

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ



MODELOVÁNÍ A SIMULACE (IMS)

AKADEMICKÝ ROK 2021/22

---

# Projekt do IMS: Vliv nedostatku čipů na výrobu měničů firmou Control Techniques

---

*Autoři:*

Petr JUNÁK (xjunak01)

Antonín HONZEJK (xhonze00)

Brno, 12. prosince 2021

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>2</b>
1.1	Autoři, dodavatelé faktů a ostatní zdroje . . . . .	2
1.2	Ověření validity modelu . . . . .	2
<b>2</b>	<b>Rozbor tématu a použitých technologií</b>	<b>2</b>
2.1	Použité technologie a postupy . . . . .	3
2.2	Popis původu použitých metod a technologií . . . . .	3
<b>3</b>	<b>Koncepce a způsob řešení</b>	<b>3</b>
3.1	Popis konceptuálního modelu . . . . .	4
3.2	Formy konceptuálního modelu . . . . .	4
<b>4</b>	<b>Architektura simulačního modelu</b>	<b>4</b>
4.1	Spouštění simulačního modelu . . . . .	6
<b>5</b>	<b>Podstata simulačních experimentů a jejich průběh</b>	<b>7</b>
5.1	Postup experimentování . . . . .	7
5.2	Experimenty . . . . .	7
5.2.1	Experiment 1 . . . . .	7
5.2.2	Experiment 2 . . . . .	7
5.2.3	Experiment 3 . . . . .	8
<b>6</b>	<b>Shrnutí simulačních experimentů a závěr</b>	<b>8</b>
<b>7</b>	<b>Literatura</b>	<b>9</b>
<b>8</b>	<b>Přílohy</b>	<b>10</b>
8.1	Petriho síť . . . . .	10
8.2	Data dodaná firmou Control Techniques . . . . .	11

# 1 Úvod

V této práci je řešen proces sestavování modelu pro vliv nedostatku čipů na výrobu [2] Nidec | Control Techniques Brno s.r.o. Smyslem tohoto modelu a simulačních experimentů je odhadnout výši ztrát, kterým bylo zabráněno přijmutím nového dodavatele čipů a vyhodnotit jestli se investice do vývoje nové softwarové mezivrstvy ve výsledku vyplatila. Díky experimentům je možné zhodnotit jestli byl systém navržen kvalitně a jestli jde změnou některých parametrů zdokonalit.

## 1.1 Autoři, dodavatelé faktů a ostatní zdroje

Projekt vypracovali studenti FIT VUT v Brně:

- Petr Junák
- Antonín Honzejek

Model byl konzultován s ing. Tomášem Junákem, zaměstnancem Control Techniques Brno s.r.o. K technické části byly převážně využity zdroje z předmětu IMS - Modelování a simulace.

## 1.2 Ověření validity modelu

Ověření validity proběhlo porovnáním výsledků modelu s reálným průběhem vývoje cena a osobní konzultací s ing. Tomášem Junákem, který také pro tvorbu modelu poskytl některé upravené interní informace firmy Control Techniques. Viz.: [Data dodaná firmou Control Techniques](#)

# 2 Rozbor tématu a použitých technologií

Z dat o vyrobených a prodaných měničích a celkovém obratu z prodeje v jednotlivých zemích byly získány zprůměrováním fakta o výrobě a prodeji měničů za období zahrnující posledních 12 měsíců, ve kterých se projevila čipová krize (dále jen *krizové období*) a období zahrnující 12 předcházejících měsíců (dále jen *standardní období*).

Průběh výroby a prodeje je totožný pro obě období a liší se pouze kapacitní možností dodavatele čipů, množstvím potenciálních zákazníků a maximální dobou, kterou je zákazník ochoten čekat na produkt.

Ve standardním období firmy Control Techniques denně průměrně 18 zákazníků vytvoří objednávku o průměrné velikosti 50 měničů. Pokud je zboží na skladě v dostatečné kapacitě, je zákazníkovi ihned poskytnuto. V opačném případě se zákazník zařadí do fronty, ve které čeká dokud se pro něj dostatečný počet čipů nevyrobí, maximálně však po dobu 30 dnů s normálním rozožením [1, snímek 93]. Pokud se během této doby nepovede firmě měniče vyrobit, zákazník zruší objednávku a potenciálně odchází ke konkurenci. Výroba měničů probíhá denně za předpokladu, že je dostatečné množství sad čipů a sad ostatních součástek na interních skladech. Výroba je také omezena maximální výrobní kapacitou firmy průměrně 900 kusů za den a z důvodu zjednodušení modelu uvažujeme, že výroba měniče trvá právě jeden den. Na interní sklady jsou sady čipů i většina z sady ostatních součástek dodávány denně výrobcem v průměrném množství odpovídajícím výrobní kapacitě firmy.

