a preto sa dospelo k tomu, že sa tieto chýbajúce časové údaje odhadli, čiastočne s pomocou zamestnanca firmy.

V prípade zmeny týchto časových údajov u jednotlivých operácií, prípadne u prestávok alebo opráv strojov, je jasné, že dôjde k zmene výsledkov simulácie, avšak samotný model bude mať inú (novú) úroveň validity, v závislosti od nových časových údajov, veľmi blízku tej predošlej.

2.2.2 Nastavenie strojov, príprava pracoviska

Zamestnanec musí pred začiatkom každej práce so strojom vykonať nastavenie (prípravu). Prácou so strojom sa má na mysli začiatok práce na palete ešte neopracovaných výrobkov. Najprv si musí pripraviť okolie svojho pracoviska a nastaviť stroj samotný, či už sa jedná o nastavenie hrúbky (v prípade vyrovnávania) alebo iných parametrov, ktoré dané stroje vyžadujú. Mimo toho sa do tohto času uvažuje aj pripravenie palety pre spracované kusy a upratanie pracoviska.

Časové údaje pre nastavenie strojov sú v Tabuľka 1 [3].

| Názov stroja | Čas prípravy |
|--------------------------------|--------------|
| Lisovací stroj | 60 minút |
| Jednostranná brúska | 10 minút |
| Vyrovnávačka (cold flattening) | 10 minút |
| Pretáhovací stroj | 50 minút |
| Obojstranná brúska | 10 minút |

Tabuľka 1 Časové údaje príprav jednotlivých strojov a ich pracovísk

Olejovací stroj, nemá žiadny čas prípravy nakoľko sa jedná len o jednoduché duté valce do ktorých vnútra sa vlieva olej a následne cez valce prechádzajú výrobky na naolejovanie.

2.2.3 Opravy strojov

U strojov sa po každej smene (8 hodín) vykonáva tzv. preventívna údržba. Každý stroj má svoju údržbu predpísanú technologom, na základe toho sa vykonávajú potrebné úkony počas údržby na danom stroji napr.: čistenie vnútorného priestoru stroja, okolia stroja.

Časové údaje dĺžky opráv pre jednotlivé stroje sú v Tabuľka 2 [3].

| Názov stroja | Čas opravy |
|--------------------------------|------------|
| Lisovací stroj | 40 minút |
| Jednostranná brúska | 30 minút |
| Vyrovnávačka (cold flattening) | 35 minút |
| Preťahovací stroj | 45 minút |
| Obojstranná brúska | 40 minút |
| Olejovací stroj | 20 minút |

Tabuľka 2 Časové údaje opráv jednotlivých strojov

2.2.4 Prestávky pracovníkov

U ľudí sa predpokladá že po každých 2 hodinách budú mať 15 minútové prestávky (vnútorný predpis [3]). To znamená, ak pracovník v momente kedy sa vyhlási prestávka vo výrobnej hale má prerušiť svoju momentálne vykonávanú činnosť a ísť na prestávku. Po tejto prestávke zamestnanec opäť pokračuje vo svojej činnosti tam kde skončil pred prestávkou.

Smeny sa v tejto práci neuvažujú, nakoľko nebolo možné nikde nájsť relevantné fakty o smenách vo firme Miba Steeltec, a preto je ich prítomnosť v systéme čisto hypotetická a zakladá na predpoklade, že vo väčšine podobných prevádzkach existujú. Z týchto dôvodov sa zamestnanci po uplynutí 8 hodín nevystriedajú s druhými zamestnancami ďalšej smeny nakoľko v tom nebolo zameranie tejto práce. Tiež sa uvažuje, že výrobná prevádzka pracuje na tri smeny, 7 dní v týždni.

2.2.5 Zásobovanie

Materiál prichádza do firmy každé 2 dni prostredníctvom kamiónov, ktoré vždy vezú materiál o hmotnosti 20 000 kg, tento údaj bol vhodne domyslený nakoľko nebolo možné sa dostať k presným údajom koľko a v akých intervaloch prichádza materiál do skladu vo výrobe. [4]

3 Koncepcia modelu

Koncepcia modelu zahŕňa informácie uvedené v kapitole 2 Výroba brzdovej lamely. Nakoľko nie je možné a ani potrebné modelovať a následne simulovať celý systém, dochádza vždy k určitej abstrakcii. Predpokladá sa, že zanedbaním istých prvkov systému nedôjde k zníženiu validity modelu systému a preto sa môžu tieto prvky systému abstrahovať resp. zanedbať. Medzi zanedbané vlastnosti patria:

- Striedanie zamestnancov medzi smenami (rannou, poobednou a nočnou smenou)
- Absencia priorít medzi objednávkami
- Zanedbanie výpadkov dodávok materiálu
- Zanedbanie štátnych sviatkov, prípadne iných výnimočných udalostí
- Zanedbaná poruchovosť strojov a ich následná výmena prípadne niekoľko dňová oprava

Medzi zjednodušené vlastnosti patria:

