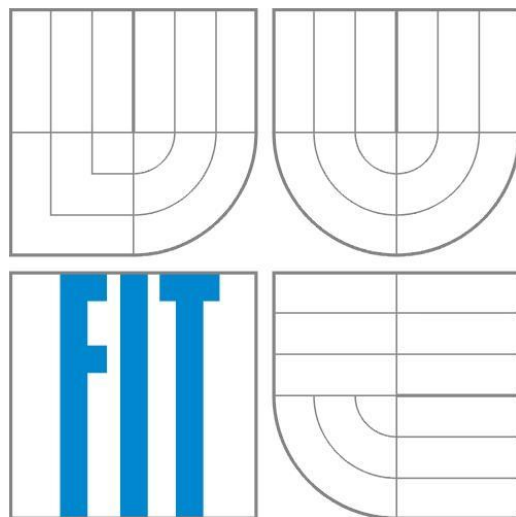


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ



MODELOVÁNÍ A SIMULACE

SHO VÝROBNÍ LINKA

Tomáš Kubovčík, Martin Veselovský | 2013/2014 | December 5, 2013

1 Úvod

Náplňou tejto práce je implementácia systému hromadnej obluhy (IMS [1], slajd 136) výrobnéj linky vo fabrike na výrobu polystyrénu. Na základe vytvoreného modelu bude prezentované chovanie výrobnéj linky. Simulácia modelu demonštruje efektivitu výrobného procesu a poukazuje na slabé miesta. Cieľom experimentov je overiť efektivitu výroby pri rôznom počte a kapacitách jednotlivých zariadení na výrobnéj linke. Simulácia tiež poskytuje informácie o celkovom čase vyhotovenia konkrétnej objednávky ako aj o časoch, ktoré objednávka trávi v jednotlivých častiach výrobnéj linky.

1.1 Zúčastnené osoby

Martin Veselovský	-	xvesel60@stud.fit.vutbr.cz
Tomáš Kubovčík	-	xkubov02@stud.fit.vutbr.cz

Spolupracovníkom na tomto projekte bola spoločnosť BAUTHERM SK s.r.o, ktorej vďačíme za podrobné uvedenie do problematiky procesu výroby, názorné ukážky a poskytnuté dáta týkajúce sa spracovania objednávok a pracovnú činnosť jednotlivých zariadení.

Proces výroby sme konzultovali priamo v továrni s vedúcim výroby Darkom Kuciom a konateľom spoločnosti Ing. Jozefom Kubovčíkom.

1.2 Validita projektu

Validita bola overená experimentmi na vytvorenom modeli, ktorých výsledky boli porovnané s reálnymi dátami výrobného procesu v spoločnosti BAUTHERM SK s.r.o. V rámci abstrakcie simulačného modelu od reálneho sme zanedbali niektoré nepodstatné detaily procesu výroby, ktoré na chod systému nemajú výrazný vplyv. S prihliadnutím k tejto skutočnosti výsledky simulácie odpovedali reálnym hodnotám.

1.3 Zadanie projektu

„Navrhňte a vytvorte model SHO výrobní linky, popřípadě sady výrobních linek zvoleného nebo hypotetického výrobního závodu. Výrobní proces jednoho výrobku se musí skládat z alespoň tří výrobních úkonů (operace), každý na jiném zařízení. Do systému budou přicházet objednávky na určený počet kusů výrobku. Objednávkám lze přiřazovat priority. Výrobní proces si lze představit jako zřetězení přepravních várek (várka např. 4 ks) - takže objednaný počet kusů se rozdělí do přepravních várek a ty postupují výrobním procesem. Na přepravní várky se vztahují priority objednávky, ze které pochází. Výroba jedné přepravní várky v operaci je nepřerušitelná. Experimenty zjistěte chování systému, především doby strávené v systému u objednávek - celkovou, od započetí první výrobní operace na objednávce, doby prostojů ve frontách a podobně.“

2 Rozbor témy a použitých metód / technológií

Všetky nižšie spomínané údaje boli zistené na základe špecifikácie konkrétnych typov zariadení priamo vo firme BAUTHERM SK s.r.o., pričom sa jedná sa o výrobu polystyrénu typu EPS70[2]. Doby stabilizácie v jednotlivých častiach výrobného procesu boli experimentálne zistené pracovníkmi spoločnosti na základe najlepšej kvality výrobku.

2.1 Predpeňovacie zariadenie

Výrobný proces polystyrénu začína v predpeňovacom zariadení[3]. Jedná sa o stroj ktorého vstupom sú polystyrénové guľičky, manuálne dávkované pracovníkom továrne, ktoré sú privádzané v 50 kilogramových várkach prostredníctvom vzduchových čerpadiel. Zásyp jednej várky do zariadenia trvá 17 sekúnd. Nasleduje kľúčový proces „napeňovačky“ a tým je napeňovanie (zahrievanie guľičiek) trvajúce 50 sekúnd. V tomto procese dochádza k rozpadu obalu pôvodných guľičiek a uvoľňovaniu pentánu, ktoré v sebe obsahujú a teda zväčšovaniu ich objemu. Poslednou fázou činnosti tohto stroja je stabilizácia (4 sekundy) a vysypanie napenených guľičiek do síl, kde sú uschovávané (30 sekúnd). Po vysypaní sa proces periodicky opakuje. Je nesmierne dôležité dbať na bezpečnosť práce v okolí tohto zariadenia, pretože sa pri jeho činnosti uvoľňuje spomínaný pentán, ktorý je ťažký (hromadí sa na podlahe v prípadných nerovnostiach) a vďaka jeho extrémnej horľavosti môže veľmi ľahko vzplanúť.