Celkové množství vyrobených a prodaných měničů za standardní období bylo 329 436 marže za prodej měničů dané období je 104 678 000 € s hrubou marží blízkou 23%<sup>1</sup>.

Po propuknutí čipové krize se však náhle snížila roční kapacita dodavatele čipů na přibližně třetinu a stejně tak se snížilo i množství čipů, které firmě denně dodává. Také se zvýšil počet zákazníků na průměrně 20 denně, zejména z důvodů neschopnosti ostatních dodavatelů uspokojit poptávku a z důvodu zvýšení čekacích dob u všech dodavatelů se také ztrojnásobila průměrná doba po kterou jsou zákazníci ochotni čekat na dodání.

Krátce po propuknutí čipové krize byl objeven nový potenciální dodavatel, schopný nahradit chybějící dvě třetiny dodávky, bylo ale potřeba nejdříve vytvořit novou softwarovou mezivrstvu z důvodu nekompatibility nových čipů s již existujícím softwarem. Proces tvorby tohoto softwaru zabral přibližně 2 měsíce a stál částku blízkou 1 500 000 € a po jeho dokončení byly chipy od druhého dodavatele ihned zapojeny do výroby.

## 2.1 Použité technologie a postupy

Pro tvorbu modelu a bylo použito:

- Programovací jazyk C++
- Matematická knihovna cmath<sup>2</sup>
- Simulační knihovna SIMLIB [3]

Dohromady poskytují tyto technologie všechna potřebná rozhraní k implementaci modelu a navíc se jedná o otevřený a multiplatformní software.

Dále byly využity postupy popsané v kurzu IMS - Modelování a simulace [1] k vytvoření Petriho sítí [1, snímek 123] a programování se zmíněnou knihovnou SIMLIB.

## 2.2 Popis původu použitých metod a technologií

Byly použity standardní funkce a třídy jazyka C++<sup>3</sup> s dodržáním standardu C++17 . Pro překlad zdrojových souborů byl použit nástroj GNU C++ Compiler.<sup>4</sup>

Knihovna cmath byla použita k zaokrouhlení náhodně vygenerovaných časů na celá čísla.

Knihovna SIMLIB byla získána z oficiálních stránek<sup>5</sup> a byla využita nejnovější verze dostupná ke dni 1.12.2021. K vytvoření simulačního modelu [1, snímek 44] bylo využito standardních nástrojů a rozhraní této knihovny.

## 3 Koncepce a způsob řešení

V této sekci se zpracovává návrh konceptuálního modelu [1, snímek 48] systému, který je brán jako systém hromadné obsluhy [1, snímek 136] zkombinovaný s modelem fronty s netrpělivým požadavkem [1, snímek 138]. Z rozboru tématu lze vidět, že důležité je modelovat vše související s výrobou a prodejem měničů. Všechny údaje jsou zprůměrovány, což nám umožní

---

<sup>1</sup><https://www.macrotrends.net/stocks/charts/NJDCY/nidec/gross-margin>

<sup>2</sup><https://www.cplusplus.com/reference/cmath/>

<sup>3</sup><https://cppreference.com/w/cpp>

<sup>4</sup><https://www.gnu.org>

<sup>5</sup><http://www.fit.vutbr.cz/peringer/SIMLIB/>

modelovat výrobu a prodej za celých 12 měsíců, ačkoliv v reálné situaci se tyto údaje liší každý měsíc. Na proměnné časové údaje je v modelu použito normální rozložení s vhodnou odchylkou, protože se takto získané časové údaje nejvíce blíží reálným časům. Zprůměrované data byla také pro zprehlednění modelu přiměřeně zaokrouhlena, což má na validitu zanedbatelný vliv. Různá poptávka po různých druzích měničů a jejich odlišně dlouhá výroba nejsou uvažovány a pro zjednodušení modelu jsou zprůměrovány. Ostatní součástky a maximální denní výroba nejsou pro model důležité, jsou pouze použity pro znázornění dalších problémů, které firmě způsobí náhlý pokles dodávaných čipů.

