



Technická správa
SHO vo výrobe rozvádzača vysokého napätia UniGear
Tím divočákos s boxeros

12. decembra 2021

Filip Brna **xbrnaf00)**
Matej Horník **(xhorni20)**

1 Úvod

V dnešnom svete plného silným konkurenčným prostredím, nie je pre firmy jednoduché si vydobýť postavenie, ktoré je zárukou istoty, že práve ich firma bude v danom segmente dominovať. Pre firmy, ktoré chcú byť na trhu konkurencieschopné a neustále bojovať o každého zákazníka je potrebné aby bol ich produkt vyrobený rýchlejšie, kvalitnejšie a lacnejšie ako to je u konkurencii. Správa vznikla na základe požiadavku (fiktívneho) firmy vyrábajúcej vzduchom izolovaný, kovom krytý rozvádzač vysokého napätia (ďalej rozvádzač), ktorý je odolný voči vnútorným oblúkovým skratom a je zložený z niekoľkých panelov. Na základe modelovania a simulačných experimentov (slajd 8) bude ukázané chovanie plneautomatizovaného systému hromadnej obsluhy (slajd 136 ďalej SHO) pri výrobe rozvádzača v podmienkach nepretržitej výroby. Zmyslom experimentu je zanalyzovať aktuálny systém (slajd 7), nájsť vo výrobe úzke miesta a navrhnúť jeho možnú optimalizáciu (slajd 43).

1.1 Autori, zdroje odborných faktov, literatúry

Prácu vypracovali Filip Brna a Matej Horník, študenti VUT FIT v Brne. Technická časť bola vytvorená za pomoci zdrojov z predmetu Modelovanie a simulácie na VUT FIT, zdroje k odborným faktom boli získané z internetových stránok firmy a taktiež od pracovníka firmy, ktorá tieto rozvádzače vyrába.

1.2 Prostredie a podmienky overovania validity modelu

Validita modelu bola priebežne experimentálne overovaná. Pri overovaní boli získane dáta zo simulačných výstupov porovnávané s údajmi z verejne dostupných výročných správ a rôznych dokumentov firmy od roku 2015, kedy bola výrobná linka prestavaná do aktuálneho stavu. Simuláciou sme získali aj dáta, ktoré neboli uvedené v týchto dokumentoch buď z dôvodu nezverejňovania interných informácií/výrobných tajomstiev alebo si firma tieto dáta nearchivovala. Predpokladá sa však, že ak by sa jednalo o naozajsnú zákazku tak by pre dobro firmy a zefektívnenie výrobného procesu bol poskytnutý prístup ku všetkým potrebným dátam.

2 Rozbor a použité metódy/technologie

Firma vyrába rozvádzače na plne automatickej výrobnéj linke, linka je tvorená jednotlivými pracoviskami s označením Z1 až Z8, kde má každé pracovisko v popise práce vykonávanie určitej časti výroby (viď tabuľku č.2), ďalej sú v systéme vyhradené miesta, určené pre rozpracovanú výrobu (ďalej iba zásobníky, viď tabuľku č.1). Jednotlivé pracoviská majú minimálne jeden stroj vykonávajúci príslušnú operáciu výroby (viď tabuľku č.1), každý stroj na linke môže pracovať naraz iba na jednom rozvádzači. Po dokončení jednotlivých operácií je rozpracovaný rozvádzač prepravený buď na ďalšie pracovisko v poradí, uložený do voľného zásobníka alebo v prípade, že nie je žiadny zásobník voľný a všetky stroje nasledujúcej operácie obsadené ostáva rozpracovaný rozvádzač na aktuálnom pracovisku, kde zaberá príslušný stroj. Po ukončení operácie Z8 je rozvádzač odvedený na testovacie oddelenie, toto už však nie je proces výroby takže ďalej sú tieto informácie brané ako irelevantné. Výrobné časy jednotlivých operácií boli získané na základe dvoch metód a to historickým pozorovaním vykonanom priamo na mieste za pomoci osoby, kamier alebo metódou zberu dát z informačného systému, tieto merania boli vykonávané firmou pre ich vlastné účely. Pozorovanie za pomoci osoby má výhodu v tom, že ľudský faktor zaručí automatickú filtráciu nezmyselných údajov akými sú napríklad poruchy, nevýhodou je, že je to časovo veľmi náročné a získame iba malý počet údajov. Zber údajov z informačného systému má výhody v tom, že je to rýchle, presné a máme k dispozícii veľký počet údajov avšak nevýhodou je nutná ručná extrakcia nezmyselných dát.

