

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

Modelování a simulace
Okruh 3: SHO Výrobní linka

1 Úvod

Úkolem tohoto projektu je sestavení simulačního modelu systému SHO výrobní linky. Námi vybraná výrobní linka je rozvoz pizzy po Brně. Na základě simulace s tímto modelem budeme zkoumat jednotlivé procesy při samotné výrobě. Hlavními faktory pro zkoumání bude vytíženost pizzaře, vytíženost pizza pece a v neposlední řadě také kapacita řidičů (aut).

Důvody tvorby simulací a experimentů v této oblasti rozhodně existují. Základem úspěšné firmy správné a efektivní hospodaření s finančními prostředky. Cílem experimentů tedy bude zjistit vytížení jednotlivých prvků v systému a případný návrh optimalizace provozu firmy s nižšími náklady.

Požadovaná kritéria firmy byla tato:

- průměrná vytíženost pizzaře $\geq 60\%$
- počet řidičů a aut která mají být k dispozici, aby výtěžnost byla $\geq 70\%$

1.1 Zdroje faktů

Pro získání přesných vstupních dat jsme využili osobní konzultace s majitelem firmy Pizza-Taxi panem Ing. Vladimírem Pálenským, který nám poskytl veškerá přesná data za účelem samotné optimalizace provozu firmy. Bral tento náš projekt jako přínos pro firmu, kterou provozuje. Dalším našim zdrojem informací bylo kontaktování gastro firem, abychom zjistili přesná čísla o poruchovosti zařízení (v našem případě pizza pece).

Hlavní parametry pro zkoumání firmy:

- jeden pizzař
- jedna pizza pec pro čtyři kusy pizz
- tři řidiči každý den (12,5 hodiny)

Zkoumaná firma má otevírací dobu od 10:30 do 23:00. V celkové otevírací době 12:30 se vyskytují 2 specifické časové oblasti s jinou střední hodnotou, které budou při experimentech nejzajímavější:

1. obědy (11:30 – 13:00)
2. večere (18:00 – 21:00)

Zbytek otevírací doby je běžný provoz.

Dle informací od majitele firmy zákazníci neradi dlouho čekají na svou objednávku, proto pokud se nahromadí větší množství objednávek v systému, doby čekání ve frontách se prodlužují je tak běžné že zákazník do 2 hodin od obědnání volá a objednávku ruší.

1.2 Validita modelu

Při vytváření modelu jsme čerpali z výše uvedených zdrojů. Námi vytvořený model se chová dle očekávání majitele firmy a odpovídá reálnému běhu firmy.

2 Rozbor tématu a použitých metod/technologií

Modelovaná firma (výroba a rozvoz pizzy) se dá rozložit do 4 významných částí. Jsou jimi:

1. příjem objednávek
2. příprava těsta a zdobení pizzy
3. pečení pizzy
4. expedice

Každá z těchto částí pro nás znamenala zkoumání a zjišťování faktů jak už osobním pozorováním nebo konzultací s majitelem firmy. V počátečním návrhu jsme nepředpokládali takové množství problémů, možností a stavů které mohou nastat.

Ad 1.: tato část v sobě zahrnuje příjem objednávek a přiřazování priorit. Námi zkoumaná firma dostává objednávky od 3 zdrojů:

- firemní objednávky
- bowling
- ostatní

Když se podíváme na procentuální rozdělení (tabulka 1), tak firemní objednávky tvoří 8% celkových objednávek, bowling 12% a ostatní zbývajících 80%. Jsou to čísla braná ze statistiky za poslední 3 měsíce a zaokrouhlená na celé číslo. Na první pohled se může zdát, že 8% je nízké číslo. Ale opak je pravdou. Právě na tyto firemní objednávky je kladen největší důraz a mají nejvyšší prioritu. Je to vše zapříčiněno tím, že firemní objednávky nechodí často, ale ve větším počtu. Naopak ostatní objednávky jsou procentuálně na vysoké úrovni, ale bývají to objednávky po jednom kuse. Druhou skupinou je bowling, ten má vyšší prioritu než ostatní objednávky, protože jsou firmy dohodnuté na jiných podmínkách (čas doručení do 60-ti minut).

Skupina	počet objednavek/měsíc (říjen)	procentuální vyjádření
firemní objednávky	384	8%
bowling	576	12%
ostatní	3840	80%
celkem	4800	100%

Tabulka 1: Počet objednávek za měsíc

Ad 2.: námi zkoumaná firma má zavedený systém, že pizzař si z jednotlivých objednávek vytváří dávky. Tyto dávky mohou obsahovat maximálně 4ks, což je kapacita jednoho patra v pizza peci. Samozřejmě pokud pizzař je zrovna volný a už se mu nakumulovalo i méně než 4ks pizz (tzn. 3, 2 nebo 1ks), začne vytvářet dávku s menším množstvím. Je tím pádem menší vytíženost pece, ale objednávky rychleji postupují směrem k expedici. Zde je třeba uvést čas, který stráví pizzař přípravou jedné pizzy ve várce. Tento čas se pohybuje v rozmezí 4 až 5 minut, záleží na náročnosti a složení pizzy.

