



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

## SIMULAČNÍ MODELY VÝROBY MAPUJÍCÍ TOK HODNOT

VALUE STREAM MAPPING SIMULATION MODEL

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Lukáš Zámečník

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jiří Hloska, Ph.D.

BRNO 2021



# Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student:	<b>Lukáš Zámečník</b>
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Stavba strojů a zařízení
Vedoucí práce:	<b>Ing. Jiří Hloska, Ph.D.</b>
Akademický rok:	2020/21

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

## **Simulační modely výroby mapující tok hodnot**

### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Vytvoření parametrizovatelného simulačního modelu logistického řetězce, který zachycuje materiálový a informační tok včetně toku hodnot. Vyhodnocení efektivity modelovaného systému provést z pohledu:

Využití výrobních zdrojů.

Využití skladových kapacit.

Využití transportních a manipulačních zdrojů.

Tvorby přidané hodnoty, tedy rozlišení činností přispívající k hodnotě produktu a činností bez přidané hodnoty.

**Cíle bakalářské práce:**

Definování potřebných technických parametrů, které je třeba určit pro vyhodnocení efektivity modelovaného systému.

Návrh a vytvoření uživatelského rozhraní k simulačnímu modelu, pomocí kterého bude možné parametry zadávat a měnit.

Simulační model bude umožňovat statistické vyhodnocení výše uvedených kritérií (ukazatelů).

Návrh matice simulačních experimentů, pomocí kterých bude možné provést citlivostní analýzu zkoumající vliv změny vhodně vybraných parametrů na související kritéria.

Provedení a vyhodnocení simulačních experimentů.

**Seznam doporučené literatury:**

BANGSOW, Steffen. Tecnomatix Plant Simulation. 2nd ed. New York: Springer, 2020, ISBN 978--030-41543-3.

NOCHE, Bernd a Mathias BÖS. Simulation der Transportverkehre. MAYER, Gottfried, Carsten PÖGE, Sven SPIECKERMANN a Sigrid WENZEL, ed. Ablaufsimulation in der Automobilindustrie [online]. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2020, 2020-03-14, s. 155-171 [cit. 2020-10-06]. ISBN 978-3-662-59387-5. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-662-59388-2\_11.

BANKS, Jerry, CARSON II, Barry L. NELSON a David M. NICOL. Discrete-event system simulation. Upper Saddle River, N.J: Pearson Education, Inc., 2009. ISBN 978-013-8150-372.

KÜHN, Wolfgang. Digitale Fabrik. München [u.a.]: Hanser, 2006. ISBN 978-344-6406-193.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D.  
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se v teoretické části dotýká témat logistiky, simulací, štíhlé výroby a mapování toku hodnot. Hlavním cílem praktické části je tvorba parametrizovatelného simulačního modelu logistického řetězce, který zachycuje materiálový a informační tok včetně toku hodnot

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

ZÁMEČNÍK, Lukáš. *Simulační modely výroby mapující tok hodnot* [online]. Brno, 2021 [cit. 2021-05-21]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/132208>



## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením  
Ing

## PODĚKOVÁNÍ

Zde bych rád poděkoval mému vedoucímu Ing. Jiřímu Hloskovi Ph.D. za cenné rady, připomínky a odbornou pomoc v průběhu tvorby práce. Rád bych také ocenil jeho vlídnost a časovou flexibilitu.

