

FIT VUT

# IMS projekt

**Téma č. 8: Diskrétní model výrobního procesu (SHO):**

Výroba mimosilniční pneumatiky

Sasín Jonáš (xsasin05)  
Pojsl Jakub (xpojsl00)  
21.11.2020

# OBSAH

---

1	Úvod a motivace.....	1
1.1	Autoři a zdroje faktů.....	1
1.2	Ověření validity.....	1
2	Výroba mimosilniční pneumatiky.....	2
2.1	Proces výroby .....	2
2.1.1	Základní suroviny.....	2
2.1.2	Míchárna.....	2
2.1.3	Příprava polotovarů.....	2
2.1.4	Vytlačování a válcování .....	2
2.1.5	Pogumování kordu .....	2
2.1.6	Příprava patních lan.....	2
2.1.7	Konfekce .....	2
2.1.8	Vulkanizace.....	2
2.1.9	Dokončení a kontrola .....	3
2.2	Diagram výroby .....	3
2.3	Důležitá data z výroby .....	3
2.3.1	Trvání činností .....	3
2.3.2	Poruchy.....	4
2.3.3	Směny .....	4
3	Koncepce .....	5
3.1	Podrobná koncepce výroby.....	5
3.1.1	Metriky .....	5
3.2	Koncepce poruch.....	6
3.3	Petriho síť .....	6
4	Implementace simulačního modelu .....	8
4.1	Použití simulačního modelu .....	8
4.2	Stručný popis implementace .....	8
5	Popis experimentů.....	9
5.1	Dokumentace jednotlivých experimentů.....	9
5.1.1	Běžný provoz výroby .....	9
5.1.2	Zrychlení jednotlivých linek o 100 % .....	10
5.1.3	Zrychlení válcovny o 100% .....	10
5.1.4	Zrychlení celé míchárny o 100 % vs zrychlení všech linek.....	11

5.1.5	Přímá závislost průběhu výroby na rychlosti sekce míchárny.....	11
5.1.6	Vliv poruch na výrobu.....	12
5.1.7	Zavedení plánování směn pro jednotlivé linky.....	12
5.1.8	Ideální optimalizace.....	13
5.2	Závěr experimentů .....	14
6	Závěr .....	15
7	Reference .....	15

# 1 ÚVOD A MOTIVACE

---

V této práci je modelován proces výroby mimosilniční pneumatiky. Práce vznikla jako projekt do předmětu Modelování a simulace na FIT VUT v Brně s tématem „diskrétní model výrobního procesu modelovaný jako SHO [3] (systém hromadné obsluhy)“.

V práci je řešeno sestavení modelu výroby a jeho následná implementace a simulace s využitím knihovny SIMLIB [2]. Důraz je v modelu kladen na propustnost systému a vytížení jeho jednotlivých částí.

Na základě experimentů se simulačním modelem bude demonstrována efektivita výroby, vytížení jednotlivých částí systému, propustnost systému a vliv případných rozšíření určitých částí výroby na jeho propustnost. Práce se zabývá také vlivem poruch na celkový průběh výroby.

Smyslem experimentů je pokud možno co největší optimalizace výrobního procesu s důrazem na slabá místa a přiměřené vytížení a synchronizace výrobních linek.

## 1.1 AUTOŘI A ZDROJE FAKTŮ

Autory práce jsou Jonáš Sasín (xsasin05) a Jakub Pojsl (xpojsl00).

Práce je podepřena reálnými daty z výrobního provozu firmy Mitas[4], jejíž výrobní proces byl zpracován jako analýza výrobního procesu v Bakalářské práci (2013) Michala Šlemra na škole VŠE [1]. Tento dokument slouží jako hlavní zdroj faktů o procesu výroby. Zdroj byl vybrán pro jeho přehledné a podrobné zpracování s dostatkem dat pro vytvoření simulačního modelu.

## 1.2 OVĚŘENÍ VALIDITY

Náš model vychází především z faktických údajů výše uvedené analýzy procesu. Validita modelu je tedy podložena odkazováním se na fakta zjištěné o reálném modelu, které byly v simulačním modelu dodrženy. Všechna podstatná fakta a možné okolnosti jsou poté podrobeny simulaci pomocí knihovny SIMLIB pro C++.

V simulaci je možno původní podmínky reálného modelu pozměnit a optimalizovat. Výstupy těchto experimentů jsou zmíněny v části 5 – Popis experimentů a 6 – Závěr.

Validní prvotní model byl podnětem pro zavedení hypotetických okolností, které o modelu z faktů předtím nebyly zřejmé (především směny) a jejich přibližná optimalizace pro reálnou výrobu.

Jak detailně je systém modelován je podrobněji popsáno v části 3 – Koncepce, kde je možno zjistit podrobný postup koncepce jednotlivých částí systému.

## 2 VÝROBA MIMOSILNIČNÍ PNEUMATIKY

---

Všechna uvedená data viz. kapitola 7 - reference [\[1\]](#)

### 2.1 PROCES VÝROBY

#### 2.1.1 Základní suroviny

Hlavní suroviny pro výrobu pneumatiky je přírodní a syntetický kaučuk. Čištěný a koagulovaný kaučuk je dopraven do továrny, kde je skladován spolu s ostatními surovinami. Každý vzorek je zaslán do laboratoře, kde se hodnotí jeho kvalita a vlastnosti.

#### 2.1.2 Míchárna

Zde probíhá míchání kaučukových směsí – kaučuk s plnivý jako například gumárenské saze. Nakonec se do směsi přidává síra a vulkanizační činidla. Většina směsí se připravuje pro výrobu běhounu, jehož hlavní vlastností je odolnost proti oděru.

Hotová směs se vytlačí do plátů a ochlazuje, pláty se ukládají do palet, které jsou označeny a uloženy na sklad.