Ad 3.: tento proces je velice jednoduchý, spočívá pouze v přesunutí várky do pizza pece. Zde se tato várka peče určitou dobu. Stojí zde snad za zmínku možnost vytvoření zmetku. Procentuálně se tato chyba dá vyjádřit 1% z celkového počtu objednávek. Samotný proces

pečení trvá po dobu 5-ti minut jedné várky. A to bez ohledu, kolik samotná várka obsahuje pizz.

Ad 4.: proces expedice lze rozdělit na 3 lokality, kam firma dováží. Pokud to vezmeme jednodušší formou, tak 1. zóna obsahuje Brno město. 2. zóna se nachází v okrajových částech Brna (Bohunice, Líšeň, ...). A poslední 3. zóna je většinou mimo město (Modřice, Jehnice. Bílovice nad Svitavou, ...) Do jednotlivých zón je čas stráveným řidičem k doručení objednávky odlišný (tabulka 2). V našem modelu jsme neměli potřebu zavádět tento odlišné časy doručení. Vypočítali jsme si proto průměr doručení s odchylkou, o kterou může být čas nižší nebo vyšší.

SZóna	počet objednavek/měsíc (říjen)	průměrný čas (min)	procentuální vyjádření
1.	2500	11	52%
2.	1500	18	31%
3.	800	22	17%
celkem	4800	15	100%

Tabulka 2: Doba rozvozu

Nesmíme opomenout zmínit závody zařízení (v našem případě pizza pec), které nám poskytl gastro firmy (opravny). Samotná čísla nás trochu zaskočily, jelikož četnost poruch těch zařízení se pohybuje průměrně kolem jedné opravy za 3 měsíce. Oprava této závady nezabere více než 2 hodiny. Dle zjištěných faktů jasně vyplývá, že nejčastěji se jedná o poruchu v přívodním kabelu k topným tělesům.

2.1 Použité postupy

Pro vytvoření našeho modelu firmy jsme využili knihovny SIMLIB/C++. Jedná se o objektově orientovanou knihovnu pro jazyk C++. Tato knihovna patří mezi základní nástroje pro simulaci.

2.2 Původ použitých metod/technologií

Veškeré technologie, které jsme použili v tomto projektu byly získány z předmětu Modelování a simulace, z dokumentace a příkladů knihovny SIMLIB/C++.

3 Koncepce

V konceptuálním návrhu dochází k zanedbání následujících vlivů, které nejsou pro validitu systému důležité nebo nejsou předmětem simulace:

- doba přijetí/zrušení objednávky: doba příjmu objednávky je tak krátká, že by ani při nejkratším intervaleu mezi objednávkami, který se v systému může vyskytovat, zbytek systému toto čekání nijak nemohlo ovlivnit
- příchody objednávek na jeden kusu výrobku: model bude fungovat stejně ať už se vygeneruje objednávka na x kusů výrobku s intervalem mezi objednávkami t nebo x objednávek s intervaly t/x
- rozvoz více výrobků (pizz) na stejnou adresu: ačkoli doručení plné várky na jednu adresu bude trvat podstatně kratší dobu než doručení plné várky na čtyři odlišné adresy, není toto třeba modelovat, protože data o dobách rozvozů jsou zprůměrovaná na jednu pizzu

- úrazy na pracovišti, změna pracovní směny

3.1 Konceptuální model

Popis příchodu objednávky: Nové objednávky přicházejí do bloku pro zpracování objednávek v intervalech daných exponenciálním rozložením hustoty pravděpodobnosti se střední hodnotou závislou na aktuální denní době. Nejčastěji objednávky přicházejí v době večerí naopak v zavírací době nepřicházejí žádné objednávky.

Popis procesu objednávky: Objednávka je přiřazena rovnoměrným rozložením hustoty pravděpodobnosti do jedné ze tří skupin. Rozděluje se dle poměru uvedeném v sekci 2 na firemní s největší prioritou, bowlingové s nižší prioritou a všechny ostatní objednávky s defaultní prioritou. Každá objednávka je modelována jako netrpělivá a odchází (je zrušena zákazníkem) po době dané vzorcem ($\text{maximální_čekací_doba} - \exp(1/5)$), kde maximální čekací doba je 120 minut (2). Objednávka se pokusí obsadit zařízení pizzař. Pokud zařízení není volné, zařadí se do prioritní fronty na pořadí odpovídající své prioritě a době příchodu. Pokud pizzař je volný, proces objednávky jej obsadí. Obsazení tohoto zařízení spustí vytvoření nové várky, objednávka tedy slouží jako trigger.

