

# FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Implementace diskrétního simulátoru s podporou SHO

Proces domácího moštování

IMS Projekt

Vojtěch Staněk (xstane45)

2020

Jan Lorenc (xloren15)

# Obsah

<b>1</b>	<b>Zadání</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Domácí moštování</b>	<b>2</b>
2.1	Proces domácího moštování . . . . .	2
2.2	Cíle simulace . . . . .	2
<b>3</b>	<b>Abstraktní model</b>	<b>3</b>
3.1	Petriho síť . . . . .	3
3.2	Popis abstraktního modelu . . . . .	3
<b>4</b>	<b>Simulační model</b>	<b>3</b>
<b>5</b>	<b>Simulační experimenty</b>	<b>4</b>
5.1	Experiment s implicitními hodnotami . . . . .	4
5.2	Experiment s lisem navíc . . . . .	5
5.3	Experiment s proměnným množstvím lisů a lidí . . . . .	5
<b>6</b>	<b>Shrnutí výsledků experimentů a závěr</b>	<b>6</b>
<b>A</b>	<b>Příloha 1 - Petriho síť modelu domácího moštování</b>	<b>7</b>

# 1 Zadání

Implementujte vlastní diskrétní simulátor založený na procesech nebo událostech. Implementujte podporu pro SHO (fronty, linky) a generování pseudonáhodných čísel (pro různá rozložení). Demonstrujte na hypotetickém modelu SHO s několika linkami, různými procesy příchodů apod.

## 2 Domácí moštování

Při vybírání tématu a procesu, který budeme modelovat a následně simulovat, jsme zvažovali několik variant a kritérií. Nejdůležitější kritérium byla co největší podobnost s realitou, následně pak využitelnost simulace v reálném životě, a zároveň aby se nejednalo o proces triviální nebo příliš složitý. Během jednoho demonstračního cvičení na tvorbu Petriho sítí byl řešen i příklad moštárny, který nás inspiroval. Protože oba pocházíme z rodin, které vlastní zahradu, na ní jabloně, a jablka z těchto jabloní oba pravidelně doma zpracováváme, rozhodli jsme se pro právě tuto variantu.

### 2.1 Proces domácího moštování

Domácí moštování se od zpracování v moštárně liší zejména tím, že je v domácnosti omezený počet strojů a každý stroj musí být obsluhován nějakým člověkem. I jablka musí sbírat lidé (nejsou dovezené zákazníky). Výhodou je, že každý člověk může dělat libovolnou činnost (není třeba speciální zaškolení).

Proces domácího moštování probíhá přibližně takto:

1. Nejprve je potřeba nasbírat popadaná jablka a vytrít pryč ty nahnílé či plesnivé. Nasbírat jednu bednu trvá různě dlouho, průměrně však cca 15 min.
2. Až je jablek nasbíráno dostatečné množství (v tomto případě 4 zahradnické bedny), tak jsou jablka nasypána do drtiče na ovoce, kde jsou rozsekány na menší části pro efektivnější zpracování. Ze čtyř beden jablek jsou nadrceny dvě dávky pro lis.<sup>1</sup>
3. Drcená jablka jsou potom lisována a je odchytáván mošt do nádoby, která je schopna pojmout mošt z celé dávky. Lisování jedné dávky trvá 25-35 minut.
4. Vylisovaný mošt je v těchto nádobách uskladněn až do doby dalšího zpracování.
5. Zbytek vylisovaných jablek (odpad) je z lisu vysypán na kolečko. Jeho kapacita vystačí na tři lisování, poté je třeba odpad odvézt na kompost. Vyvážení odpadu trvá cca 5 minut.

V referenčním systému - domácnosti jednoho z autorů je pět členů domácnosti a vlastní jeden drtič a jeden lis.

Veškerá data byla získána měřením jednotlivých procesů během letošního podzimního moštování. Změřené časy byly zprůměrovány a zaokrouhleny na celé minuty.