2.2 Silá

Napenené guľičky však nie sú okamžite použiteľné a je potrebné aby sa aj naďalej stabilizovali. Za týmto účelom sú uskladnené v silách [4] s kapacitou 170 m^3 . Z technických dôvodov však nie je možné využiť celkovú kapacitu sila a preto sa využíva len $169,6 \text{ m}^3$. Spoločnosť BAUTHERM SK, s.r.o využíva 14 takýchto síl s tým, že sú naplňané v prípade, že je nejaké silo voľné. V opačnom prípade je činnosť predpeňovacieho zariadenia pozastavená. Stabilizačný cyklus v silách trvá 36 hodín. Nie je vhodné tento čas predlžovať pretože je vysoko pravdepodobné, že potom môže dochádzať k deformácii napenených guľičiek a teda k ich nepoužiteľnosti.

2.3 Zariadenie bloková forma

Po stabilizácii polystyrénu v sile, je toto silo pripravené na presun polystyrénových guľičiek pomocou vzduchových čerpadiel do zariadenia bloková forma (ďalej len forma)[5]. Pred začatím procesu naplňania formy je potrebné ju uzavrieť po tom, čo bola otvorená kvôli vysúvaniu predchádzajúceho bloku. Zatváranie daného typu zariadenia trvá 20 sekúnd. Po tom čo je zavretá, je pripravená k ďalšiemu naplneniu. Naplnenie daného typu formy s kapacitou 5.3 m^3 trvá 80 sekúnd. Činnosť zariadenia zahŕňa čistenie naparovacích pištolí trvajúce 5 sekúnd a následne naparovanie polystyrénu horúcou parou po dobu 15 sekúnd. V tomto štádiu je polystyrén vlhký a musí preto zostať vo forme po dobu 4 minút kvôli stabilizácii. Po uplynutí tejto doby je polystyrénový blok pripravený k vysunutiu. Otvorenie formy spolu s vysunutím bloku trvá súhrnne 20 sekúnd.

2.4 Sklad blokov

Čerstvo vyrobený blok je potrebné umiestniť na sklad [6]. Táto činnosť sa vykonáva manuálne použitím vysokozdvížneho vozíka. Čas úkonu je v tomto prípade variabilný, no nemal by byť dlhší než doba za ktorú je vyrobený ďalší blok (380 sekúnd). Blok musí pred ďalším použitím stáť na sklade aspoň 5 dní, aby sa polystyrén v bloku stabilizoval. Reálne sa však doba uskladnenia pohybuje v rozmedzí 2 až 5 dní v závislosti od počtu objednávok. Kapacita skladu blokov je v našom prípade rovná 3200 m^3 , kde jeden blok má objem 5.3 m^3 .

2.5 Rezacie zariadenie

Po stabilizovaní polystyrénového bloku, je tento blok pripravený na rezanie. Pristavením bloku na automatickú linku [7] začína rezanie rozpálenými drôťmi. V prvom kroku sa uskutočňuje rezanie pozdĺžne, v druhom kroku priečne. Proces rezania trvá súhrnne 3 minúty. Narezaný blok je následne zabalený a pripravený k uloženiu do skladu hotových výrobkov, ktorý má kapacitu 2300 m^3 .

2.7 Objednávka

Objednávky môžu byť podané formou e-mailu, telefonicky prípadne osobným stretnutím. Ich spracovaním sa zaoberá špecializovaný pracovník, ktorému spracovanie trvá zhruba cca. 5 minút. Zákazníci môžu objednávky podávať v čase 8.00 - 18.00.

2.8 Použité metódy a technológie

Pre implementáciu modelu sme využili jazyk C++ a to najmä z dôvodu možnosti objektového návrhu a prehľadnosti kódu (menšia náchylnosť k chybám). Ďalej sme využili knižnicu SIMLIB, ktorá nám umožňuje simulovať zariadenia, fronty tvoriace sa pred nimi a najmä mnohé užitočné simulačné nástroje (kalendár udalostí, ...). Výhodou je taktiež rýchlosť simulácie, ktorú jazyk C++ a SIMLIB ponúka.

Výrobná linka je simulovaná pomocou diskkrétnej simulácie ako systém hromadnej obsluhy, ktorý je popísaný v predmete IMS. Takýto systém obsahuje zariadenia s frontami a transakcie. Ťažiskom SHO systému je používanie jednotlivých zariadení transakciami a sledovanie času, ktorý transakcia trávi v systéme ako aj času, kedy čaká vo frontách.