Pracovisko	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8
Počet pracovných miest	3	3	1	3	2	2	4	1
Počet zásobníkov pred	-	9	2	1	1	1	1	2
Doba trvania operácie	N(51.8, 5)	N(75.5, 5)	3-5min	N(30.9, 5)	N(9, 2)	N(11.1, 2)	N(61, 5)	1min

Tabuľka 1:

Súčasný počet strojov, zásobníkov a výrobné časy jednotlivých pracovísk
 $N(X, Y)$ - normálne rozdelenie so strednou hodnotou X a rozptylom Y
jednotka času je minúta

Pracovisko	Popis práce stroja
Z1	montáž základnej kostry panelu, inštalácia podstavy nosníkov kontaktov
Z2	pridanie pákových mechanizmov pohonu a k nim prislúchajúce súčasti kostry
Z3	pridanie nosníkov transformátora, montáž odbočky a nosných izolátorov
Z4	montáž krytov káblových kanálov, kábľové pripojenie a pevný kontakt skratovača EK6
Z5	montáž zadného krytu a ventilácie, ktorá je súčasťou zadného krytu
Z6	montáž odbočiek, odľahčovacích klapiek, I-th limitor, nízkonapäťová skrinka
Z7	montáž predných dverí vypínačového a kábľového priestoru, oddeľovací kryt
Z8	otočná platforma, ktorá otočí panel o 180 stupňov

Tabuľka 2: Popis práce strojov na jednotlivých pracoviskách

2.1 Použité postupy pri vytváraní modelu

Hlavným použitým postupom je vytvorenie konceptuálneho modelu (slajd 48) pomocou Petriho siete (slajd 123). Petriho siet bola využitá predovšetkým preto, že pomocou nej je vytvorenie konceptuálneho modelu SHO jednoduché a zrozumiteľné. Petriho siet v tomto prípade popisuje chovanie jednotlivých rozpracovaných rozvádzačov v rámci výrobnéj linky, ich vstup a výstup zo systému.

Simulačný model je naprogramovaný v jazyku C++ a využíva simulačnú knihovnu SIMLIB (SIMLIB dokumentácia), tieto technológie su ideálne pre riešenie práce, pretože obsahujú všetko potrebné k implementácii modelu.

2.2 Pôvod použitých metod/technológií

Na projekt boli využité štandardné funkcie jazyka C++, jeho pôvod (C++ referencia).

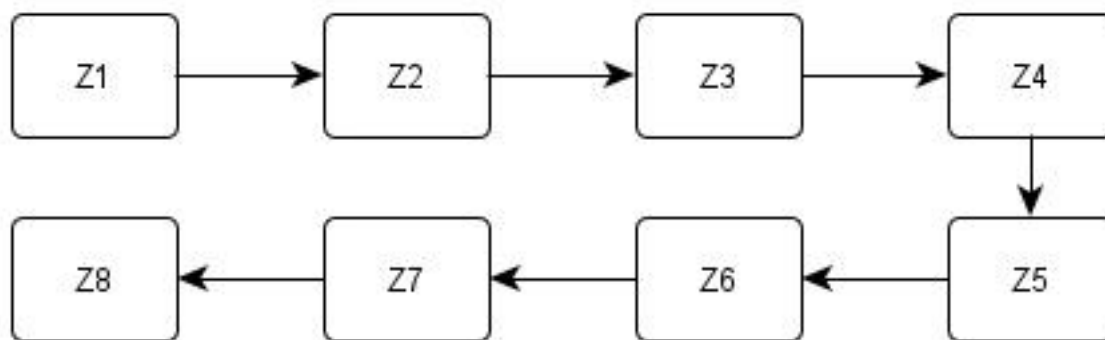
Knihovna SIMLIB je voľne dostupná a bola použitá aktuálne najnovšia dostupná verzia 3.08 dostupná z oficiálnej stránky nástroja (SIMLIB), autormi sú Petr Peringer, David Leska a David Martinek. Pri vytváraní simulačného modelu boli využité nástroje a rozhrania tejto knihovny.