Poděkování rovněž patří mé rodině a přítelkyni za podporu při studiu



# OBSAH

<b>ÚVOD .....</b>	<b>11</b>
<b>1 LOGISTIKA .....</b>	<b>12</b>
1.1 LOGISTICKÝ ŘETĚZEC .....	12
1.2 MATERIÁLOVÝ TOK .....	13
1.3 INFORMAČNÍ TOK .....	14
<b>2 SIMULACE.....</b>	<b>15</b>
2.1 NÁSTROJE PRO TVORBU SIMULAČNÍHO MODELU .....	16
2.2 SW PLANT SIMULATION .....	16
<b>3 ŠTÍHLÁ VÝROBA.....</b>	<b>17</b>
3.1 TOYOTA PRODUCTION SYSTEM .....	17
3.2 JIDOKA .....	18
3.3 JUST IN TIME .....	18
3.4 KANBAN .....	18
<b>4 MAPOVÁNÍ TOKU HODNOT .....</b>	<b>19</b>
4.1 MAPOVÁNÍ TOKU HODNOT IDENTIFIKUJE .....	19
4.1.1 NADVÝROBA.....	19
4.1.2 NADBYTEČNÉ ZÁSoby .....	19
4.1.3 POHYB.....	19
4.1.4 TVORBA VADNÝCH VÝROBKŮ .....	20
4.1.5 ZPRACOVÁNÍ .....	20
4.1.6 ČEKÁNÍ.....	20
4.1.7 TRANSPORT .....	20
4.2 DŮLEŽITÉ POJMY VSM .....	20
4.3 SYMBOLIKA MAPOVÁNÍ TOKU HODNOT .....	21
<b>5 SIMULAČNÍ MODEL.....</b>	<b>22</b>
5.1 POPIS MODELOVANÉHO SYSTÉMU .....	22
5.1.1 POPIS NAKLÁDKY.....	23
5.1.2 POPIS VYKLÁDKY A PRVNÍ ČÁSTI VÝROBNÍHO ŘETĚZCE.....	24
5.1.3 POPIS DRUHÉ ČÁSTI VÝROBNÍHO ŘETĚZCE A EXPEDICE .....	24
5.2 PARAMETRY SYSTÉMU .....	25
5.3 VERIFIKACE A VALIDACE .....	26
5.3.1 VALIDACE DODÁVEK POLOTOVARŮ .....	26
5.3.2 VALIDACE VÝROBNÍCH, KONTROLNÍCH A REPASNÍCH LINEK .....	28
5.3.3 VALIDACE EXPEDIČNÍ ČÁSTI MODELU .....	32
5.4 UŽIVATELSKÉ ROZHRANÍ.....	33
<b>6 MATICE EXPERIMENTŮ .....</b>	<b>34</b>
6.1 VARIANTA A .....	35
6.2 VARIANTA B .....	36
6.3 VARIANTA C .....	38
6.4 VARIANTA D.....	39
6.5 VARIANTA E .....	40
6.6 VYHODNOCENÍ EXPERIMENTŮ .....	42

---

6.6.1	VYHODNOCENÍ PRŮCHODNOSTI .....	42
6.6.2	VYHODNOCENÍ STŘEDNÍHO ČASU PRŮCHODU A VA TIME .....	42
6.6.3	VYHODNOCENÍ VYTÍŽENÍ VÝROBNÍCH ZDROJŮ .....	43
6.6.4	VYHODNOCENÍ SKLADOVÝCH KAPACIT .....	44
6.6.5	VYHODNOCENÍ KVALITY VÝROBY .....	44
6.6.6	VYUŽITÍ TRANSPORTNÍCH ZDROJŮ .....	44
<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>.....</b>	<b>46</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ .....</b>	<b>.....</b>	<b>49</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>.....</b>	<b>50</b>

## ÚVOD

S rostoucí automatizací a rostoucím zájmem o aplikaci metod štihlé výroby na výrobní systémy, roste také zájem o tvorbu simulací výrobních systémů

# 1 LOGISTIKA

Logistika je obor, který lze charakterizovat jako řízení materiálového, informačního i finančního toku s ohledem na včasné a ekonomicky nejvýhodnější řešení požadavků všech zúčastněných stran, a hlavně finálního odběratele. [1] Cílem logistiky je postarat se o tok a rozmístění zdrojů tak, aby byl zdroj vždy k dispozici ve správný čas a na správném místě, kdy nebo kde je ho pro další operaci potřeba v požadovaném množství a kvalitě

Hmotná stránka (hledisko) logistického řetězce spočívá v přemístování a uchování věcí, které jsou schopny uspokojit určitou potřebu konečného zákazníka

- **Obsazenost** [ks] je míra zaplnění určitého místa, kterým prochází materiálový tok vzhledem ke kapacitě

### 1.3 INFORMAČNÍ TOK

Z pohledu výroby považujeme informační tok za nedílnou součást materiálového toku, kdy pohyb materiálu vede k vytvoření informací nebo naopak informace jako například objednávka zákazníka vede k tvorbě nebo usměrnění následujícího toku materiálu

---

## 2 SIMULACE

Jedná se o napodobení zkoumaného systému

Důležitými pojmy simulace jsou také již zmíněná validace nebo verifikace. Dalo by se říct, že jsou to nejdůležitější úkony, které je třeba vykonat při tvorbě simulačního modelu



