



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY

MODELOVANIE A SIMULÁCIA

VARIANTA ČÍSLO 3

MODELLING AND SIMULATION

ASSIGNMENT NO.3

PROJEKTOVÁ DOKUMENTÁCIA

PROJECT DOCUMENTATION

AUTORI PRÁCE

AUTHORS

JÁN GULA & MARTIN NIZNER

BRNO 2017

Kapitola 1

Úvod

Tento projekt vznikol ako riešenie zadania z predmetu Modelovanie a simulácie a je v ňom rozoberaná implementácia a simulácia kravínu. Hlavným cieľom tohto projektu je skúmať proces výroby mlieka pre spracovateľský priemysel. Zmyslom experimentov je ukázať, ako by dopadla situácia pri zmene vstupných parametrov systému, ktoré sú napríklad celkový počet dojacích krav v kravíne. Na základe získaných poznatkov zo simulácií vieme rozhodnúť aký vplyv na rýchlosť chodu systému by mala táto zmena parametrov.

1.1 Autori

Autori projektu su študentmi Fakulty informačných technológií Vysokého učení technického v Brne Ján Gula a Martin Nizner. Obaja autori vyrastali na dedine pričom prvý zo spomínaných autorov brigáduje každoročne na poľnohospodárskom družstve a preto získavanie informácií a pochopenie fungovania systému nebol až taký problém akým by mohol byť v iných témach.

1.2 Zdroje informácií

Informácie sme čerpali priamo z farmy Dolné Trhovište, ktorá patrí pod spoločnosť FOOD FARM s.r.o, pri osobnej návšteve komplexu, z pravidelných výpisov dojenia a mesačných, prípadne ročných štatistík, ktoré nám farma poskytna. Za pomoc pri pochopení problematiky, za zodpovedanie na vyčerpávajúci počet otázok, sprevádzaní po farme a sprístupnenie relevantných informácií ohľadom chodu systému patrí veľká vďaka zootechnologičke Ing. Márii Žbirkovej, ktorá nám zároveň pomáhala pri validácii systému počas získavania výsledkov simulácií.

1.3 Validita modelu

Pre overenie validity modelu boli poznatky získané zo simuláčnych experimentov priebežne konfrontované telefonicky s odborníčkou, prípadne porovnávané s ročnými

štatistikami. V prípadoch kedy sa nám výsledky výrazne nezhodovali, sme vedeli, že systém obsahuje namodelované prvky, ktoré porušujú validitu modelu.

Kapitola 2

Rozbor témy a teória

Produkcia mliečnych výrobkov sa začína narodením jalovice, ktorá sa po približne 2 rokoch prvý krat otelí, čím sa stane dospelou kravou schopnou produkovať mlieko, ktoré sa po rôznych procesoch dostane až do predaja prípadne sa môže použiť na výrobu mliečnych výrobkov ako je napríklad maslo. Naša implementácia témy chápe ako produkciu mlieka pre spracovateľský priemysel. Rozhodli sme sa nemodelovať produkciu masla pretože sme mali na toto téma obmedzené zdroje praktických faktov a naopak veľmi bohaté zdroje pre produkciu mlieka. Naše riešenie je teda zamerané na analýzu systému fungovania kravínu so zameraním na zachytenie detailov. V systéme su zahrnuté podrobnosti ako je napríklad životný cyklus stáda kráv, tzn. v systéme modelujeme narodenie býka/jalovice, po ktorom v prípade narodenia jalovice nasleduje po prvom otelení odstránenie niektorej zo starších kráv z kravína z kapacitných dôvodov. Pre modelovanie a simuláciu zadaného systému je nutné poznať jeho chod. Ako vzorový model sme použili Poľnohospodárske družstvo Dolné Trhovište, ktoré sa nachádza na Slovensku, neďaleko bydliska oboch autorov. Praktické informácie sme získavali priamo na mieste od ľudí, ktorí v uvedenom systéme pracujú každý deň pod dohľadom odborníčky na zootechnológiu. V uvedenom systéme sú kravy z plemena Holstein, ktorých rod je pôvodom zo severného Nemecka a Holandska. Toto plemeno je celosvetovo známe vďaka tomu, že produkuje najväčší objem mlieka z celej živočíšnej ríše. Typické sú svojimi veľkými čiernymi škvrnami. Nami skúmaná farma chová 520 jedincov tohto plemena. Pôvodne sa používali na dva hlavné ciele a síce produkcia mlieka a rovnakým podielom chov kvôli hovädziemu mäsu. V dnešnej dobe sa v rámci Slovenska a Česka využívajú hlavne na produkciu mlieka, a na výrobu mäsa odchádzajú až v starobe, prípadne pri neschopnosti produkcie mlieka. Priemerný jedinec váži približne 680-770 kilogramov a meria 145-165 centimetrov. Pri narodení nového jedinca hrá hlavnú úlohu to, či sa jedná o býka alebo jalovicu. Farmy, ktoré sa zameriavajú na produkciu mlieka si nemôžu z kapacitných dôvodov dovoliť chovať býkov a preto ich približne 2 týždne po narodení predávajú. Mladé jalovice naopak v systéme ostávajú a do svojho prvého otelenia, ktoré prichádza po približne 2 rokoch zostávajú medzi ostatnými jalovicami a neprodukujú žiadne mlieko. Po prvom otelení sa z jalovice stáva krava schopná produkcie mlieka. Mladšie kravy produkujú mlieko s menším obsahom tuku a preto sa ich mlieko považuje za nekvalitnejšie. Za kravu, ktorá ide von zo systému na mäso dostanú peniaze, znamená, že pre kravín je