- Preprava paliet medzi jednotlivými operáciami pomocou vysokozdvížných vozíkov
- Obmedzená maximálna veľkosť objednávok na veľkosť 10 000 z dôvodu toho aby simulácia nemusela príliš dlho bežať a na to aby sa dokončila aspoň nejaká objednávka v rozumnom simulačnom čase.
- Údržba strojov sa vykonáva len po každej smene (8 hodín) avšak mali by sa robiť aj tzv. generálne opravy strojov každý týždeň [3]
- Objednávky môžu prichádzať kedykoľvek, nakoľko v tejto práci sa nezameriavame na ekonomiku výroby ale skôr na jej zrýchlenie.
- Materiál ktorý sa nezmestí z kapacitných dôvodov do skladu sa vracia naspäť bez akejkoľvek penalizácie pre firmu, čo samozrejme v realite takto nefunguje avšak dôvod je opäť rovnaký ako v predošlom bode
- Niektoré stroje umožňujú aj prácu počas prestávok bez obsluhy

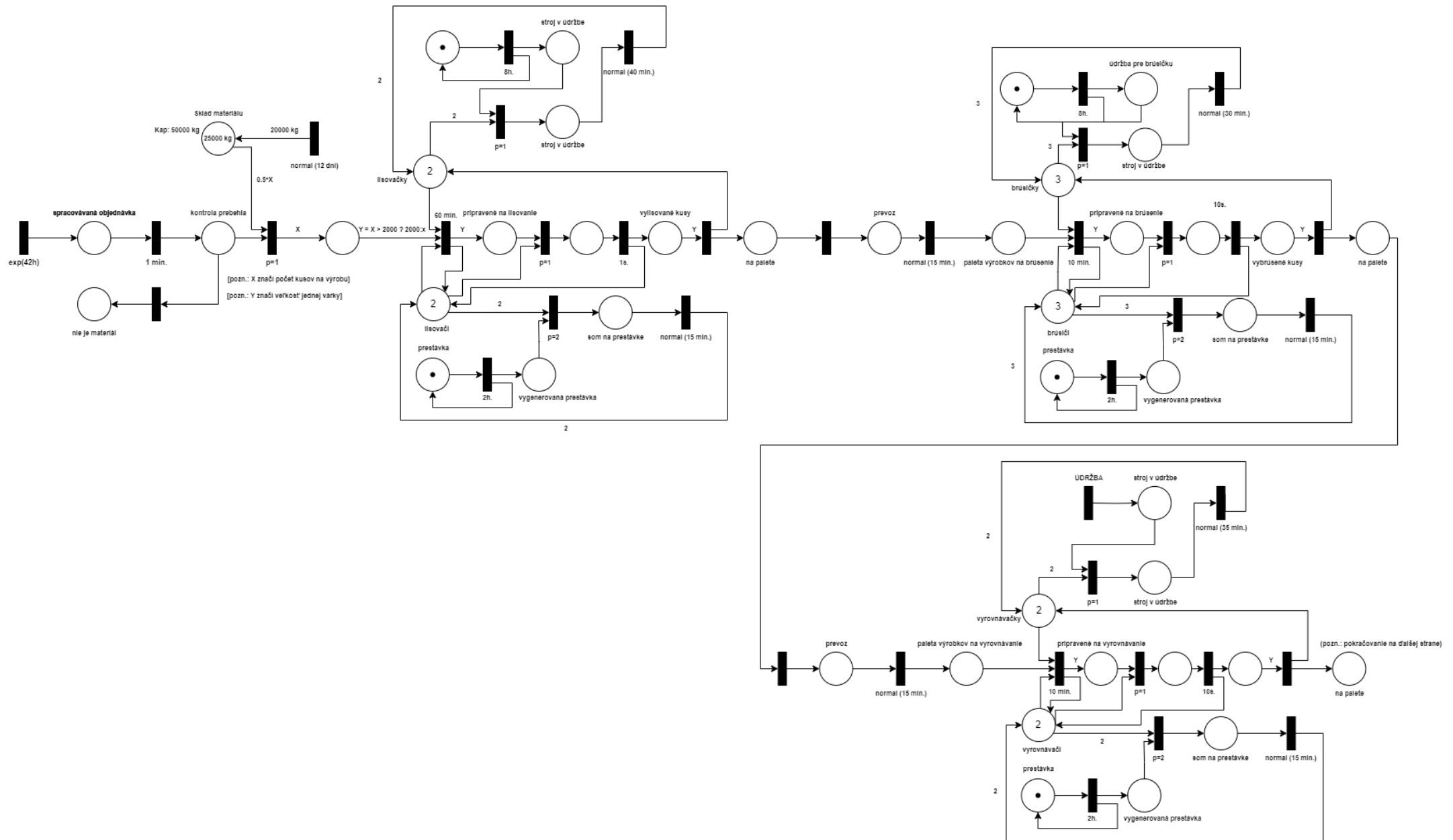
3.1 Návrh konceptuálneho modelu

Do simulácie vstupujú objednávky s exponenciálnym časovým rozložením, veľkosť tejto objednávky je daná rovnomerným rozložením s minimálnou (1000 ks.) a maximálnou (10 000 ks.) hranicou. Následne je objednávke priradený materiál zo skladu, ak je dostatok materiálu v sklade pre objednávku, pokračuje ďalej na spracovanie, ak však nie je dostatok materiálu v sklade, objednávka opúšťa simuláciu. Množstvo materiálu, ktoré má byť priradené objednávke závisí od spotrebnej váhy, v tejto práci sa uvažuje spotrebná váha 0.5 kg, a od množstva lamelov v objednávke na výrobu.

