

Dokumentácia k projektu z predmetu IMS
SHO model výroby v oblasti strojírenství
(kľukový hriadeľ)

Dominik Trúchly, xtruch01

Michal Ondrejka, xondre15

8.12.2023

Obsah

1.	Úvod	3
1.1	Autori práce a zdroje informácií	3
1.2	Validita modelu.....	3
2.	Rozbor tému a použitých metód.....	3
2.1	Popis použitých postupov.....	4
2.2	Popis pôvodu použitých metód	4
3.	Koncepcia modelovania.....	4
3.1	Spôsob vyjadrenia konceptuálneho modelu	4
3.2	Popis konceptuálneho modelu	7
3.	Koncepcia implementácie	7
4.	Architektúra simulačného modelu.....	8
4.1	Mapovanie abstraktného modelu do simulačného.....	8
5.	Podstata simulačných experimentov a ich priebeh	9
5.1	Ciele experimentu	9
5.2	Priebeh experimentu.....	9
5.3	Závery experimentu.....	11
6.	Zhrnutie simulačných experimentov a záver	11
7.	Bibliografia	11

1. Úvod

Tato práca vznikla ako projekt do predmetu Modelovanie a Simulácie. Práca sa zaoberá simuláciou modelu výroby kľukového hriadeľa.

Kľukový hriadeľ je kľúčovou súčiastkou v pohonnej sústave spalovacích motorov. Hlavnou úlohou kľukového hriadeľa je previesť lineárny pohyb piesta na rotačný pohyb kľukového hriadeľa. Táto transformácia pohybu je kritická pre generovanie rotačného pohybu, ktorý poháňa kolesá vozidla.

Cieľom projektu je analyzovať aktuálny systém, nájsť vo výrobe úzke miesta a pokúsiť sa zistiť optimálny počet strojov a optimalizovať výrobu.

1.1 Autori práce a zdroje informácií

Autormi práce sú Dominik Trúchly a Michal Ondrejka. Technická časť bola vytvorená pomocou štúdie zaoberajúcou sa automatickou výrobou kľukového hriadeľa. [1] Výroba je odsledovaná z video dokumentu zaoberajúcim sa jeho kompletným obrábaním na linke [3].

1.2 Validita modelu

Validita modelu bola priebežne experimentálne overovaná porovnávaním výstupov z modelu s reálnymi dátami získaných zo zdrojov. Dôležitými časťami boli časy výrobku strávené v jednotlivých strojoch, čas strávený údržbami strojov a rôzne druhy chýb, ktoré sa počas výroby objavujú.

Vďaka týmto požiadavkam sme získali podobné hodnoty v jednotlivých štádiach výrobného procesu, ako aj v počte celkovo očakávaných vyrobených kusov.

2. Rozbor tému a použitých metód

Firma vyrába kľukový hriadeľ na automatickej výrobnej linke, kde sa nachádza 6 typov strojov, každý určený na konkrétnu časť procesu. Do niektorých strojov musí výrobok vstúpiť viackrát, čím je ďalej vo výrobnej fáze, tým má väčšiu prioritu na zabratie stroja. Vďaka tomuto postupujú výrobky ďalej vo výrobe bez toho aby museli čakať. Každú hodinu sa vyberie jeden stroj z každého druhu a robí sa povinná údržba ktorá trvá 12 minút. Okrem toho na strojoch vznikajú rôzne druhy chýb podľa typu stroja, ktoré je potrebné opraviť.

Popis práce jednotlivých strojov:

- CNC stroj: Opracovanie hrubých koncov a odstráňovanie tenkých vrstiev materiálu pre dosiahnutie presnosti povrchu.
- Frézovací stroj: Zlepšenie povrchu hriadeľa, vytváranie drážok, zárezov a geometrických prvkov na hriadieli.
- Preťahovací stroj: Formovanie a tvarovanie materiálu.
- Brúsny stroj: Brúsenie hrán a úprava tvaru.
- Merací stroj: Meranie presnosti jednotlivých častí hriadeľa.

