



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY

ÚSTAV INTELIGENTNÍCH SYSTÉMŮ

DEPARTMENT OF INTELLIGENT SYSTEMS

VÝROBNÍ PROCES Z OBLASTI: STROJÍRENSKÉ NEBO ZEMĚDĚLSKÉ

PRODUCTION PROCESS: MACHINE ENGINEERING OR AGRICULTURE

PROJEKTOVÁ DOKUMENTACE

PROJECT DOCUMENTATION

AUTOŘI PRÁCE

AUTHORS

PETR BUCHAL, RADIM ČERVINKA

BRNO 2017

Obsah

Úvod	2
1.1 Data a jejich zpracování	2
1.2 Validita	2
Rozbor tématu a použitých metod/technologií	3
2.1 Použité postupy	3
2.2 Použité technologie	4
Koncepce – modelářská témata	4
3.1 Způsob vyjádření konceptuálního modelu	4
3.2 Popis konceptuálního modelu	5
Koncepce – implementační témata	8
Architektura simulačního modelu/simulátoru	9
5.1 Mapování abstraktního modelu na simulační	9
Podstata simulačních experimentů a jejich průběh	10
6.1 Postup experimentování	10
6.2 Dokumentace jednotlivých experimentů	10
6.2.1 Experiment se smyčkou vytváření procesů místo generátoru	10
6.2.2 Experiment s generátorem 1	10
6.2.3 Experiment s generátorem 2	11
6.3 Závěry experimentů	13
Shrnutí simulačních experimentů a závěr	14
Literatura	15

Kapitola 1

Úvod

V roce 2013 byl představen koncept čtvrté průmyslové revoluce, jinak známé pod pojmem Průmysl 4.0 [1]. Tento trend sebou přináší digitalizaci, která jde ruku v ruce s automatizací průmyslové výroby a je klíčovou při optimalizaci [3, slide 43] výrobního procesu jakéhokoli produktu. V dnešní době je možná digitalizace takřka jakéhokoli obsahu a je tudíž přítomná daleko častěji než dříve. Firmy s její pomocí mají daleko lepší kontrolu nad svými zdroji a mohou je tedy využívat efektivněji.

Jedním ze zdrojů znalostí potřebných k optimalizaci výroby jsou simulace [3, slide 8]. Ty mohou být komplexní nebo se mohou zaměřovat jen na konkrétní aspekt výroby, tedy jak například ovlivní výrobu zakoupení nového stroje, změna počtu dodávaného materiálu nebo přijmutí nových zaměstnanců.

My se v naší práci zaměřujeme na optimalizaci dovozu materiálu pro týdenní výrobu hřídele převodovky Still. Jde nám o efektivnější využití skladu, tedy aby se na sklad každý týden dovezlo množství materiálu, které je za týden firma schopná zpracovat a nehromadili se na skladě nedokončené výrobky. Vytvořili jsme tedy simulační model [3, slide 44] výroby hřídele pro převodovku Still, který se zabývá její roční výrobou s dovozem materiálu každý týden. Zjištění optimálního množství materiálu dovezeného týdně pomůže firmě neefektivnějším způsobem využít sklad při zachování co největšího objemu ročně dokončených výrobků.

1.1 Data a jejich zpracování

Jak z předchozího odstavce vyplývá zabývali jsme se výrobou v konkrétním podniku. Konkrétně se jedná o podnik PSP Pohony a.s., který se zabývá výrobou převodovek, spojek a brzd pro průmyslové aplikace. Data o výrobě jsme získali z diplomové práce Návrh výrobního procesu se zaměřením na změny layoutu od Ing. Zbyňka Tylicha [2]. Ten se v práci zaměřuje na zvýšení efektivity výroby pomocí jiného rozmístění strojů, to samotné nás nezajímá, zajímá nás ale jeho kvalitní popis výroby ve firmě před jeho navrhovaným zlepšením layoutu.

K dokreslení výrobního procesu nám pomohli zkušenosti z exkurze strojírenské firmy TOSHULIN a.s. pořádané ing. Martinem Kvapílkem a z Petrovy pracovní zkušenosti v další strojírenské firmě MAGNETON a.s.. Postup vytváření modelu výroby hřídele a její výsledky jsme konzultovali se dvěma studenty Fakulty strojního inženýrství VUT v Brně, Janem Davidem a Alešem Krčkem. Analýzu dat, simulaci a vyhodnocení dat vypracovali Petr Buchal s Radimem Červinkou.

1.2 Validita

Validitu [3, slide 37] modelu jsme ověřovali z dat nacházejících se v již zmíněné diplomové práci, v té jsou uvedeny doby trvání jednotlivých výrobních procesů na různých typech výrobků a doby práce jednotlivých strojů za rok. Doby trvání jednotlivých procesů, jsme využili při sestavení simulačního modelu a doby práce jednotlivých strojů pro jeho validaci. Při porovnání dob trvání práce jednotlivých strojů v naší simulaci s hodnotami v diplomové práci jsme dostali korespondující hodnoty. Například námi naměřené roční normy minuty práce stroje NLX 1500/500 se liší od hodnot v referenční práci o cca 12 %, což je způsobeno naší optimalizací dovozu materiálu. Stroj totiž ve

skutečnosti (v referenční práci) zpracovává více výrobků než zvládnou stroje, které zpracovávají stejný výrobek po něm. Ty totiž pracují souběžně, jak na něm, tak na výrobcích jiných typů a dochází k prioritnímu zpracování rozpracovaných výrobků podle toho, kterých je na skladě více (zabírají místo) nebo podle požadovaného termínu dodání.