Keď príde rada na spracovanie objednávky rozdelí sa na palety po 2000 ks. prípadne menej, nakoľko objednávka nemusí mať počet kusov deliteľný 2000. Následne sa začína spracovanie danej objednávky po paletách. Každý stroj až na olejovací stroj, má dobu ktorú musí paleta počkať pred tým než si môže zabráť linku stroja. Stroj je nutné tiež udržiavať v prevádzkyschopnom stave a preto po 8 hodinách práce stroj má naplánovanú údržbu. Čas údržby (normálne časové rozdelenie) je pre každý stroj iný. Stroje sú obsluhované zamestnancami, ktorí musia pred spracovaním palety výrobkov na stroji ho najprv nastaviť a až potom na ňom môžu spracúvať paletu výrobkov. Ak v priebehu spracovania palety dôjde

k vznikne udalosť prestávka zamestnanca, zamestnanec preruší svoju prácu a ide na 15 minútovú prestávku, následne pokračuje tam kde skončil. Ak prestávka vznikne počas nastavovania stroja zamestnanec ide na prestávku a potom sa vráti opäť nastavovať stroj.

Po opracovaní produktov prichádza na rad ich kontrola, olejovanie a balenie do krabíc. Kontrolu vykonávajú 10 zamestnanci (1 paleta na 1 zamestnanca), kde je určitá pravdepodobnosť že súčiastka bude defektná a tým pádom sa bude musieť súčiastka z danej palety poslať na prerobenie (rework). Paleta ktorej súčiastka/súčiastky sa ukázali byť defektnými musí čakať do doby než sa súčiastky opravia. Po kontrole kvality prichádza na rad olejovanie po ktorom sa súčiastky balia do krabíc 10 zamestnancami (1 zamestnanec na 1 krabicu). Po zabalení všetkých krabíc danej palety je paleta prehlásená za dokončenú.



4 Architektúra simulačného modelu

Simulačný model tejto práce je implementovaný v jazyku C++ za využitia knižnice SIMLIB [5]. Model implementovaný za pomoci tejto knižnice je založený na koncepcie Petriho siete uvedenej v predošlej kapitole. Mimo iné je do programu pridaných niekoľko vstupných parametrov.

4.1 Spustenie simulačného modelu

Program je nutné pred spustením najprv preložiť príkazom `make` následne sa dá spustiť príkazom `./SimProgram`. Parametre programu sú nasledujúce:

- `--help / -h - 0` a ich vysvetlenie a kontakt na autorov tejto práce
- `<simulation_duration>` –týmto parametrom sa definuje simulačný čas v dňoch (len číslo)
- `--duration, -d <days>` - týmto parametrom sa definuje simulačný čas v dňoch
- `--experiment, -e <number 0-2>` - vykonaj daný experiment
- `--press <number>` - definuj počet lisovacích strojov
- `--1_sided <number>` - definuj počet jednostranných brúsok
- `--align <number>` - definuj počet vyrovnávacích strojov
- `--stretch <number>` - definuj počet pretáhovacích strojov
- `--2_sided <number>` - definuj počet obojstranných brúsok
- `--oil <number>` - definuj počet olejovacích strojov
- `--pack <number>` - definuj počet baličov
- `--quality <number>` - definuj počet kontrolérov kvality

Program pri spustení bez parametrov začne simuláciu s časom 365 dní a počtom strojov na 1, baličmi na 10 a kontrolórmí na 10.

Príklad spustenia:

```
./SimProgram
```

Ak dôjde k zadaniu napríklad len počtu lisovacích strojov, počet lisovacích strojov sa nastaví na zadanú hodnotu avšak ostatné hodnoty ostanú tak ako boli spomenuté v predošlom príklade spustenia.

Príklad spustenia:

```
./SimProgram -press 4
```

4.2 Stručný popis implementácie simulačného modelu

Implementácia simulačného modelu je vcelku prostá. Je založená na Petriho sieti z predošlej kapitoly. Základnou časovou jednotkou v programe je 1 sekunda. Program začína generovaním objednávok, ktoré sa generujú s exponenciálnym rozložením so stredom 8 (časová jednotka: hodiny), zásob, ktoré sa generujú s normálnym časovým rozdelením so stredom 2 (časová

jednotka: dni), prestávok, ktoré sa generujú každé dve hodiny a údržieb, ktoré sa generujú každých 8 hodín. Objednávka samotná je triedou `Order` ktorá dedí z triedy `Process`. V priebehu vykonávania jej funkcie `behaviour()` dochádza k prerozdeleniu objednávky na palety po 2000 ks ak nie je 2000 ks k dispozícii paleta bude menšej veľkosti a k priradeniu materiálu k objednávke na základe veľkosti objednávky, v prípade ak nie je materiál na sklade objednávka opúšťa systém. Objednávka čaká na dokončenie všetkých svojich paliet (`Passivate()`) aby mohla pokračovať.