2.9 Pôvod použitých technológií

- jazyk C++ - <http://en.wikipedia.org/wiki/C++> (Bjarne Stroustrup)
- knižnica SIMLIB - <http://www.fit.vutbr.cz/~peringer/SIMLIB/>
(Dr. Ing. Petr Peringer, GNU LPGL)
- Gnuplot - <http://www.gnuplot.info/> (Opensource)
- Windows 8.1 Pro x64 - <http://windows.microsoft.com/sk-SK/windows/home>
(študentská licencia pre VUT FIT, projekt Dreamspark)
- Ubuntu 13.10 64bit - <http://www.ubuntu.com/desktop> (GPL)
- Debian 7.2 (wheezy) 64 - <http://www.debian.org/releases/stable/> (GPL, LGPL)

2.10 Pôvod použitých metód

- systémy hromadnej obsluhy (SHO) - klasifikácia SHO (IMS, slajd 143) (D. G. Kendall)

3 Koncepcia - modelárske téma

V tejto kapitole bude naznačený konceptuálny model (predmet IMS[1], slajd 48) predstavujúci systém výrobnéj linky továrne na výrobu polystyrénu. Cieľom kapitoly je naznačiť fungovanie modelovaného systému s určitou mierou abstrakcie voči reálnemu systému.

3.1 Spôsob popisu konceptuálneho modelu

Slovný popis konceptuálneho modelu je vhodné vyjadriť v kombinácii s grafickým znázornením ako sú napr. Petriho siete (predmet IMS[1], slajd 123) alebo vývojové diagramy. Z hľadiska názornosti a jednoduchosti sme sa rozhodli využiť vývojové diagramy, ktoré majú veľkú vyjadrovaciu schopnosť a sú pre pochopenie algoritmu fungovania systému jednoduchšie.

3.2 Popis konceptuálneho modelu

V systéme sa vyskytujú objednávky, ktoré možno chápať ako transakcie (predmet IMS[1], slajd 136). Objednávky prichádzajú náhodne, ale podľa štatistiky sa počty nových objednávok pohybujú v rozmedzí 150 - 200 za mesiac. Pokiaľ sú objednávky podané mimo pracovnej doby (8.00 – 18.00) zamestnanca, ktorý ma na starosti ich spracovanie, sú spracovávané až nasledujúci deň. Na základe objednávaného počtu metrov kubických systém vytvorí príslušný počet várok na výrobu, ktoré treba spracovať. Pred začatím výroby je nutné overiť dostupnosť suroviny pre výrobu, nakoľko táto skutočnosť priamo neovplyvňuje proces výroby výsledného produktu je v abstraktnom modeli zanedbaná. Dostupnosť suroviny nie je predmetom skúmania v tejto práci (predpokladá sa, že je dostupná vždy).

3.2.1 Predpeňovacie zariadenie

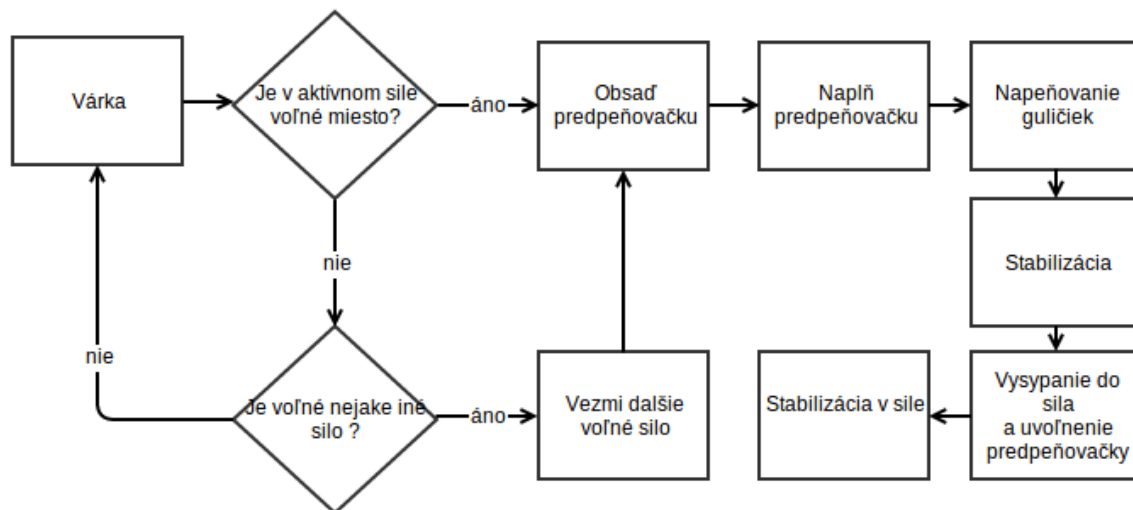
Ako bolo spomínané v kapitole 2.1, začiatok výroby začína v predpeňovacom zariadení. Požadovaný počet várok je po jednej várke dávkovaný do zásobníka a následne prečerpaný do predpeňovacieho zariadenia, kde sa s ním pracuje po dobu 101 sekúnd. Dávkovanie je manuálne, a síce zaberá istý čas, nikdy nepresahuje čas spracovania várky v zariadení (prebieha paralelne s činnosťou stroja a teda nie je v modeli zohľadnený). Pre úspešné začatie výrobného procesu je nutné najskôr overiť voľné miesto v niektorom z desiatich síl. Pri intenzívnej výrobe nastáva situácia, kedy sú všetky síla plné a výroba predpeňovacieho zariadenia musí byť v tomto okamihu pozastavená. Proces výroby je znázornený diagramom na obrázku č. 1.