prirodzené, že s každou novou kravou v systéme sa musí jedna zo systému odstrániť. Tento cyklus zabezpečuje reguláciu počtu jedincov na celej farme tak aby nedošlo k prekročeniu kapacity farmy. Bežný deň kravy na farme začína o 5 hodine každé ráno kedy prebieha prvé dojenie. Kým sa prestriedajú všetky kravy pri prvom dojení prejde čas približne 3 hodiny. Po dojení je pravidlom, že sa ide krava najesť. Po 8 hodinách sa tento cyklus opakuje. Počet dojacích kráv sa nikdy nerovná počtu celkových kráv. Tento jav nastáva hlavne z dôvodu pravidelného otelenia. Každá krava musí byť jeden krát za rok otelená. Neznamená to však, že od momentu otelenia nemôže dojiť. Krava prestáva dojiť až 2 mesiace pred samotným pôrodom. Pri počte 520 kráv sa v priemere mesačne narodi 43 teliat. Pre náš systém to znamená, že je krava v daný mesiac otelená s pravdepodobnosťou 0.083%. Ďalším prípadom je ochorenie kravy, ktoré však nastáva ojedinele a je veľmi náročné na modelovanie, pretože je krava neschopná produkcie mlieka na neurčitý čas závislý na typu ochorenia. Napríklad v prípade, že krava nedokáže oteliť, je so systému vyradená. V situáciách kedy mlieko kravy není vhodné na predaj sa kravy označia no napriek tomu sú podojené a ich mlieko sa zahadzuje. Toto není jediný objem mlieka, ktorý sa zahadzuje, veľmi malé objemy sú stratené aj pri začiatku dojenia kedy sa krave vypustí isté množstvo, ktoré jej mohlo ostať vo vemene z posledného dojenia a za dobu 8 hodín sa pokazilo.