3 Konceptcia - model

V tejto sekcii sa spracováva návrh konceptuálneho modelu (slajd 48) systému hromadnej obsluhy, ktorý je vytvorený pre uľahčenie implementácie simulačného modelu (slajd 44), pomocou petriho siete (viď obrázok č.1 v kapitole 3.2, slajd 123). Pri vytváraní siete je potrebné vyfiltrovať relevantné a nerelevantné informácie pre samotný model. K simulácii nie je potrebné modelovanie procesov výroby samotných komponentov rozvádzača a taktiež testovacia fáza samotného rozvádzača, ktorá bude prebiehať na inom pracovisku fabriky pre potreby modelu je to marginálne a zanedbateľné z dôvodu toho, že požiadavka sa týkala analýzy aktuálneho stavu výrobnéj linky a prípadná optimalizácia úzkych miest na linke a keďže test vyrobeného rozvádzača a samotné diely z ktorých je rozvádzač zložený nemajú s výrobnou linkou nič spoločné, ďalej boli považované tieto informácie za nepotrebné. Čas, ktorý je potrebný na presun rozvádzačov medzi jednotlivými pracoviskami je zahrnutý v čase výroby danej operácie.

3.1 Spôsob vyjadrenia konceptuálneho modelu

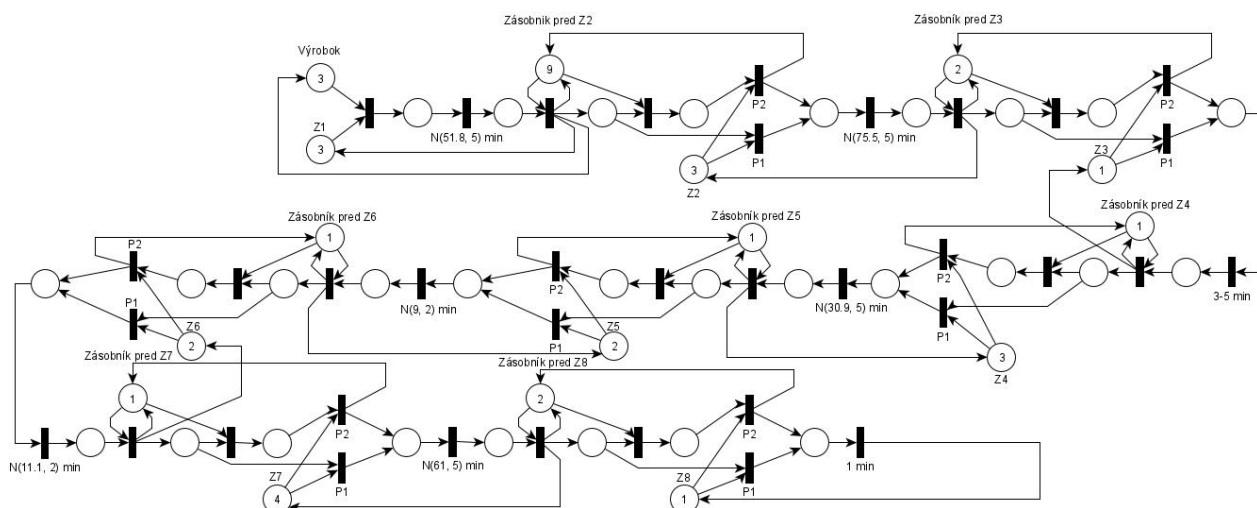
Vstupom simulácie je proces rozvádzača, ktorý je vytvorený vždy keď je sa uvoľní stroj na pracovisku Z1. Proces postupne prejde celým systémom výroby (viď obrázok č.1 a č.2) a po ukončení výroby proces opúšťa systém. Priorita výberu jednotlivých rozpracovaných produktov strojom z ďalšej výrobnéj operácie je popísaný na obrázku č.3. a algoritme č.1.