- Dodačovací stroj: Finálne úpravy a značenie.

2.1 Popis použitých postupov

Hlavným postupom bolo vytvorenie konceptuálneho modelu pomocou Petriho siete. Vďaka nej sa dal vytvoriť jednoduchý a zrozumiteľný model, ktorý popisoval celý proces výroby, chovanie jednotlivých strojov a ich vstupy a výstupy.

Simulácia využíva knižnicu SIMLIB, ktorá poskytuje všetky potrebné triedy a funkcie k implementácii modelu. [2]

2.2 Popis pôvodu použitých metód

Pre implementáciu sme použili jazyk C++ a jeho štandardné funkcie. Okrem toho sme použili knižnicu SIMLIB, ktorá je vydaná pod GPU LPGL licenciou a autormi sú Petr Peringer, David Leska a David Martinek. Knižnica sa dá získať z jej oficiálnej stránky [SIMLIB](#).

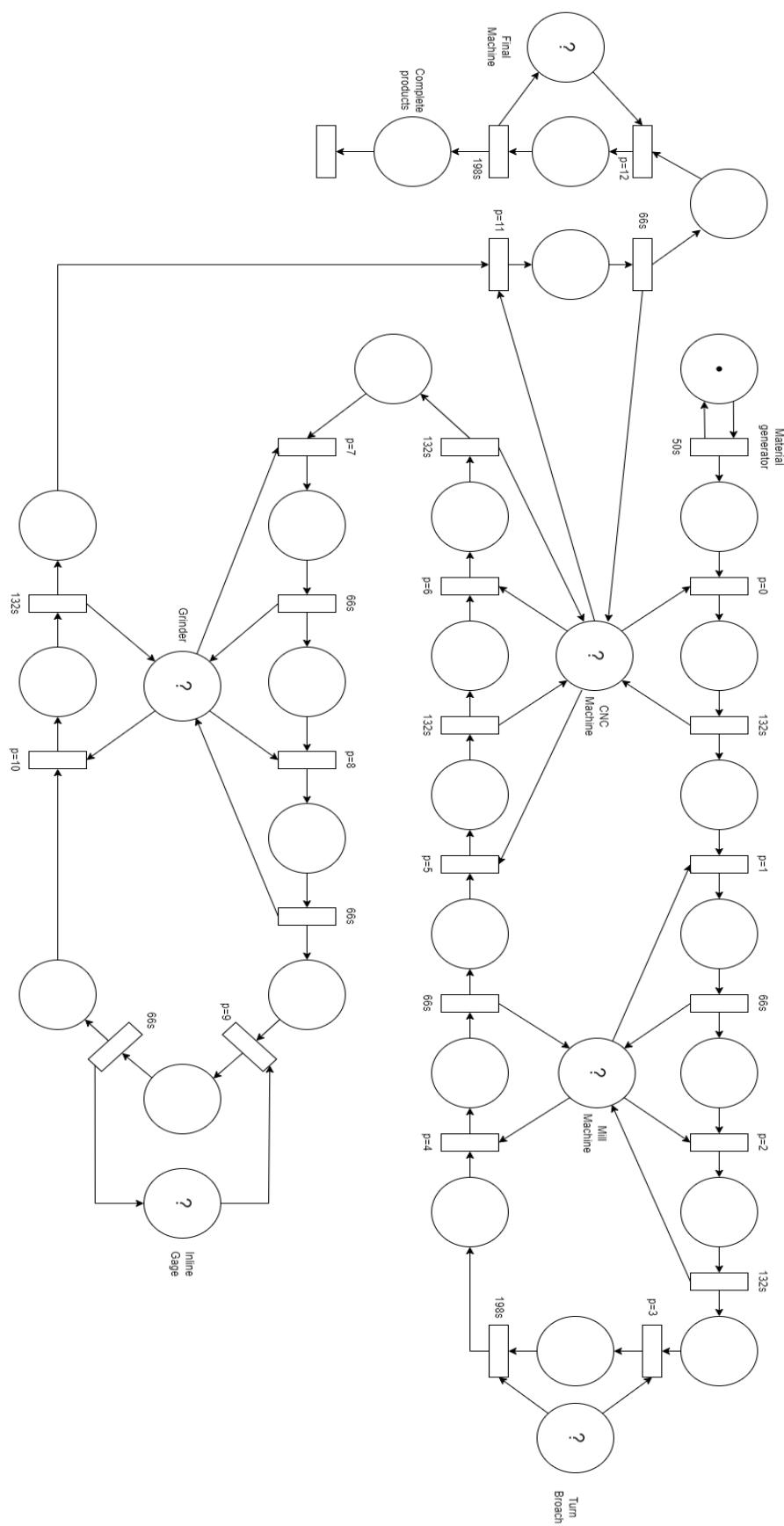
3. Koncepcia modelovania

V tejto sekcii sa popisuje návrh konceptuálneho modelu systému hromadnej obsluhy.

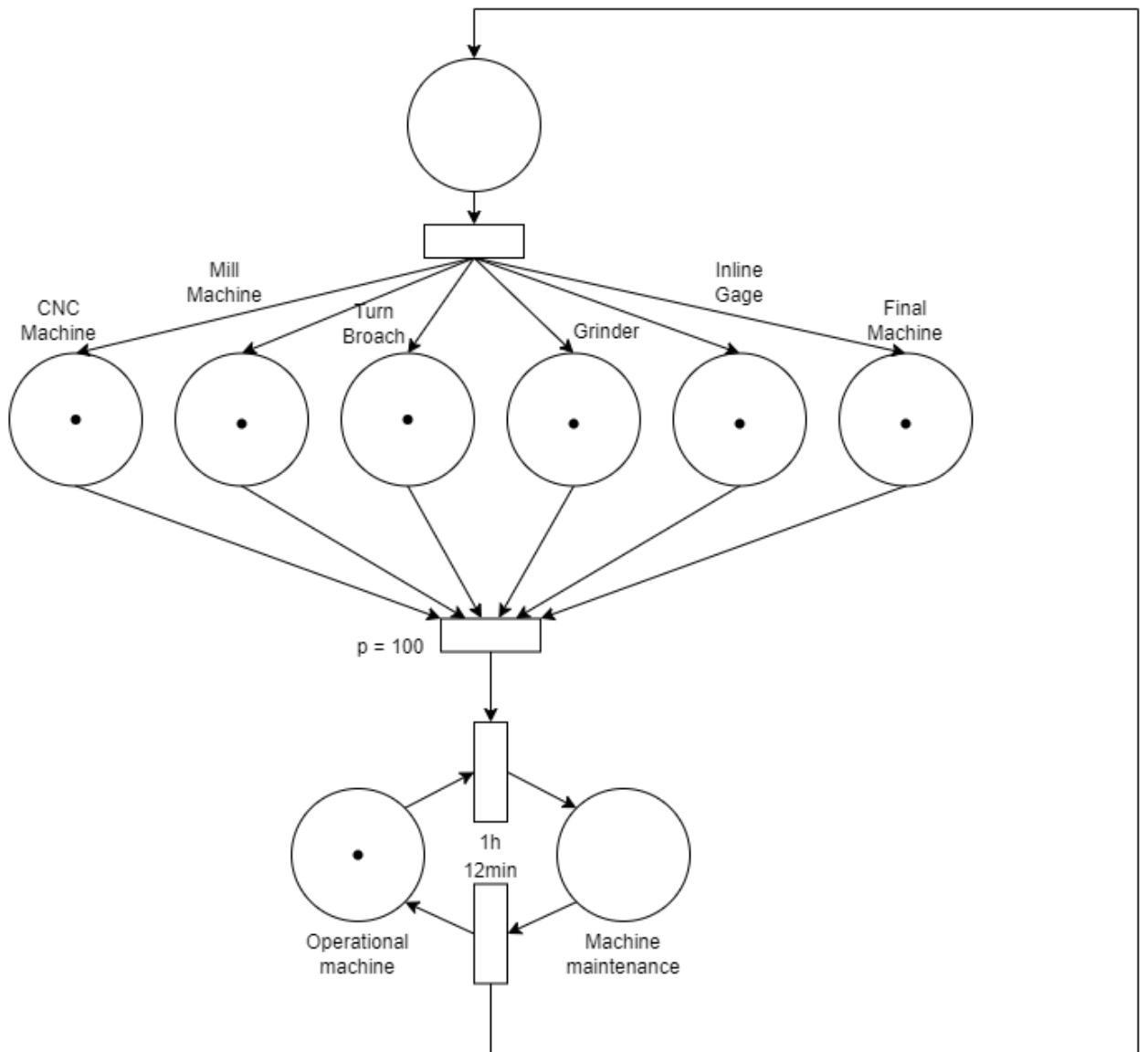
V simulácii nie je potrebné riešiť príchod surového materiálu do skladu, pretože očakávame, že je ho vždy dostatok. Zamerali sme sa len na produkčnú časť výroby.