#### 2.1.3 Příprava polotovarů

Polotovary nutné k výrobě: patní lana, pogumované textilní a ocelové kordy, vytlačované a válcované polotovary, první a druhá kordová vložka, jádro, patní kord a pásek, nárazníky a bočnice s běhounem.

#### 2.1.4 Vytlačování a válcování

Několikanásobným válcováním se zde vyrábí vnitřní guma. Dále se vtlačuje běhoun a bočnice.

Kaučuková směs se nejprve ohřívá, pak se posune do vytlačovacího stroje, kde se formuje do požadovaného tvaru a rozměrů. Ze stroje vychází souvislý plát, který je následně třeba ochladit a rozřezat na určené délky.

#### 2.1.5 Pogumování kordu

Na pogumování se opět používá kaučuková směs. Při procesu se kord určeného materiálu pokrývá tenkou vrstvou kaučukové směsi. Pogumovaná kord je poté nařezán v přesném úhlu. Nařezané jsou navinuty a přesunuty k další fázi výroby. Kordy tvoří nárazníky pod běhoun nebo tvoří součást kostry pneumatiky.

#### 2.1.6 Příprava patních lan

Patní lana se vyrábí z ocelových drátů a kaučukové směsi. Ocelové dráty se pogumují a navinou do kola určitého průměru (přesný počet závitů a tvar).

#### 2.1.7 Konfekce

V rámci konfekce je z připravených polotovarů složen surový plášť, kde se k sobě polotovary lepí gumárenskými pojivy. Ke složení dochází na konfekčním bubnu – nejprve se položí bočnice s patním páskem, poté patní kord, vnitřní guma, kordová složka kostry a lano s jádrem. Následuje přehnutí a na přibližný tvar pneumatiky se položí nárazníky a běhoun. Výsledkem je nevulkanizovaný surový plášť.

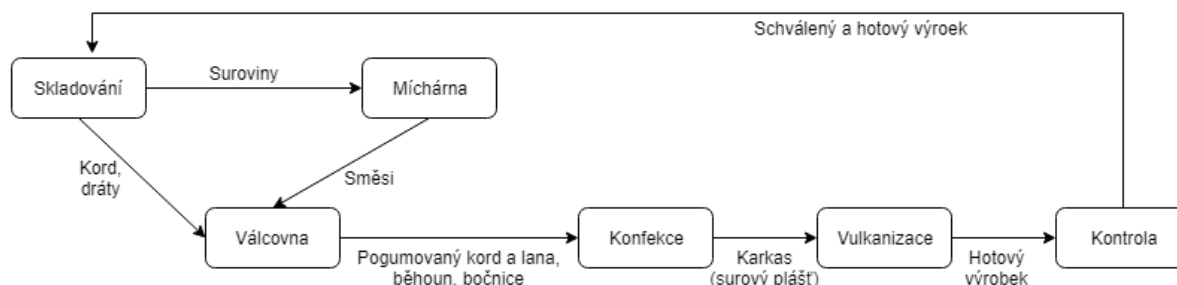
#### 2.1.8 Vulkanizace

Při tomto procesu se z kaučukové směsi stává pryž. Pomocí zahřátého tlakového média je plášť vtlačen do formy. Směs vlivem teploty měkne a stává se tvárnou. Směs postupně formu dokonale vyplní. Při vulkanizaci se mění struktura materiálu a získává finální vlastnosti.

### 2.1.9 Dokončení a kontrola

Po vychladnutí a ořezání přetoků je pneumatika poslána ke kontrole kvality. První kontrola je vizuální a hmatem pracovníka, dále je pomocí testeru kontrolováno radiální a boční házení. Pneumatiky s ocelovým kordem prochází také rentgenovou kontrolou.

## 2.2 DIAGRAM VÝROBY



## 2.3 DŮLEŽITÁ DATA Z VÝROBY

### 2.3.1 Trvání činností

Data z výroby jsou pro naši simulaci hlavně v metrice času, která se tím stává hlavní metrikou našeho výrobního procesu. Většina úkonů při výrobě probíhá sériově za sebou a modeluje se tedy hlavně časové zpoždění vznikající mezi nimi. Jediná část výroby, která probíhá paralelně je ve válcovně, kde zároveň vzniká pogumovaný kord, pogumovaná lana a vytlačují se běhouny a bočnice.

Část výroby	Činnosti(min)	Čekání na skladě (min)
Míchárna 1	266	360
Míchárna 2	193	1440
Válcovna - kordy	149	1200
Válcovna - lana	113	1020
Válcovna - běhoun	117	1140
Válcovna - bočnice	108	1020
Konfekce	74	360
Vulkanizace	119	-
Kontrola	15	-

Údaje uvedené v tabulce výše, ve sloupci činnosti, jsou součtem všech činností, probíhajících v dané části výroby, bez ohledu na to, že některé úkony mohou probíhat paralelně. Tyto skutečnosti modelujeme podrobněji v Petriho síti níže (v části koncepce).

### 2.3.2 Poruchy

Při výrobě bylo evidováno 7 druhů poruch. U každé poruchy můžeme evidovat, jakou dobu odstavení výroby za rok způsobila a jakou část výroby nejčastěji postihla. Tyto skutečnosti jsou shrnuty v následující tabulce. Data jsou seřazena podle způsobené doby prostojů při výrobě.

	<b>Druh:</b>	<b>Doba prostojů za rok (minuty)</b>	<b>Nejčastěji postihnuté místo výroby</b>
<b>A</b>	<b>HW/SW závada</b>	1400	Míchárna
<b>B</b>	<b>Únik médií</b>	500	Vulkanizace
<b>C</b>	<b>Nepozornost obsluhy</b>	400	Konfekce
<b>D</b>	<b>Jiné</b>	350	Konfekce
<b>E</b>	<b>Mechanická závada</b>	200	Válcovna
<b>F</b>	<b>Elektro závada</b>	100	Nespecifikováno
<b>G</b>	<b>Nesprávné nastavení</b>	80	Vulkanizace

### 2.3.3 Směny

Pro systém směn jsme nenašli žádná dostupná fakta, jejich existence je tedy hypotetická a zakládá na předpokladu, že směny ve většině výrob existují. Z těchto důvodů jsou tedy směny v modelu naprosto flexibilní a nastavitelné pro každou linku samostatně.