Obr. 1: Zjednodušený postup výrobku počas procesu výroby

3.2 Formy konceptuálneho modelu

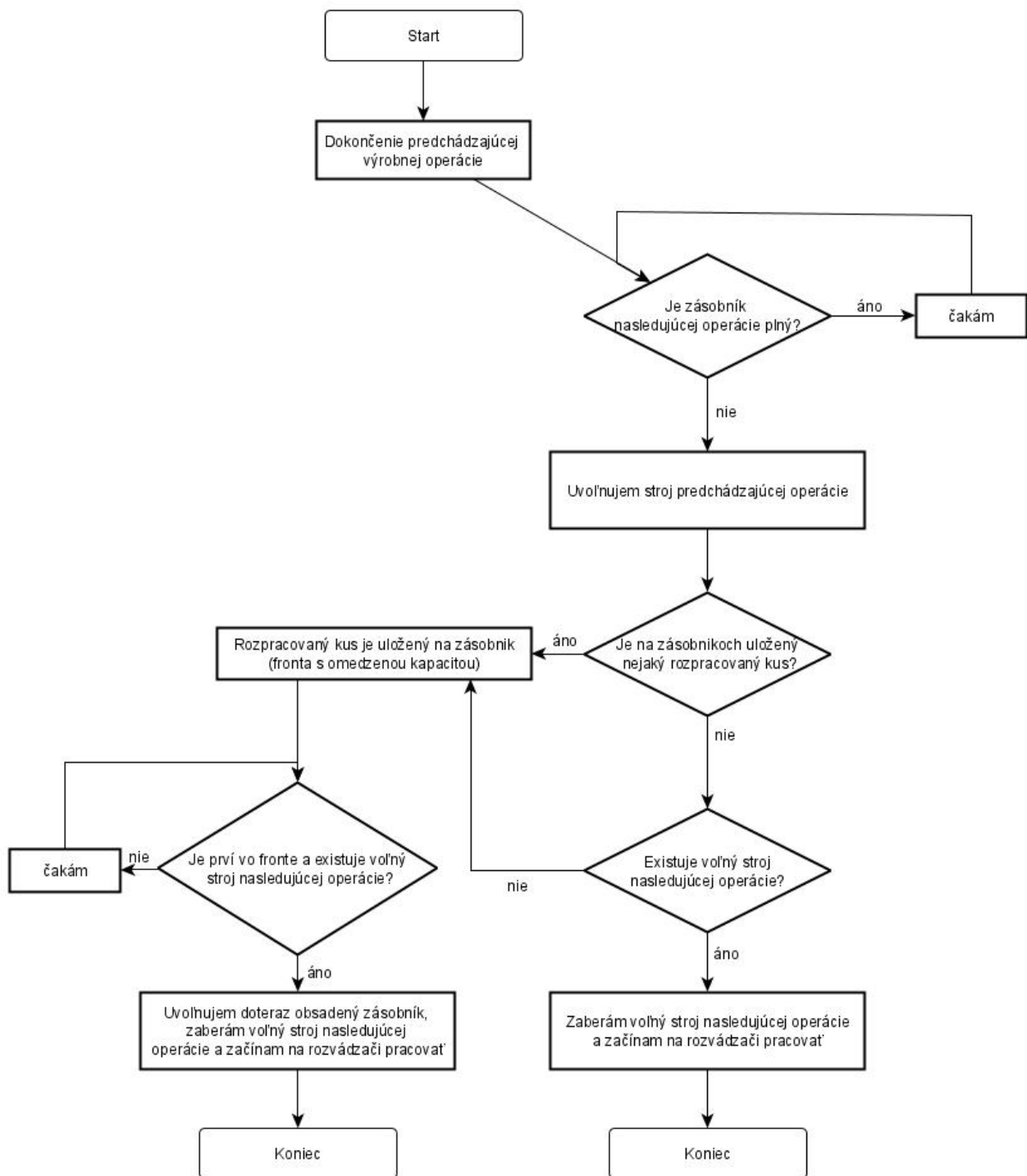
Model výroby rozvádzača pomocou Petriho siete vytvorenej na základe relevantných údajov uvedených vyššie.



Obr. 2: Petriho sieť

4 Koncepcia - implementácia

Na obrázku č.3 je možné vidieť abstraktný pohľad na náročnejšiu časť, ktorá sa v systéme objavuje všade okrem pracoviska Z1, pred ktorým sa nenachádza žiadny zásobník určený na ukladanie rozpracovaných rozvádzačov počas čakania na ďalšiu operáciu. Stav "čakám" je v kóde implementovaný ako uspaný proces, ktorý, je zaktivo- vaný hneď ako príde na rad a bude si môcť zobrať stroj. Postup stroja pri výbere na spracovanie rozpracovaného výrobku je popísaný v pseudo kóde Algoritmus č.1.