Kapitola 3

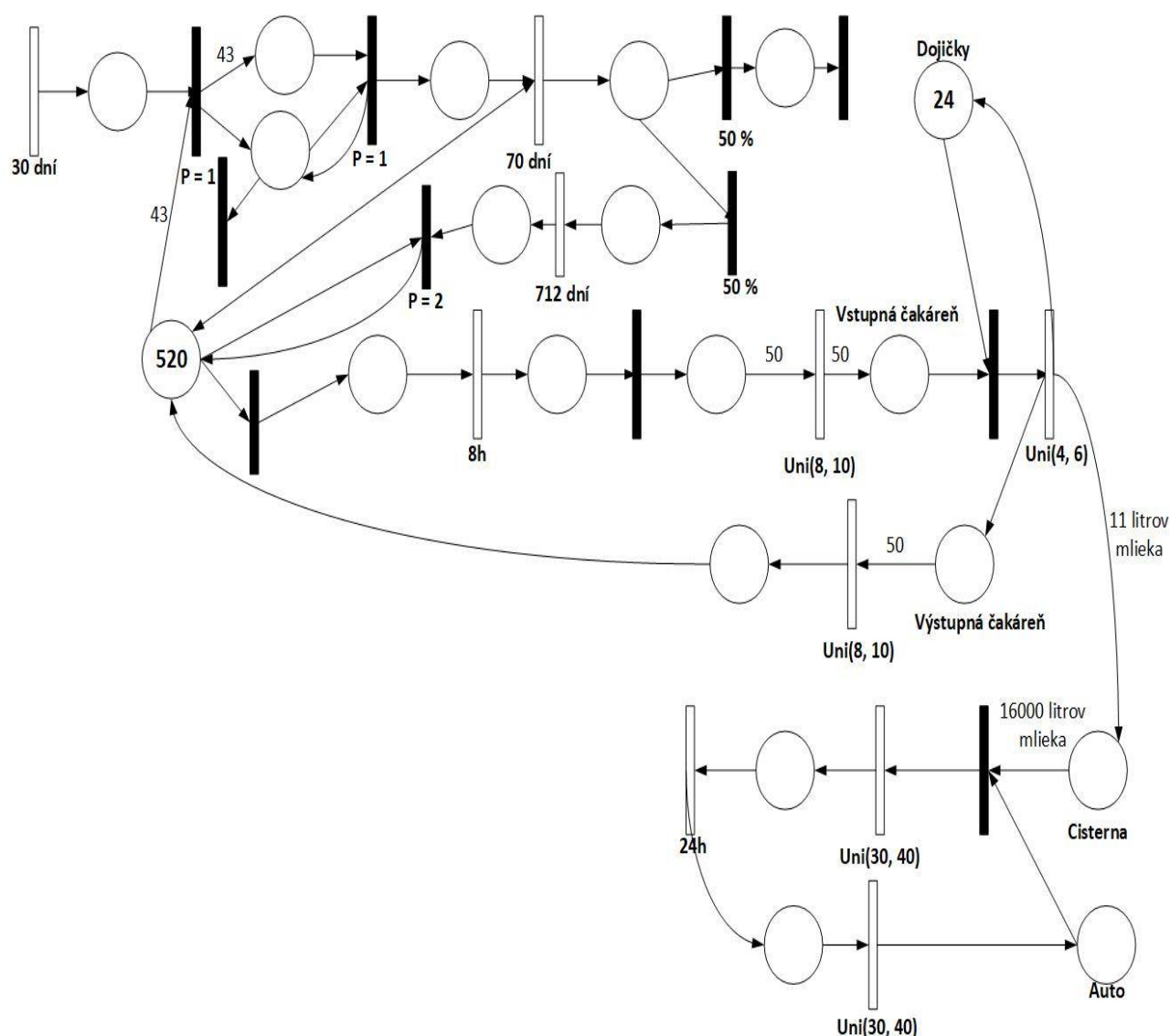
Koncepcia modelu

Cieľom modelu je simulovať produkciu mlieka a zachytiť systém fungovania kravínu. Proces pasterizácie mlieka a dodatočných úprav mlieka po opustení kravínu bol zanedbaný. Ďalej došlo k zanedbaniu rozdielu medzi tým, či krava leží alebo žerie. Toto je z dôvodu toho, že je podľa nás veľmi zložitá až nemožné presne zachytiť časové intervaly v ktorých krava žerie alebo leží, môže sa stať napríklad to, že si naberie seno a ide si s ním ľahnúť a v tom prípade leží aj žerie zároveň. Je problematické namodelovať správanie zvierata, ktoré je čisto o jeho vôli. Pri získavaní štatistík nám ani odborníci nevedeli povedať koľko zo dňa môže jednotlivý jedinec ležať a koľko žrať. Jediná relevantná informácia, ktorá nám bola poskytnutá je, že krava žerie asi každé dve hodiny a že po dojení ide s určitou šancou žrať aspoň na 30 minút. Ďalšou prekážkou v modelovaní žrania a ležania bolo, že pri odhade času počas ktorého žerú/ležia musíme brať do úvahy že príkaz `Wait()` je neprerušiteľný a tým pádom keď krava žerie a príde čas dojenja, krava neprestane žrať tak ako by to bolo v realite prípadne sa nepostaví z ležania ale musí stále čakať pokiaľ neuplynú nami uvedený čas. Tento fakt by spôsobil nevaliditu systému a aj preto sme sa rozhodli tieto činnosti zahrnúť do jednej, ktorá označuje to, že je krava v maštali a robí to čo sa jej momentálne chce a vždy to môže byť prerušené dojením. Touto koncepciou sa podľa nášho názoru najviac blížíme k reálnemu systému, čo zároveň potvrdzujú štatistiky získané v našich experimentoch.