3.2.2 Forma

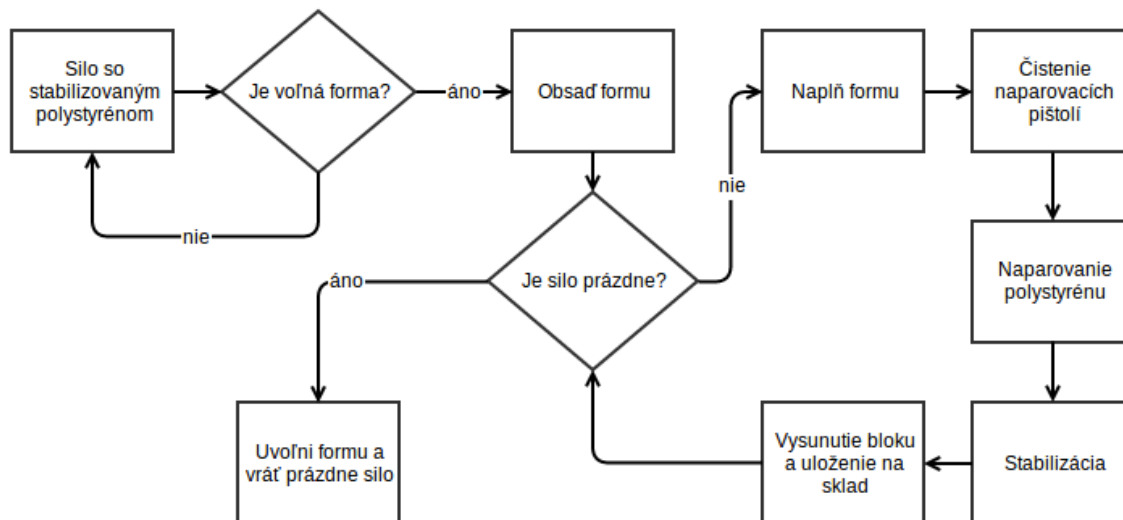
Obsah sila je stabilizovaný po 36 hodinách a následne je po menších častiach prečerpávaný do formy, z ktorých je za 380 sekúnd vyrobený vždy jeden nový blok. Činnosť formy je popísaná diagramom na obrázku č. 2. Čas manuálneho presunu vyrobeného bloku na sklad je zanedbateľný vzhľadom na relatívne malú kapacitu skladu a pomalý chod formy.

3.2.3 Rezacie zariadenie a balenie

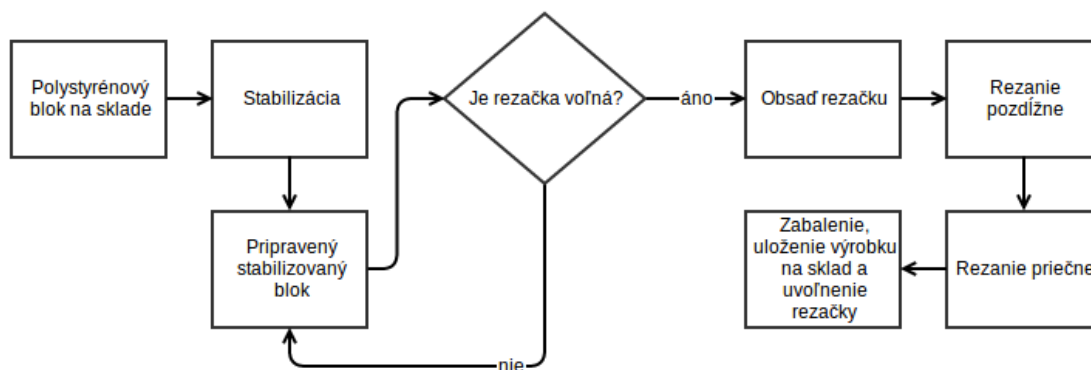
Pristavením stabilizovaného bloku (minimálne 5 dní v sklade) na obslužnú linku pre rezanie začína proces rezania a balenia, ktorý trvá súhrnne 3 minúty. Pri rezaní vzniká odpad, ktorý je možné recyklovať, no pre zisťovanie efektivity a rýchlosti, ktoré sú predmetom tejto práce je to irelevantné. Stabilizácia na sklade, rezanie, balenie ako aj prípravenie hotového výrobku na príslušný sklad je zobrazená diagramom na obrázku č. 3.



Obrázok č.1 – spracovanie várky v predpeňovacom zariadení, uskladnenie v sile



Obrázok č.2 – vytváranie polystyrénových blokov vo forme, uskladnenie blokov na sklade



Obrázok č.3 – stabilizácia blokov, rezanie a balenie, uskladnenie hotového produktu na sklad

4 Architektúra simulačného modelu/simulátoru

Model je implementovaný v jazyku C++ s využitím knižnice SIMLIB.