3.1 Spôsob vyjadrenia konceptuálneho modelu

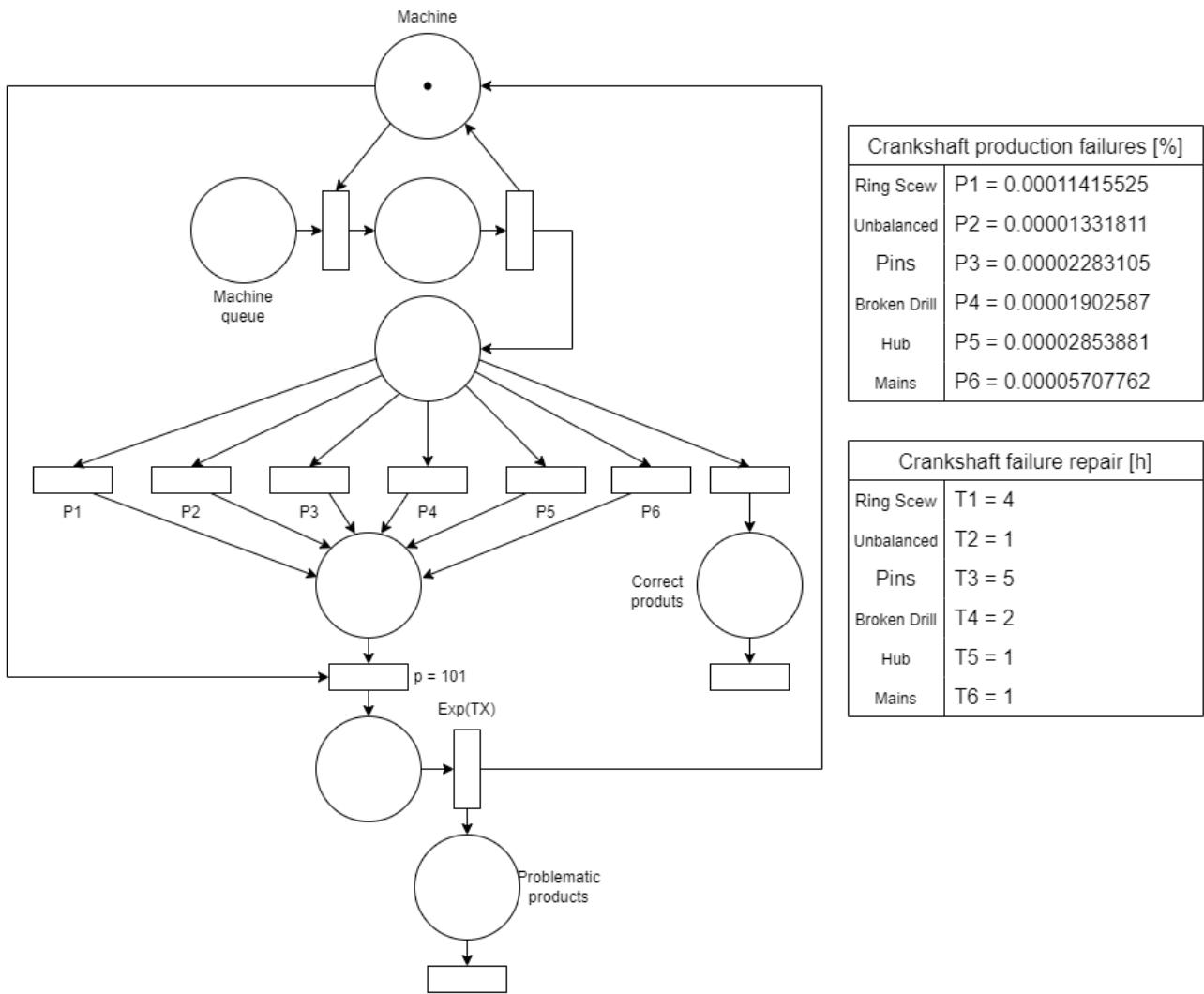
Konceptuálny model je rozdelený na 3 základné časti: pohyb výrobku medzi strojmi [Obr. 1], generovanie a opravy chýb jednotlivých strojov [Obr. 3] a povinna údržba na strojoch. [Obr. 2] Jednotlivé časti sú vyjadrené pomocou petriho sieti.