Předpokládáme, že plánovat směny pro celý provoz jednotně by nevedlo k plnému využití zdrojů. Jednotlivé části výroby jsou na sobě závislé výstupem jednotlivých polotovarů, ale jsou různě časově náročné. Samostatné plánování směn pro jednotlivé části provozu může tedy přispět k synchronizaci a lepší optimalizaci celého výrobního procesu.

## 3 KONCEPCE

### 3.1 PODROBNÁ KONCEPCE VÝROBY

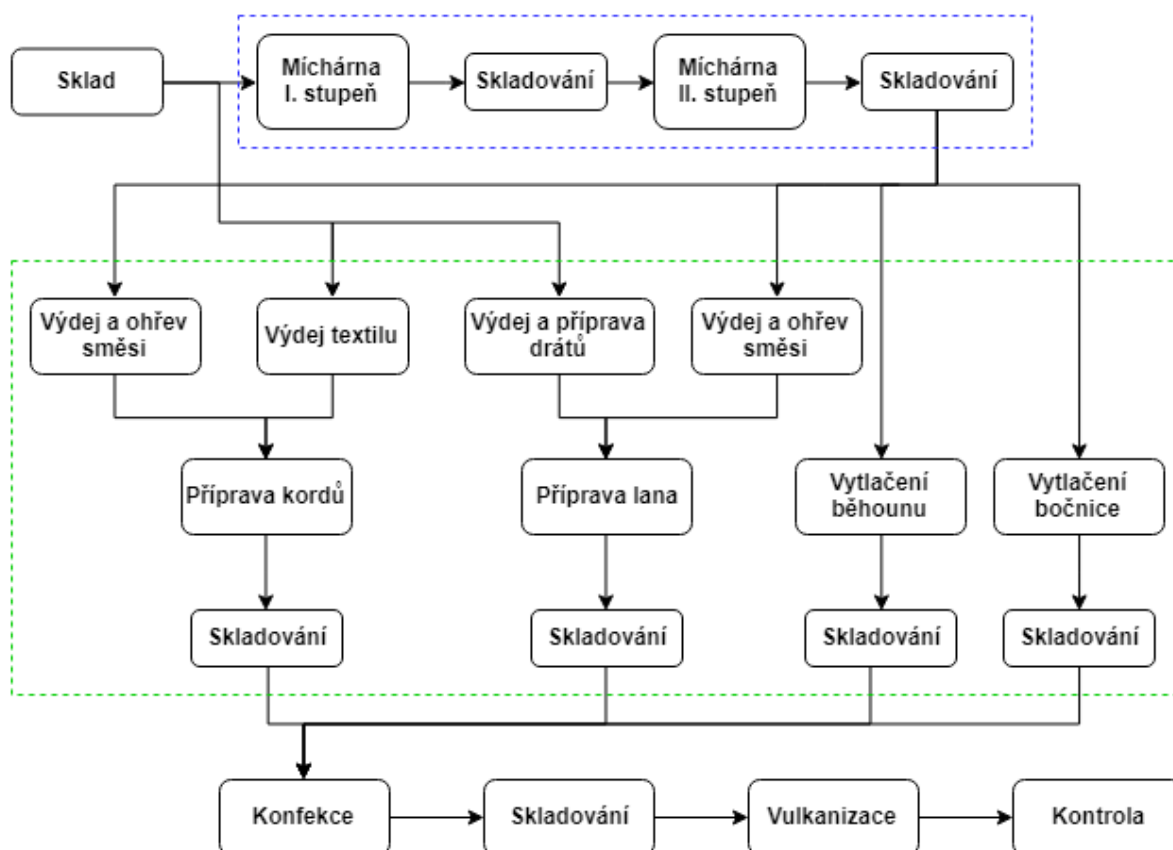
Pro podrobnou koncepci je důležité hlavně znázornění paralelně probíhajících dějů a oddělení výroby od čekání na skladě. Níže je diagram, který postupný průběh detailněji popisuje.

Úplná abstrakce úkonů nemohla probíhat u dvou fází výroby – míchárna a válcovna.

Míchárnu (modrý obdélník) je potřeba rozdělit, protože mezi přípravou směsi I. a II. stupně probíhá skladování, které není ovlivněno případnou poruchou linky.

Válcovna (zelený obdélník) je ještě o něco komplikovanější, protože v ní probíhá paralelně příprava kordů, lan, běhounu a bočnic, tedy 4 paralelní přípravy polotovarů pro konfekci. Dále např. při přípravě kordů a lan probíhá paralelní výdej směsi z válcovny a dalšího materiálu ze skladu.

Po výstupu polotovarů z válcovny může zpracování materiálu od konfekce po kontrolu, tedy konec procesu, probíhat opět sériově.



Finální nízká úroňový popis procesu výroby, od kterého se přistupuje k implementaci modelu je modelován jako Petriho síť. V ní můžeme podrobněji znázornit trvání činností, vstup poruch, závislosti a proveditelnost jednotlivých přechodů ve výrobě.

#### 3.1.1 Metriky

Neznáme přesné množství materiálu na vstupu / hotových výrobků na výstupu.

Důležité data jsou pro nás tedy např.: počet transakcí schopných projít celým procesem za určitý čas; čas strávený transakcí v systému; využití jednotlivých částí výroby; vliv poruch na výrobu.



### 3.2 KONCEPCE PORUCH

Vzhledem k tomu, že jedinou metrikou poruch, kterou máme k dispozici, je to, jak velký časový prostoj ve výrobě za rok způsobila, zavádíme následnou koncepci.