Tvorba nové várky: Je vytvořena instance várky a proces objednávky, který momentálně obsazuje zařízení pizzař (trigger) je do této várky vložen. Následně jsou do várky vkládány objednávky z vrcholu fronty před pizzařem tak dlouho, dokud není zmiňovaná fronta prázdná anebo dokud není várka plná. Ačkoli trigger objednávka je již vložena do várky, v kódu pokračuje dále kde vloží vytvořenou várku do fronty před pizzaře. Várka musí mít nejvyšší prioritu, protože je ve frontě nutné ji zařadit na první místo. Trigger proces objednávky následně uvolňuje zařízení pizzař a pozastaví svůj běh na neurčito¹. Uvolněním zařízení se do zařízení dostala várka tímto procesem vytvořena, protože byla na vrcholu fronty díky své nejvyšší prioritě. V tomto okamžiku je vytvořen objekt zapouzdřující 1-n objednávek, který obsazuje pizzaře.

Popis procesu várky: Vysoká priorita várky již dále není potřeba, proto je tomuto procesu nastavena defaultní priorita.

Příprava: Várka vchází do části systému, který simuluje přípravu těsta a jeho zdobení surovinami. Doba trvání tohoto úkonu je 4 - 5 minut rovnoměrně pro každý výrobek ve várce. Kvůli netrpělivým objednávkám není možné spočítat počet objednávek ve várce a tolikrát čekat, je třeba zvolit jiný přístup, protože může nastat situace, kdy při přípravě prvního výrobku ve várce vyprší ostatním časovač a odejdou ze systému. Validita by potom utrpěla na přípravě už zrušených objednávek. Řešením je v každé iteraci kontrolovat, zda se daná objednávka ve várce ještě skutečně vyskytuje a dle toho upravit následující akce. Po zpracování všech objednávek ve várce je uvolněno zařízení pizzař.

Kontrola zmetků: Každý výrobek po výstupu z přípravy projde kontrolou a s 1% pravděpodobností (2) je na výrobku nalezena nějaká chyba. Tato část neobsahuje žádné čekání, protože kontrola je běžně prováděna současně s přípravou, zde jsou tyto bloky odděleny z důvodu lepší přehlednosti.

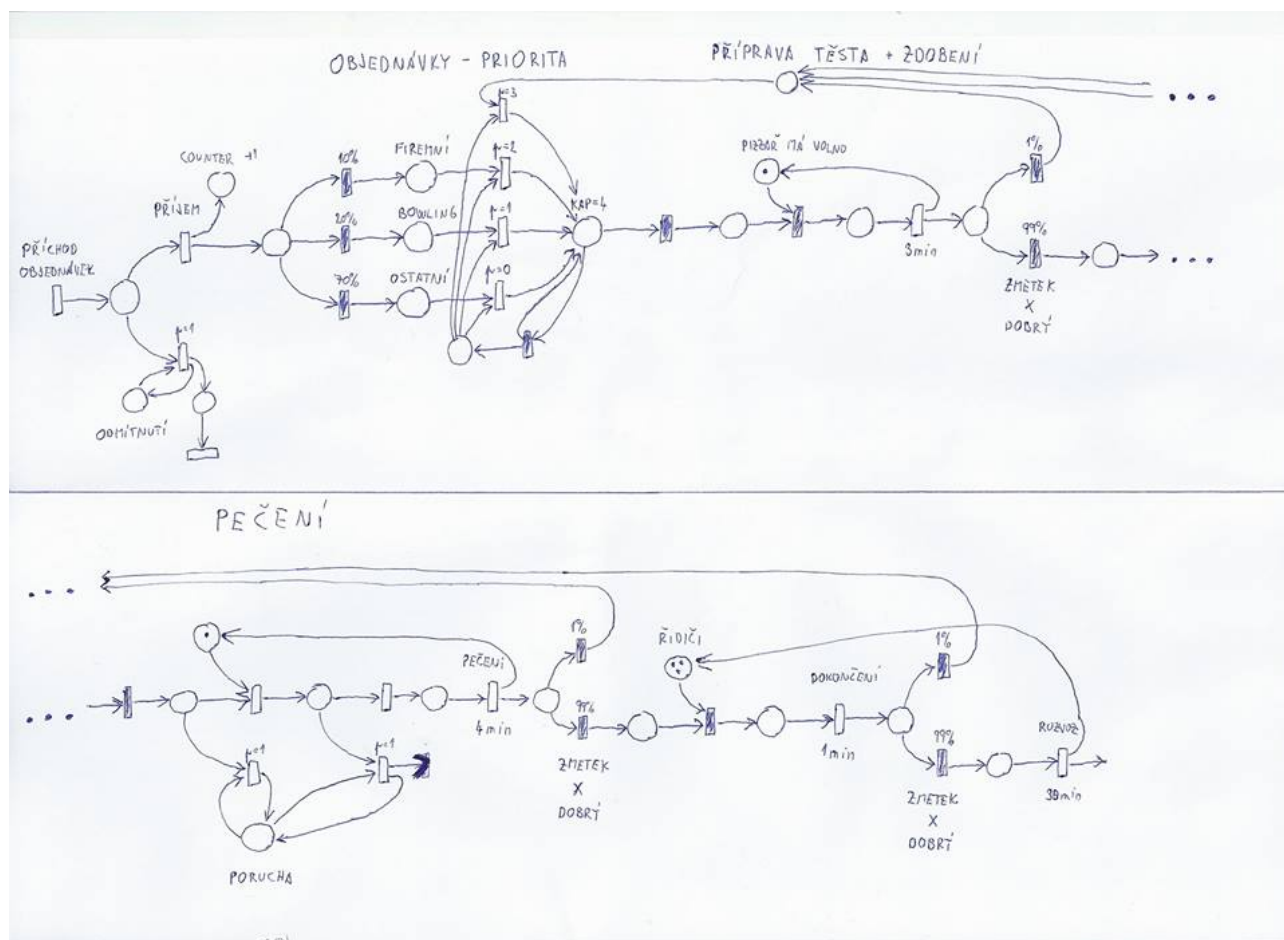
Pečení: Ještě před obsazením pece je nutné zkontrolovat, zda během předchozích čekání nevypršely všem objednávkám časovače. V takovém případě by byla várka prázdná a pec by byla zabrána prázdnou várkou. Jednoduchou podmínkou se tomu lze vyhnout. Várka se potom pokouší o obsazení pizza pece. Zde bych zdůraznil, že všem várkám byla dříve nastavena výchozí hodnota priority. Ve várce se již nerozlišuje zda všechny její objednávky mají vysokou prioritu či