[Obr. 1] Pohyb výrobku medzi strojmi



[Obr. 2] Povinná údržba strojov



[Obr. 3] Generovanie a opravy chýb jednotlivých strojov

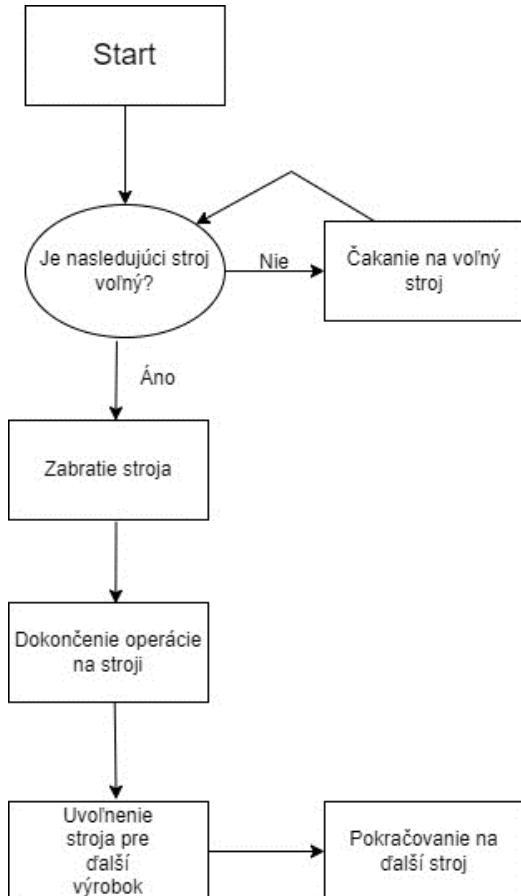
3.2 Popis konceptuálneho modelu

Vstupom simulácie je generovanie materiálu pre výrobu kľukového hriadeľa. Generovanie prebieha každých 50 sekúnd, táto hodnota bola nastavená podľa očakávaného mesačného počtu vyrobencov kusov.