### 2.2 Cíle simulace

Cílem simulace je odhalení částí procesu, které zbytek brzdí (tj. čeká se, než budou hotové, aby se mohlo dále pokračovat). Takto odhalené části procesu lze následně podpořit - přizvat na pomoc příbuzné v případě nedostatečného počtu lidí, zakoupit nový drtič, lis apod. Toto by samozřejmě bylo možné provést i bez simulace, nicméně, co se zakupování nových strojů a nástrojů týče, bylo by nesmyslné koupit např. nový drahý drtič, který potom proces nijak neurychlí nebo nezefektivní.

Simulací tedy proběhne několik, pokaždé s jinými parametry - počty lidí, drtičů a lisů, na základě simulace předchozí. Ze zkušenosti víme, že zakoupením dalšího lisu by se proces pravděpodobně značně urychlil a zefektivnil. Otázkou však zůstává, s ohledem na stejný počet osob (a to, že nový lis musí obsluhovat další osoba), zda by potom pět lidí stačilo na veškerou obsluhu a sbírání zároveň. Pokud ne, vyvstává otázka, kolik by potom byl ten správný počet osob. Tyto i případné další otázky bychom chtěli pomocí simulací tohoto procesu zodpovědět.

---

<sup>1</sup>Drtič je energeticky náročný stroj, proto je spouštěn až je maximálně naplněný.



Jakmile je nasbírána čtvrtá bedýnka, volný člověk zabere zařízení **Drtič na ovoce** a přesune se k drcení. Po uplynutí tří minut vyprodukuje **dvě dávky nadrceného ovoce** a uvolní drtič. Volný člověk se opět ve funkci **NextProcess** rozhoduje, co bude dělat, a až jsou splněny všechny podmínky (volný lis a alespoň jedna dávka nadrceného ovoce), zabere sklad **Lis** a přejde k lisování.

Po uplynutí doby generované **UniformGenerator** v rozmezí 25-35 minut uvolňuje svůj zabraný lis, produkuje **Mošt a dávku odpadu**. Pokud je možné vyvézt **Odpad**, učiní tak proces (člověk), který buď právě dolisoval nebo dokončil vyvážení odpadu. Je tedy možné, že jeden člověk bude vyvážet odpad několikrát za sebou, pokud bude dostatečná produkce odpadu.

Pokud proces dolisoval nebo dokončil vyvážení odpadu a neexistuje další odpad, který by bylo potřeba vyvézt, vrací se zpět a znovu se pomocí funkce **NextProcess** rozhoduje, co bude dělat (dle priority: nejprve lisování, poté drcení, poté sbírání jablek).

Simulaci lze ukončit na základě dvou různých podmínek: neexistují další jablka, která by se dala sbírat nebo vyprší stanovený čas. Množství jablek se výrazně mění podle místa, úrodnosti roku, moštované odrůdy jablek a v neposlední řadě se velice špatně odhaduje poměr nahnilých či jinak nevyhovujících jablek ku jablkům použitelným pro moštování. Cílem simulace je také zjistit efektivitu systému a na základě výsledků navrhnout způsob, jak celý systém zefektivnit. Proto jsme se rozhodli simulaci ukončit po vypršení stanoveného času (definovaná konstanta **END\_TIME** v souboru **main.cpp** určující dobu moštování v minutách).

Z popisu simulačního modelu je zřejmé, že odpovídá modelu abstraktnímu. Každé místo, přechod i relace Petriho sítě znázorňující abstraktní model jsou popsány v předchozích odstavcích a v simulačním programu implementovány.

## 5 Simulační experimenty

Cílem experimentů je, jak již bylo zmíněno výše, odhalení částí procesu, které zbytek brzdí. Jde nám tedy o určení poměrů *lisy : lidí a drtič : lisy : lidí* tak, aby bylo moštování co možná nejefektivnější. Pod pojmem nejefektivnější rozumíme:

1. Množství vyprodukovaného moštu za určitý čas
2. Maximální možné využití lisů
3. Maximální možné využití drtiče

Experimenty probíhají následovně:

1. Nejprve je desetkrát za sebou spuštěna simulace modelu se stejnými vstupními parametry.
2. Získané hodnoty ze všech deseti simulačních běhů jsou poté zprůměrovány.
3. Získaná data jsou vyhodnocena a je vyvozen závěr, který lze aplikovat na skutečný systém.
4. V případě, že vyvozený závěr implikuje nedostatek nebo naopak přebytek lisů a lidí, jsou upraveny vstupní parametry počtu lisů a lidí a probíhá buď nová varianta nebo zcela nový experiment.