Kapitola 2

Rozbor tématu a použitých metod/technologií

Naše simulace se zabývá výrobou hřídele pro převodovku Still ve firmě PSP Pohony a.s.. Informace o průběhu výrobního procesu jsme získali z diplomové práce uvedené v první kapitole. Proces výroby začíná každotýdenním naskladněním materiálu na následující týden, ideální množství tohoto materiálu je cílem našeho výzkumu. Po naskladnění se materiál/rozpracované hřídele postupně přesouvá mezi jednotlivými stroji, které jej opracovávají. Tyto stroje ovšem neopracovávají pouze naše hřídele, ale také další součástky do převodovky Still nebo součástky do převodovek dalších typů.

Jako první se výkovek přesune ze skladu do stroje NLX 1500/500, který provádí soustružení. Tento stroj opracovává kromě hřídelí ještě jednu součástku do převodovky Still. Poté se výrobek přesouvá na frézování, které provádí stroj Koepfer 200 CNC, ten zpracovává další dvě součástky do převodovky Still. Dále pokračuje rozpracovaná hřídel na praní, které zprostředkovává stroj DC 3, ten zpracovává dalších jedenáct součástí do třech různých převodovek a některé dokonce opakovaně, to se týká i naší hřídele, kterou bude opracovávat znovu po cementaci. Po praní se výrobek transportuje na cementaci, kde je uložen 120 hodin. Po uplynutí této doby se výrobek brousí na stroji BH – OCD 2040. Poté se avizovaně opět přesouvá na stroj DC 3, kde se pere a následně se jakožto hotový přesouvá na sklad.

Mezi každým procesem, kterým výrobek prochází, je nutné započítat dobu transportu. Doby transportu i doby trvání zpracování výkovku na stroji jsou uvedeny v tabulce v obrázku 1.

2.1 Použité postupy

K dosažení cílů naší práce jsme využili diskrétní simulace [3, slide 34], která je na řešení našeho problému vhodná, jelikož výroba hřídele se skládá z částí, které lze označit za diskrétní. Abstraktní model [3, slide 364] jsme vytvořili v petriho sítích [3, slide 123]. Ty jsme zvolili, protože se jedná o standardní a vhodný prostředek pro modelování systému hromadné obsluhy [3, slide 136]. Simulační model jsme poté vytvořili v jazyce C++, který byl pevně dán zadáním. Při programování jsme využili knihovnu SIMLIB, která disponuje nástroji, které při vytváření simulačního modelu značně usnadňují práci. Jedná se např. o kalendář [3, slide 173] nebo o prostředky pro diskrétní simulaci – store, facility [3, slide 146] atd.

2.2 Použité technologie

Pro vytvoření simulace jsme použili jazyk C++, jeho standartních knihoven (<http://en.cppreference.com/w/>) a speciální knihovny SIMLIB (<http://www.fit.vutbr.cz/~peringer/SIMLIB/>), která se zabývá simulacemi. Verzi SIMLIBu jsme použili shodnou s verzí nainstalovanou na serveru Merlin, kde jsme většinu simulací prováděli, neb se jednalo o referenční stroj.

Hřídel		○	▽	◇	⇒			
Č. op.	Činnost	Přidaná hodnota	Čekání	Kontrola	Transport	Čas (min)	Vzdálenost (m)	Stroj
1	Skladování		▽					
2	Transport				⇒	1,8	54	
3	Soustružení	○				7,0		NLX 1500/500
4	Transport				⇒	0,7	19,5	
5	Frézování	○				3,2		Koepfer 200 CNC
6	Transport				⇒	0,8	22,5	
7	Praní	○				0,2		DC 3
8	Transport				⇒	3,2	96	
9	Cementace		▽			120h		kooperace
10	Transport				⇒	2,5	75	
11	Broušení	○				3,8		BH - OCD 2040
12	Transport				⇒	0,8	25	
13	Praní	○				0,2		DC 3
14	Transport				⇒	0,9	27	
Celkem		5	2		7	25,0	319	

Obrázek 1: Doby transportů a opracování výrobku jednotlivými stroji zdroj: <https://goo.gl/8tC7qq>

Kapitola 3

Koncepce – modelářská témata

První model, který jsme vytvářeli pro simulaci výroby hřídele byl model v petriho síti. Zvolili jsme jej, protože poskytuje dobrý přehled o tom, co se ve výrobním procesu děje a lze jej relativně jednoduše převést na simulační model naprogramovaný v jazyce SIMLIB.