¹Slide 172

naopak. Tento koncept je totožný se zacházením s objednávkami v modelovaném systému, kde se prioritní fronty tvoří pouze před přípravou pizzy. Při volné peci proběhne pečení s přesnou dobou trvání pět minut (2) bez ohledu na počet výrobků ve várce. Po uplynutí této doby je zařízení uvolněno a tak jako u přípravy i zde se provádí kontrola zmetků s tím rozdílem, že se kontrolou projdou buď všechny výrobky ve várce nebo žádný. Takové chování simuluje především přehřátí trouby, která způsobí spálení ne konkrétních výrobků ale všech najednou.

Doručení: Doručování se tak jako pečení nekoná, pokud je várka prázdná. Várka se pokusí vstoupit do skladu, která zde modeluje doručovací auto s řidičem. Počet nasazených řidičů se mění, nicméně nejčastěji mají směnu tři řidiči proto má sklad defaultně kapacitu tři. Po vstupu do skladu (naložení várky do auta) je proveden rozvoz o době trvání 10 až 20 minut rovnoměrně (2). I zde stále objednávky mají běžící časovač simulující zrušení objednávky zákazníkem po určité době, řešení této situace je totožné jako při přípravě těsta a zdobení. Po uplynutí doby rozvozu se auto vrací zpět a várka opouští sklad. Tímto je simulace jedné várky a jí příslušejících objednaných produktů u konce. Úspěšně ukončeným procesům je nutné smazat časovač, především jeho záznam v kalendáři. Neúspěšné procesy (zmetky) mají časovač již odstraněný. Úspěšné ale i nedokončené objednávky v tomto bodě odcházejí ze systému.

3.2 Petriho síť



Obrázek 1: Petriho síť

4 Architektura simulačního modelu/simulátoru

Jedná se o simulační model vytvořený jako aplikace bez dynamických vstupů (parametrů), veškerá data se mění ve zdrojových souborech. Výstupem je textový soubor, ve kterém se nachází základní statistiky všech použitých zařízení, skladů a jejich příslušných front. Překlad i spuštění je zajištěn utilitou Make a ovládá se příkazy `make`, `make run`, `make clean`.

4.1 Mapování abstraktního modelu do simulačního

Změna denních dob je implementováno ve třídě `Daytime`, která dědí od třídy `Event`. V její metodě `Behavior()` je aktivována instance třídy `Generator` pro vytváření vstupních zakázek/objednávek. Objednávka je abstrahována třídou `Order` s rodičovskou třídou `Process`. Dávka či várka, která zajišťuje zapouzdření objednávek do jednoho objektu, je realizována třídou `Batch` taktéž dědicí od `Process`. Další třída `Timeout` implementuje objednávkám netrpělivost. Posledními třídami jsou `FailureEvent` a `FailureProcess` (název napovídá jejich předky), které zajišťují vygenerování a obsluhu (opravu) poruchy.