Každá paleta je implementovaná ako trieda `Palette`, ktorá dedí z triedy `Process`. Palety prechádzajú výrobou a v priebehu vstupujú do strojov, ktoré sú implementované ako trieda `Machine`, ktoré dedia od triedy `Store`. Okrem vstupu do stroja musí byť voľná aj kapacita zamestnanca (trieda `Worker`, dedí od triedy `Store`), ktorý je pridelený stroju.

V prípade vygenerovania udalosti (`Break`) všetci zamestnanci prerušia svoju činnosť a sú na prestávke, ktorej čas je normálne rozloženie so stredom 15 minút a rozptylom 4 minúty.

V prípade vygenerovania udalosti (`Maintenance`) stroje po ukončení svojej činnosti sú na údržbe. Každý stroj má inú dĺžku údržby vid'. Tabuľka 2.

5 Experimenty

Podstatou simulačných experimentov je skúmať efektívnosť výroby, teda čas ktorý strávia palety objednávky vo výrobe. Nasledujúce experimenty sú vykonávané s časom 365 dní. Sledované sú hlavne parametre ako, počet spracovaných objednávok, množstvo času ktorý strávili palety vo výrobe, priemerná doba objednávky vo výrobe, dĺžku a čas front (queues) jednotlivých zariadení. Prvotnými experimentami boli pokusy o nájdenie miest vo výrobnom procese, ktoré sú pomalé, spôsobujú (tzv. bottleneck). Na základe výsledkov z týchto experimentov sa dospelo k zmene parametrov, ktoré by prispeli k zrýchleniu (optimalizácii) výrobného procesu.

5.1 Experiment č. 0

Tento experiment bol vykonaný s parametrami uvedenými v Tabuľka 3.

| Názov operácie | Počet strojov / ľudí (pre MOK a balenie) |
|------------------------|--|
| Lisovanie | 2 |
| Jednostranné brúsenie | 3 |
| Vyrovňavanie | 2 |
| Pretáhovanie | 3 |
| Obojstranné brúsenie | 2 |
| Olejovanie | 1 |
| Kontrola kvality (MOK) | 10 |
| Balenie | 10 |

Tabuľka 3 Parametre experimentu 0

Jedná sa o experiment ktorého parametre odpovedajú dátam, ktoré nám poskytol zamestnanec firmy Miba [3]. Tým pádom výsledky tohto experimentu reprezentujú bežný priebeh výroby.

Výsledky:

- Počet dokončených objednávok: 891
- Počet odmietnutých objednávok z dôvodu nedostatku materiálu: 5
- Priemerný čas objednávky vo výrobe – 684.625 hodín
- Priemerná váha spracovaných objednávok - 2750.43 kg
- Priemerný čas palety vo výrobe – 674.762 hodín
- Hodnoty front (queue) jednotlivých strojov:
 - Lisovací stroj
 - priemerná dĺžka fronty - 0.669779 prvku
 - priemerný čas, ktorý paleta strávila vo fronte – 1,7141 hodín
 - Jednostranná brúska
 - priemerná dĺžka fronty - 5.1249 prvku
 - priemerný čas, ktorý paleta strávila vo fronte – 13.1154 hodín
 - Vyrovňavanie
 - priemerná dĺžka fronty - 201.293 prvku
 - priemerný čas, ktorý paleta strávila vo fronte – 515.1 hodín

Pret'ahovanie

- o priemerná dĺžka fronty - 10.1152 prvku
- o priemerný čas, ktorý paleta strávila vo fronte – 29,3378 hodín

Obojstranné brúsenie

- o priemerná dĺžka fronty - 37.471 prvku
- o priemerný čas, ktorý paleta strávila vo fronte – 105.16 hodín

Olejovací stroj

- o priemerná dĺžka fronty - 0.0381 prvku
- o priemerný čas, ktorý paleta strávila vo fronte – 0,12 hodín

Na prvý pohľad je možné vidieť, že priemerný čas palety vo výrobe je celkom vysoký na to že stroje pracujú celkom rýchlo (1ks/10s alebo pri lisovačke 1ks/1s). Tiež je zaujímavé vidieť, že vyrovnávačka má pomerne vysoký priemerný čas čakania vo fronte. To je spôsobené tým, že pred vyrovnávačkou sa nachádzajú stroje ktoré svoju prácu stíhajú a tým pádom zahltia operáciu vyrovnávanie. Stroj za ňou (pret'ahovačka) už ale stíha nakoľko sa pred vyrovnávačkou zhromažďuje veľké množstvo paliet. U obojstranného brúsenia je možné vidieť podobný efekt, ktorý je spôsobený s tým, že stroj svoju prácu nestíha