3. Koncepcia implementácie

Materiál postupne prejde celým výrobným procesom vyjadreným petriho sieťou [Obr. 1] a po ukončení opúšťa systém ako hotový výrobok. Materiál prechádza medzi jednotlivými strojmi podľa [Obr. 4]. V simulácii sa generujú chyby podľa priemerných ročných pravdepodobností [1], ktoré ovplyvňujú počet dostupných strojov a celkový výkon.

Program sa prekladá pomocou súboru makefile príkazom „**make**“. Následne je program možné spustiť pomocou príkazu „**make run**“, kedy sa simulácia spustí na 30 dní, alebo pomocou príkazu „./ims <počet dní>“.



[Obr. 4]: Zjednodušený proces zaberania stroja výrobkom

4. Architektúra simulačného modelu

Simulačný model sme sa rozhodli implementovať v jazyku C++ za pomocí knižnice SIMLIB, ktorá je vhodná pre náš model diskrétnej simulácie.

4.1 Mapovanie abstraktného modelu do simulačného

Simulácia začína inicializáciou (funkcia Init()) na určitý počet dní. Následne sa aktivuje proces Vyroba a event Generator. Objekt triedy Vyroba funguje preiodicky v dvoch fázach, kedy sa strieda údržba strojov a výroba. Dĺžky týchto fáz su naimplementované pomocou funkcie Wait() a na základe fázy sú stroje buď obsadené (funkcia Enter()), alebo uvoľnené (funkcia Leave()).

Event Generator periodicky generuje proces Vyrobook každých 50 sekúnd, tak že na konci metódy Behavior() naplánujeme nový event (funkcia Activate(Time + 50 SEC)).

Objekt triedy Vyrobok postupne prechádza výrobnou linkou. Každý prechod sa skladá zo zabrania stroja (funkcia Enter()) na dobu (funkcia Wait()) v závislosti od stroja a druhu obrábania. Je možné že pri prechode nastane chyba stroja. Všetky chyby spôsobujú neopraviteľné poškodenie produktu. Ak nastane chyba, stroj ostane zabraný dlhšie, kvôli oprave stroja. Je volaná funkcia Exponential(X). Doba tejto opravy záleží od typu chyby, keďže každá chyba má inú závažnosť. Na konci prechodu uvoľní používaný stroj. Následne sa mu zvýší priorita.

5. Podstata simulačných experimentov a ich priebeh

5.1 Ciele experimentu

Ciele experimentov boli zistiť ako systém bežne pracuje podľa informácií zo štúdií a ďalej zistiť minimálny počet jednotlivých typov strojov, aby sa splnil výrobný cieľ (aspoň 47 000 vyrobených kusov kľukového hriadeľa mesačne).

5.2 Priebeh experimentu

Experiment 1

Na začiatku sme nastavili všetky typy strojov na 1 stroj a simulovali 30 dní.

Priemerná vyťaženosť CNC strojov: 100%

Priemerná vyťaženosť frézovacích strojov: 65%

Priemerná vyťaženosť preťahovacích strojov: 53%

Priemerná vyťaženosť brúsnych strojov: 65%

Priemerná vyťaženosť meracích strojov: 30%

Priemerná vyťaženosť dolaďovacích strojov: 51%

--- POČTY VÝROBKOV ---

Počet hotových výrobkov = 4569

Počet výrobkov vo výrobe(nehotové kusy) = 47266

Počet nepodarených výrobkov = 5

--- POČTY OBSLÚH ---

Počet údržieb strojov = 58

--- POČTY CHÝB ---

Počet chýb kruhovych skrutiek = 3

Počet chýb konfigurácie stroja = 0

Počet chýb zlomeného vrtáka = 0

Počet chýb strediska = 2

Počet chýb siete = 0

Počet chýb pinov = 0

Experiment 2

V experimente 1 sme zistili, že sme veľmi ďaleko od našeho očakávaného cieľa. Nastavili sme teda všetky typy strojov na 10 kusov a sledovali ako sa zmenia faktory ovplyvňujúce výrobu.