### 3 ŠTÍHLÁ VÝROBA

Štíhlá výroba neboli Lean Manufacturing, je metoda, která si dává za cíl minimalizaci činností, které nepřinášejí žádnou hodnotu zákazníkovi a zároveň maximalizaci činností přinášejících hodnotu zákazníkovi nebo produktu

---

Dosažení lepší výkonnosti je možné pomocí omezení plýtvání na minimum

## 4 MAPOVÁNÍ TOKU HODNOT

Přeloženo z anglického Value stream mapping (VSM), je jedna z metod štlílé výroby, která pochází ze společnosti Toyota Motors Corporation, kde ji v období 50

#### **4.1.4 TVORBA VADNÝCH VÝROBKŮ**

Vadné výrobky jsou dalším plýtváním, jelikož je potřeba je opravit, případně úplně vyhodit

není ochoten zaplatit

## 5 SIMULAČNÍ MODEL

Předmětem praktické části je tvorba parametrizovatelného simulačního modelu logistického řetězce s uživatelským rozhraním umožňujícím zadávat a měnit parametry

haly, kde už bude sledován počet expedovaných výrobků. Na příloze P1 si lze prohlédnout celý simulační model z půdorysu, pohled byl vytvořen pomocí funkce Planning View

### 5.1.2 POPIS VYKLÁDKY A PRVNÍ ČÁSTI VÝROBNÍHO ŘETĚZCE

Obr. 9 zobrazuje první část výrobního řetězce, na levé straně se nachází vykládka kamionů do skladů. Ze skladů jsou polotovary přesouvány do stanic obrábění A a B, z těchto stanic se obrobené polotovary posouvají do mezi zásobníků. Z těchto zásobníků čerpá další výrobní stupeň, a to stanice svařovny



správně vyrobených a expedovaných kusů

### 5.3 VERIFIKACE A VALIDACE

Úkolem verifikace je zhodnotit, zda simulační model v dostatečné míře reprezentuje pojmový model, jak z pohledu struktury modelu, tak i z pohledu logického fungování, které je předpokládáno. Pro ověření logického fungování bylo využíváno funkce breakpoint, kterou Plant Simulation nabízí, jedná se o bod vložený do naprogramované metody. Jakmile je metoda během simulace spuštěna a narazí na breakpoint. Simulace se zastaví a je možné krok po kroku napsanou metodu odkrokovat a sledovat její vliv na simulační model

$C_A$  [ks] je kapacita kamionu A

$d$  [den] počet simulovaných dní

dále rovnice pro celkový čas potřebný pro dodávku polotovarů.

$$t_{DA} = t_{TA} + t_{NA} + t_{VA} \quad (2)$$

Kde:

$t_{DA}$  [min] je celkový čas dodávky polotovarů A

$t_{TA}$  [min] je čas, za který kamion urazí dráhu od dodavatele A ke skladu A

$t_{NA}$  [min] je čas potřebný pro naložení polotovarů A

$t_{VA}$  [min] je čas potřebný pro vyložení polotovarů A do skladu

Analogicky pro dodavatele polotovarů B:

$$k_B = C_B \cdot d \quad (3)$$

Kde:

$k_B$  [ks] je celkový počet předpokládaných doručených polotovarů za 7 dní

$C_B$  [ks] je kapacita kamionu B

$d$  [den] počet simulovaných dní

$$t_{DB} = t_{TB} + t_{NB} + t_{VB} \quad (4)$$

Kde:

$t_{DB}$  [min] je celkový čas dodávky polotovarů

$t_{TB}$  [min] je čas, za který kamion urazí dráhu od dodavatele ke skladu

$t_{NB}$  [min] je čas potřebný pro naložení polotovarů B

$t_{VB}$  [min] je čas potřebný pro vyložení polotovarů B do skladu

Do rovnic (1), (2), (3) a (4) byly dosazeny zvolené parametry

Po nasimulování sedmidenního běhu simulačního modelu bylo dosaženo shodných počtů doručených polotovarů do skladů A a B, jak bylo předpokládáno v rámci analytických propočtů

---

Montáž	8:00	20	7:00	98	5:00
Kontrola č					

$$k_{OB2} = \frac{60}{T} \cdot t_{ef2} = \frac{60}{5} \cdot 14 = 168 \text{ ks}$$