### 3.1 Popis konceptuálního modelu

Modely, jak je lze vidět v příloze **Petriho síť** se skládají z hlavních větví výroby a zákazníka. První znázorňuje průběh výroby měničů a druhá příchod zákazníků a odběr vyrobených měničů, přičemž pokud není v první větvi na skladě vyrobených měničů aktuálně dostatek pro zákazníka, zařadí se do fronty s netrpělivým požadavkem, kde vyčká na naskladnění, nebo dokud nepřekročí doba čekání jeho hranici průměrně 30 dní v standardním období a 90 v krizovém. (time-out) [1, snímek 138] V obou případech následně odchází zákazník ze systému.

V první větvi probíhá naskladnění nových čipů a součástek na interní sklady a následná výroba. Ta je omezena maximální denní výrobou, která slouží jako obslužná linka [1, snímek 136], kde pokud je na skladech součástek a čipů dostatek pro výrobu, zabere se jednotka kapacity [1, snímek 134] výroby a začne se vyrábět měnič. Po uplynutí jednoho dne se výroba dokončí měnič umístí na sklad měničů a kapacita výroby se opět uvolní, odkud ho můžou odebírat zákazníci.

Ve třetím modelu, který se zabývá situací v krizovém období při přijmutí nového dodavatele čipů, přibyl jeden dodavatel, který od začátku simulace čeká průměrně 60 dní na dokončení Softwarové mezivrstvy, pak ihned začne dovážet čipy ve výši dvou třetin dodávky v standardním období. Systém skončí po uplynutí jednoho období, které je v základu nastaveno na 365 dní.

### 3.2 Formy konceptuálního modelu

Vizualizace modelů je provedena pomocí petriho sítí v příloze **Petriho síť**.

## 4 Architektura simulačního modelu

Po spuštění simulačního modelu se zadanými parametry, které jsou popsány v **Kapitole 4.1** se spustí a proběhne simulace a po jejím dokončení se vypíše informace o jejím běhu, výsledné stavy skladů, počty spokojených a nespokojených zákazníků, odhadovaná výše obrátu z prodeje v eurech, odhadovaná výše zisků podle marže a odhadované ztráty na ziscích podle počtu neobsloužených zákazníků na konci simulovaného období.

Protože hlavní podstatou modelu je simulovat výrobu a prodej měničů za 12 měsíců, byla jako časová jednotka zvolen jeden den. Při spuštění bez parametrů je tedy modelový čas [1, snímek 21] roven 365 dnům.

Spuštění simulace znamená vytvořit a aktivovat procesy [1, snímek 121] a následně spustit samotnou simulaci.

Procesy reprezentují:

**Proces 1** Výrobu měničů z čipů a součástek dostupných na skladech

**Proces 2** Dovoz a výrobu sad ostatních součástek

**Proces 3** Dovoz čipů, přičemž pokud je spuštěn (spuštěn 1 až 2 krát podle parametrů)

**Proces 4** Příchod a odchod zákazníka a odběr měničů ze skladu (1 proces na každho zákazníka)

Parametry jednotlivých procesů lze opravit při spuštění pomocí zadaných argumentů popsaných v [Kapitole 4.1](#)

Zde jsou znázorněny jednotlivé procesy pomocí pseudokódů:

#### Proces 1

```
while na skladech je dostatek a nebylo dosaženo maximální denní výroby do
    vezmi ze skladů součástky a čipy na jeden měnič a zaber kapacitu výroby;
if je v na skladě méně čipů, než kolik je maximální denní výroba then
    denní výroba = čipy na skladě;
else
    denní výroba = max denní výroba;
odeber čipy a součástky ze skladů;
čekej den;
přidej na sklad měničů množství čipu odpovídající denní;
```

#### Proces 2

```
čekej den;
Přidej do skladu součástek 900;
```

#### Proces 3

```
čekej den;
if uběhlo 0 dní, nebo množství dní podle parametru zadaného při spuštění then
    přidej do skladu 900 čipů, nebo případně množství podle parametru;
```