### 5.1 Experiment s implicitními hodnotami

Výsledky tohoto experimentu lze snadno porovnat se skutečností, neboť přesně v těchto podmínkách probíhalo měření vstupních dat, na jejichž základě byl systém modelován. Výstupní data simulace můžeme tedy porovnat s výstupem skutečným a díky tomu validovat, že simulační model opravdu modeluje skutečný systém.

**Vstupní hodnoty:** 1 lis, 5 lidí, simulační doba 6 hodin.

Výsledky potvrzují, že se jedná o dobrý model. Během skutečného šestihodinového moštování bylo vyprodukováno opravdu 11 nádob moštu, drtič byl v provozu 70 minut (výsledek simulace 18.83% odpovídá době 68 minut), lis byl kromě začátku, kdy všichni sbírali jablka, neustále využitý. Průměrná doba lisování a průměrná doba sběru jablek taktéž odpovídá, v realitě se však nepodařilo dosáhnout tak extrémních krajních hodnot<sup>2</sup>.

<sup>2</sup>V simulaci byla bedýnka jablek nasbírána nejrychleji za 21 sekund, nejdéle byla sbírána 61 minut. V realitě byla nejrychleji nasbírána bedýnka jablek přibližně za devět minut a nejdéle byla sbírána přibližně 33 minut. Průměrné hodnoty však odpovídají poměrně přesně.

Výsledky experimentu				
Množství moštu [počet naplněných nádob]	Využití drtiče [% celkového času]	Využití lisu [% celkového času]	Doba sběru jablek [min]	Doba lisování [min]
11	18.83%	93.40%	14.83	29.61

Tabulka 1: Průměrné výsledky experimentu s implicitními hodnotami

## 5.2 Experiment s lisem navíc

Ze zkušenosti víme, že proces, který nejvíce brzdí ostatní, je lisování nadrcených jablek, a přidáním dalšího lisu by se celková produkce značně zvýšila a zefektivnila. Otázkou však zůstává, zda-li bude pět osob dostatečný počet na obsloužení drtiče, obou lisů a zároveň sbírání jablek.

**Vstupní hodnoty:** 2 lisy, 5 osob, simulační doba 6 hodin.

Výsledky experimentu		
Množství moštu [počet naplněných nádob]	Využití drtiče [% celkového času]	Využití lisů [% celkového času]
17	15.76%	73.15%

Tabulka 2: Průměrné výsledky experimentu s dvěma lisy a pěti osobami

Z výsledných hodnot jasně vyplývá, že přidáním dalšího jednoho lisu se produkce zvedne o více než 50% (z jedenácti nádob za šest hodin na sedmnáct). Zajímavé ale je, že kleslo využití drtiče, a co více, využití lisů kleslo o přibližně 20%. Z toho lze usoudit, že pět lidí nestíhá obsluhovat všechny stroje a zároveň dostatečně rychle sbírat jablka. Proto tento experiment provedeme ještě jednou, tentokrát ale zkusíme přidat další lidi a zkusíme zjistit, při kolika lidech je celý proces nejefektivnější.

**Vstupní hodnoty:** 2 lisy, 6 osob, simulační doba 6 hodin.

Výsledky experimentu		
Množství moštu [počet naplněných nádob]	Využití drtiče [% celkového času]	Využití lisů [% celkového času]
21	19.99%	90.55%

Tabulka 3: Průměrné výsledky experimentu s dvěma lisy a šesti osobami

Nejefektivnější kombinace lisů a lidí se zdá být dva lisy a šest osob. V této kombinaci se produkce opět výrazně zvýšila. Využití lisů stoupl nad 90% a i drtič byl lépe využitý. Zajímavé je, že přidáváním dalších lidí do experimentu se dvěma lisy se produkce ani efektivita nezvýší – první posun v produkci je vidět u kombinace dva lisy a deset lidí – využití drtiče a lisů je přibližně stejné<sup>3</sup>, ale produkce se zvýší o jednu nádobu na průměrných dvacet dva za šest hodin, což je z praktického hlediska zanedbatelné zvýšení, vzhledem k dalším čtyřem potřebným lidem. Přidávání dalších lidí nemá vliv na celkové množství moštu – i při sto lidech je průměrná produkce moštu stále dvacet dva nádob za šest hodin.