4.1 Mapovanie konceptuálneho modelu do simulačného

Triedy v zdrojovom kóde odpovedajú objektom reálneho systému popísaných konceptuálnym modelom nasledovne:

- Objednavka - reprezentuje objednávku a rozdelenie objednaných m^3 do várok
- Varka - obsadzovanie predpeňovacieho zariadenia a napĺňanie síl
- Silo - sklad síl a ukazateľ na aktívne silo
- PlneSilo - stabilizácia sila po naplnení a obsadzovanie formy
- Blok - vytváranie blokov a ich spracovanie rezacím zariadením

Ďalšie použité triedy:

- Output - spracovanie výstupu programu prostredníctvom program `gnuplot` pre generovanie grafov

Okrem toho sa v programe vyskytujú tieto globálne objekty zariadení:

- `spracovanie_objednavky` - objednávky a ich spracovávanie systémom
- `dokoncenie_objednavky` - objednávka, ktorá je aktuálne obsluhovaná
- `predpenovacka` - predpeňovacie zariadenie
- `silo` - sklad 14 síl
- `forma` - zariadenie reprezentujúce formu
- `rezacka` - zariadenie reprezentujúce rezací a baliaci proces

4.2 Štruktúra projektu

4.2.1 Zdrojové kódy

Zdrojové súbory sú obsiahnuté v zložke src v koreňovom adresári. Jedná sa o súbory s príponou .cpp, súbory s príponou .h predstavujú hlavičkové a konfiguračné súbory.

4.2.2 Makefile

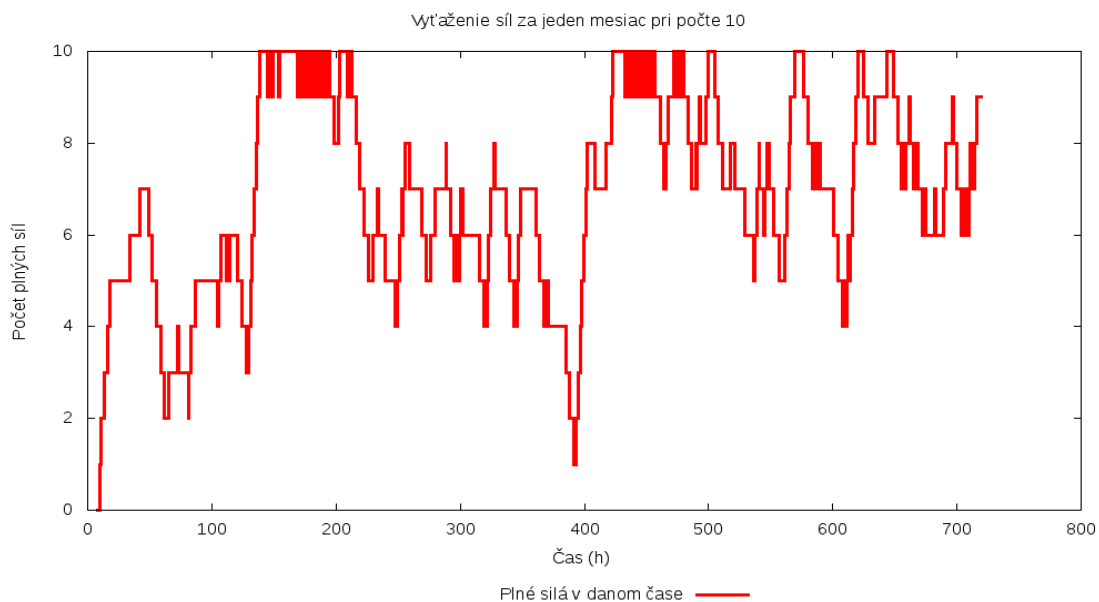
V koreňovom adresári je umiestnený súbor Makefile, ktorý slúži na preloženie celého projektu. Má nasledujúcu funkcionality:

Príkaz	Popis príkazu
make	Preloží projekt
make run	Preloží projekt a vygeneruje grafy
make plot	Vygeneruje grafy
make clean	Zmaže všetky vygenerované súbory

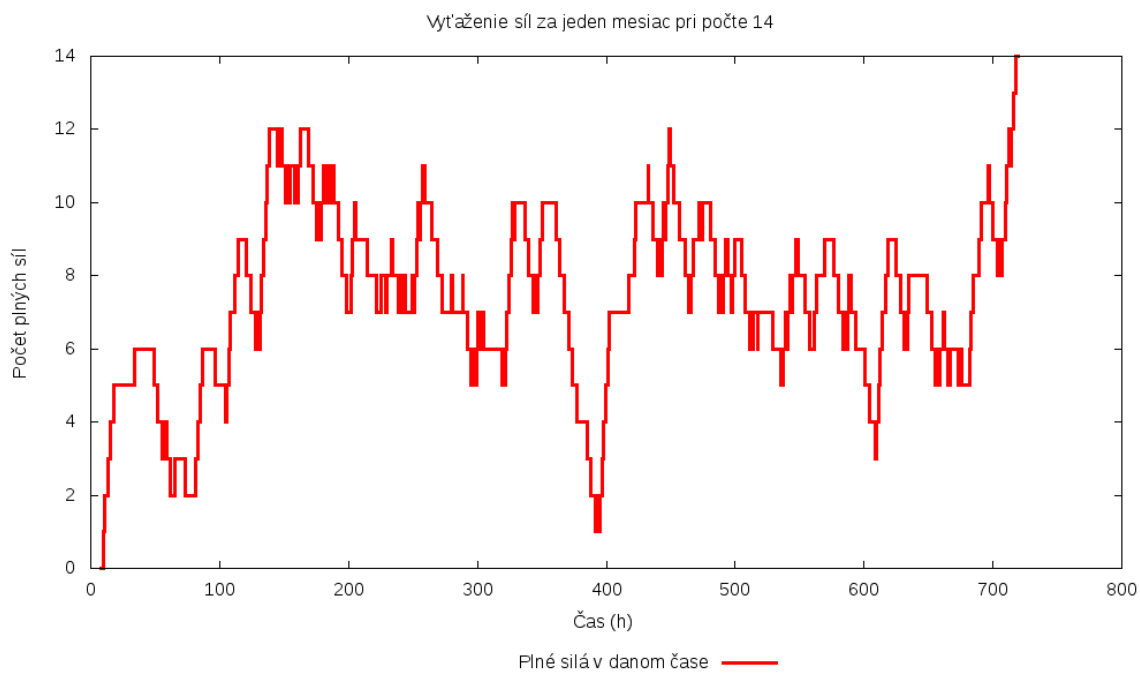
Tabuľka č. 1 – preloženie projektu nástrojom make