#### Proces 4

```

Vytvoř a spusť proces časovač s dobou 30 dní, nebo průměrně dobu určenou parametrem;
if je není skladě dostatek měničů then
    zařaď se do fronty a čekej;
else
    zruš časovač;
    odeber měniče ze skladu;
    připočti prodané měniče ke statistikám;
    Připočti zákazníka ke statistikám;
for od začátku fronty po konec do
    if na skladu je dostatek měničů pro zákazníka then
        odstraň zákazníka z fronty;
        zruš jeho časovač;
        odeber měniče ze skladu;
        připočtiprodané měniče ke statistikám;
        Připočti zákazníka ke statistikám;
    else
        odejdi z cyklu;

```

#### Proces časovač, spuštěný procesem 4

```

if pokud časovač ještě nedoběhnul then
    čekej jeden den;
else
    přidej zákazníka do statistik nespokojených;
    odstraň zákazníka;

```

## 4.1 Spouštění simulačního modelu

Simulační model je potřeba před spuštěním nejdříve přeložit pomocí příkazu **make**. Spuštění simulačního modelu se provede příkazem **make run**, nebo po přeložení pomocí příkazu **./simulace**. Tímto způsobem se spustí model v základním režimu, který odpovídá standardnímu období znázorněné v příloze **Petriho sítě** na prvním místě a experimentu v kapitole **5.2.1**. Při spouštění simulace je také možné zadat až 4 argumenty, které ovlivní jednotlivé procesy následujícím způsobem:

1. argument celkovou simulovanou dobu v dnech (implicitně 365)
2. argument udává množství nových zákazníků každý den (implicitně 18)
  - pro simulaci krizového období je potřeba zadat 20
3. argument udává průměrnou maximální dobu, kterou je zákazník ochoten čekat na zboží (implicitně 30)
  - pro simulaci krizového období je potřeba zadat 90
4. argument udává průměrnou dobu tvorby nové SW vrstvy potřebné pro zapojení druhého dodavatele do provozu
  - pokud byl tento argument zadán, sníží se počet čipů, který původní dodavatel denně dodává na třetinu

- Při zadání 0 se proces druhého dodavatele nespustí a simuluje se tedy krizové období bez dalšího dodavatele

Spuštění programu tedy vypadá následovně:

```
./simulace <pocet simulovaných dní> <počet denních zákazníků> <Průměrná max doba čekání> <průměrná doba tvorby SW>
```

## 5 Podstata simulačních experimentů a jejich průběh

Cílem experimentů bylo nejdříve ověřit validitu modelu a umožnit případnou úpravu vstupních hodnot, aby byl model co nejbližší skutečnosti, dalším významem experimentů bylo zjistit, jestli přibrání nového dodavatele byl pro firmu ve výsledku výhodný krok a popřípadě odhadnout velikost ztrát, kterým bylo zabráněno.

### 5.1 Postup experimentování

Každý experiment zahrnuje spuštění simulace několikrát po sobě se stejnými argumenty. Všechny podstatné výstupní hodnoty byly poté vloženy do tabulky pro daný experiment. Na konci se z výsledků experimentů učiní závěr.

### 5.2 Experimenty

Pro každý experiment je shrnut cíl a smysl daného experimentu a každý experiment zahrnuje výpis výsledků s popisem závěru experimentu.

#### 5.2.1 Experiment 1

Cílem prvního experimentu bylo ověřit validitu modelu. Jsou použity hodnoty získané z dat standardního období poskytnutých firmou Controll Techniques.

Tento experiment byl spuštěn příkazem `./simulace`

Experiment1	Průměrná využitá kapacita výroby	Počet spokojených zákazníků	počet nespokojených zákazníků	Průměrná doba čekání na dodávku	Celkem prodáno měničů	Přibližný obrát z prodeje v €	Přibližná výše hrubého zisku €	Přibližné ztráty v €
Běh 1	900	6588	0	0	329400	105408000	24243840	0
Běh 2	900	6588	0	0	329400	105408000	24243840	0
Běh 3	900	6588	0	0	329400	105408000	24243840	0
Průměr	900	6588	0	0	329400	105408000	24243840	0

Z prvního experimentu vychází, že je model validní, protože v standardním období nevznikají téměř na zboží čekací fronty a výsledná výše celkem prodaným měničů a přibližný obrát za jejich prodej jsou velmi blízké reálným číslům za klidové období poskytnutých firmou Controll Techniques. Stejně tak odpovídá i vytížení výroby, které je díky dostatku čipů a součástek vždy maximální.

