



# Modelování a simulace – IMS

## Okruh 12. – SHO vo výrobě

### Dokumentácia

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>2</b>
1.1	Čerpanie a konzultácia dát . . . . .	2
1.2	Overovanie validity dát . . . . .	2
<b>2</b>	<b>Rozbor témy</b>	<b>2</b>
2.1	Použité metódy, postupy a technológie . . . . .	2
2.2	Pôvod metód a technológií . . . . .	2
<b>3</b>	<b>Koncepcia modelu</b>	<b>3</b>
<b>4</b>	<b>Architektúra simulačného modelu</b>	<b>3</b>
4.1	Vstupy modelu . . . . .	3
4.2	Výstup simulácie . . . . .	4
4.3	Spúšťanie simulačného modelu . . . . .	4
<b>5</b>	<b>Podstata simulačných experimentov a ich priebeh</b>	<b>4</b>
5.1	Postup experimentovania . . . . .	4
5.2	Priebeh experimentov . . . . .	4
5.2.1	Validácia modelu . . . . .	5
5.2.2	Najlepšia konfigurácia experimenov (simulácia) . . . . .	5
5.2.3	Najhoršia konfigurácia experimenov (simulácia): . . . . .	5
5.3	Závery experimentov . . . . .	5
<b>6</b>	<b>Zhrnutie simulačných experimentov</b>	<b>6</b>
<b>7</b>	<b>Čerpanie zdrojov</b>	<b>6</b>

# 1 Úvod

V tejto práci je riešená implementácia procesu výroby chleba, ktorá je použitá na zostavenie modelu testujúceho najlepšie možné nakonfigurovanie množstva strojov, pracovníkov a miestností výroby pre rôzne scenáre požiadaviek množstva chlebov v daný deň. Danú prácu vypracovali študenti Zdenek Lapeš a Andrej Bínovský z Fakulty informačných technológií VUT v Brne.

## 1.1 Čerpanie a konzultácia dát

V rámci tejto práce boli dáta použité a konzultované z praxe, ktoré boli získané z výrobného procesu chleba z Brnenskej pekárne **Crocus**[1]. Pre dosiahnutie čo najvalidnejšieho modelu procesu výroby chleba sme spomenutú pekáreň navštívili a získali informácie o problematike každého procesu výroby.

## 1.2 Overovanie validity dát

Po celý čas modelovania boli dáta overované a validované na základe komunikácie majiteľa pekárne. Hneď zo začiatku sme si namodelovali a porovnali presnú konfiguráciu spomenutej pekárne. Čo nám docielilo overenie presnosti modelu na základe porovnania skutočného času výroby s časom výroby chleba v modeli.

# 2 Rozbor témy

Postup výroby chleba sa skladá z viacerých procesov, ktoré sú navzájom závislé:

- **Výroba cesta** – Proces výroby cesta spočíva zo zmiešania všetkých surovín do jedného. Počet a dostupnosť surovín sa v modeli neberie k úvahe. Jeden proces výroby cesta reprezentuje jeden mixér a výsledkom je **140kg cesta**. Proces trvá **10 minút ± 2 minúty**.
- **Krájanie cesta na bochníky** – Krájanie cesta na bochníky je proces, ktorý sa vykonáva pracovníkom ručne. V modeli teda platí, že jeden pracovník sa rovná jednému stolu na krájanie. Vstupom procesu je **1kg cesta** a výstupom je **1 bochník**. Proces trvá **30 sekúnd ± 5 sekúnd**.
- **Fermentácia bochníkov** – Po nakrájaní sa bochníky ukladajú na plech do vozíka. Jeden vozík obsahuje miesto na **70 bochníkov**. Po naplnení sa vozík odvezie do fermentačnej miestnosti na čas **20 minút ± 2 minúty**.
- **Pečenie chleba** – Po fermentácii sa bochníky na vozíkoch uložia do pece, kde sa pečú. Jedna pec má kapacitu **1 vozíku**, teda **70 bochníkov**. Proces trvá **30 minút ± 2 minúty**.
- **Balenie chleba** – Po upečení pracovníci roztriedia chleba do bedien. Balenie jedného chleba pracovníkom trvá **10 sekúnd ± 3 sekundy**.

## 2.1 Použité metódy, postupy a technológie

Na implementáciu modelu bol použitý programovací jazyk **C++** za podpory simulačnej knižnice **SimLib**. Hlavným dôvodom použitia jazyka **C++** je využitie naimplementovanej knižnice **SimLib**. Knižnicu sme si vybrali z dôvodu modelovania procesov výroby na základe petriho siete, ktorá toto modelovanie podporuje. Príklady a správne použitie knižnice sme čerpali z priručiek predmetu **IMS**[2]. Na kompiláciu sme využili nástroj **CMake**. Na vývoj bol zvolený operačný systém **Linux Ubuntu**, ktorý bežal vo virtualizovanom prostredí nástroja **Docker**.