Všechny fronty jsou typu FIFO implementovány jako instance třídy `Queue`, zařízení jsou instance třídy `Facility` a sklad je pro změnu instance třídy `Store`.

5 Podstata simulačních experimentů a jejich průběh

Cílem experimentů je optimalizace provozu firmy s nižšími náklady, nebo naopak, jak navýšit prodej a tím pádem zvýšit zisk firmy. Budeme zjišťovat, jaké zdroje je potřeba navyšovat, případně v určitých hodinách snižovat. Zda se nevyplatí na určité hodiny spustit do provozu druhou pec na pizzu.

5.1 Postup experimentování

Simulace bude probíhat následujícím způsobem. Nejdříve jsme nastavili veškeré vstupní údaje (příjem objednávek, počet pizzerií, výtěžnost pece a kapacitu řidičů). Zjistíme, kde se tvoří velké fronty nebo naopak, kde vznikají volná místa (nizká využitelnost). Následně budeme jednotlivé tyto hodnoty upravovat (navyšovat nebo ubírat), dokud nenalezneme optimální hodnoty, které pomohou ke zlepšení firmy.

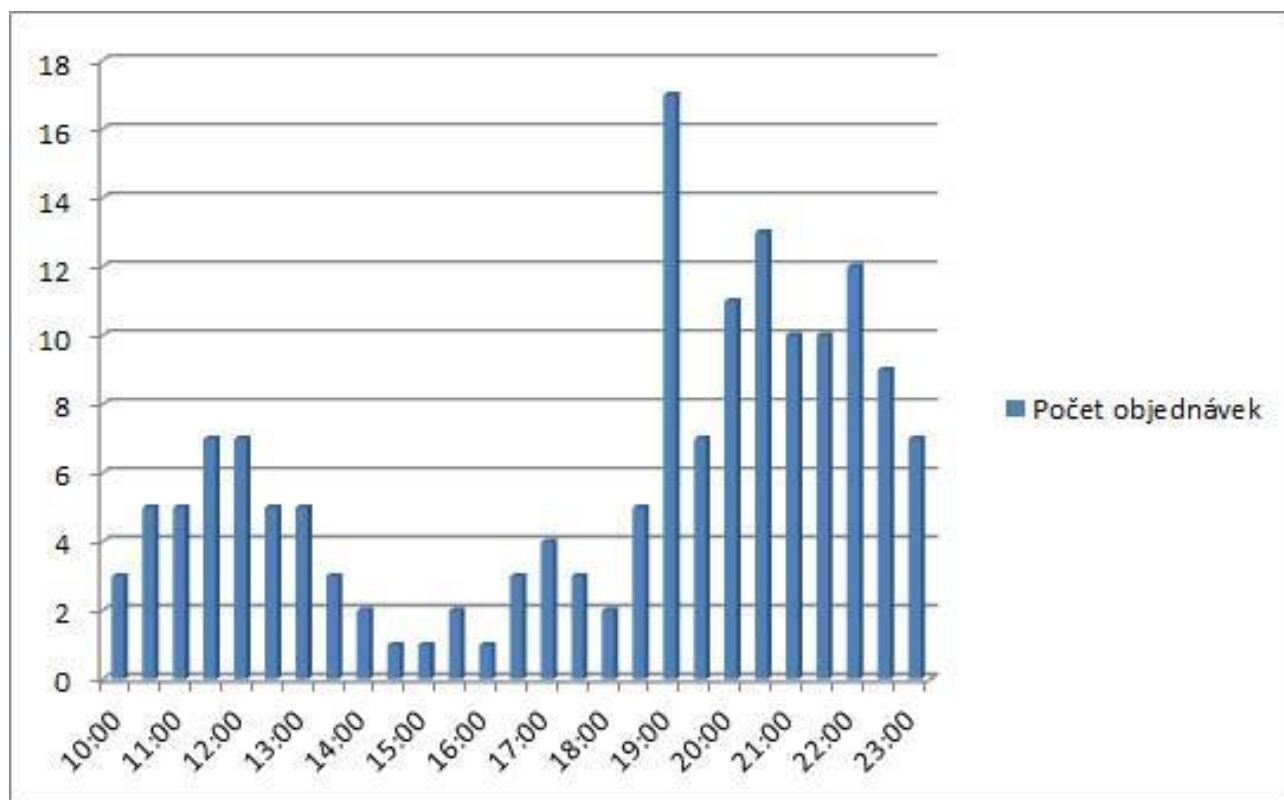
5.2 Dokumentace experimentů

Nejprve jsme provedli simulaci celého dne, abychom viděli rozložení objednávek během dne, musíme totiž zkoumat, zda se jedná o obědy, večere nebo období mezi těmito úseky. Vše je znázorněno v grafu 2.