Z celkového času prostoje způsobeného poruchou za rok můžeme určit, jak velký časový prostoj způsobila ve výrobě porucha v průměru za jeden den. Tímto způsobem tedy modelujeme příchod poruch pro všechny poruchy stejný – v průměru bude každá porucha přicházet jednou denně. Pro každou poruchu se však bude lišit čas, na který zabere linku. Tímto vyjádříme její závažnost. Na validitu modelu by toto zjednodušení při dostatečně dlouhém běhu simulace nemělo mít vliv.

Průměrný příchod každé poruchy je tedy 1 den (1440 minut) podle exponenciálního rozložení. Její trvání podle druhu poruchy je pro každé zabrání linky následovné (doba prostoje za rok / 365):

	Druh:	Doba jednoho prostoje (minut)
A	HW/SW závada	3.84
B	Únik médií	1.37
C	Nepozornost obsluhy	1.10
D	Jiné	0.96
E	Mechanická závada	0.55
F	Elektro závada	0.27
G	Nesprávné nastavení	0.22

### 3.3 PETRIHO SÍŤ

Petriho síť [\[3\]](#) podrobně znázorňuje koncepci procesu výroby na co nejnižší úrovni. Měla by z ní být jasná posloupnost procesů, jejich časová návaznost, cesta transakce celým procesem výroby i vstup poruch.

Příchod transakcí do systému se děje cyklicky na první lince výroby – míchárně prvního stupně. Tato část výroby se od započetí výroby nezastavuje a vytváří transakce, které poté, ovlivněné časovými zpožděními mezi linkami, prochází zbytkem systému, dokud ho po dokončení kontroly a tedy celého výrobního procesu neopustí.

Příchod transakcí je modelován tímto způsobem kvůli absenci jakýchkoliv faktů o frekvenci objednávek dané výroby. Vytížení první linky je tedy předpokládáno na 100%.

Poruchy, jak je zmíněno v jejich koncepci, přichází na linky v intervalech daných exponenciálním rozložením. Porucha linku ovlivní tím způsobem, že prodlouží dobu její obsluhy dle její závažnosti a o něco zpozdí celý proces.

Pro přehlednost nejsou v Petriho síti modelovány směny, které ale v simulačním modelu implementovány jsou. Směna je přirozeně časový interval dne, kdy je linka v provozu, zbývajícím čas dne linka není k dispozici. (př.: směna dlouhá 10 hodin – linka pracuje 10 hodin, poté 14 hodin stojí). Konec směny zabírá linku s prioritou obsluhy.



## 4 IMPLEMENTACE SIMULAČNÍHO MODELU

---

Simulační model je implementován v jazyce C++ s využitím knihovny SIMLIB [2]. Odvíjí se především od výše přiložené koncepce v podobě Petriho sítě, která je do programu poměrně jednoduše převeditelná. Program je ozvláštněn o parametrizaci některých údajů v modelu, které je možno měnit pro účel experimentů a pro získání kýžených odpovědí na otázky položené v úvodu práce.

### 4.1 POUŽITÍ SIMULAČNÍHO MODELU

Pro každý údaj vyskytující se v modelu je nastavena nějaká výchozí hodnota. Vstupem programu jsou hodnoty, které si přejeme měnit a jsou tedy parametrizovány. Vstupy jsou tedy následující:

- -help : nápověda - možnost vytisknout tohle užití programem
- -t [dnů] : délka běhu simulace (počet dnů)
- -x : vypnutí vlivu poruch na výrobu – bezporuchový běh
- -s [transakcí] : délka běhu simulace (počet transakcí, které simulace propustí)
- -[a...i] [minut] : určení délky směny na každé výrobní lince (počet minut)
- -[j...r] [minut] : určení délky doby obsluhy potřebných úkonů každé výrobní linky
- -v : podrobný výstup modelu tisknoucí veškeré informace o linkách

Každý parametr je volitelný a má tedy své výchozí hodnoty. Výchozí hodnoty pro jednotlivé parametry jsou:

- -t : 1 rok
- -s : neomezeno
- -[a...i] : nepřetržitá výroba 24 hodin v kuse
- -[j...r] : údaje uvedené v tabulce faktů / Petriho síti

Příklad spuštění (nezáleží na pořadí argumentů):

```
./ims -b 1100 -c 670 -d 360 -e 600 -f 540 -g 420 -h 690 -i 120 -t 365 -s 120 -j 240
```

Simulace poté se zadanými parametry spustí svůj běh a nashromáždí data o výrobě.

### 4.2 STRUČNÝ POPIS IMPLEMENTACE

Implementace modelu je poměrně přímočará a opírá se o Petriho síť.

Procesy reprezentují jednotlivé transakce (Process), které prochází systémem a zabírají linky (Facility), kterými jsou postupně obslouženy a vytvářejí transakce další, které pokračují svou cestu výrobním procesem.

Dobu obsluhy transakce mohou ovlivnit poruchy (Event) (zvýší okamžitou dobu obsluhy linky – navýšení o dobu obsluhy poruchy), nebo zadaná změněná doba obsluhy linky, která může simulovat např. použití lepší technologie, která by konkrétní úkon výroby ovlivnila.

Při zadání jiné, než nepřetržité doby výroby na konkrétní lince výroby, je vytvořen proces směny, nebo spíše proces konce směny, který linku po konci směny zabere do začátku směny další.

Při zadání délky směny linky např. 8 hodin (480 minut) bude linka po konci směny na 16 hodin nedostupná (zabraná) a nebude obsluhovat další přicházející požadavky.

## 5 POPIS EXPERIMENTŮ

---

Jedním z prvotních cílů prováděných experimentů bylo zjistit, jakým způsobem se systém chová na základě získaných dat z výroby. Udělat si lepší představu o běžném průběhu výroby, o vzájemné závislosti jednotlivých procesů a identifikovat případná slabá místa. Poté bylo našim cílem pomocí experimentů zjistit, které parametry mají největší vliv na vytíženost systému a synchronizaci jednotlivých linek. Následně jsme se úpravou těchto parametrů pokusily nalézt vhodné možnosti optimalizace celého výrobního procesu. Možnosti optimalizace jsme rozšířili zavedením plánování směnného provozu pro jednotlivé linky.