## 2.2 Pôvod metód a technológií

- **C++** – Verzia C++20: <https://en.cppreference.com/w/cpp/20>.
- **SimLib** – Verzia 3.09[3]. Autori knižnice sú Petr Peringer, David Leska a David Martinek.
- **CMAKE** – Verzia 3.5: <https://cmake.org/>.
- **Docker** – Verzia 20.10.17: <https://www.docker.com/>.
- **Linux Ubuntu** – Verzia 20.04: <https://ubuntu.com/>.

### 3 Koncepcia modelu

Konceptuálny model pekárne je zobrazený pomocou petriho siete V modeli je zobrazený zjednodušený proces výroby chleba. Napriek zjednodušeniu modelu je zachovaná korektnosť simulácie.

- **Výroba cesta** – Pri prvom procese je zanedbateľná dostupnosť a naskladnovaie surovín, pretože to zaobstaráva externá firma. Výstup a čas procesu je totožný s realitou.
- **Krájanie cesta na bochníky** – Pri druhom procese sme reálne dáta dekomponovali. Získané dáta z pekárne reprezentovali čas nakrájania 70 bochníkov (zo 70 kg cesta) na jeden vozík pracovníkmi za čas **10 min ± 2 minúty**. Pre systém sme zvolili proces krájania 1kg cesta na 1 bochník, 1 pracovníkom za čas **30 sekúnd ± 5 sekúnd**.
- **Fermentácia bochníkov** – Pri procese fermentácie sme zachovali vstupy, výstupy a časy na základe reálnych dát.
- **Pečenie chleba** – Pri procese pečenia sme zachovali vstupy, výstupy a časy na základe reálnych dát.
- **Balenie chleba** – Proces balenie chleba reprezentuje viacero podprocesov ako napríklad príprava a čistenie bedien. Balenie spočíva v roztriedení chleba do bedien a ich následne uloženie do skladu. Reálny proces bol meraný na zabalenie jedného vozíku 70 chlebov do bedien za čas **10 min ± 2 minúty**. Jedna bedna môže obsahovať 3 až 4 chleby. Proces v modeli sme dekomponovali na zabalenie jedného chleba jedným pracovníkom za čas **10 sekúnd ± 3 sekundy**.

### 4 Architektúra simulačného modelu

Simulačný model[2, slide 44] je možné spustiť v 3 režimoch. Nastavenie týchto režimov je určené konštantami v súbore `src/macros.h`. Každý proces ma nasledujúcu implementáciu funkcie `Behavior()`: Na začiatku sa spustia všetky `mixer process`, poprípade se vytvori fronta na `mixer process`.

```
Zahájenie order process;  
while nemixuje sa cesto pre upečenie všetkých chlebov do  
|   Zahájenie mixer process;  
end  
čakanie, až budú všetky chleby v bedničkách;  
ukončenie Order process;
```

**Algoritmus 1:** Zahájenie procesu výroby chleba

```
Čakaj pokiaľ nie je daný proces hotový;  
Spusť nasledujúci proces;
```

**Algoritmus 2:** Proces výroby chleba

#### 4.1 Vstupy modelu

Vstupom simulačného modelu sú atribúty triedy `Args` v súbore `src/Args.h`:

- `breads` – počet chlebov, ktoré se majú vyrobiť
- `mixers` – počet mixérov
- `tables` – počet stolov na krájanie
- `carts` – počet vozíkov
- `ovens` – počet pecí
- `packers` – počet pracovníkov na balenie

Dalšie atribúty triedy **Args** sú pre ovládanie simulácie a výstupného súboru:

- **outfile** – názov výstupného súboru
- **simulations** – počet simulácií, ktoré se majú spustiť

Tieto vstupy sú zadávané pri spustení programu, viz.4.3

## 4.2 Výstup simulácie

Výstupom simulácie je možné riadiť cez konštanty v súbore **src/macros.h**:

- **SIMULAČNÝ REŽIM** (**DEBUG=0** a **TEST=0**) – v tomto režimu je možné spustiť simuláciu a sledovať výsledky, model se spustí 3x.
- **DEBUG REŽIM** (**DEBUG=1**) – v tomto režimu je možné sledovať podrobnejšie informácie o prebiehajúcich simuláciách v jednotlivých krokoch (doba vybavenia jednotlivých procesov, vstupy a výstupy jednotlivých procesov, ...)
- **EXPERIMENT REŽIM** (**TEST=1**) – v tomto režimu je spustené experimentovanie pre zistenie, ktorá konfigurácia modelu (vstupu), je najvhodnejšia pre pečenie chleba z hladiska najmenšieho času vybavenia tzv. optimalnej konfigurácie.

Výstupom simulácie sú dáta o čase výroby chleba, zataženie jednotlivých strojov a pracovníkov. Výstup môže byť uložený do súboru, ktorý je zadán príkazom **--outfile**, keď nie je zadáný výstup je vytlačený na štandardný výstup.