5 Podstata simulačných experimentov a ich priebeh

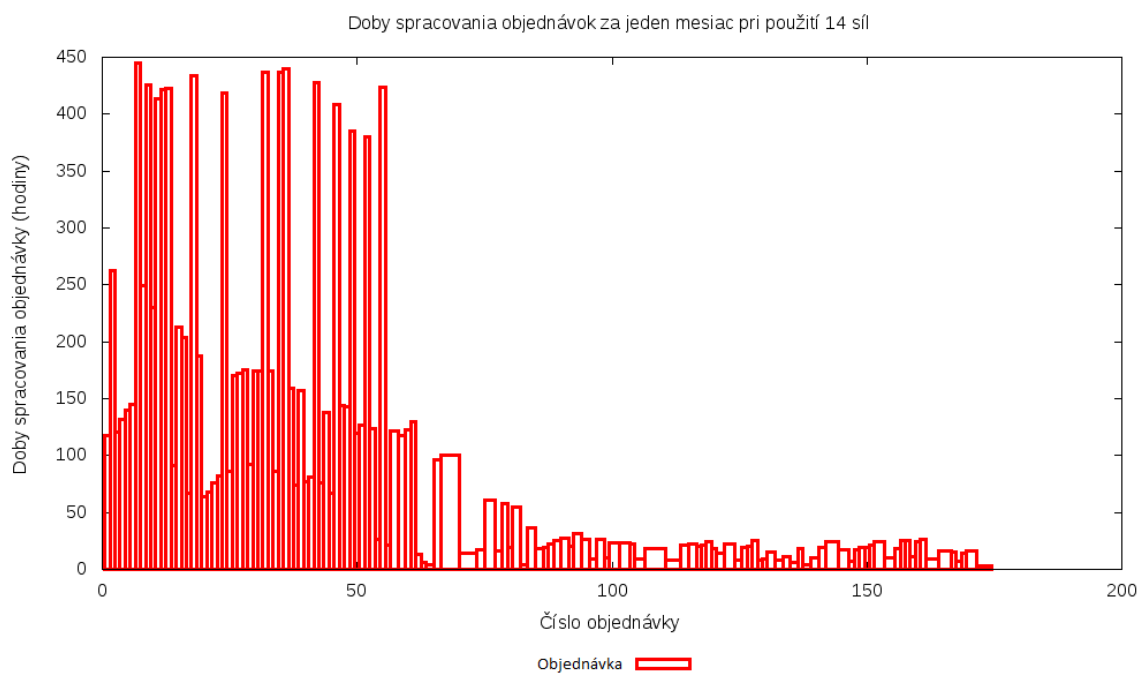
Cieľom našich experimentov v tejto práci je potvrdiť prípadne odvrátiť hypotézu, že počet síl nie je optimálny a mal by byť nižší. Taktiež chceme overiť, že najdôležitejším zariadením výrobnéj linky je forma a menením jej parametrov je výrobný proces najviac zasiahnutý.



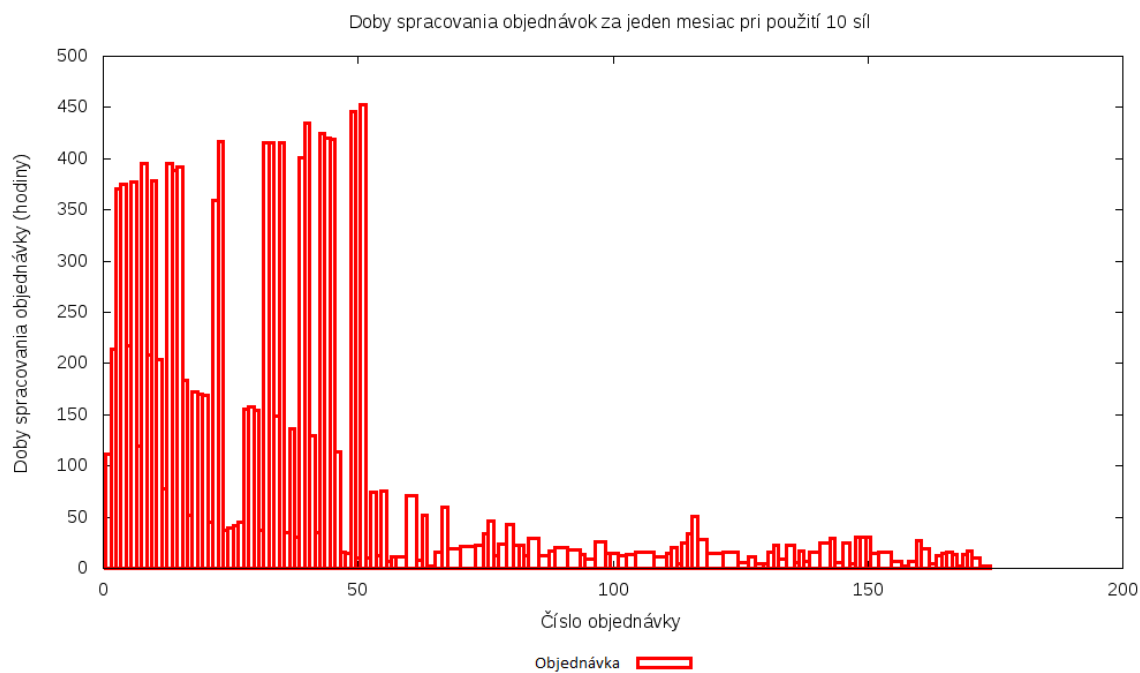
Obrázok č. 4 – graf reprezentujúci zaplnenie 10 síl pri mesačnej prevádzke