3.1 Způsob vyjádření konceptuálního modelu

Konceptuální model procesu [3, slide 121], na jehož základě jsme vytvořili petriho síť, je na obrázku číslo 2. Obrázek číslo 3 poté detailně popisuje petriho síť celý proces výroby hřídele, včetně čekání na stroje způsobené sdílením strojů pro výrobu několika typů součástek. Stav výrobního procesu jsou značeny kruhy a přechody mezi nimi jsou značeny čtverci.

Model se skládá z několika obslužných linek [3, slide 146], z toho jedna obsluhuje náš proces dvakrát. Tyto obslužné linky reprezentují jednotlivé stroje, které se podílejí na zpracování výrobku. Po zabrání linky procesem, proces s určitou pravděpodobností provede přechody, které simulují zpracování výrobku a uvolnění linky pro další hřídel a s určitou pravděpodobností provede přechody jimiž simuluje čekání ve frontě na stroj – před ním se totiž v realitě může nacházet nespecifikovaný počet jiných typů výrobků, kterými se naše simulace nezaobírá (hlavně kvůli náročnosti popisu celého systému). Výrobní proces těchto výrobků zanedbáváme a počítáme pouze s jejich časy jako s dobou, kterou musí hřídel čekat stroj než přijde na řadu. Pravděpodobnosti přechodů jsou stanoveny na základě poměrů objemů jednotlivých výrobků, které daný stroj zpracovává.

Proces, který prochází petriho sítí reprezentuje vyráběnou hřídel. Tyto procesy jsou na začátku petriho sítě generovány událostí.

3.2 Popis konceptuálního modelu

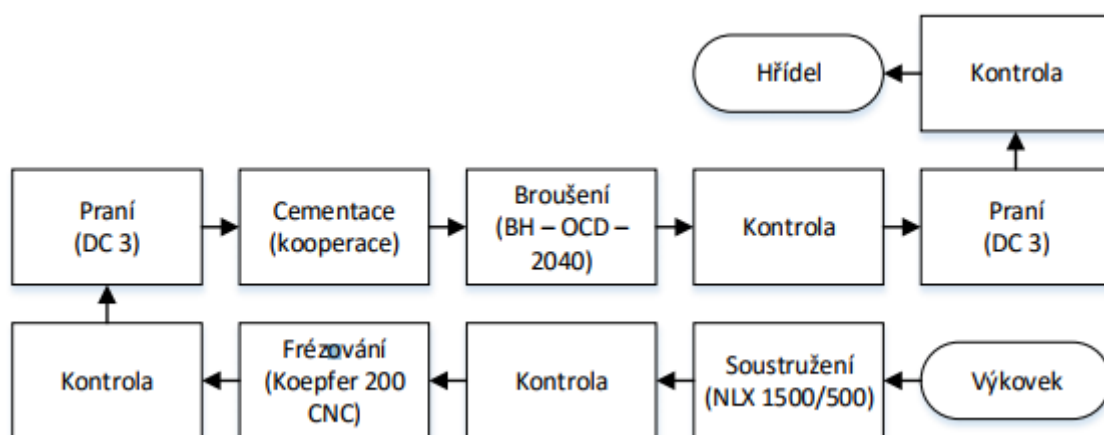
Jednou za týden naskladní firma určitý počet (tento počet zkoumáme) výkovek na zpracování. Každá hřídel poté putuje 1,8 minuty ze skladu na první stroj NLX 1500/500. Tam s pravděpodobností 50 % procent čeká jeden a více výrobků jiného typu před ní, v tomto případě před ním může být pouze 1 typ jiného výrobku, jehož zpracování trvá 3,3 minuty. V okamžiku kdy je hřídel na řadě proběhne soustružení, které trvá 7 minut a poté je výrobek transportován na další stroj. Transport trvá 0,7 minuty.

Koepfer 200 CNC provede frézování hřídele. S pravděpodobností 80 % procent čeká jeden a více výrobků jiného typu před ní. Celkem před ní mohou být výrobky 4 typů. Tyto výrobky mají stejnou pravděpodobnost výskytu (25 %), ale každý se zpracovává jinou dobu (1,8 min; 1,1 min; 2,3 min; 3,1 min). V okamžiku, kdy je hřídel na řadě proběhne frézování, které trvá 3,2 minuty a poté je výrobek transportován na další stroj. Transport trvá 0,8 minuty.