### 5.1 DOKUMENTACE JEDNOTLIVÝCH EXPERIMENTŮ

Experimenty byly prováděny změnou vstupních parametrů systému, které jsou zmíněny v sekci 4.1. Doba běhu systému byla u všech experimentů nastavena na dobu jednoho roku.

#### 5.1.1 Běžný provoz výroby

Experimenty jsme započali spuštěním simulace s parametry odpovídajícími reálným získaným datům uvedeným v sekci 2.3. Výsledky tohoto experimentu pro nás tudíž budou reprezentovat běžný průběh této konkrétní výroby. Jako časový interval jsme zvolili dobu jednoho roku a jelikož nemáme k dispozici informace k pracovní době, předpokládáme nepřetržitý provoz výroby 24/7, jak bývá u výrobních závodů tohoto typu zvykem.

#### **Výstupy:**

##### **Vytížení jednotlivých linek:**

Využití Míchárny 1. stupně: 100.000%

Využití Míchárny 2. stupně: 72.526%

Využití Válcovny Kordy: 43.769%

Využití Válcovny Lana: 21.335%

Využití Válcovny Běhouny: 38.160%

Využití Válcovny Bočnice: 35.168%

Využití Konfekce: 27.743%

Využití Vulkanizace: 44.455%

Využití Kontroly: 5.588%

Průměrné celkové vytížení: 43.194%

##### **Dokončené transakce:**

Počet transakcí: 1958

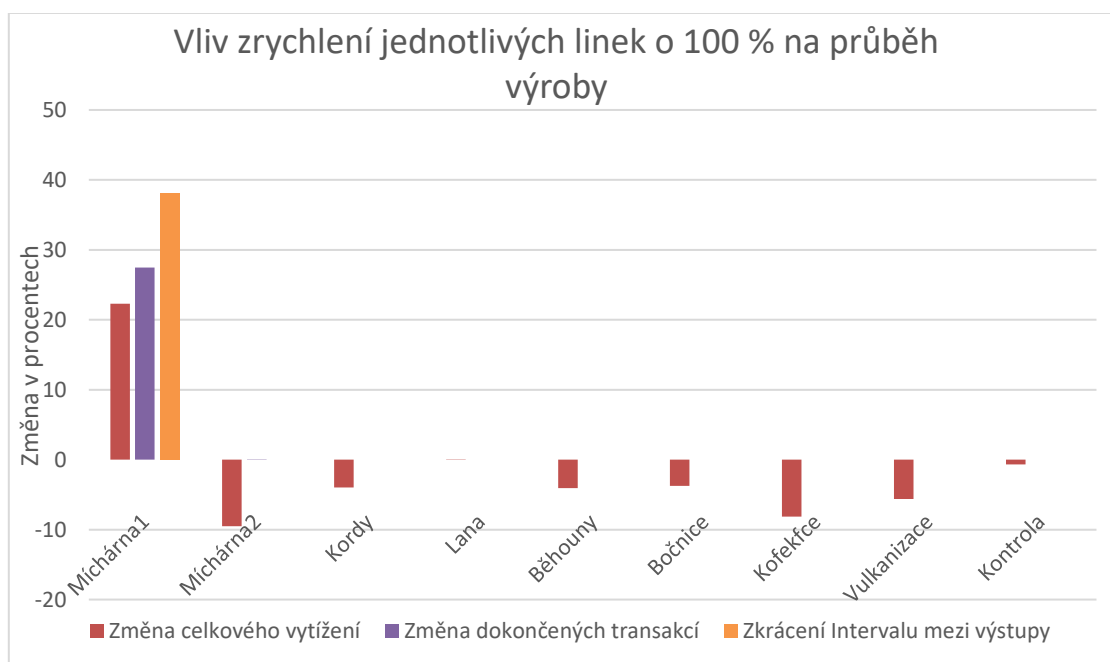
Interval mezi výstupem dvou transakcí: Min: 259 minut, Max: 4169 minut

Průměrně: 268 minut

Na první pohled můžeme vidět, že některé linky mají v poměru k jiným velmi nízké vytížení. To pro nás byla jedna z hlavních metrik, kterou jsme se pokusili optimalizovat.

### 5.1.2 Zrychlení jednotlivých linek o 100 %

Při tomto experimentu bylo naším cílem zjistit, jak změna doby obsluhy jednotlivých linek ovlivní průběh celé výroby. Jednotlivé linky byly při experimentu zrychleny o 100 %, což by mohlo simulovat například přidání 2. souběžné linky či zdvojnásobení výkonnosti linky. Tímto experimentem jsme zjistili, že zrychlení pouze jedné linky bude mít pozitivní vliv na průběh výroby pouze u linky Míchárna 1 a to s velkým rozdílem oproti samostatnému zrychlení všech ostatních linek, kde zrychlení mělo spíše negativní vliv na celkové průměrné vytížení výroby a téměř nulový vliv na počet dokončených transakcí a interval mezi jejich dokončením.



#### Zrychlení Míchárny 1 o 100 % - Hlavní výstupy:

Průměrné celkové vytížení: 59.551%

Počet transakcí: 2699

Průměrný interval mezi výstupem dvou transakcí: 194 minut

Z tohoto experimentu vyplývá, že všechny výrobní linky jsou nejvíce závislé právě na rychlosti zpracování transakcí 1. linkou – Míchárnou 1. úrovně. Zefektivnění ostatních linek, bez toho, aniž by byla zefektivněna linka Míchárna 1 nebude mít na průběh výroby pozitivní vliv. To je demonstrováno dalším experimentem.