#### 5.2.2 Experiment 2

Tento experiment byl spuštěn příkazem `./simulace 365 20 90 60`



Experiment1	Průměrná využitá kapacita výroby	Počet spokojených zákazníků	počet nespokojených zákazníků	Průměrná doba čekání na dodávku	Celkem prodáno měničů	Přibližný obrat z prodeje v €	Přibližná výše hrubého zisku	Přibližné ztráty v €
Běh 1	834.247	6108	0	45.239	305400	97728000	22477440	0
Běh 2	826.027	6048	2	48.3739	302400	96768000	22256640	2944
Běh 3	824.384	6036	3	48.9948	301800	96576000	22212480	4416
Běh 4	819.452	6000	7	50.8619	300000	96000000	22080000	10304
Běh 5	812.877	5952	17	53.3218	297600	95232000	21903360	25024
Průměr	823.3974	6028.8	5.8	49.35828	301440	96460800	22185984	8537.6

Druhý experiment potvrzuje validitu modelu. Výsledná čísla celkem prodaných měničů a přibližného obratu z prodeje jsou velmi blízké reálným číslům za krizové období poskytnutých firmou Control Techniques. Dále také z experimentu vyplývá, že ačkoliv bylo prodáno o téměř deset procent měničů méně a zvýšilo se množství potenciálních zákazníků, jen velmi málo nakonec zrušilo objednávku z důvodu nedodání. Doba čekání na dodání měničů se však zásadně liší od standardního období, nicméně kvůli celkovému nedostatku jsou zákazníci ochotni tento problém tolerovat.

Dalo by se také předpokládat, že pokud by se firmě podařilo ještě domluvit ještě o něco vyšší dodávky čipů a součástek a rozšířit výrobní kapacitu, mohla by své výdělky naopak zvýšit.

### 5.2.3 Experiment 3

Tento experiment byl spuštěn příkazem `./simulace 365 20 90 0`

Experiment1	Průměrná využitá kapacita výroby	Počet spokojených zákazníků	počet nespokojených zákazníků	Průměrná doba čekání na dodávku	Celkem prodáno měničů	Přibližný obrat z prodeje v €	Přibližná výše hrubého zisku	Přibližné ztráty v €
Běh 1	316.438	2328	3313	81.3469	116400	37248000	8567040	4876736
Běh 2	316.438	2328	3317	81.2816	116400	37248000	8567040	4876736
Běh 3	316.438	2328	3312	81.3672	116400	37248000	8567040	4875264
Běh 4	316.438	2328	3312	81.5382	116400	37248000	8567040	4875264
Běh 5	316.438	2328	3292	81.4143	116400	37248000	8567040	4845824
Průměr	316.438	2328	3309.2	81.38964	116400	37248000	8567040	4869964.8

Třetí a poslední experiment ukazuje, že rozhodnutí přijmout nového dodavatele bylo rozhodně výhodné a to i přes vysoké počáteční náklady ve výši přibližně 1500000 €, protože přibližné ztráty kvůli nedodání zboží zákazníkům činí ve výsledku simulace násobky této částky. Navíc je evidentní, že průměrná čekací doba je ještě o poznání delší, než u předchozího experimentu a hraničí s maximální dobou, kterou jsou zákazníci ochotni na dodávku čekat.

## 6 Shrnutí simulačních experimentů a závěr

Celkem bylo provedeno 13 experimentů v s různými parametry a výsledky se zdají souhlasit s reálnými čísly dodanými firmou Control Techniques.

Dále bylo experimenty potvrzeno, že přibrání nového dodavatele byl krok, který se za jeden rok vyplatil více než jedním způsobem a do budoucna poskytl firmě výhodu nad konkurencí. Ze simulací vychází, že přijmutím nového dodavatele bylo přijmenším zabráněno ztrátám na hrubém zisku ve výši přibližně 4869964.8 € při extra investici přibližně 1500000 € a ve výsledku přibýlo potenciálních zákazníků.