Obr. 3: Proces postupu zaberania stroja rozpracovaným výrobkom

```

čakanie, kým sa uvoľní stroj;
if zásobník obsahuje nejaké rozpracované kusy then
    | aktivuj najdlhšie čakajúci rozpracovaný výrobok na zásobníkoch;
    | zaber stroj;
else
    | čakanie, kým bude existovať proces po úspešnom ukončení predchádzajúcej operácie;
    | zaber stroj;
end
práca na rozvádzači;
...

```

Algoritmus 1: Zabratie procesu rozpracovaného rozvádzača strojom nasledujúcej operácie

5 Architektúra simulačného modelu

V implementácii je využitý generátor typu Event (slajd 170), ktorý je implementovaný v triede Prichody a vytvára nové požiadavky na výrobu rozvádzača vysokého napätia. Tento generátor je aktivovaný na začiatku simulácie a nový požiadavok na výrobu vytvára v prípade ak je aspoň jedna z liniek na pracovisku Z1 (Linky pre montáž panelov) voľná.

Proces výroby jedného produktu je implementovaný v triede Vyrobnok, ktorá dedí z triedy Process (slajd 171). Jedná sa o hlavnú časť programu. Jednotlivé linky sú v programe modelované ako typ Store (slajd 184) alebo typ Facility (slajd 180). Vo výrobnom procese sa nachádzajú len dve zariadenia typu facility. Tieto zariadenia sa používajú na prenos časti výrobku z liniek a preto sa výrobe môže nachádzať len jedno zariadenie pre dané pracovisko. Ostatné pracoviská majú linky modelované pomocou triedy Store. Počty jednotlivých liniek na pracoviskách sú uvedené v sekcii 2.

Pri vytvorení nového procesu Vyrobnok si proces zaberá jednotlivé linky v poradí danom podľa označenia pracoviska (Zx). V prípade nedostupnosti danej linky si proces stúpe do zásobníka a čaká dokým požadovaná linka nebude voľná. Po dokončení výrobného procesu, to znamená prechod cez všetky pracoviská vzniká nový produkt rozvádzač vysokého napätia UniGear. Po dokončení simulácie sa do súboru vložia informácie, z ktorých budú získané relevantné dáta pre skúmanú problematiku výrobného procesu rozvádzača.

6 Podstata simulačných experimentov a ich priebeh

Jedným z prvých cieľov vykonaných experimentov bolo zistiť, akým spôsobom systém pracuje na základe získaných informácií z výroby. Vytvorí si lepšiu predstavu o tom ako funguje výroba na jednotlivých pracoviskách, ich vyťaženosť, vyťaženosť ich zásobníkov a prípadná identifikácia potencionálne úzkeho miesta vo výrobe.

Ďalším z cieľov bolo experimentovanie s modelom za účelom zefektívnenia jednotlivých pracovísk a optimalizovať výrobu počtom výrobných strojov na pracoviskách. V experimentoch dochádza k úpravám hodnôt - počty strojov na jednotlivých pracoviskách, dĺžka trvania operácie na jednom pracovisku.

Každý experiment trval 30 dní modelového času (slajd 21). Modelový čas je v minútach.

6.1 Dokumentácia experimentov

6.1.1 Experiment 1

Prvý experiment bol spustenie simulácie s parametrami odpovedajúcim reálnym získaným dátam uvedených v sekcii 2. Výsledky tohto experimentu budú reprezentovať bežný priebeh výroby

Zaťaženie jednotlivých liniek:

Zaťaženie liniek pre montáž panelov(Z1 - 3 linky): 99,3%
Zaťaženie liniek pre montáž podstáv(Z2 - 3 linky): 99,8%
Zaťaženie žeriavu(Z3): 15,8%
Zaťaženie liniek pre montáž káblov(Z4 - 3 linky): 40,9%
Zaťaženie liniek pre montáž zadného krytu(Z5 - 2 linky): 17,8%
Zaťaženie liniek pre montáž klapiek(Z6 - 2 linky): 22,1%
Zaťaženie liniek pre montáž predných dverí(Z7 - 4 linky): 60,5%
Zaťaženie otočny panelov(Z8): 3,9%
Priemerné celkové zaťaženie: 45,0%
Počet vyrobených rozvádzačov za 30 dní(modelový čas): 1713

Na základe výsledkov je vidieť je, že pracoviská, ktoré majú najkratší čas trvania operácie majú najnižšiu vyťaženosť. Hodnotu, na ktorú sa zamerajú ďalšie experimenty je priemerné využitie žeriavu. To je prvé pracovisko, ktoré má nízku vyťaženosť. Preto bude ďalší experiment zameraný na rýchlejší prísun časti výrobku ku žeriavu s cieľom zvýšiť vyťaženosť žeriavu.