Z grafu je patrné, že nás bude nejvíce zajímat večerní období, kdy je četnost objednávek nejvyšší. A zároveň bude nutnost provést mnoho experimentů na odpolední období, kdy zase nastává druhý extrém a to ten, že bude možnost redukování počtu řidičů. Nesmíme však zapomenout i na experimenty v obědovém období.

Za zmínku dále stojí čas, po kterou byly jednotlivé objednávky rozdělené dle priorit na provozně, než se dostaly k expedici. Vše je zobrazeno v tabulce 3

Důležitých faktorech pro zkoumání běhu firmy je pozorování počtu pizz v jednotlivých dávkách. Odvíjí se od toho mnoho faktorů. Například pokud by byla v každé dávce pouze



Obrázek 2: Počet objednávek

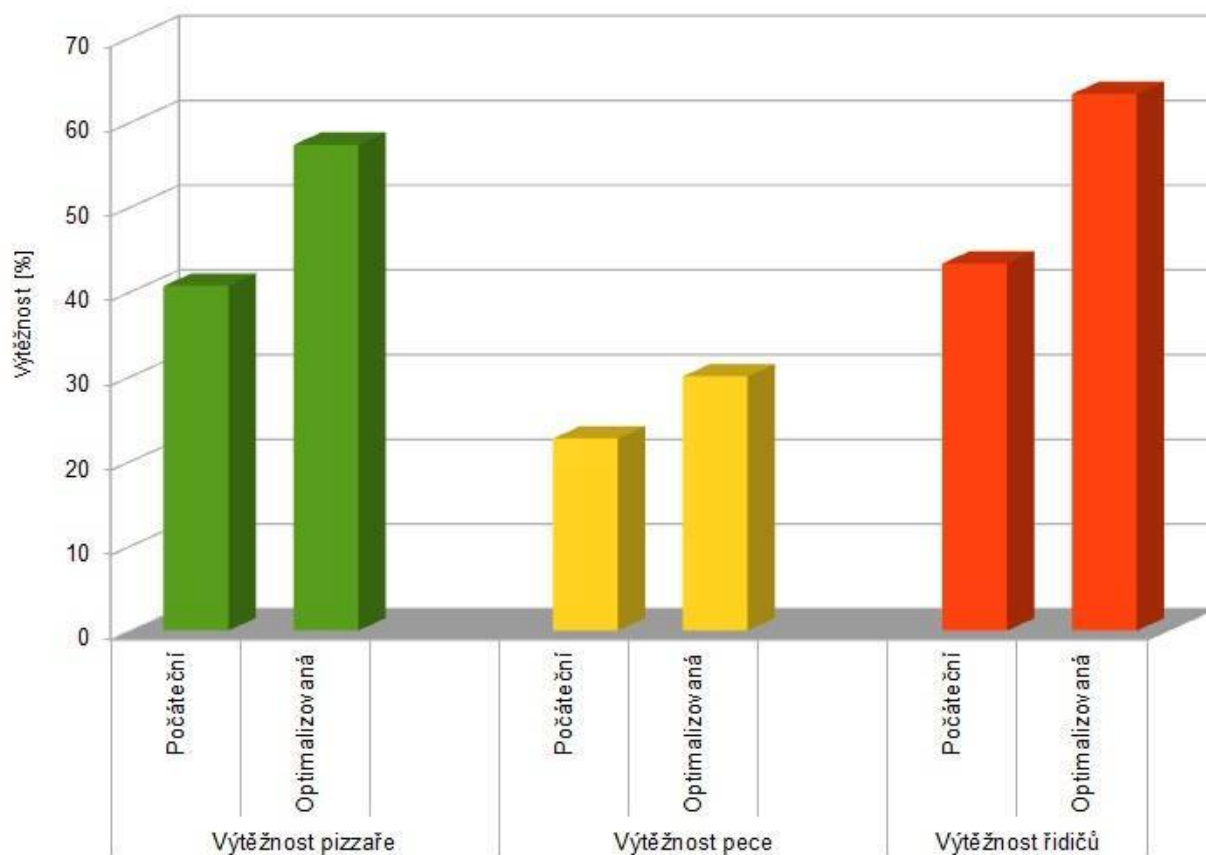
Priorita	průměrný čas v systému (min)
firemní (2)	19.8%
bowling (1)	28.1%
ostatní (0)	38.3%

Tabulka 3: Doba rozvozu

jedna pizza, efektivnost a výtěžnost celého systému by byla příliš nízká. Porovnáme-li druhou stránku věci, tak pokud by každá várka obsahovala zase maximální možné množství pizz, ve velké většině případů by se tvořily fronty na jednotlivých zařízeních a celý model by se zahlcoval. V grafu 3 je znázorněn průměrný počet pizz ve várkách.