5.2 Experiment č. 1

Tento experiment bol vykonaný s parametrami uvedenými v Tabuľka 4.

| Názov operácie | Počet strojov / ľudí (pre MOK a balenie) |
|------------------------|--|
| Lisovanie | 2 |
| Jednostranné brúsenie | 4 |
| Vyrovnávanie | 3 |
| Pret'ahovanie | 3 |
| Obojstranné brúsenie | 3 |
| Olejovanie | 1 |
| Kontrola kvality (MOK) | 10 |
| Balenie | 10 |

Tabuľka 4 Parametre experimentu 1

V tomto experimente boli na základe analýzy predošlého experimentu navýšené stroje u operácií kde dochádzalo k spomaleniu celej výroby (tzv. bottleneck). Došlo sa k záveru, že zvýšením počtu jednostranných brúsok, vyrovnávačov a v neposlednom rade aj obojstranných brúsok dôjde k ďalšiemu zníženiu jak priemernej doby palety vo výrobe tak objednávok a aj k zníženiu času v čakacích frontách pred operáciou a ich veľkosti.

Výsledky:

- Počet dokončených objednávok: 1073
- Počet odmietnutých objednávok z dôvodu nedostatku materiálu: 10
- Priemerný čas objednávky vo výrobe – 70.6998 hodín
- Priemerná váha spracovaných objednávok - 2746.86 kg
- Priemerný čas palety vo výrobe – 69.4133 hodín

- Hodnoty front (queue) jednotlivých strojov:

- Lisovací stroj

- priemerná dĺžka fronty - 0.6666 prvku
 - priemerný čas, ktorý paleta strávila vo fronte – 1.6552 hodín

- Jednostranná brúska

- priemerná dĺžka fronty - 1.1088 prvku
 - priemerný čas, ktorý paleta strávila vo fronte – 2.75 hodín

- Vyrovňavanie

- priemerná dĺžka fronty - 3.2014 prvku
 - priemerný čas, ktorý paleta strávila vo fronte – 7.88 hodín

- Preťahovanie

- priemerná dĺžka fronty - 7.0743 prvku
 - priemerný čas, ktorý paleta strávila vo fronte – 17.77 hodín

- Obojstranné brúsenie

- priemerná dĺžka fronty - 0.7103 prvku
 - priemerný čas, ktorý paleta strávila vo fronte – 1.79 hodín

- Olejovací stroj

- priemerná dĺžka fronty - 0.0911 prvku
 - priemerný čas, ktorý paleta strávila vo fronte – 0.23 hodín

V tomto experimente, ako je možné vidieť, došlo k ďalšej redukcii priemerného času objednávky vo výrobe o 89.67 % a zmenšeniu priemerného času palety vo výrobe o 89.71 % oproti predošlému experimentu.

Pri zvýšení počtu strojov u jednostranného brúsenia došlo k zlepšeniu priemernej doby čakania vo fronte o 79.03 % a priemernej dĺžky fronty o 78.37 %. U vyrovňavania došlo opäť k zlepšeniu priemerného času stráveného vo fronte o 98.47 % a tiež dĺžky fronty o 98.41 %. V poslednej rade u obojstranného brúsenia kde sa priemerná doba čakania znížila o 98.30 % a dĺžka fronty o 98.11 %.

5.3 Experiment č. 2

Tento experiment bol vykonaný s parametrami uvedenými v Tabuľka 5.

| Názov operácie | Počet strojov / Ľudí (pre MOK a balenie) |
|------------------------|--|
| Lisovanie | 2 |
| Jednostranné brúsenie | 5 |
| Vyrovnávanie | 4 |
| Pret'ahovanie | 4 |
| Obojstranné brúsenie | 4 |
| Olejovanie | 2 |
| Kontrola kvality (MOK) | 10 |
| Balenie | 10 |

Tabuľka 5 Parametre experimentu 2

V tomto experimente sa došlo sa k záveru, že zvýšením počtu všetkých strojov o 1 dôjde k ďalšiemu zníženiu jak priemernej doby palety vo výrobe tak objednávok a aj k zníženiu času v čakacích frontách pred operáciami a ich veľkosti.

Výsledky:

- Počet dokončených objednávok: 1131
- Počet odmietnutých objednávok z dôvodu nedostatku materiálu: 1
- Priemerný čas objednávky vo výrobe – 46.9533 hodín
- Priemerná váha spracovaných objednávok - 2732.19 kg
- Priemerný čas palety vo výrobe – 46.9777 hodín
- Hodnoty front (queue) jednotlivých strojov:
 - Lisovací stroj
 - priemerná dĺžka fronty - 0.7360 prvku
 - priemerný čas, ktorý paleta strávila vo fronte – 1.77 hodín
 - Jednostranná brúska
 - priemerná dĺžka fronty - 0.4566 prvku
 - priemerný čas, ktorý paleta strávila vo fronte – 1.10 hodín
 - Vyrovnávanie
 - priemerná dĺžka fronty - 0.9270 prvku
 - priemerný čas, ktorý paleta strávila vo fronte – 2.24 hodín
 - Pret'ahovanie
 - priemerná dĺžka fronty - 1.2664 prvku
 - priemerný čas, ktorý paleta strávila vo fronte – 3,06 hodín
 - Obojstranné brúsenie
 - priemerná dĺžka fronty - 0.1789 prvku
 - priemerný čas, ktorý paleta strávila vo fronte – 0,43 hodín
 - Olejovací stroj
 - priemerná dĺžka fronty - 0.0078 prvku