Ukazuje se tedy, že největší zvýšení produkce nastane v případě, že zakoupíme druhý lis a přizveme jednoho člověka na pomoc. V tomto složení se **produkce proti aktuálnímu stavu zvedne v podstatě na dvojnásobek**.

## 5.3 Experiment s proměnným množstvím lisů a lidí

Cílem posledního experimentu je zjistit, kolik lidí a lisů stíhá obsloužit jeden drtič, případně kolik lisů a lidí je potřeba, aby byl jeden drtič využitý na maximum, a zároveň bylo vyprodukováno co nejvíce moštu. Maximálním využitím drtiče rozumíme využití větší než 95% celkového času.

**Vstupní hodnoty:** 10 lisů, 67 osob, simulační doba 6 hodin.

<sup>3</sup>Využití drtiče s přibývajícím lidmi samozřejmě roste, protože více lidí nasbírá více jablek, ale potom zůstávají nespolečně nadrcená jablka.

Výsledky experimentu		
Množství moštu [počet naplněných nádob]	Využití drtiče [% celkového času]	Využití lisů [% celkového času]
104	95.11%	90.08%

Tabulka 4: Průměrné výsledky experimentu s deseti lisy a šedesáti sedmi osobami

Kombinací s nejmenšími počty lisů a lidí, se kterou bylo dosaženo nejlepšího výsledku, tj. maximální produkce moštu (průměrně 104 nádob) a zároveň využitím drtiče na více jak 95% celkového času, se ukázalo být deset lisů a šedesát sedm osob. Při menších počtech lisů klesá celková produkce, při menším počtu lidí klesá využití drtiče. Při zvyšování počtu lisů se produkce nijak nezvýší a naopak se sníží využití drtiče (protože více lidí obsluhuje lisy) a při zvyšování počtu lidí se celková produkce zvyšuje jen nepatrně (maximálně o tři nádoby za šest hodin navíc), využití drtiče se v podstatě nemění, pouze se vytváří větší fronta nasbíraných bedýnek.

Vzhledem k velikosti výsledných čísel se pohybujeme už v ryze teoretické rovině. Pro zajímavost: aby simulace odrážela realitu, musela by být zahrada dost velká na to, aby vyprodukovala průměrně 1391 bedýnek jablek. Na drcení čekalo průměrně 482 bedýnek jablek a po šesti hodinách moštování čekalo na zpracování stále ještě více než polovina celkem nasbíraných bedýnek.

Tyto počty už nejsou úplně vhodné pro domácí moštování, pokud by si však rodina chtěla založit firmu vyrábějící mošt a vlastnila by k tomu dostatečně velký jablečný sad, dají se výsledky tohoto experimentu použít jako poměrně přesný odhad potřebného počtu lisů k jednomu drtiči a počtu brigádníků/zaměstnanců, kteří budou obsluhovat stroje a sbírat jablka v sadu.

## 6 Shrnutí výsledků experimentů a závěr

Porovnáním reálně naměřených dat a výsledky prvního experimentu bylo ověřeno, že vytvořený model je validním, poměrně přesným obrazem skutečnosti.

Provedené experimenty odhalily, že největší zvýšení produkce nastane, dokoupí-li se druhý lis a přizve se jeden člověk na pomoc, tj. do procesu moštování budou zapojeny jeden drtič, dva lisy a šest lidí. Takto se produkce oproti aktuální situaci téměř zdvojnásobí.

Z posledního experimentu vyplývá, že drtič je dostatečně výkonný na jakékoliv domácí moštování a není potřeba řešit zpomalování zbytku systému. To by mohlo nastat až v případě nasazení do sadu nebo industriální moštárny.

Výsledky simulačních experimentů byly předány referenční rodině a ta nyní vážně zvažuje koupi druhého lisu. Tím by byla schopná buď výrazně zvýšit svoji produkci moštu nebo ušetřit až polovinu času strávenou moštováním.

## A Příloha 1 - Petriho síť modelu domácího moštování