Stroj DC 3 provede praní hřídele. S pravděpodobností 97 % procent čeká jeden a více výrobků jiného typu před ní. Celkem před ní může být 11 různých typů součástek ze 3 převodovek. Tyto součástky mají různou pravděpodobnost výskytu a každá se zpracovává jinou dobu. S pravděpodobností 29 % se bude zpracovávat součástka z převodovky Still. Z této převodovky se zde zpracovává první součástka s pravděpodobností 62 % a dobou zpracování 0,1 minuty a druhá součástka s pravděpodobností 38 % a dobou zpracování 0,2 minuty. Dále se zde bude s pravděpodobností 32 % zpracovávat součástka z převodovky EZF. Z této převodovky se zde zpracovává první součástka s pravděpodobností 44 % a dobou zpracování 0,3 minuty, druhá součástka s pravděpodobností 23 % a dobou zpracování 0,4 minuty, třetí součástka s pravděpodobností 11 % a dobou zpracování 0,5 minuty, čtvrtá součástka s pravděpodobností 11 % a dobou zpracování 1,5 minuty a pátá součástka s pravděpodobností 11 % a dobou zpracování 1,6 minuty. Dále se zde bude s pravděpodobností 39 % zpracovávat součástka z převodovky EJC. Z této převodovky se zde zpracovává první součástka s pravděpodobností 9 % a dobou zpracování 0,2 minuty, druhá součástka s pravděpodobností 27 % a dobou zpracování 1 minuty, třetí součástka s pravděpodobností 27 % a dobou zpracování 0,8 minuty a čtvrtá součástka s pravděpodobností 37 % a dobou zpracování 0,4 minuty. V okamžiku, kdy je hřídel na řadě proběhne praní, které trvá 0,2 minuty a poté je výrobek transportován na cementaci. Transport trvá 3,2 minuty.

Na cementaci leží výrobky 120 hodin a poté se přesouvají na stroj BH OCD 2040, kde probíhá broušení. Transport ke stroji trvá 2,5 minuty. Tento stroj zpracovává pouze námi zkoumanou hřídel, broušení trvá 3,8 minuty. Transport na další stroj trvá 2,8 minuty.

Nyní se provede druhé kolo praní ve stroji DC 3. Hřídele, které jsou po cementaci mají větší prioritu než ty, které jsou před cementací. Nicméně pokud je hřídel před cementací rozpracovaná, dokončí se a až poté začíná zpracování hřídele po cementaci. Před hřídelí může být opět 11 různých typů součástí ze 3 převodovek, jejich pravděpodobnosti a doby zpracování jsou stejné jako při prvním praní. Z tohoto stroje se přesouvá hotová hřídel 0,9 minuty do skladu. Proces výroby hřídele tedy trvá 25 minut + 120 hodin cementace.

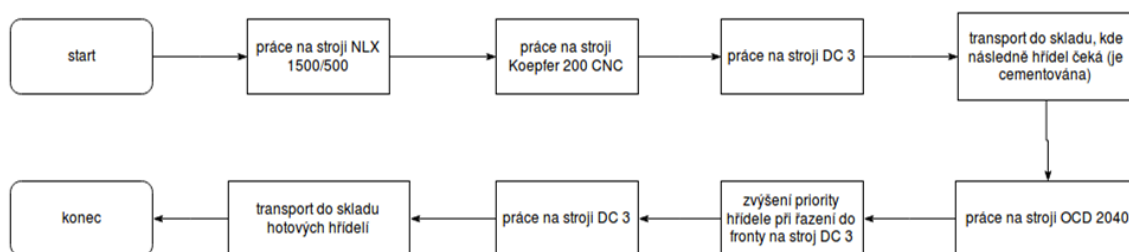


Obrázek 2: Schéma procesu výroby hřídele, zdroj: <https://goo.gl/8tC7gq>

Kapitola 4

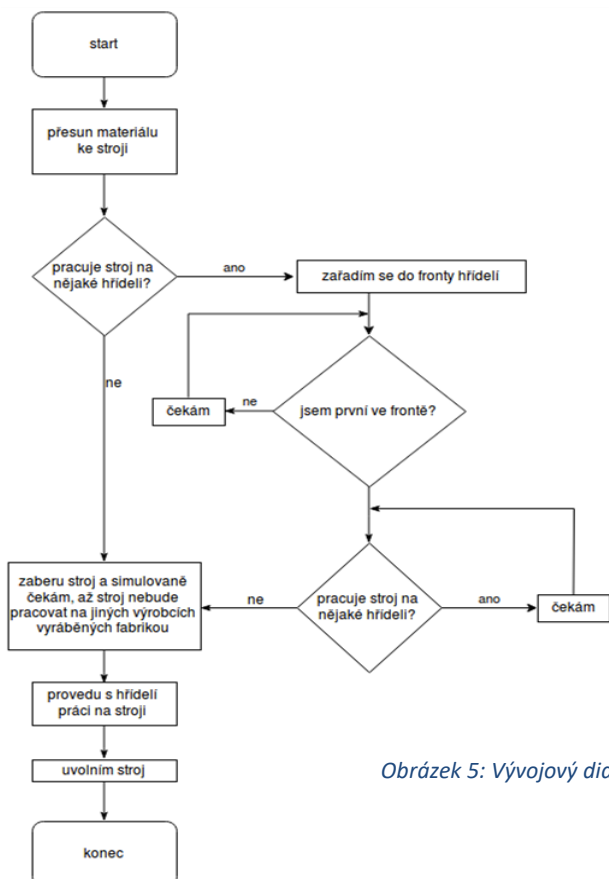
Koncepce – implementační témata

Program má dvě hlavní veličiny ovlivňující výsledky simulace a to jak dlouho má simulace trvat (aneb jak dlouho bude pracovat námi simulovaná výroba hřídelí) a kolik kusů materiálu přivezou jednou týdně do továrny. Pojem „kus materiálu“ budeme odteď nazývat hřídelí (protože z 1 kusu materiálu vyrobíme 1 hřídel). Hned, jak materiál přijede do továrny, pošleme ho do výroby. Každá hřídel musí individuálně projít výrobním procesem. Výrobní proces (který je detailně popsán v kapitole 3.2) je znázorněn na následujícím diagramu:



Obrázek 4: Vývojový diagram výrobního procesu v programu

Práce na každém stroji je reprezentována následujícím diagramem (s výjimkou stroje OCD 2040, který se v továrně používá pouze na tuto hřídel a tudíž tam chybí část simulovaného čekání).