- priemerný čas, ktorý paleta strávila vo fronte – 0,02 hodín

Pri tomto experimente, ako je možné vidieť, došlo k ďalšej redukcii priemerného času objednávky vo výrobe o 33.61 % a zmenšeniu priemerného času palety vo výrobe o 32.32 % oproti predošlému experimentu.

Pri zvýšení počtu strojov došlo k nasledovným zlepšeniam:

Lisovanie:

- priemerná doba čakania vo fronte o 6.94 %
- priemerná dĺžka fronty o 9.90 %

Jednostranné brúsenie:

- priemerná doba čakania vo fronte o 60 %
- priemerná dĺžka fronty o 58.80 %

Vyrovnávanie:

- priemerná doba čakania vo fronte o 71.57 %
- priemerná dĺžka fronty o 71.05 %

Pretahovanie:

- priemerná doba čakania vo fronte o 82.78 %
- priemerná dĺžka fronty o 82.10 %

Obojstranné brúsenie:

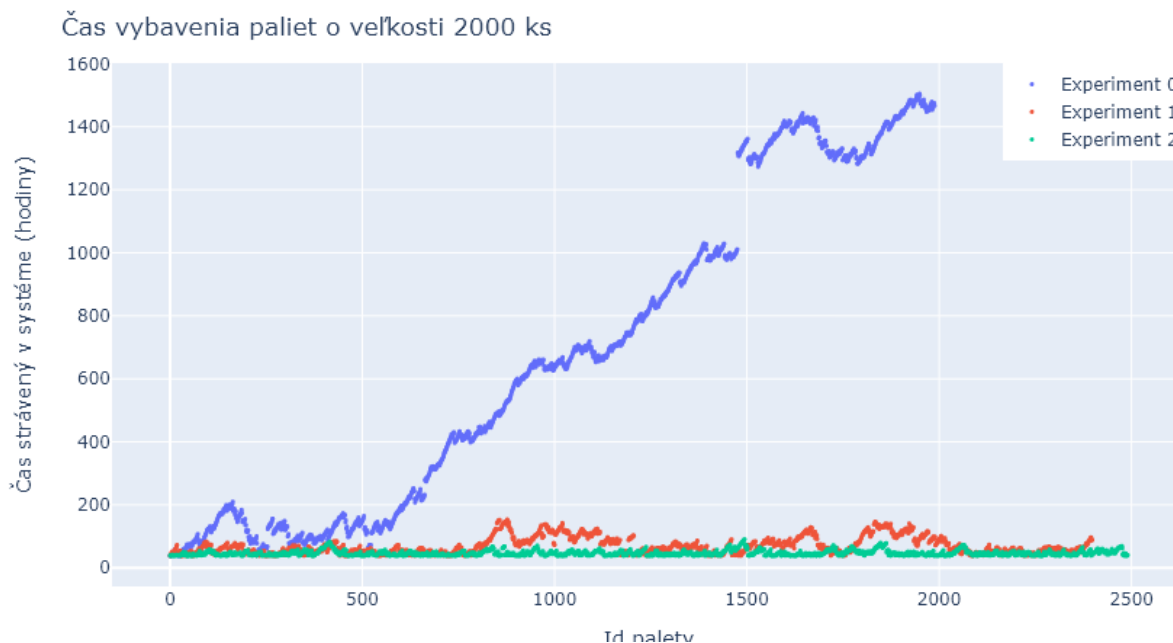
- priemerná doba čakania vo fronte o 75.98 %
- priemerná dĺžka fronty o 74.82 %

Olejovanie:

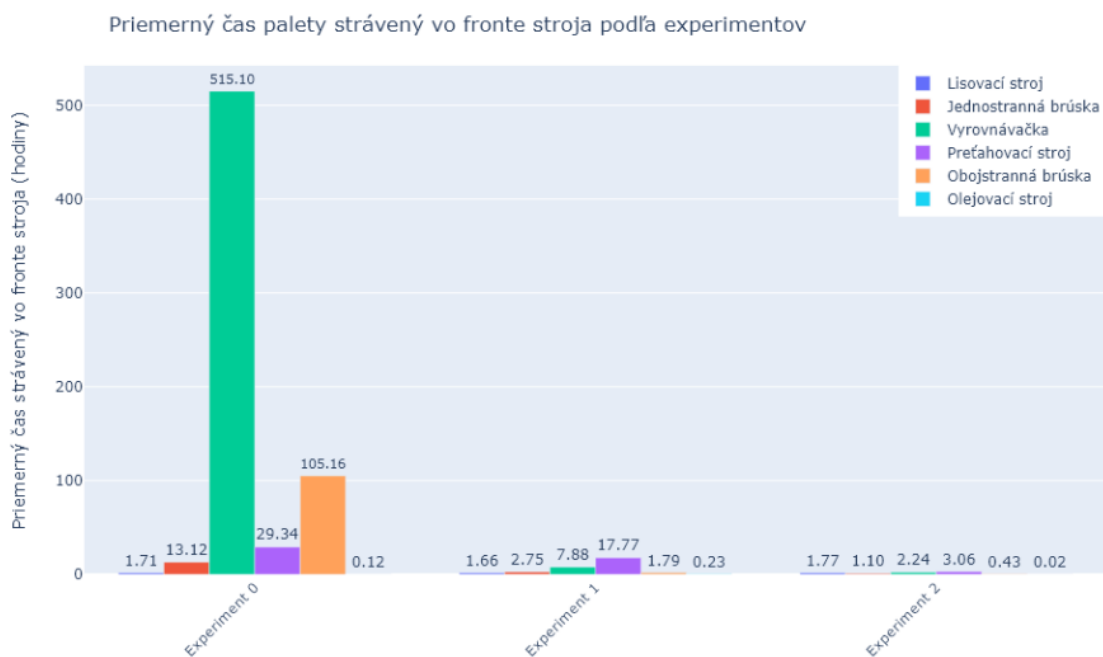
- priemerná doba čakania vo fronte o 91.30 %
- priemerná dĺžka fronty o 91.44 %

5.4 Záver experimentov

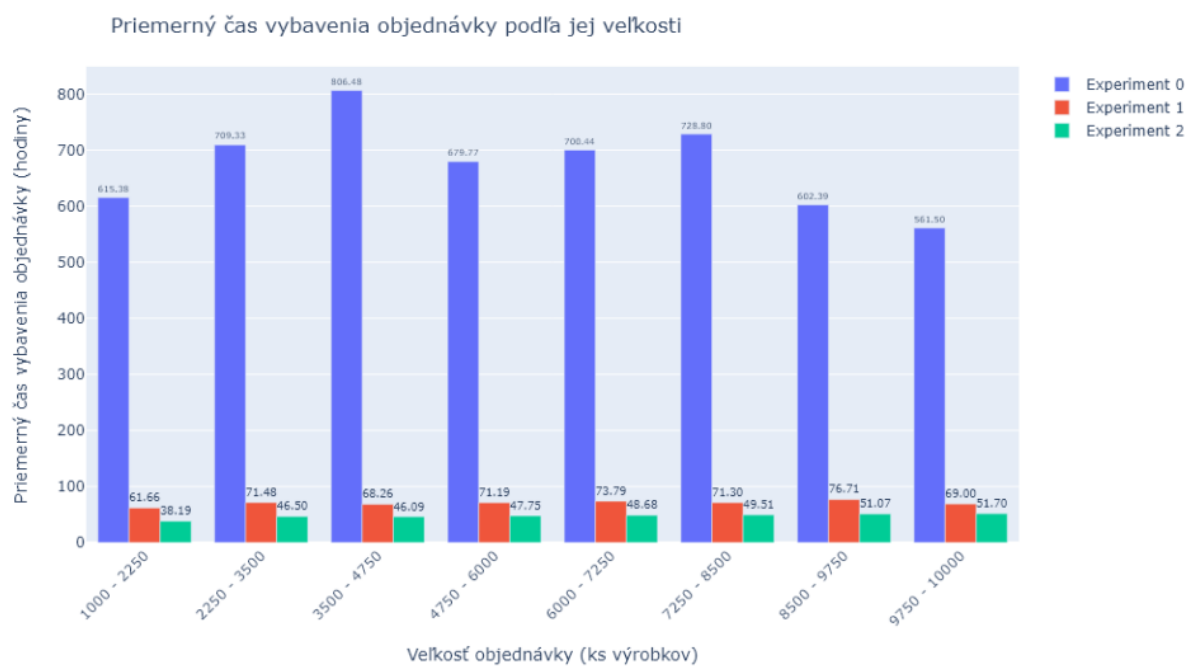
V priebehu experimentovania boli na základe analýzy nájdené miesta, ktoré spôsobujú spomalenie celej výroby (tzv. bottleneck). Zvýšením priepustnosti týchto miest došlo k razantnému zníženiu priemerného času palety vo výrobe, vid'. Obrázok 2 a tiež k zníženiu priemerného času čakania palety vo čakacích frontách pred operáciami vid'. Obrázok 1, a tým pádom aj k zníženiu priemerného času objednávky vo výrobe vid'. Obrázok 4. Vďaka zlepšeniu týchto parametrov došlo tiež k zvýšenému počtu spracovaných objednávok vid'. Obrázok 3. Avšak samotná vyššia priepustnosť ešte nezaručuje že niektoré zariadenia nebudú preťažené v rámci výroby.



