



# 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 . . . . .	5
5.2	Priebeh experimentov . . . . .	5
5.2.1	Validácia modelu . . . . .	5
5.2.2	Najlepšia konfigurácia experimentov (simulácia) . . . . .	5
5.2.3	Najhoršia konfigurácia experimentov (simulácia): . . . . .	6
5.3	Závery experimentov . . . . .	6
<b>6</b>	<b>Záver</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 spomínanú 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 **140 kg 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 prednášok predmetu IMS[2]. Na kompiláciu sme využili nástroj **CMake**. Na vývoj bol zvolený operačný systém **Linux Ubuntu**, ktorý bežal vo virtualizovanom prostredí nástroja **Docker**.

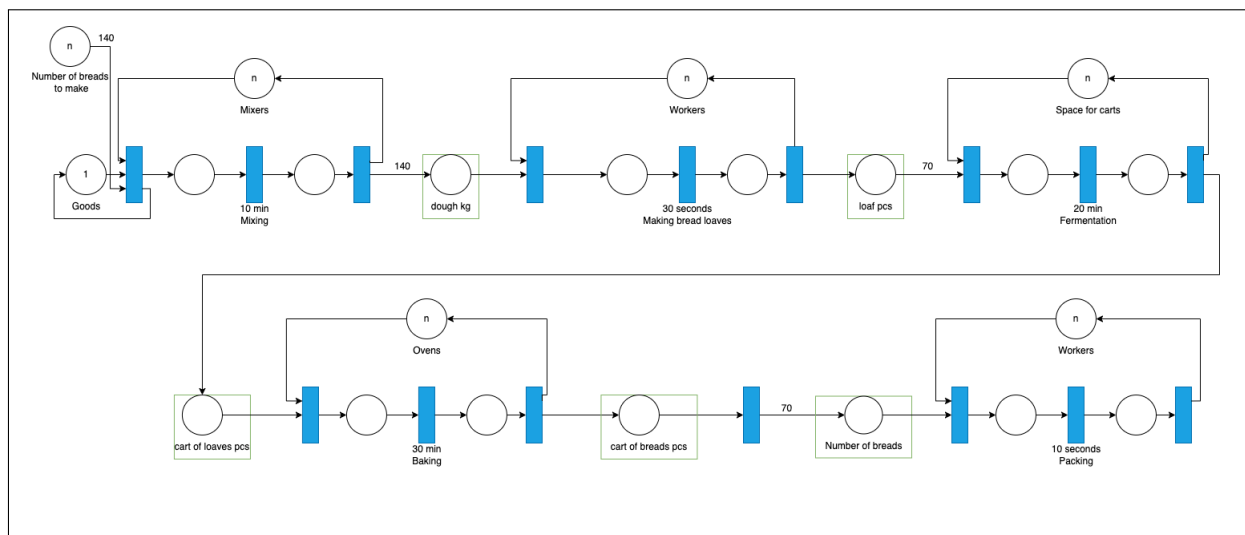
## 2.2 Pôvod metód a technológií

- **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 1. V modeli je zobrazený zjednodušený proces výroby chleba. Napriek zjednodušeniu modelu je zachovaná korektnosť simulácie.

- **Výroba cesta** – Pri prvom procese je zanedbateľná dostupnosť a naskladňovanie 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**.



Obr. 1: Petriho sieť modelu pekárne

### 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 má nasledujúcu implementáciu funkcie `Behavior()`: Na začiatku sa spustia všetky `mixer process`, popřípade se vytvori fronta na `mixer process`.

#### 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

```

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

- carts – počet vozíkov
- ovens – počet pecí
- packers – počet pracovníkov na balenie

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

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

Tieto vstupy sú zadane 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 sa 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 hľadiska najmenšieho času vybavenia tzv. optimalnej konfigurácie.

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

## 4.3 Spúšťanie simulačného modelu

Simulačný model sa 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 pekárň 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 – 140 kg 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

Z tabulky vypliva, že mixeru je možné mať v pekárni najmenej, pretože majú veľkú produkovateľnosť testa a zároveň tento proces netrvá príliš dlho.

Kapacita fermentačnej miestnosti a kapacita pece je vhodne držet v pomere 2 : 3 s prihľadnutím ke kapacite pece, pretože pečenie trvá o **10 minút ± 2 minuty** menej, než fermentácia.

Viac pracovníku je dobre mať k dispozícii práve v dobe krajien a balení, pretože je to proces, ktorý je najviac závislý na ľudskom faktore.

### 5.2.3 Najhoršia konfigurácia experimentov (simulácia):

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

Z tabulky vypliva, že pokiaľ je k dispozícii málo pracovníku pri balení a krajien chleba, tak sa celkový čas vyrizenia objednávky značne zvýši.

Rovnež výsledky dokazujú, že je lepšie mať väčšiu kapacitu fermentačnej miestnosti a kapacitu pece než mixeru.

## 5.3 Závěry 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 pekárne 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 Záver

Ako bolo uvedené v predchádzajúcej kapitole, bolo spustených 177 147 konfigurácií. Týmto výsledkami vieme tvrdiť že pekárne nie je najefektívnejšia. Tieto dáta poskytneme pekárni, ktorá môže tieto výsledky využiť pre zefektívnenie procesu výroby. Musíme taktiež ale povedať, že táto konfigurácia nemusí byť najvhodnejšia vzhľadom na cenu energií, prostriedkov a plátov za pracovníkov. Týmto chceme upozorniť čitateľa, že model bol navrhnutý pre dosiahnutie najrýchlejšieho času procesu výroby a nebol zohľadnený faktor financovania. Pre ďalší rozvoj práce by bolo vhodné zohľadniť aj tento dôležitý faktor.

## 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>