6.1.2 Experiment 2

Pri zvýšení počtu liniek na pracovisku Z2 (Montáž podstavy) o 1 linku sa zvýšilo zaťaženie žeriavu z 15,8 % na 21,0 %.

Zaťaženie jednotlivých liniek:

Zaťaženie liniek pre montáž panelov(Z1 - 3 linky): 99,0%
Zaťaženie liniek pre montáž podstáv(Z2 - 4 linky): 99,8%
Zaťaženie žeriavu(Z3): 21,0%
Zaťaženie liniek pre montáž káblov(Z4 - 3 linky): 54,2%
Zaťaženie liniek pre montáž zadného krytu(Z5 - 2 linky): 23,7%
Zaťaženie liniek pre montáž klapiek(Z6 - 2 linky): 29,1%
Zaťaženie liniek pre montáž predných dverí(Z7 - 4 linky): 80,2%
Zaťaženie otočny panelov(Z8): 5,2%
Priemerné celkové zaťaženie: 51,5%
Počet vyrobených rozvádzačov za 30 dní(modelový čas): 2270

Na základe dosiahnutých výsledkov, sa podarilo zefektívniť prácu žeriavu a taktiež pridaním jednej linky zvýšiť počet vyrobených výrobkov za jeden mesiac. Ďalší experiment sa bude zaoberať dvoma linkami pre montáž zadného krytu, ktoré majú krátku dobu operácie a tým pádom nie sú dostatočne zaťažené.

6.1.3 Experiment 3

Linky s rýchlym priebehom operácie, majú nízke zaťaženie. V tomto experimente bol znížený počet liniek na pracovisku Z5 z dvoch na jednu. Po skončení behu simulácie boli získané nasledujúce výsledky

Zaťaženie jednotlivých liniek:

Zaťaženie liniek pre montáž panelov(Z1 - 3 linky): 99,7%

Zaťaženie liniek pre montáž podstav(Z2 - 4 linky): 99,8%

Zaťaženie žeriavu(Z3): 82,2%

Zaťaženie liniek pre montáž káblov(Z4 - 3 linky): 89,6%

Zaťaženie liniek pre montáž zadného krytu(Z5 - 1 linka): 88,1%

Zaťaženie liniek pre montáž klapiek(Z6 - 2 linky): 84,1%

Zaťaženie liniek pre montáž predných dverí(Z7 - 4 linky): 17,5%

Zaťaženie otočny panelov(Z8): 11,5%

Priemerné celkové zaťaženie: 71,5%

Počet vyrobených rozvádzačov za 30 dní(modelový čas): 498

Z výsledkov je jasné, že zníženie počtu liniek na pracovisku Z5 nepomohlo celkovému počtu vyrobených kusov za 1 mesiac. Celková záťaž výrobného procesu stúpla o 20% a počet vyrobených produktov klesol o viac ako 400%. Získané informácie jasne naznačujú problém chodu výroby, a to je vysoká záťaž na v prvej časti výroby. Ďalší experiment bude zameraný na zníženie záťaže na pracoviskách v prvej časti výroby.

6.1.4 Experiment 4

Tento experiment bol zameraný na zníženie zaťaženia v prvej časti výroby. Zvýšený bol počet liniek na pracovisku Z4(Montáž káblov) z troch na štyri. Po skončení behu simulácie boli získané nasledujúce výsledky.

Zaťaženie jednotlivých liniek:

Zaťaženie liniek pre montáž panelov(Z1 - 3 linky): 99,1%

Zaťaženie liniek pre montáž podstav(Z2 - 4 linky): 99,8%

Zaťaženie žeriavu(Z3): 21,1%

Zaťaženie liniek pre montáž káblov(Z4 - 4 linky): 41,0%

Zaťaženie liniek pre montáž zadného krytu(Z5 - 1 linka): 47,5%

Zaťaženie liniek pre montáž klapiek(Z6 - 2 linky): 29,2%

Zaťaženie liniek pre montáž predných dverí(Z7 - 4 linky): 80,6%

Zaťaženie otočny panelov(Z8): 5,2%

Priemerné celkové zaťaženie: 52,9%

Počet vyrobených rozvádzačov za 30 dní(modelový čas): 2275

Pridanie novej linky na pracovisko Z4 pomohlo vyriešiť problém vysokého zaťaženia v prvej časti výroby z Experimentu číslo 3, čo zároveň pomohlo zvýšiť počet hotových produktov v jednom mesiaci.