**3. Scénář s dvousměnným provozem včetně zahrnutí deterministického vlivu přeseřzení s efektivním časovým fondem  $t_{e3}$  13,5 hodin, tj. 13:30:00.**

Efektivní časový fond byl zkrácen o dobu nutnou pro přeseřzení stroje tzn

V následujícím grafu obr. 11 je vidět grafické znázornění počtu průchodů výrobní linkou obrábění A, získaných pomocí analytických výpočtů a také hodnoty získané simulačním modelem. Dále je možné v grafu pozorovat očekávané snižování počtu průchodu s přibývajícimi vedlejšími vlivy

### 5.3.3 VALIDACE EXPEDIČNÍ ČÁSTI MODELU

Jako poslední je třeba provést validaci expedice. Bude sledován vyvážecí okruh vozíku jak z pohledu funkčnosti počtu nakládaných hotových kusů, tak z pohledu funkčnosti nastavitelných časových údajů pro naložení a složení hotových kusů



## 5.4 UŽIVATELSKÉ ROZHŘANÍ

Uživatelské rozhraní si lze prohlédnout na příloze P1, jedná se o tlačítka, kterými lze nastavovat signální hladiny zásobníků a skladů viz. Obr. 9 a Obr. 10

## 6 MATICE EXPERIMENTŮ

Dalším cílem této bakalářské práce je tvorba matice experimentů, která bude sloužit pro citlivostní analýzu simulačního modelu. Vzhledem k tomu, že model byl již vytvořen, verifikován a validován, je možné k tomuto cíli přistoupit.

Vytvořenou matici experimentů a její konkrétní parametry lze vidět na příloze P3. Sestává z 5 variant (A až E), kdy první varianta je výchozí a na následujících bude demonstrováno, jak lze postupně výrobní systém pomocí různých opatření, která budou dále popsány optimalizovat směrem k lepšímu

## 6.1 VARIANTA A

Jak již bylo zmíněno na začátku kapitoly, první varianta je výchozí, tedy nastavena tak, aby dobře reflektovala následné optimalizační změny k lepšímu



podíl „Blokace“

V tab

Na obr. 14 již není vidět žádný podíl „Blokace“, byl nahrazen podílem „Čekání“

*Tab. 10 Data průchodu a VA time (C) [zdroj: vlastní]*

Prvek	Střední čas průchodu [dd:hh:mm:ss]	VA time [%]
Polotovar A	1:23:08:47	0,44
Polotovar B	2:04:12:33	0,40

Obsazenost skladů a mezioperačních zásobníků zůstává stejná tak, jak byla nastavena v předchozí variantě

expedovaných výrobků vzrostl na 7770 kusů za dobu simulace, tj



v reálném provozu docílit například zakoupením nových nebo novějších strojů, jež disponují novějšími technologiemi a jsou tak schopny urychlit celý výrobní proces

## 6.6 VYHODNOCENÍ EXPERIMENTŮ

Vyhodnocení proběhne pro všechny sledované ukazatele jednotlivě v podkapitolách

vyšší doby průchodu, to lze odůvodnit tím, že varianta E zkrátila takty jednotlivých operací o 10 % a průchod logistickým řetězcem je tak pro tuto variantu rychlejší

#### **6.6.4 VYHODNOCENÍ SKLADOVÝCH KAPACIT**

Pro vyhodnocení vytížení skladových kapacit je dostačující srovnání tabulek z prvních dvou variant, jelikož zásoby pak i pro ostatní varianty zůstaly stejné nebo velmi podobné



náklady na dopravu

## ZÁVĚR

V teoretické části této práce byly přiblíženy základní pojmy logistiky, jejichž znalost je nezbytná pro následující probíraná témata

## POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

[1] SIXTA, Josef a Václav MAČÁT

- [16] ROSER, Christoph. *When to Do Value Stream Maps (and When Not!)*. [online]. 2015.  
[cit