Pustíme se experimentů provozu přes obědy. Zde za aktuálních podmínek bylo reálné využití pizaře kolem 35%. Fronta se nicméně vytvářela, ale malým množstvím objednávek se vytvářely z velké části dávky o velikosti 1ks pizz a průměrné zdržení dávky bylo 2 minuty. U čísel výtěžnosti samotné pece je jasné patrné, že je vytěžována minimálně, cca 12%. Fronta se zde vytvořila zhruba u 1/3 dávek. A průměrný strávený čas ve frontě byl cca 2,5 minuty. A poslední námi zkoumaná část jsou řidiči. Z počátečního nastavení 3 řidičů je průměrná výtěžnost lehce nad 30%. Je tedy jasné patrné, že v tomto období se nesplňují optimální podmínky firmy. A to jak výtěžnost pizaře, tak ani řidičů (aut).

Pro zlepšení podmínek jsme provedli experimenty a k optimalizaci vedla pouze úprava počtu řidičů a to zredukováním na 2 řidiče. Nyní se výtěžnost řidičů zvedla před 60% a zároveň se stále netvořily velké fronty, pouze u 1/3 dávek s průměrnou čekací dobou pod 10 minut, což splňuje podmínky firmy. A díky experimentům můžeme firmě doporučit, aby při dvou řidičích se pokusila a navýšení objednávek přes obědy o 20%, pak budou splněny veškeré vstupní



Obrázek 3: Vytíženost

podmínky.

Dále se pustíme zkoumání provozu v odpoledních hodinách (13:00 – 18:00). Nyní se nacházíme u výtěžnosti pizaře pod 27%, fronta byla takřka nulová. A většina dávek obsahovala jednu pizzu a maximálně dva kusy pizz s tím, že zdržení dávek bylo průměrně lehce pod 1 minutu. Pizza pec má stejnou výtěžnost jako v poledních hodinách. Sice se dělá menší množství objednávek, nicméně počet dávek je zhruba stejný. Proto je výtěžnost stejná, ale mnohem nižší využití. Pokud je již vytvořila fronta u pizza pece (cca 10%), byla průměrná doba strávená ve frontě pod 1 minutu. U počátečního stavu 3 řidičů byla výtěžnost pod 20% procent a fronta se vytvářela zhruba u 1/4 objednávek, s průměrným časem 4,2 minuty.

Experimenty prováděné v tomto období byly opět směřované především na počet řidičů. Zde již nebylo nalezeno jednoznačné řešení. Nastaly zde 2 možnosti řešení k nalezení lepšího řešení. Jednou je možnost opět omezení řidičů na 2. Dostaneme se pak k výtěžnosti řidičů přes 50% a fronty se vytvářejí u 1/3 dávek s průměrnou dobou 4,5 minut. Nebo je pak možnost omezit řidiče na 1, zmiňovaná výtěžnost se zvedne přes 80%, ale nastává zde problém s čekáním dávek ve frontách. Průměrný čas se sice pohybuje kolem 25 minut, což by ještě splňovalo podmínky firmy. Ale už byl i maximální čas 85 minut, toto číslo již je velice špatné. Proto se opět volí jako ideální varianta opět 2 řidiči. A aby se firma pokusila o navýšení objednávek o 100% a bude model vytěžován efektivně a budou splněny veškeré podmínky firmy.