Obrázek 5: Vývojový diagram implementované práce na jednom stroji

Simulované čekání je chvíle, kdy hřídel je první na řadě, ale chceme modelovat i to, že v továrně se dané stroje používají i na jiné materiály a výrobky. Práce na stroji je programována stejně jako čekání a to uplynutím daného simulačního času. Nakonec je ještě potřeba zmínit, že hřídeli, která používá stroj DC 3 podruhé (tj. Činnost následující po práci na stroji OCD 2040), zvyšujeme prioritu ve frontě na stroj DC 3, tudíž hřídele se ve stavu po zpracování na stroji OCD 2040 budou řadit do fronty na stroj DC 3 před všechny ve frontě čekající hřídele, které jsou teprve ve stavu po zpracování na stroji Koepler 200 CNC.

Kapitola 5

Architektura simulačního modelu/simulátoru

Abstraktní model petriho sítě jsme do simulačního modelu implementovali jazykem C++ za pomoci jeho standardních knihoven a knihovny SIMLIB.

5.1 Mapování abstraktního modelu na simulační

Jako první krok programu je nastavena délka simulace na jeden rok v počtu minut proměnnou `delka_simulace_minuty`, poté je inicializován generátor, který generuje jednou za 7 dní zatím neurčitý počet (počet je předmětem našeho výzkumu) výkovků, ze kterých se budou vyrábět hřídele. Samotná simulace je spuštěna metodou `Run`.

Na začátku simulace se spustí generátor, který vygeneruje výkovky (proces `Hridel`) na jeden týden. Ty si poté postupně zabírají jednotlivé linky, pokud je linka zabraná, stoupají si do fronty. Nejdříve si rozpracovaná hřídel zabere linku `NLX`, po zabrání se provede metoda `wait_for_NLX`, která simuluje čekání ve frontě s jinými typy výrobků. Po provedení `wait_for_NLX` se uskuteční zpracování hřídele pomocí metody `wait` a linka `NLX` se uvolní pro další procesy. Po lince `NLX` následují další linky `KOEPPER` a `DC3`, u kterých probíhá proces obsazení obdobně jako u linky `NLX` s tím, že `KOEPPER` má pro simulování fronty s jinými výrobky metodu `wait_for_KOEPPER` a `DC3` metodu `wait_for_DC3`. Po průchodu těmito třemi linkami nastává cementace, tedy stav, ve kterém čeká hřídel 7200 minut. Po jejím proběhnutí se procesům zvýší priorita a pokračují dále do linky `BHOCD`. Ta nemá metodu řešící čekání ve frontě s jinými typy výrobků, protože zpracovává pouze zkoumané hřídele. Poté výrobek míří opět do linky `DC3` zmíněné výše, po uvolnění míří hřídel do skladu. Přesuny mezi linkami, popřípadě mezi linkami a cementací, jsou simulovány metodou `wait`.

Na konci programu se vytisknou informační výpisy, ze kterých budeme získávat relevantní data pro naši zkoumanou problematiku výrobního procesu hřídele.

Kapitola 6

Podstata simulačních experimentů a jejich průběh

Simulace má za úkol zjistit, jaký je ideální počet výkovků dovážených každý týden, tak aby se na skladě nehromadili nedokončené a produkce hřidelů byla na maximu. Tato data mohou firmě pomoci k efektivnějšímu hospodaření s místem a využitím strojů.

6.1 Postup experimentování

Prvním naším cílem bylo zjistit, jaký je maximální počet výrobků, které je firma schopná vyrobit za týden. Toho jsme dosáhli tím, že jsme se zbavili generátoru procesů a nahradili ho smyčkou ve které jsme nainicializovali naráz velké množství procesů, o kterém jsme věděli, že ho továrna nebude schopna zpracovat za rok. Po provedení tohoto testu jsme dostali průměrnou hodnotu 320 vyrobených hřidelů za týden a s touto hodnotou jsme pracovali dále. Vzali jsme hodnoty od 310 do 330 jako počet dovážených výrobků za týden, délku simulace jsme nastavili na rok a pro každou hodnotu jsme provedli simulaci 50x. Z těchto simulací jsme dostali průměrný počet nedokončených výrobků a průměrný počet dokončených výrobků. Tato data nám stačila jako odpověď na otázku, kolik výrobků se maximálně dokončí za rok, ale nezjistili jsme z nich, jakým tempem se na skladě kumulují nedokončené výrobky při konkrétních počtech týdně dovážených výkovků. Proto jsme provedli stejnou simulaci, jen ne pro dobu jednoho roku, ale pro jeho půlku. Hodnoty dokončených výrobků korespondovali s tím, že se od hodnot pro roční simulaci měli lišit cca o polovinu. U hodnot nedokončených výrobků jsme zaznamenali kumulaci nedokončených výrobků od hodnoty 320, což potvrdilo naše prognózy, že 320 výkovků dovážených týdně je optimální hodnota pro maximální poměr dokončených a nedokončených výrobků.