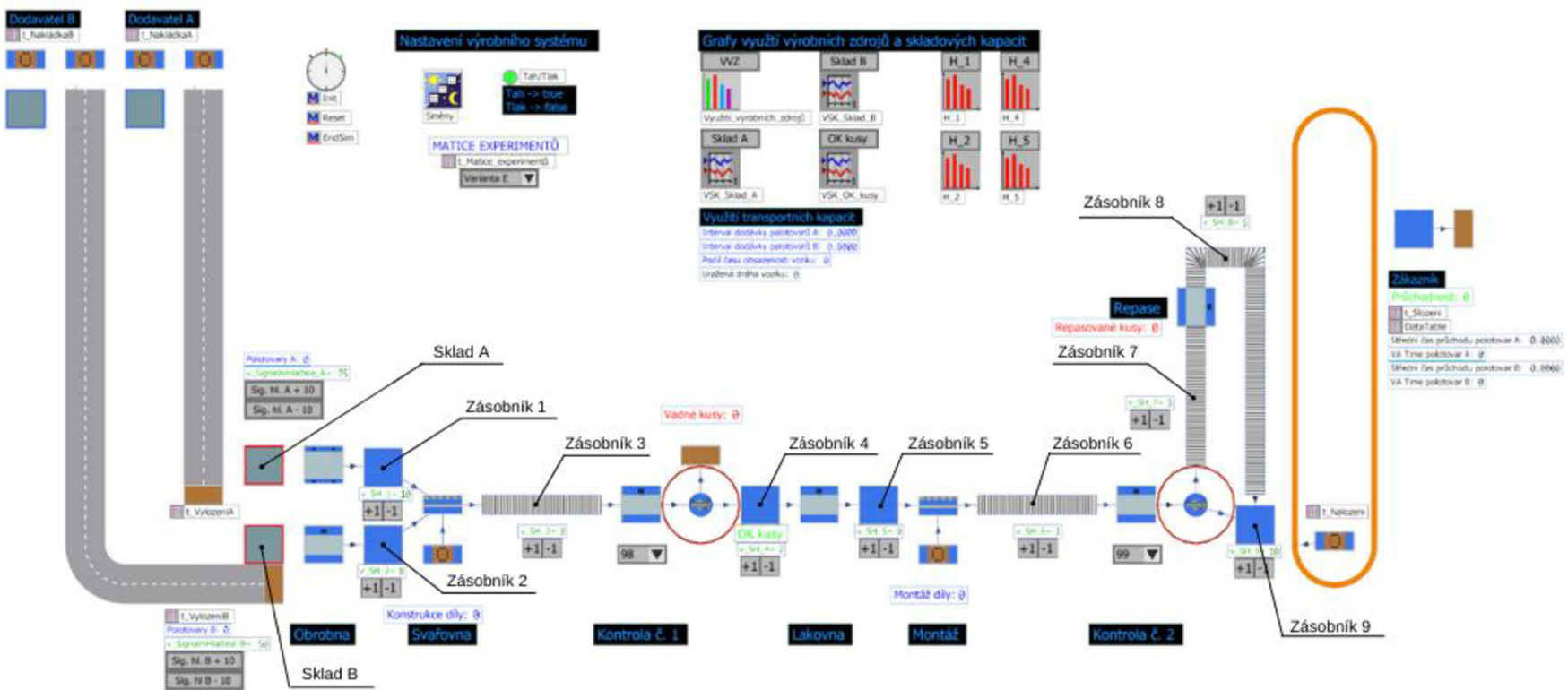
## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

C	[ks]	Kapacita kamionu
d	[den]	Počet simulovaných dní
D	[%]	Dostupnost stroje
JIT	[-]	Just in Time
k	[ks]	Celkový počet předpokládaných doručených polotovarů za 7 dní
k <sub>OA</sub>	[ks]	Průchodnost výrobní operace obrábění A za den
k <sub>OB</sub>	[ks]	Průchodnost výrobní operace obrábění B za den
MIFA	[-]	Material and Information Flow Analysis
MTTR	[-]	Mean Time to Repair, Střední čas potřebný pro opravu stroje
NVA	[-]	Non Value Added, Nepřidaná hodnota
T	[min]	Takt výrobní operace
t <sub>D</sub>	[min]	Celkový čas přepravy
t <sub>ef</sub>	[hod]	Efektivní časový fond
t <sub>N</sub>	[min]	Čas potřebný pro naložení dílů
TPS	[-]	Toyota Production System
t <sub>T</sub>	[min]	Čas trasy
t <sub>V</sub>	[min]	Čas potřebný pro vyložení dílů
VA	[-]	Value Added, Přidaná hodnota
VSM	[-]	Value Stream Mapping, Mapování toku hodnot

## SEZNAM PŘÍLOH

- P1            Layout simulačního modelu
- P2            Vývojový diagram nakládky polotovarů A
- P3            Matice experimentů
- P4            Histogramy obsazenosti vybraných mezioperačních zásobníků

Príloha P1 : Layout simulačního modelu.