6.1.5 Experiment 5

5. experiment bol zameraný na zefektívnenie pracovísk, v ktorých operácia trvá dlhší čas. Experiment bol zameraný na to, či je pre firmu výhodná investícia na urýchlenie procesov výroby na jednotlivých pracoviskách. Boli použité počty liniek z experimentu číslo 4 a v ďalšom experimente budú použité počty strojov aktuálneho stavu výrobnej linky, z experimentu číslo 1. linke bude zrýchlený proces o 100 %.

Získané hodnoty z experimentu:

- Zrýchlenie Z1(z 51,8min na 25,9min):
 - Priemerné celkové zaťaženie: 53,1%
 - Počet vyrobených rozvádzačov za 30 dní(modelový čas): 2286
- Zrýchlenie Z2(z 75,5min na 37,75min):
 - Priemerné celkové zaťaženie: 70,0%

- Počet vyrobených rozvádzačov za 30 dní(modelový čas): 484
- Zrýchlenie Z7(z 61,0min na 30,5min):
 - Priemerné celkové zaťaženie: 46,8%
 - Počet vyrobených rozvádzačov za 30 dní(modelový čas): 2180

Z výsledkov je zrejmé, že zrýchlenie pracoviska Z2 výrazne znížilo mesačný počet vyrobených výrobkov a to z dôvodu, že výrobný proces nestíhal na pracovisku Z6 a tým pádom celý výrobný proces spomalovalo. Pri tomto experimente bolo zistené, že je pre firmu výhodné investovať do zrýchlenia operácie na pracovisku Z1 alebo Z7. O trochu výhodnejšie je zrýchliť pracovisko Z7. Pracovisko Z7 na 1% využitia vytvorí 46 výrobkov a pracovisko Z1 na 1% využitia vytvorí 43 výrobkov.

6.1.6 Experiment 6

6. experiment bol zameraný na zefektívnenie pracovísk, v ktorých operácia trvá dlhší čas. Rozdiel oproti 6. experimentu je v tom, že urýchlenie operácii na pracoviskách bude v stave v akom bol v experimente 1. Tak isto ako v 6. experimente operácie na pracoviskách budú urýchlené o 100% na tých istých pracoviskách.

Získané hodnoty z experimentu:

- Zrýchlenie Z1(z 51,8min na 25,9min):
 - Priemerné celkové zaťaženie: 45,0%
 - Počet vyrobených rozvádzačov za 30 dní(modelový čas): 1712
- Zrýchlenie Z2(z 75,5min na 37,75min):
 - Priemerné celkové zaťaženie: 74,0%
 - Počet vyrobených rozvádzačov za 30 dní(modelový čas): 58
- Zrýchlenie Z7(z 61,0min na 30,5min):
 - Priemerné celkové zaťaženie: 41,1%
 - Počet vyrobených rozvádzačov za 30 dní(modelový čas): 1713

Tak ako v 6. experimente, aj tu pri zrýchlení pracoviska Z2 došlo k upchaniu procesu výroby na pracovisku Z6, ktoré nestíhalo a každé pracovisko pred pracoviskom Z6 čakalo na toto pracovisko. V ďalšom experimente budeme experimentovať s pridaním jednej linky na pracovisku Z6 a ponechaním zrýchlenia pracoviska Z2 o 100%. Zrýchlenie pracoviska Z1 nemalo vôbec žiadny vplyv oproti pôvodnému modelu z experimentu číslo 1. Taktiež pri zrýchlení pracoviska Z7 neboli pozorované žiadne zlepšenia oproti pôvodnému stavu výrobnej linky. Jediné zlepšenie bolo v celkovom zaťažení, ktoré kleslo o 4% ale nevyprodukovalo sa viacej produktov za 30 dní.

6.1.7 Experiment 7

V poslednom experimente sa zameriame na zvýšenie počtu liniek na pracovisku Z6, ktoré brzdilo výrobný proces pri zrychlení pracoviska Z2 o 100%. Pracovisko Z6 má pôvodne 2 linky.