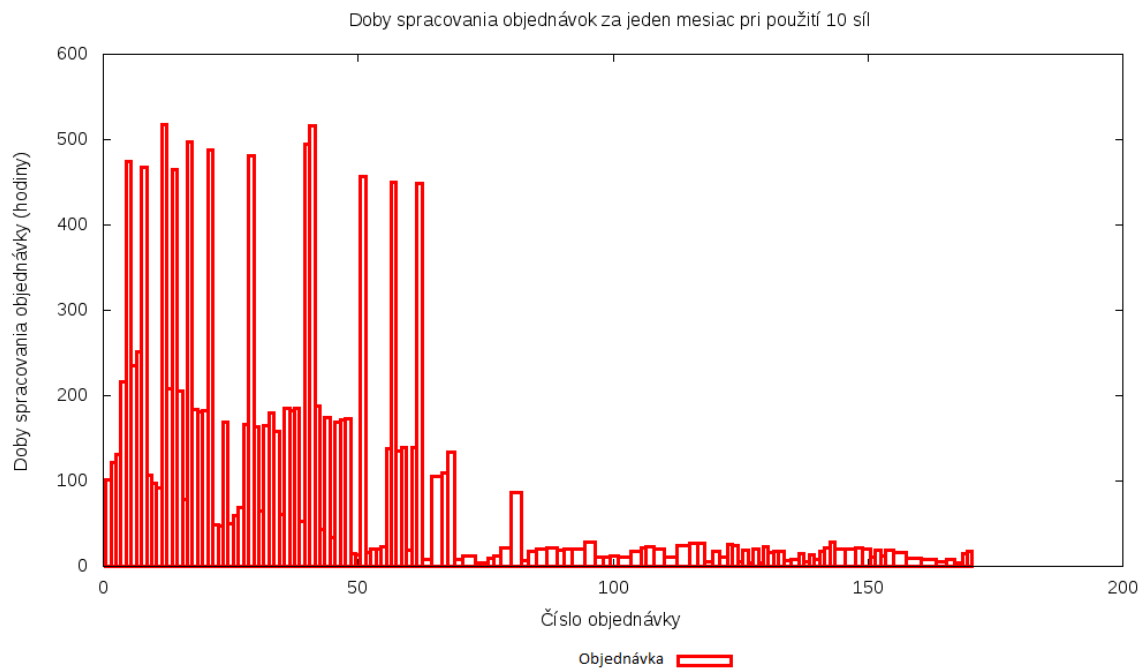
Obrázok č. 5 – graf reprezentujúci zaplnenie 14 síl pri mesačnej prevádzke



Obrázok č. 6 – graf reprezentujúci doby objednávok strávené v systéme, od počiatku spracovania po vytvorenie požadovaného počtu výrobku (počet síl 14, priemerne 91,93 hodín)



Obrázok č. 7 – graf reprezentujúci doby objednávok strávené v systéme, od počiatku spracovania po vytvorenie požadovaného počtu výrobku (počet síl 10, priemerne 87,18 hodín)



Obrázok č. 8 – graf reprezentujúci doby objednávok strávené v systéme, od počiatku spracovania po vytvorenie požadovaného počtu výrobku pri optimalizovanej forme (počet síl 10, doba práce formy 260 sekúnd, priemerné doby čakania 72 hodín)

5.1 Zhodnotenie výsledkov experimentov

Experimentmi sa ukázalo, že počet síl naozaj nie je optimálny, pretože sa v skutočnosti nevyužíva nevyužívajú všetky silá, ale aktívne len 10. Počet síl by sa teda mohol znížiť na túto hodnotu a výrobný proces by to značne zrýchlilo, nehovoriac o nákladoch na silá. Experimenty s vlastnosťami formy ukázali, že pri zavedení zariadenia, ktoré je schopné vykonať pracovný cyklus o 2 minúty rýchlejšie (reálna optimalizácia), došlo by k značnému zrýchleniu výroby.

6 Zhrnutie simulačných experimentov a záver

Na zostavenie modelu bolo nutné správne pochopiť výrobný process vo fabrike na výrobu polystyrénu a prácu jednotlivých zariadení.

Na základe simulácií sme sledovali výrobný proces, slabé miesta system a na základe jednotlivých experimentov sme potvrdili stanovené hypotézy.