---

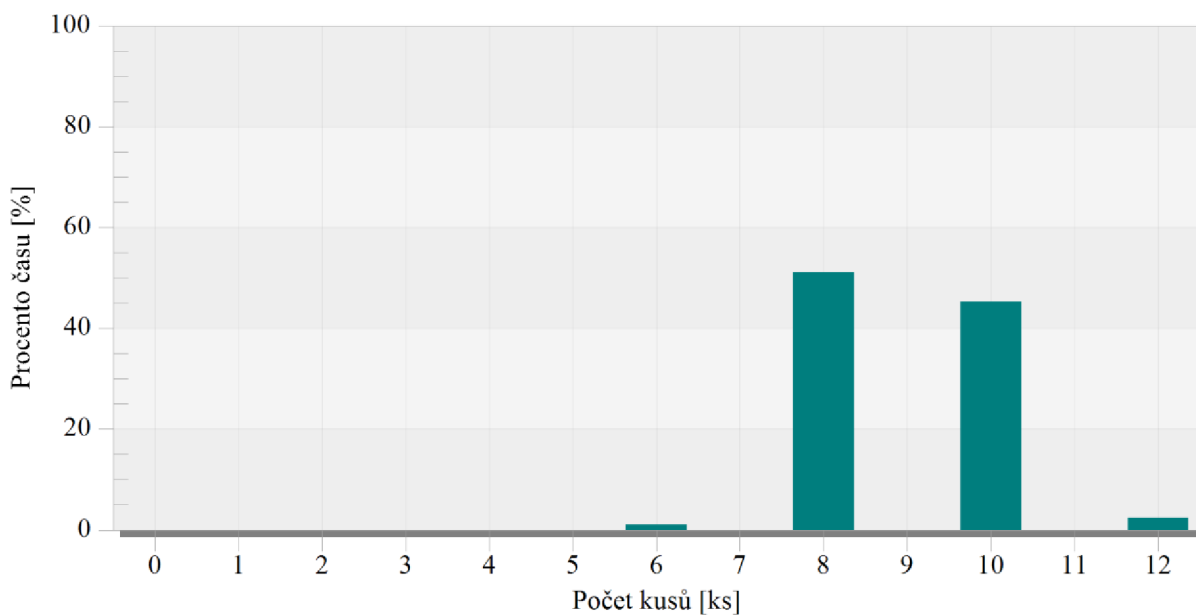
Příloha P2: Vývojový diagram nakládky polotovarů A