### 5.1.3 Zrychlení válcovny o 100%

Při tomto experimentu byly o 100 % zrychleny všechny 4 linky v oddělení válcovny, které pracují paralelně. Jde o linky přípravná kordů, přípravná lan, přípravná běhounu a přípravná bočnic. Tímto experimentem se potvrdila závislost linek na rychlosti linky Míchárna 1 a negativní vliv zrychlení těchto linek bez současného zrychlení linky Míchárna 1. Jediným následkem bylo snížení celkové vytíženosti systému o 12,8 %.

### Hlavní výstupy:

(změna %)

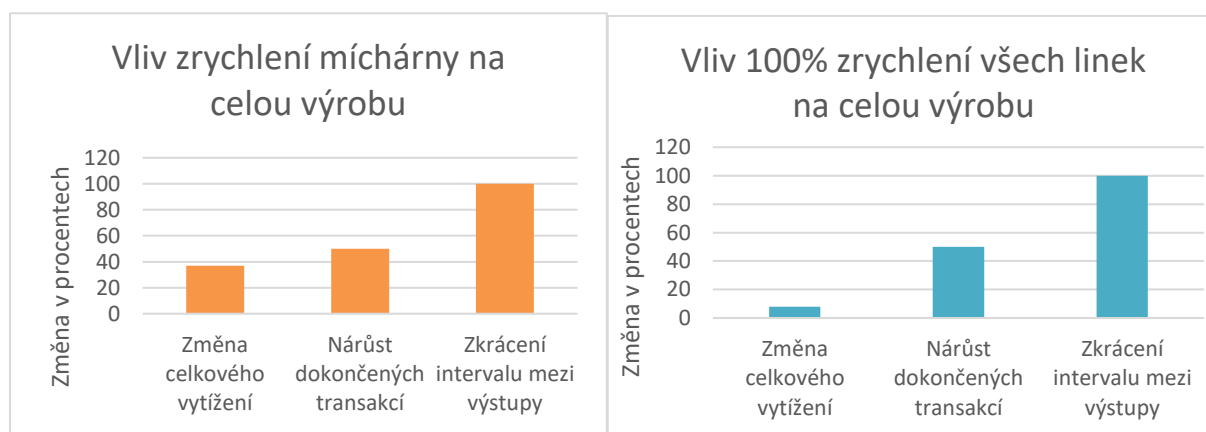
Průměrné celkové vytížení: 41.023 % (-12.8 %)

Počet dokončených transakcí: 1958 (0 %)

Průměrný interval mezi výstupem dvou transakcí: 268 minut (0 %)

#### 5.1.4 Zrychlení celé míchárny o 100 % vs zrychlení všech linek

V tomto experimentu bylo provedeno 100% zrychlení obou linek v oddělení míchárny. Veškeré ostatní parametry byly ponechány ve výchozím stavu. Tento experiment se ukázal jako významný, jelikož zrychlením těchto 2 procesů bylo dosaženo lepších výsledků, než 100 % zrychlením všech linek zároveň.



### Hlavní výstupy:

(změna %)

Průměrné celkové vytížení: 73.347 % (36.9 %)

Počet dokončených transakcí: 3197 (50 %)

Průměrný interval mezi výstupem dvou transakcí: 134 minut (-100 %)

### Hlavní výstupy:

(změna %)

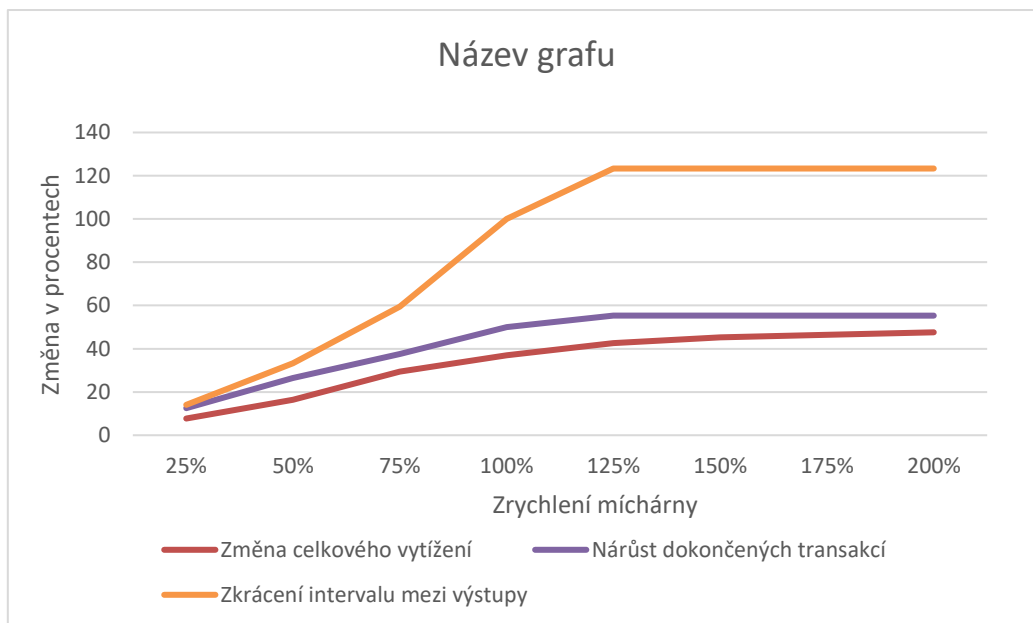
Průměrné celkové vytížení: 50.242 % (7.9 %)

Počet dokončených transakcí: 3199 (50 %)

Průměrný interval mezi výstupem dvou transakcí: 134 minut (-100 %)

#### 5.1.5 Přímá závislost průběhu výroby na rychlosti sekce míchárny

Cílem tohoto experimentu bylo zjistit, do jaké míry by šlo zrychlováním sekce míchárny úměrně zrychlovat kompletní výrobu. Během experimentu byla zkracována doba běhu linky míchárna 1 a míchárna 2, ostatní parametry systému zůstali nezměněné. Tímto způsobem byla rychlost běhu míchárny zvýšena až o 200 %. Ukázalo se, že zrychlení by však mělo význam maximálně o 150 %. Další zrychlování linek míchárny již mělo na průběh celého výrobního procesu zanedbatelný vliv.