6.2 Dokumentace jednotlivých experimentů

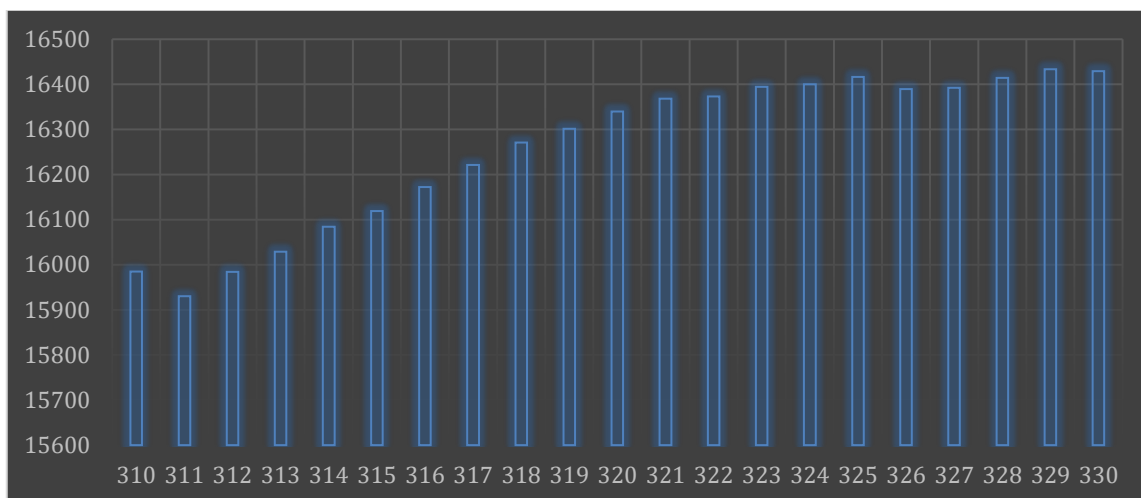
6.2.1 Experiment se smyčkou vytváření procesů místo generátoru

Po vytvoření modelu jsme potřebovali zjistit, jaké množství hřidelů dokáže firma zpracovat za rok. Experimentálně jsme dosazovali počty generovaných procesů po pěti tisících a zjistili jsme, že továrna je schopná vyrobit maximálně kolem 16 650 výrobků. Pokud tohle číslo vydělíme počtem týdnů, dostaneme, že průměrný počet výrobků za týden je 320.

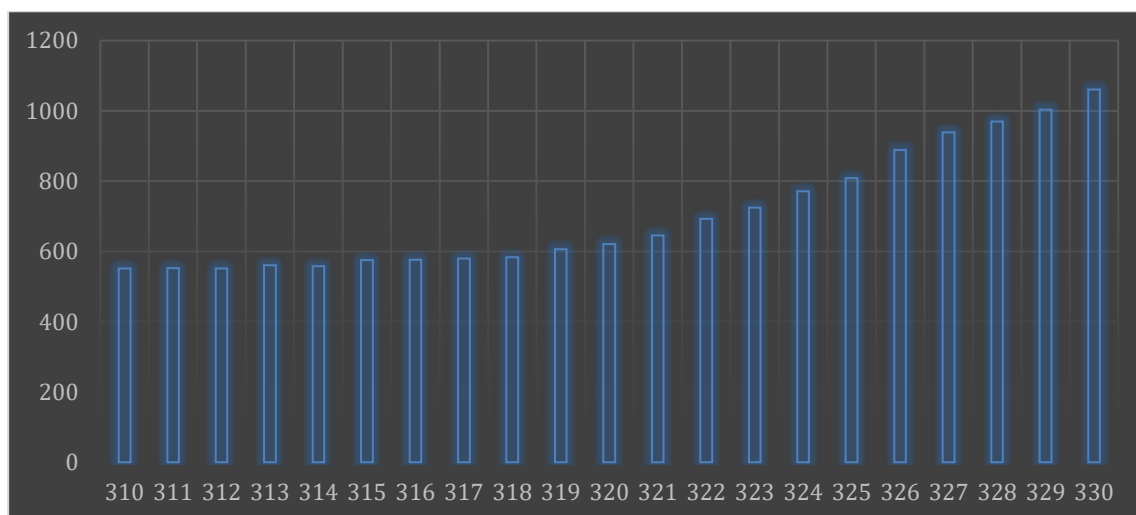
6.2.2 Experiment s generátorem 1

Smyčku, která aktivuje všechny procesy najednou jsme nahradili generátorem, který týdně přivádí námi stanovený počet výkovků. Chtěli jsme zjistit, jak se liší počty dokončených výrobků pro hodnoty kolem 320 dovážených týdně. Provedli jsme tedy pro každou hodnotu od 310 do 330 dovážených výrobků 50 simulací a zprůměrovali výsledky. Od počtu 320 výkovků týdně se již objemy zhotovených výrobků za rok mění minimálně, což potvrzuje hodnotu 320 jako našeho nejlepšího kandidáta. Nyní se zaměříme na počet nedokončených výrobků, abychom změřili, jestli se výrobky kumulují. K tomu

budeme potřebovat ještě simulace o jiné délce, abychom mohli získat nárůst rozdílu počtu nezpracovaných výrobků.