Zaťaženie jednotlivých liniek(3 linky na Z6):

Zaťaženie liniek pre montáž panelov(Z1 - 3 linky): 99,2%
Zaťaženie liniek pre montáž podstáv(Z2 - 3 linky): 76,8%
Zaťaženie žeriavu(Z3): 36,5%
Zaťaženie liniek pre montáž káblov(Z4 - 3 linky): 66,3%
Zaťaženie liniek pre montáž zadného krytu(Z5 - 2 linky): 39,0%
Zaťaženie liniek pre montáž klapiek(Z6 - 3 linky): 42,1%
Zaťaženie liniek pre montáž predných dverí(Z7 - 4 linky): 71,5%
Zaťaženie otočny panelov(Z8): 4,6%
Priemerné celkové zaťaženie: 54,5%
Počet vyrobených rozvádzačov za 30 dní(modelový čas): 2024

Zaťaženie jednotlivých liniek(4 linky na Z6):

Zaťaženie liniek pre montáž panelov(Z1 - 3 linky): 99,0%
Zaťaženie liniek pre montáž podstáv(Z2 - 3 linky): 72,4%
Zaťaženie žeriavu(Z3): 22,8%
Zaťaženie liniek pre montáž káblov(Z4 - 3 linky): 68,9%
Zaťaženie liniek pre montáž zadného krytu(Z5 - 2 linky): 25,7%
Zaťaženie liniek pre montáž klapiek(Z6 - 3 linky): 22,9%
Zaťaženie liniek pre montáž predných dverí(Z7 - 4 linky): 87,2%
Zaťaženie otočny panelov(Z8): 5,7%
Priemerné celkové zaťaženie: 49,3%
Počet vyrobených rozvádzačov za 30 dní(modelový čas): 2467

Už po pridaní prvej linky na pracovisku Z6 môžeme vidieť výrazne lepšie výsledky. Pracovisko Z6 nebrzdí ostatné pracoviská pred ním a výrobné linky sa podarilo vytvoriť za 30 dní 2024 rozvádzačov. Po pridaní ďalšej linky ku pracovisku Z6 sa znova zlepšila celková zaťaženosť výrobného procesu, hlavne sa snížili zaťaženia liniek pred pracoviskom Z6 a model za 30 dní vytvoril 2467 produktov.

6.2 Závery experimentov

Celkovo bolo vykonaných 7 experimentov. Experimentovaním so zmenami parametrov systému boli odhalené vzájomné závislosti jednej časti výrobného procesu na inú a to umožnilo určiť kritické miesta výrobného procesu. V prvom experimente dochádza k potvrdeniu validity modelu vzhľadom k realite a k získaniu informácií o aktuálnom stave výrobného procesu. V ostatných experimentoch bolo skúmané, ktoré pracoviská majú najväčší vplyv na výrobný proces. Experimentovaním bolo dokázané overenie validity modelu vzhľadom k realite a zvýšenie efektívnosti výrobného procesu tak ako aj počet vyrobených rozvádzačov vysokého napätia v priebehu 30 dní.

7 Zhrnutie simulačných experimentov a záver

Tato práca mala za cieľ analyzovať a navrhnúť optimalizáciu pre výrobnú linku na výrobu vzduchom izolovaných rozvádčov. Bola vypracovaná na základe požiadavkov firmy. Linka je podrobne popísaná. Na výrobnéj linke sú pomocou experimentov nájdené úzke miesta. Návrh optimalizuje jednotlivé pracoviská tak, aby úzke miesta boli vhodne rozšírené a linka sa blížila hladkému výrobnému toku. Z výsledkov experimentov vyplýva, že hlavné kritické miesta v výrobe sú tie, ktorých operácie na pracoviskách trvajú najdlhšie. Tými sú linka pre montáž panelov, linka pre montáž podstavy a linka pre montáž otočných dverí. Na základe experimentov s vytvoreným modelom bol model upravený tak aby bol chod výroby čo najefektívnejší. Validita modelu bola overená, model s aktuálnym počtom pracovísk vykazoval podobnú činnosť ako reálny systém firmy. V rámci projektu vznikol nástroj, ktorý vychádza z modelu reálneho systému firmy. Tento nástroj bol implementovaný v jazyku C++ za použitia knihovny SIMLIB.