### 5.1.6 Vliv poruch na výrobu

Během tohoto experimentu jsme se snažili zjistit, jak velký vliv na průběh výroby mají poruchy a jak by se jejich eliminací zlepšily výstupy výroby. Z experimentu vyšlo najevo, že poruchy mají na chod výroby minimální vliv a výstupy systému se téměř nelišily od chodu s běžným počtem výskytu poruch.

#### Hlavní výstupy:

(rozdíl %)

Průměrné celkové vytížení: 43.183 % (0.04 %)

Počet transakcí: 1961 (0.15 %)

Průměrný interval mezi výstupem dvou transakcí: 268 minut (0 %)

### 5.1.7 Zavedení plánování směn pro jednotlivé linky

Vzhledem k nízkému vytížení většiny linek kromě linek mícháreny nám přišlo jako vhodné řešení zavést směny pro jednotlivé linky. Omezení pracovní doby u méně vytížených linek by vedlo k jejich efektivnějšímu využití. Během experimentů jsme nastavili směny na všech linkách kromě mícháreny nejprve na dobu 12 hodin a poté na 8 hodin. Vliv na vytíženost je zobrazen v následujícím grafu.

#### Hlavní výstupy:

12 hodin

Průměrné celkové vytížení: 82.072 % (43.37 %)

Počet transakcí: 1956 (-0.1 %)

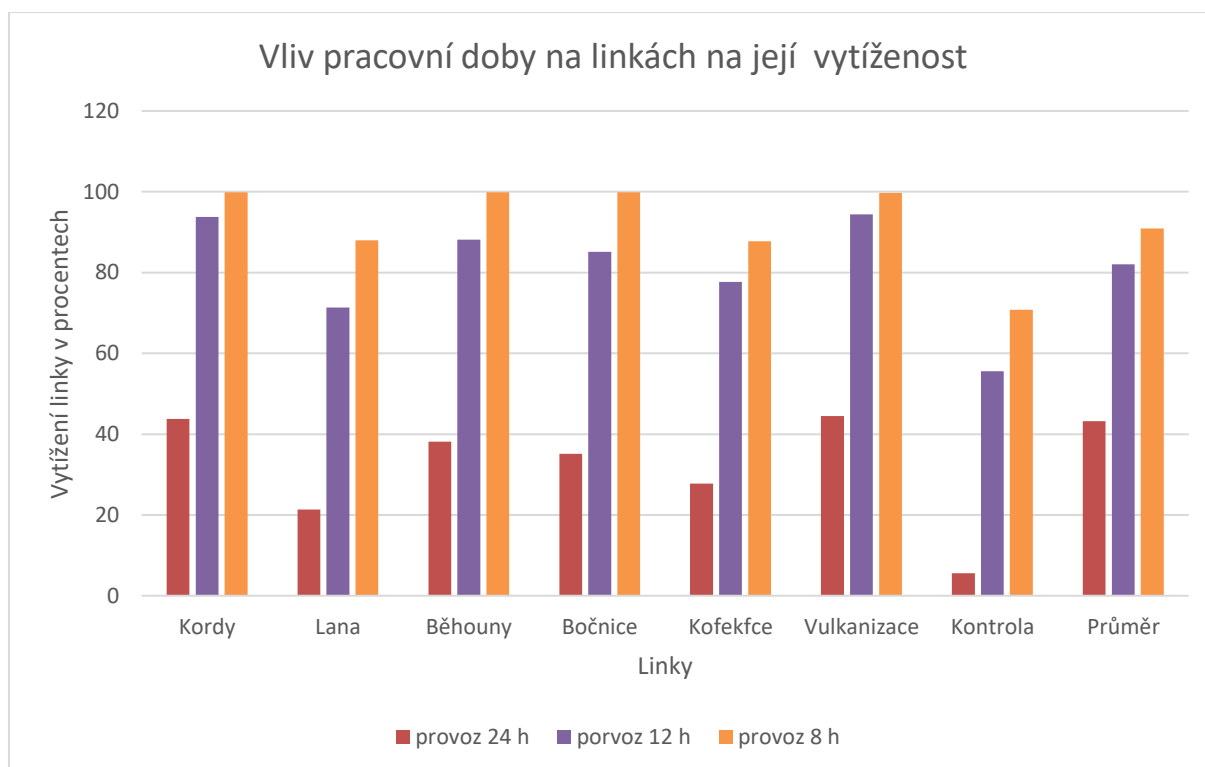
Průměrný interval mezi výstupem dvou transakcí: 268 minut (0 %)

8 hodin

Průměrné celkové vytížení: 90,928 % (52,49 %)

Počet transakcí: 1453 (-34,75 %)

Průměrný interval mezi výstupem dvou transakcí: 362 minut (25,97 %)



Z grafu je patrné, že zavedení dvanáctihodinových směn na všech linkách kromě linek mícháreny by mělo velký pozitivní vliv na zefektivnění celé výroby, jelikož počet výstupních transakcí zůstal téměř stejný, avšak průměrné vytížení se zvýšilo o 43,37 %. Zavedení pouze osmihodinových na všech těchto linkách by již bylo kontraproduktivní, jelikož by významným způsobem klesl počet výstupních transakcí a prodloužila by se doba výstupu mezi jednotlivými transakcemi. U některých linek jako např. kontrola však můžeme ještě vidět jistou rezervu ve vytížení.