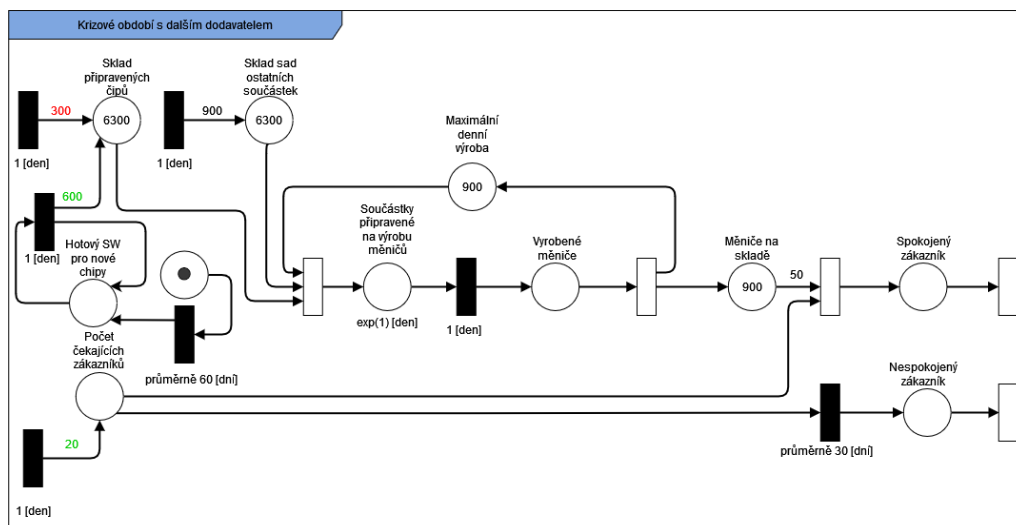
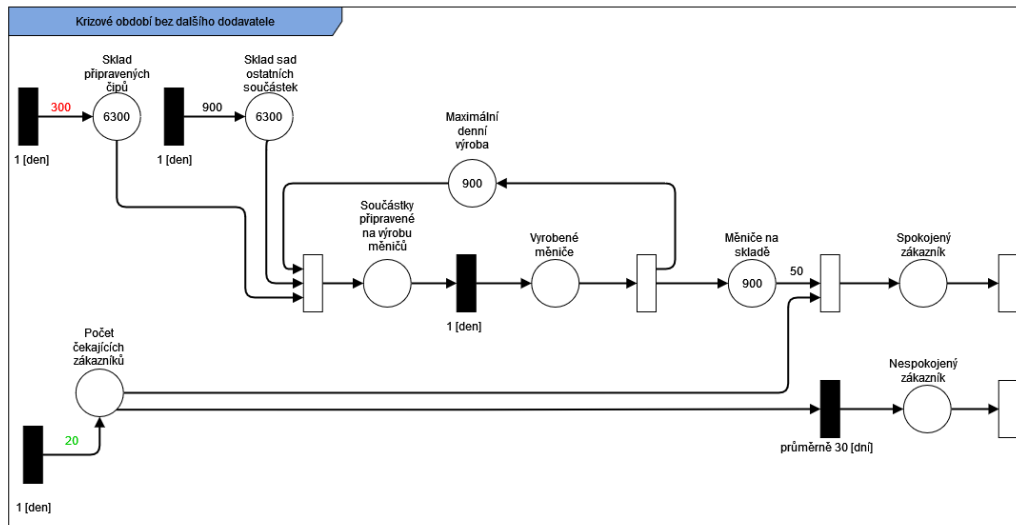
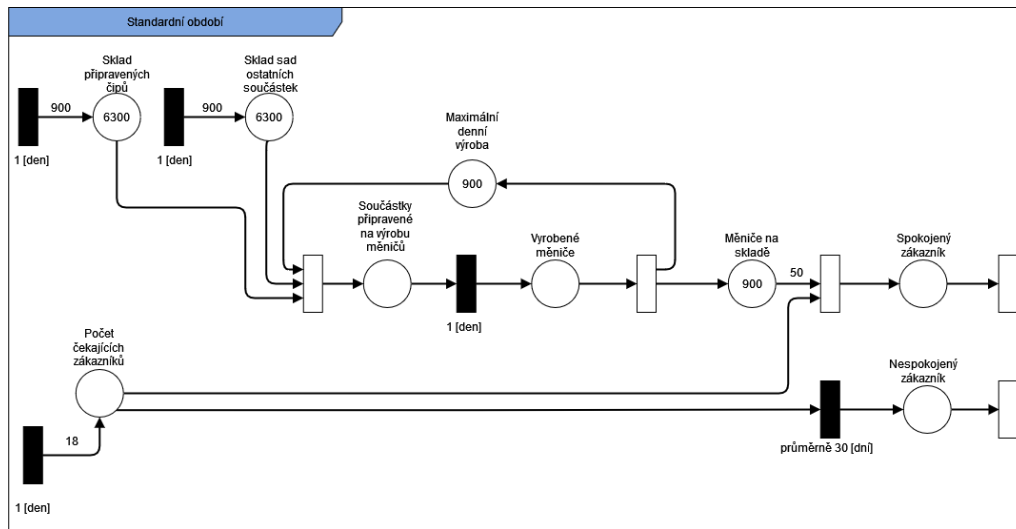
## 7 Literatura