7 Prehľad odkazov, obrázkov

- [1] Stránky predmetu IMS - <https://www.fit.vutbr.cz/study/courses/IMS/>
- [2] Špecifikácia EPS70 - http://www.isoclad.co.uk/pdf/EPS_Datasheet.pdf
- [3] Obrázková príloha - Obrázok č.1 – predpeňovacie zariadenie
- [4] Obrázok č.2 – silo pre uskladnenie napenených guľičiek
- [5] Obrázok č.3 – otvorená forma pre vytváranie polystyrénových blokov
- [6] Obrázok č.4 – sklad blokov ($5,3 \text{ m}^3$) z formy s kapacitou 3200 m^3
- [7] Obrázok č.5 – panoramatický snímok rezacej linky

Obrázok č.1 – spracovanie várky v predpeňovacom zariadení, uskladnenie v sile
Obrázok č.2 – vytváranie polystyrénových blokov vo forme, uskladnenie blokov na sklade
Obrázok č.3 – stabilizácia blokov, rezanie a balenie, uskladnenie hotového produktu na sklad
Obrázok č. 4 – graf reprezentujúci zaplnenie 10 síl pri mesačnej prevádzke
Obrázok č. 5 – graf reprezentujúci zaplnenie 14 síl pri mesačnej prevádzke
Obrázok č. 6 – graf reprezentujúci doby objednávok strávené v systéme, od počiatku spracovania po vytvorenie požadovaného počtu výrobku (počet síl 14)
Obrázok č. 7 – graf reprezentujúci doby objednávok strávené v systéme, od počiatku spracovania po vytvorenie požadovaného počtu výrobku (počet síl 10, priemerne 87,18 hodín)
Obrázok č. 8 – graf reprezentujúci doby objednávok strávené v systéme, od počiatku spracovania po vytvorenie požadovaného počtu výrobku pri optimalizovanej forme (počet síl 10, dobrá práce formy 260 sekúnd, priemerné doby čakania 72 hodín)

7 Obrázková príloha



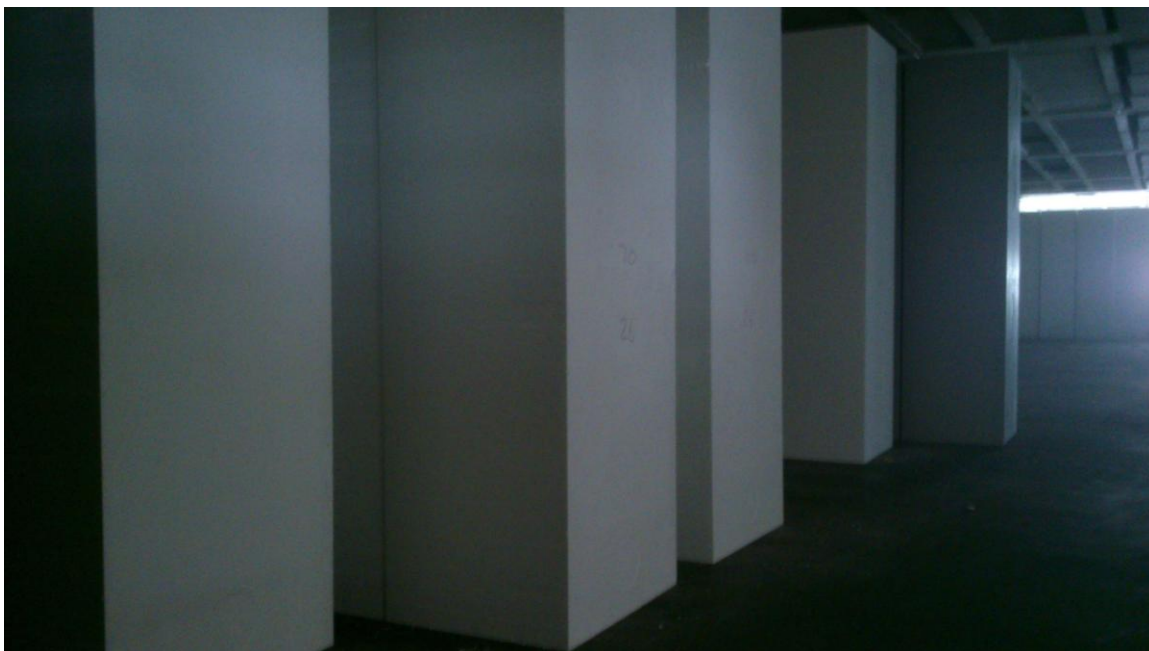
[Obrázok č.1 – predpeňovacie zariadenie]



[Obrázok č.2 – silo pre uskladnenie napenených guľčiek]



[Obrázok č.3 – otvorená forma pre vytváranie polystyrénových blokov]



[Obrázok č.4 – sklad blokov ($5,3 \text{ m}^3$) z formy s kapacitou 3200 m^3]



[Obrázok č.5 – panoramatický snímok rezacej linky, zľava je privádzaný polystyrénový blok s objemom $5,3 \text{ m}^3$, ktorý je najskôr rezaný pozdĺžne a následne priečne (vzniknutý odpad je odvádzaný do recyklačného zariadenia), pracovník obsluhujúci linku v prípade potreby naprogramuje rozloženie rezacích drôtov na zákazníkovo požadovanú hrúbku]