### 5.1.8 Ideální optimalizace

Na základě získaných znalostí o chování systému v předešlých experimentech jsme se pokusily co nejvhodněji nastavit kombinaci všech parametrů, které mají klíčový vliv na průběh výroby tak, abychom dosáhli co nejlepší optimalizace podle našich hlavních metrik. Z experimentů vycházelo nejlépe následující nastavení parametrů:

Zdvojnásobení výrobních kapacit mícháreny (modelováno zdvojnásobením její rychlosti)

Délky směny pro přípravu lan nastavena na 12 hodin.

Délka směny pro konfekci nastavena na 16 hodin.

Délka směny pro kontrolu na 3 hodiny.

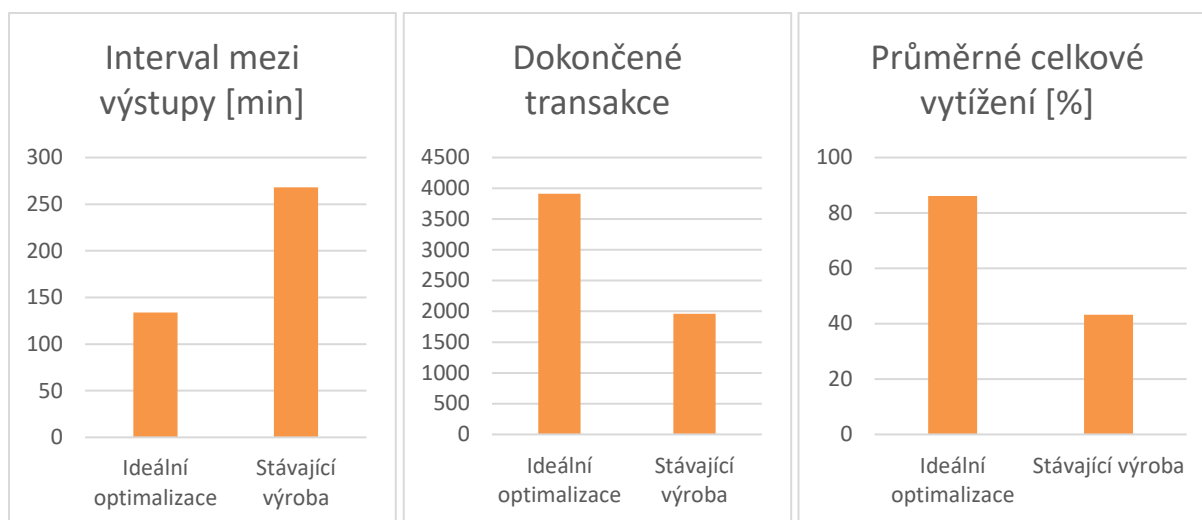
#### Výstupy pro tuto konfiguraci:

Průměrné celkové vytížení: 86.072 % (49.88 %)

Počet transakcí: 3913 (49,96 %)

Průměrný interval mezi výstupem dvou transakcí: 134 minut (-100 %)





Jak je z grafů patrné, zavedení této optimalizace by znamenalo výrazné zlepšení všech hlavních metrik. Nemáme bohužel dostatek dat, abychom dokázali posoudit nákladnost a výhodnost jejího zavedení.

## 5.2 ZÁVĚR EXPERIMENTŮ

Experimenty bylo zjištěno, jakým způsobem probíhá výroba za běžného provozu na základě získaných dat. Experimentováním se změnami parametrů systému byly odhaleny vzájemné závislosti jedné části výroby na jiných a umožnilo nám to tak určit slabá místa výroby, jakými se například ukázaly být sekce míchárna a úsek kontroly. Získali jsme větší přehled o vytíženosti jednotlivých linek, která nebyla u většiny příliš vysoká a zjistili jsme jakými způsoby se dá ovlivňovat. Dalšími experimenty by bylo možné zjistit, jaký by na výsledky a chod výroby měli vliv například rozsáhlejší rozšíření výrobních kapacit v jednotlivých částech výroby, odlišné plánování směn, či náhle omezení výroby následkem nepředvídatelné události.

## 6 ZÁVĚR

---

Výsledkem tohoto projektu je diskrétní model výrobního procesu mimosilničních pneumatik, který byl vytvořen na základě reálných dat z výrobního provozu firmy Mitas. Model umožňuje získat lepší vhled do chodu výroby a do vzájemné závislosti výrobních procesů. Experimenty prováděnými s modelem je možné simulovat potenciální dopad změn parametrů jednotlivých výrobních linek na chod celé výroby a její výstupy.

Na základě znalostí získaných experimentováním s vytvořeným modelem jsme byli schopni sestavit kombinaci parametrů, která by měla na chod výroby nejpříznivější vliv a zajistila by největší zvýšení hodnot všech hlavních metrik. Mezi tyto metriky patří počet dokončených transakcí, průměrné celkové vytížení systému a doba mezi výstupy jednotlivých transakcí. Experimentálně navrhnoutou optimalizací, ke které jsme dospěli, by bylo možné všechny tyto hodnoty zlepšit téměř o 100 %. Na základě dat, které máme k dispozici však bohužel nedokážeme určit, co vše by takováto optimalizace pro provozovatele výroby obnášela.

## 7 REFERENCE

---

- [1] VŠE: Analýza výrobního procesu vybraného produktu, Michal Šlemr, BP, [online], 2013, [vid. 2020-11-21]. Dostupné z:  
[https://vskp.vse.cz/35210\\_analyza\\_vyrobniho\\_procesu\\_vybraneho\\_produkту](https://vskp.vse.cz/35210_analyza_vyrobniho_procesu_vybraneho_produkту)
- [2] SIMLIB: dokumentace knihovny SIMLIB/C++, [online], naposledy upraveno 2018, [vid. 2020-11-21]. Dostupné z:  
<https://www.fit.vutbr.cz/~peringer/SIMLIB/>
- [3] IMS: Peringer Petr a Hrubý Martin – Presentace k předmětu IMS – str. 119 – 207, 2019
- [4] Mitas: stránky firmy Mitas, [online], [vid. 2020-11-21]. Dostupné z:  
<https://mitas-tyres.com/cs>