### Reference

- [1] Peringer, P.+ Hrubý, M.: Modelování a simulace, prezentace kurzu Modelování a simulace na FIT VUT | [online]. Copyright © [cit. 09.12.2021].  
Dostupné z: <https://www.fit.vutbr.cz/study/courses/IMS/public/prednasky/IMS.pdf>
- [2] Pohony-Menice.cz - Výrobce a dodavatel měničů frekvence. Pohony-Menice.cz - Výrobce a dodavatel měničů frekvence [online]. Copyright © 2011 [cit. 10.12.2021].  
Dostupné z: <https://www.pohony-menice.cz/>  
Control Techniques | AC and DC Drives | Servo Drives and Servo Motors. Document Moved [online]. Copyright © 2021 Nidec Motor Corporation. All Right Reserved. A NIDEC Group Company [cit. 10.12.2021].  
Dostupné z: <https://acim.nidec.com/drives/control-techniques/>
- [3] Peringer, P.; Leska, D.;Martinek, D.:SIMLIB Peringer, P.; Leska, D.; Martinek, D.: SIMLIB/C++ (SIMulation LIBrary for C++). [online].  
Dostupné z: <http://www.fit.vutbr.cz/~peringer/SIMLIB/>

## 8 Přílohy

### 8.1 Petriho sítě



## 8.2 Data dodaná firmou Control Techniques

Členský stát	Prodáno měničů 2019	Obrat v € 2019	Prodáno měničů 2020	Obrat v € 2020	Prodáno měničů 2021	Obrat v € 2021
Německo	65007	20803000	65664	21013000	58440	18702000
Francie	52913	16933000	51876	16601000	47725	15273000
Spojené království	45158	14451000	47040	15053000	44217	14150000
Itálie	40395	12927000	39996	12799000	35996	11519000
Španělsko	26030	8330000	26030	8330000	24207	7747000
Nizozemsko	15524	4968000	15072	4824000	14318	4582000
Švédsko	11350	3633000	11128	3561000	9792	3134000
Polsko	9603	3073000	9603	3073000	8642	2766000
Belgie	9597	3072000	9409	3011000	8844	2831000
Rakousko	7996	2559000	7840	2509000	6899	2208000
Dánsko	6082	1947000	6336	2028000	5702	1825000
Finsko	5250	1680000	5250	1680000	4987	1596000
Řecko	5356	1714000	5200	1664000	4888	1565000
Portugalsko	4139	1325000	4268	1366000	3969	1271000
Irsko	4435	1420000	4620	1479000	4065	1301000
Česko	3763	1205000	3880	1242000	3569	1143000
Rumunsko	3330	1066000	3298	1056000	3067	982000
Maďarsko	2754	882000	2700	864000	2511	804000
Slovensko	2039	653000	1980	634000	1861	596000
Lucembursko	1030	330000	1000	320000	940	301000
Bulharsko	980	314000	980	314000	891	286000
Slovinsko	1020	327000	1010	324000	909	291000
Litva	1029	330000	1040	333000	946	303000
Lotyšsko	699	224000	679	218000	645	207000
Kypr	391	126000	380	122000	338	109000
Estonsko	388	125000	396	127000	352	113000
Malta	428	138000	416	134000	366	118000
SUMA	326686	104555000	327091	104679000	299086	95723000