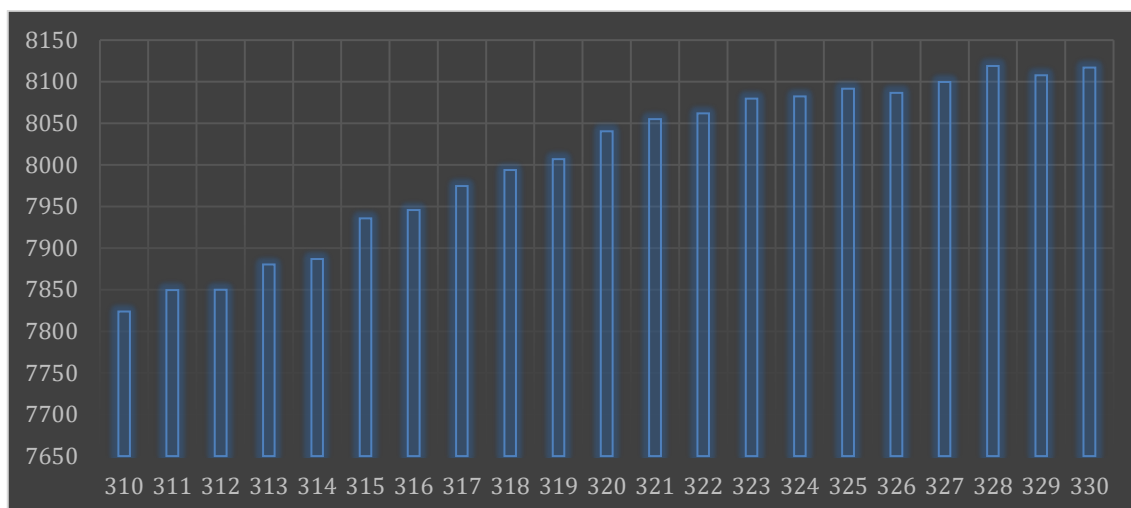
Obrázek 6: Počet dokončených výrobků (osa y) za rok při počtu výkonných dovážených týdně (osa x)



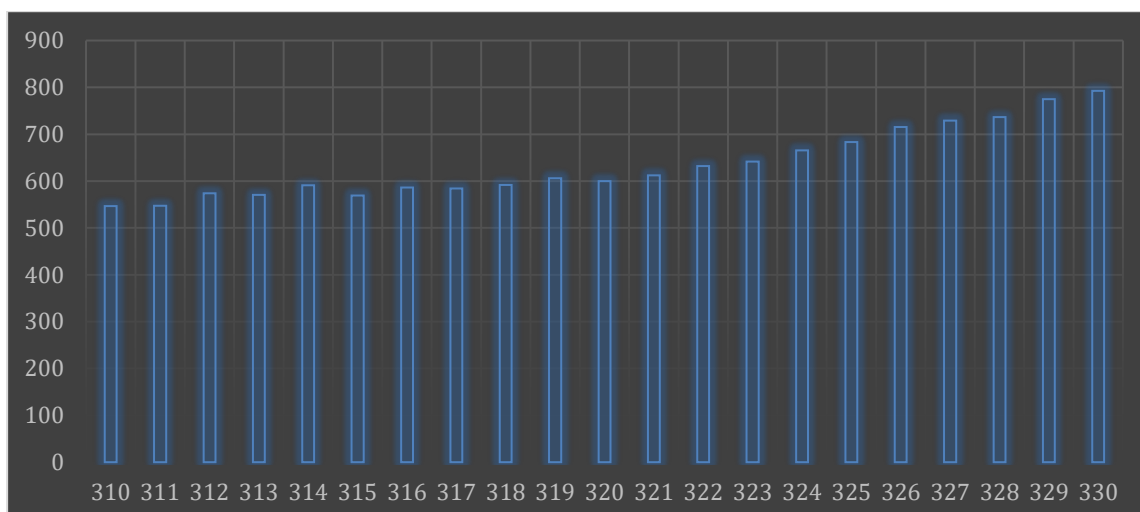
Obrázek 7: Počet nedokončených výrobků (osa y) za rok při počtu výkonných dovážených týdně (osa x)