Priemerná vyťaženosť CNC strojov: 94%

Priemerná vyťaženosť frézovacích strojov: 54%
Priemerná vyťaženosť preťahovacích strojov: 40%
Priemerná vyťaženosť brúsnych strojov: 54%
Priemerná vyťaženosť meracích strojov: 14%
Priemerná vyťaženosť dolaďovacích strojov: 40%
--- POČTY VÝROBKOV ---
Počet hotových výrobkov = 51659
Počet výrobkov vo výrobe(nehotové kusy) = 36
Počet nepodarených výrobkov = 145
--- POČTY OBSLÚH ---
Počet údržieb strojov = 717
--- POČTY CHÝB ---
Počet chýb kruhovych skrutiek = 75
Počet chýb konfigurácie stroja = 13
Počet chýb zlomeného vrtáka = 2
Počet chýb strediska = 18
Počet chýb siete = 36
Počet chýb pinov = 1

Experiment 3

Pozreli sme si, ktoré stroje majú najnižšie využité priemerné vyťaženosť a odobrali sme od nich počty strojov. Pri nasledujúcich nastaveniach počtu strojov stále spĺňame počet výrobkov.

CNC = 9 strojov, Frézovacie = 5, Preťahovacie = 4, Brúsne = 5, Meracie = 2, Dolaďovacie = 4

Priemerná vyťaženosť CNC strojov: 99%
Priemerná vyťaženosť frézovacích strojov: 99%
Priemerná vyťaženosť preťahovacích strojov: 92%
Priemerná vyťaženosť brúsnych strojov: 99%
Priemerná vyťaženosť meracích strojov: 62%
Priemerná vyťaženosť dolaďovacích strojov: 91%
--- POČTY VÝROBKOV ---
Počet hotových výrobkov = 47397
Počet výrobkov vo výrobe(nehotové kusy) = 4311
Počet nepodarených výrobkov = 132
--- POČTY OBSLÚH ---
Počet údržieb strojov = 353
--- POČTY CHÝB ---
Počet chýb kruhovych skrutiek = 69
Počet chýb konfigurácie stroja = 13
Počet chýb zlomeného vrtáka = 2
Počet chýb strediska = 17
Počet chýb siete = 29
Počet chýb pinov = 3

5.3 Závery experimentu

Experimentovaním so zmenami počtu strojov boli odhalené závislosti medzi výrobnými procesmi. Bolo skúmané, ktoré stroje majú najväčší vplyv na rýchlosť výroby a optimalizované pre stanovený cieľ. Tak isto boli zistené ďalšie meniace sa informácie o výrobe ako napríklad počet chýb, počet údržieb strojov alebo počty nepodarených kusov.

6. Zhrnutie simulačných experimentov a záver

Tato práca mala za cieľ nájsť optimálny počet strojov na linke pre výrobu kľukového hriadeľa. Na výrobnej linke sú nájdené úzke miesta a bola optimalizovaná, aby výroba pokračovala hladko a čo najefektívnejšie.

7. Bibliografia

[1] Enzi A, Asif S. Automated Production Line Reliability Analysis of the Crankshaft Manufacturing Process. *Advances in Science and Technology Research Journal*. 2022;16(1):15-27.
doi:10.12913/22998624/143936.

[2] Dr. Ing. Petr Peringer, Ing. Martin Hrubý Ph.D (2018) Modelování a simulace.
<http://www.fit.vutbr.cz/study/courses/IMS/public/prednasky/IMS.pdf>

[3] WFL M60 MillTurn Complete Crankshaft Machining - MARTECH Machinery, NJ – USA. Available at:
https://www.youtube.com/watch?v=81UjjSH2iFw&ab_channel=MARTECHcnc