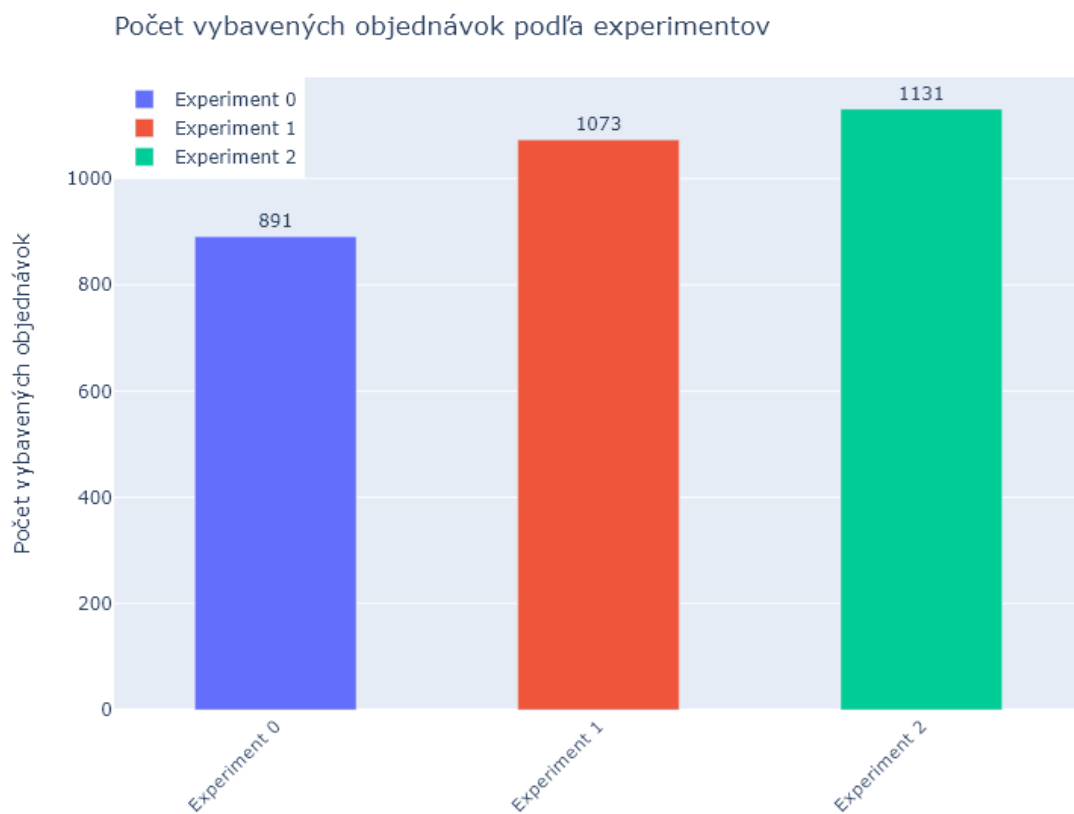
Obrázok 2



Obrázok 1



Obrázok 3



Obrázok 4

6 Záver práce

Výsledkom tejto práce je diskretný model výrobného procesu brzdového lamelu. Tento model bol vytvorený na základe dát od zamestnanca firmy Miba Steeltec. Experimenty, ktoré boli vykonávané nad týmto modelom simulovali potencionálny dopad zmien počtu strojov u jednotlivých operácií na priebeh a rýchlosť celej výroby.

Vďaka experimentov uskutočnených nad týmto modelom bolo zistené, že v rámci výrobného procesu brzdových lamiel dochádza k zhromažďovaniu a čakaniu paliet pred niektorými strojmi. Z experimentu 1 vyplýva, že navýšenie počtu jednostranných brúsok, vyrovnávačiek a obojstranných brúsok vyústilo v 89.67 % zrýchlenie priemernej doby vybavenia jednej objednávky a 89.71 % zrýchlenie priemernej doby vybavenia palety. Experimentom 2 bolo dosiahnuté ďalšie zrýchlenie priemernej doby vybavenia jednej objednávky o 33.61 % a priemernej doby vybavenia palety o 32.32 % v porovnaní s experimentom č. 1.

7 Zdroje

[1] Miba [online]. [cit. 2023-12-05]. Dostupné z: <https://www.miba.com/en/>

[2] IMS: Peringer Petr a Hrubý Martin – Presentace k předmětu IMS – str. 121- 205. [cit. 2023-12-05]. Dostupné z:

<https://www.fit.vutbr.cz/study/courses/IMS/public/prednasky/IMS.pdf>

[3] Branislav Pap, technolog z firmy Miba Steeltec Vráble.

[4] AllAboutTrucks-CDL Truck Dispatch Company [online]. [cit. 2023-12-05]. Dostupné z: <https://www.allabouttrucks-cdl.com/2019/08/how-many-tons-of-cargo-can-transport.html>

[5] SIMLIB: Dokumentace knihovny SIMLIB/C++ [online]. Upravené 26.9. 2023. [cit. 2023-12-05]. Dostupné z: <https://www.fit.vutbr.cz/~peringer/SIMLIB/>