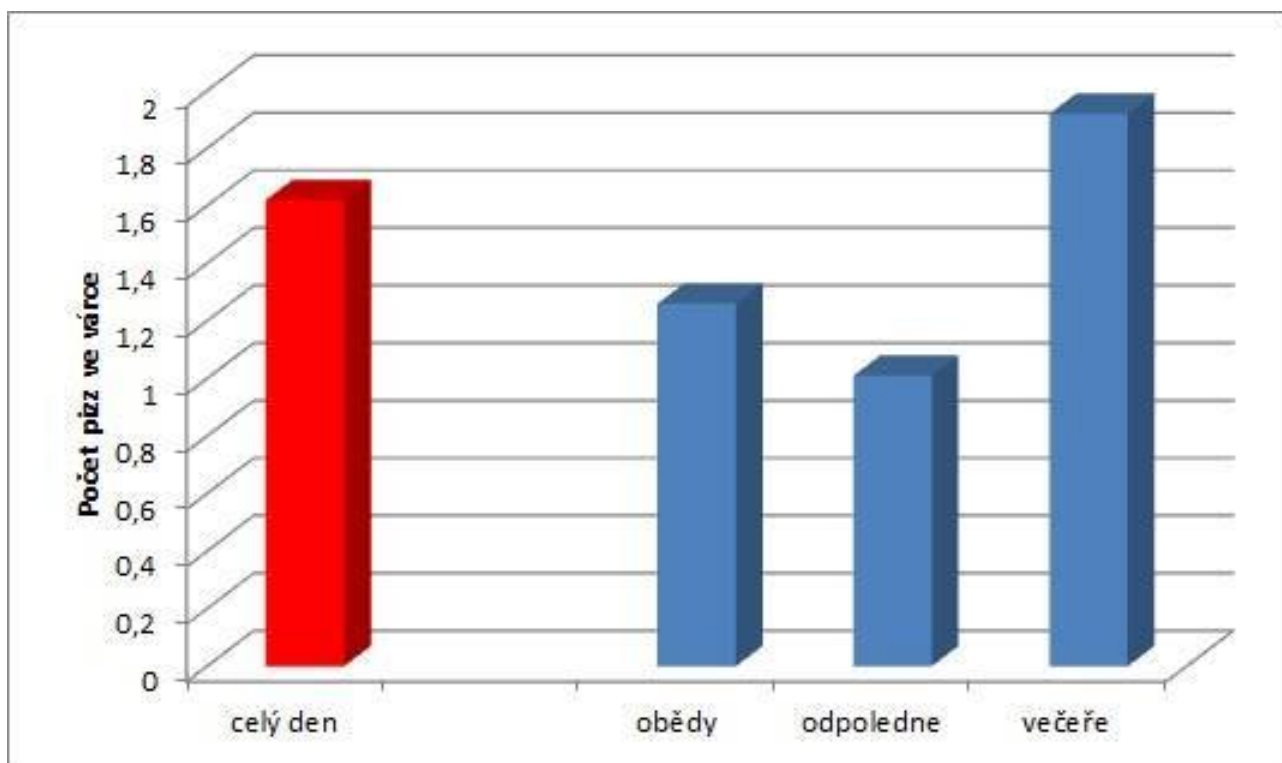
Poslední částí z experimentů je večerní provoz. Zde je výtěžnost pizaře přes 60%. Každ-

pádně se zde již začaly tvořit fronty dávek u pizzaře a to zhruba u 2/3 příchozím objednávek, ale průměrný čas byl 7,2 minuty. Zde většina objednávek obsahovala 2 kusy pizz. Podíváme-li se na výtěžnost pece, dostáváme se k číslům kolem 45%. A už se zde hromadí i várky u poloviny objednávek s průměrnou dobou 5 minut. U řidičů je výtěžnost při těchto požadavcích přes 80% a průměrnou dobou čekání 18,2 minut. Už se již zde navýšilo číslo objednávek, u kterých vypršel timeout a byly tudíž odstraněny ze systému, stalo se tak u 2 objednávek.

V tomto období jsou splněny veškeré podmínky firmy. Provedli jsme mnoho experimentů, za účelem navýšení efektivity, ale žádná z možností se neukázala jako lepší. Byla by možnost pořídit ještě jednu pec s kapacitou 4 ks pizz, ale mělo by to za následek zvýšení ztrátovosti objednávek, protože by se tvořily velké fronty u řidičů.

5.3 Závěry experimentů

Pomocí experimentů se podařilo zjistit optimální stavy, aby byly splněny požadovaná kritéria firmy. Pro zobrazení výsledků našich experimentů poslouží graf 4 ve kterém se porovnají počáteční a námi optimalizovaná data.



Obrázek 4: Počet pizz ve várce

Z grafu je vidět, že jsou splněny vstupní kritéria firmy. A to výtěžnost pizzaře je přes 50% a výtěžnost řidičů je přes 60%.

6 Shrnutí simulačních experimentů a závěr

V rámci projektu do předmětu IMS byl sestaven simulační model SHO výrobní linky. Na základě experimentů bylo určeno optimální nastavení systému pro efektivní výtěžnost firmy za splňujících kritérií. Veškeré výsledné nastavení je uvedeno v tabulce. Dále bylo experimenty zjištěno, o kolik by firma musela navýšit příjem objednávek v určitém období dne, aby byly zachovány veškeré požadavky firmy a zároveň se zlepšila výtěžnost jednotlivých prvků v systému dle zadaných kritérií (tabulka 4).

Období	Počet řidičů	Výtěžnost pizzaře	Výt. pece	Výt. expedice	Navýšení obj.
obědy	2	35%	12%	60%	20%
odpoledne	2	27%	11%	50%	100%
večer	3	60%	45%	80%	0%

Tabulka 4: Doba rozvozu