Příloha P3: Matice experimentů, pokračování na další straně

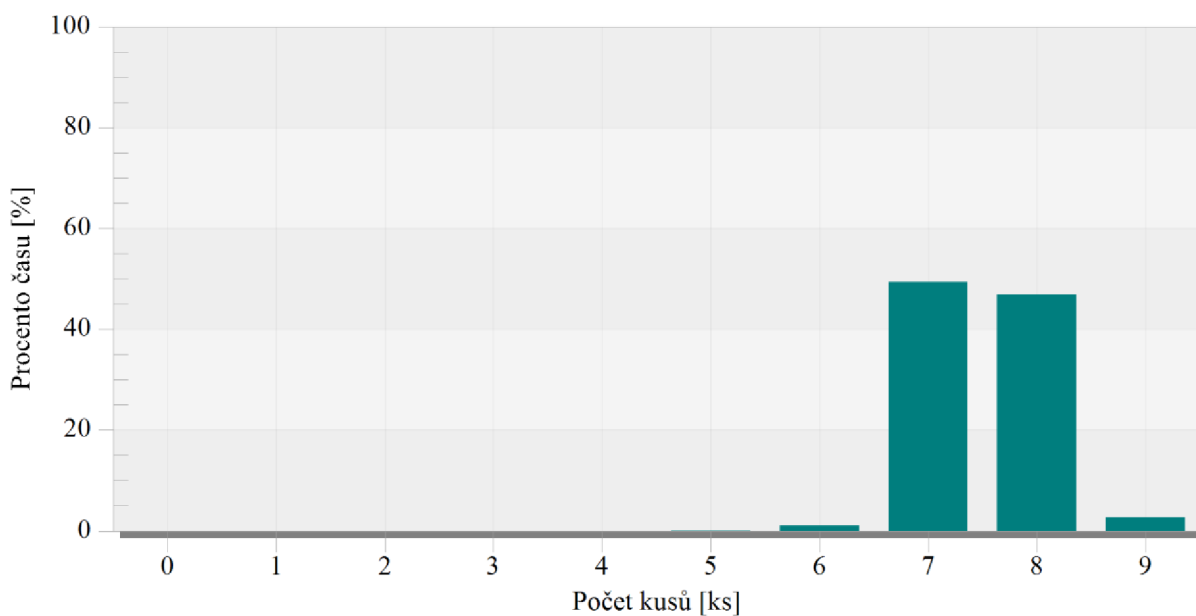
Signální hladina: Sklad A [ks]	200	70	70	70	75
Signální hladina: Sklad B [ks]	150	50	50	50	50
SH: Mezioperační zásobník 1 [ks]		16	16	12	10
SH: Mezioperační zásobník 2 [ks]		10	10	8	8
SH: Mezioperační dopravník 3 [ks]		3	3	3	3
SH: Mezioperační zásobník 4 [ks]		8	9	8	7
SH: Mezioperační zásobník 5 [ks]		11	11	9	9
SH: Mezioperační dopravník 6 [ks]		3	3	3	3
SH: Mezioperační dopravník 7 [ks]		3	3	3	3
SH: Mezioperační dopravník 8 [ks]		5	5	5	5
SH: Mezioperační zásobník 9 [ks]		10	10	10	10
Kontrola č					

Příloha P4: Obsazenosti vybraných mezioperačních zásobníků v podobě histogramů (E)

### Obsazenost zásobníku 1

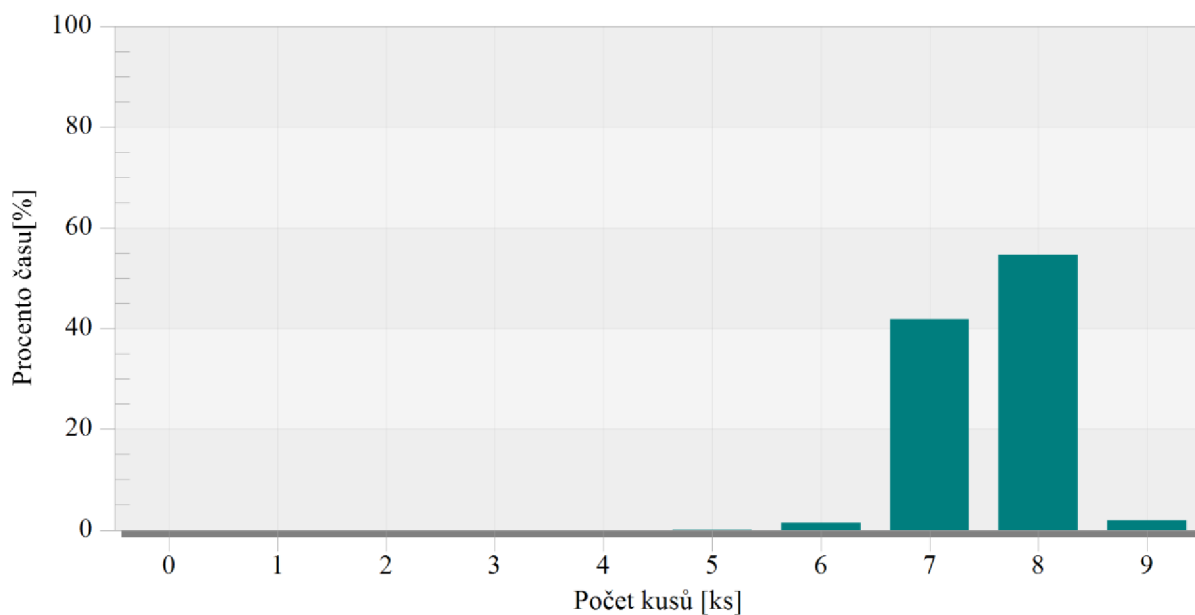


### Obsazenost zásobníku 2



Příloha P4: (pokračování)

## Obsazenost zásobníku 4



## Obsazenost zásobníku 5