6.2.3 Experiment s generátorem 2

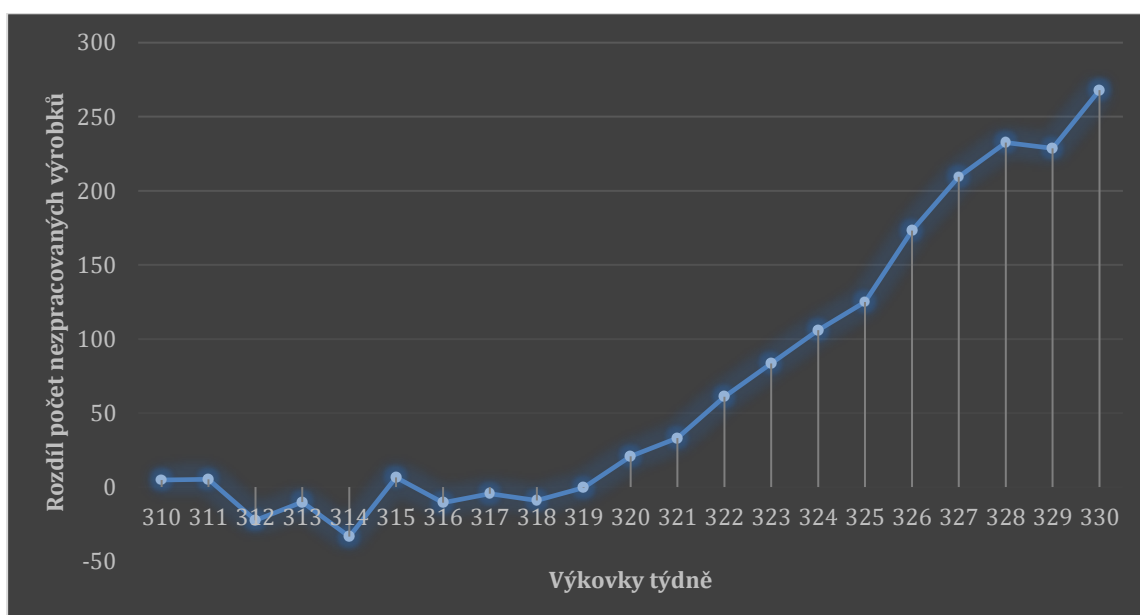
Provedli jsme stejné množství shodných simulací jako v předchozím experimentu pouze s rozdílem délky simulace, kterou jsme nastavili na půl roku. Objemy dokončených výrobků odpovídají cca polovině ročního objemu dokončených výrobků, avšak v nedokončených výrobcích si můžeme všimnout poklesu poměru hodnot od výše jak 320 výkonných dovážených týdně, což potvrzuje teorii, že od této hodnoty se počet výrobků na skladě bude s časem neustále zvedat.



Obrázek 8: Počet dokončených výrobků (osa y) za půl roku při počtu výkovků dovážených týdně (osa x)



Obrázek 9: Počet nedokončených výrobků (osa y) za půl roku při počtu výkovků dovážených týdně (osa x)



Obrázek 10: Rozdíl objemu nezpracovaných výrobků za půl roku a za rok

6.3 Závěry experimentů

Celkem byly uskutečněny 3 různé experimenty, během nichž bylo provedeno přes 3 000 simulací na získání co nejpřesnějších hodnot. Z prvního experimentu jsme získali hodnotu pro teoretický optimální počet výrobků dovážených týdně, kterou jsme dále zkoumali v experimentech 2 a 3. Ve druhém experimentu jsme potvrdili správnost hodnoty z pohledu maximalizace produkce za rok a ve třetím experimentu jsme potvrdili, že od této hodnoty nahoru se na skladě hromadí nedokončené výrobky, což je nežádoucí. Při námi provedeném množství simulací lze předpokládat, že naše výsledky jsou dostatečně přesné a není důvod dělat žádné další simulace.

Kapitola 7

Shrnutí simulačních experimentů a závěr

Vytvořením simulačního programu SimHrid jsme přispěli k optimalizaci výrobního procesu hřídele převodovky Still vyráběné firmou PSP Pohony a.s.. Pro naše experimenty jsme počítaly s třísměnným provozem firmy a nebrali jsme v potaz možnost poruch strojů. Validitu hodnot jsme zpětně ověřili z hodnot v diplomové práci. Došli jsme k závěrům, že z hlediska maximalizace roční výroby a minimalizace objemu nezpracovaných výrobků ležících na skladě, je nejlepší naskladňovat každý týden 320 výkovků ze kterých se následně vyrábí hřídele. Náš program se dá lehce rozšířit, aby mohl zkoumat další problematiky podobné této, například kolik by bylo vhodné dovážet materiálu měsíčně.

Literatura

[1] Iniciativa průmyslu 4.0. Ministerstvo průmyslu a obchodu [online]. Praha: Ministerstvo průmyslu a obchodu, 2016 [cit. 2017-12-05]. Dostupné z:

<https://www.mpo.cz/assets/dokumenty/53723/64358/658713/priloha001.pdf>

[2] *Návrh výrobního procesu se zaměřením na změny layoutu*. Brno, 2016. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Prof. Ing. Marie Jurová, CSc.

[3] PERINGER, Petr a Martin HRUBÝ. *Modelování a simulace* [online]. [cit. 2017-12-06]. Dostupné z:

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