## 4.3 Spúšťanie simulačného modelu

Simulačný model se musí pred spustením skompilovať pomocou **Makefile**. **make** a spustený model je možné pomocou príkazu **make run** s predvolenými hodnotami vstupu. Model je možné spúšťať aj s parametrami, ktoré sú vstupmi simulačného modelu, viz. **src/Args.h**: Spúšťanie: **./build/bread\_factory --breads 100 --mixers 2 --tables 2 --fermentations 2 --ovens 3 --loads 3 --simulations 3 --outfile out.txt**.

# 5 Podstata simulačných experimentov a ich priebeh

Cieľom práce, ktorá má simulovať výrobu chleba je zistiť, či pekárňu s ktorou pracujeme má najlepšiu konfiguráciu strojov, miestností a pracovníkov pre výrobu chleba.

## 5.1 Postup experimentovania

Pre experimentovanie je vytvorená funkcia **experiments()**, ktorá po spustení prebehne všetky možné konfigurácie počtu prostriedkov v rozmedzí 1 až 9.

## 5.2 Priebeh experimentov

Pri modelovaní výroby sme rozdelili prostriedky na konštanty a premenné.

**Konštanty:**

- Výstup jedného procesu mixovania – 140kg cesta
- Maximálna kapacita bochníkov vo vozíku – 70 kusov
- Maximálna kapacita vozíkov v peci – 1 vozík

**Premenné:**

- Počet chlebov na výrobu
- Počet mixérov

- Počet stolov/pracovníkov na krájanie
- Maximálna kapacita vozíkov vo fermentačnej miestnosti
- Počet pecí
- Počet pracovníkov na balenie

**Výsledky experimentov:**

### 5.2.1 Validácia modelu

**Reálna konfigurácia pekárne (simulácia)**

čas / min	chleby / ks	mixéry	pracovníci na krájanie	kapacita fermentačnej miestnosti	kapacita pecí	pracovníci na balenie
147	140	2	2	8	2	2
209	280	2	2	8	2	2
288	420	2	2	8	2	2

**Reálny konfigurácia pekárne (reálny získaný čas)**

čas / min	chleby / ks	mixéry	pracovníci na krájanie	kapacita fermentačnej miestnosti	kapacita pecí	pracovníci na balenie
150	140	2	2	8	2	2

Ako môžeme vidieť reálny čas so simulovaným časom výroby chleba je totožný. Vďaka tomuto experimentu môžeme pokračovať v experimentovaní s inými konfiguráciami, ktoré nám ukážu efektivitu pekárne.

### 5.2.2 Najlepšia konfigurácia experimentov (simulácia)

čas / min	chleby / ks	mixéry	pracovníci na krájanie	kapacita fermentačnej miestnosti	kapacita pecí	pracovníci na balenie
112	140	2	4	6	8	6
125	280	3	4	9	5	9
131	420	4	6	6	8	9

### 5.2.3 Najhoršia konfigurácia experimentov (simulácia):

čas / min	chleby / ks	mixéry	pracovníci na krájanie	kapacita fermentačnej miestnosti	kapacita pecí	pracovníci na balenie
228	140	3	1	3	6	9
327	280	6	1	2	7	2
419	420	8	1	4	1	2

## 5.3 Závery experimentov

Pri experimentovaní bolo spustených 177 147 konfigurácií, z ktorých sme zistili najlepšie a najhoršie nakonfigurovanie pekárne pre výrobu 140, 280 a 420 chlebov. Týmto výsledkami vieme tvrdiť že pekáreň nemá najefektívnejšie nakonfigurovanie. Najlepší výsledok pre 140 chlebov bol o **38 minút** rýchlejší ako pri reálnom čase. Z priložených tabuliek môžeme vidieť aj konfigurácie pre prípad výroby 280 a 420 chlebov. Do výsledkov sme taktiež zahrnuli najhoršie nakonfigurovanie pre prípad vyvarovania sa týchto konfigurácií.

**6 Zhrnutie simulačných experimentov**

**7 Čerpanie zdrojov**

## Literatúra

- [1] Pekárna Crocus s.r.o.: 2022, [vid. 2022-12-04]. Dostupné z: <https://www.crocus.cz>
- [2] Peringer, P.; Hrubý, M.: Modelování a simulace, Text k přednáškám kursu Modelování a simulace na FIT VUT v Brně. [online], 2022, [vid. 2022-12-04]. Dostupné z: <https://www.fit.vutbr.cz/study/courses/IMS/public/prednasky/IMS.pdf>
- [3] Peringer, P.; Leska, D.; Martinek, D.: SIMLIB/C++ (SIMulation LIBrary for C++). [online], 2022, [vid. 2022-12-04]; Online, Version 3.09. Dostupné z: <http://www.fit.vutbr.cz/~peringer/SIMLIB>