3.1 Návrh konceptuálneho modelu

Vstupom simulácie sú počty, ktoré môžu byť rozdielne pre jednotlivé farmy. Konkrétne sa jedná o celkový počet kráv v kravíne z ktorého sa potom vypočíta na základe pravdepodobnosti otelenia počet kráv, ktoré sú schopné v daný mesiac dojiť predvolenou hodnotou je 520, čo je presný počet kráv na nami skúmanej farme. Počet dojičiek určuje koľko kráv môže byť naraz dojených pričom východisková hodnota je 24 a posledným parametrom je kapacita čakárne do ktorej kravy vstupujú pred dojením. To znamená, že ak je kapacita čakárne napríklad 72, čo je naša predvolená hodnota, tak naháňač vezme skupinu 72 kráv z maštale a naženie ich do čakárne kde kravy čakajú kým sa dostanú na rad na dojenie a budú si môcť obsadiť svoju dojičku. Po podojení, ktoré trvá približne 4 až 6 minút kravy vychádzajú do výstupnej čakárne

kde sú pokiaľ sa celá várka neprestrieda a nepodojí. Následne odchádzajú spoločne preč naspäť do maštali. Tento cyklus sa opakuje 3 krát denne. Na konci dňa, raz za 24 hodín prichádza auto, ktoré za približne 30 minút odčerpá všetko mlieko, ktoré bolo v daný deň podojené. Cesta do farmy trvá autu približne 33 minút exponenciálne a rovnaký čas naspäť. Dalším strojom, ktorý pracuje na farme je nakladač sena. Tento chodí 3-krát denne a rozváža po celej farme seno, jedno prejde celou farmou mu zaberie približne 3 hodiny. V modeli je zachytené aj narodenie nových teliat. Každá krava musí raz ročne oteliť. Dva mesiace pred pôrodom je vyradená z procesu dojenia a tzv. zasušená¹. Po narodení sa zistí či sa jedna o jalovicu alebo býka. V prípade býka vystupuje so systému (je predaný) v prípade jalovice sa čaká 2 roky kým bude môcť oteliť a po tomto období je schopná produkovať mlieko. Abstraktný model bol definovaný pomocou petriho siete.



¹Odborne sa tento proces nazýva laktácia

Kapitola 4

Simulačný model a experimenty

4.1 Architektúra simulačného modelu

V našej implementácii je využité dedenie triedy Process. Jeden proces reprezentuje jednu kravu. Pri počte 520 kráv je teda cyklus, ktorý vytvorí 520 procesov, ktoré začnú naraz vykonávať svoje správanie definované vo funkcii Behavior(). Dojičky kráv sú modelované ako typ Store o veľkosti, ktorá je vstupným argumentom. Rovnako je modelovaná aj kapacita čakárne a kapacita maštali. Jediný odlišujúci sa Store je pre jasle, ktoré určujú počet novonarodených teliat, ktoré môžu byť na farme. Tento počet je priamo úmerný počtu kráv na základe pôrodnosti. Naš modelovaný systém predpokladá, že krava je otelená v daný mesiac s pravdepodobnosťou 0.083% a tým pádom objem jaslí je daný ako súčin počtu kráv a pravdepodobnosti otelenia v daný mesiac. K tejto hodnote je dobré pripočítať konštantu, ktorá zabezpečí, že sa objem jaslí neprekročí ani pri nadmernej pôrodnosti. V našej implementácii je to $43 + 7$ a je teda vyhradených 50 miest pre nové telatá. Hlavným prvkom programu je proces Krava, ktorý definuje jej správanie. Krava má dva prepínače. Jeden na otelenie, ktoré určuje či krava bola tento rok otelená, tento príznak sa po roku vynuluje, toto je zabezpečené ďalším procesom, ktorý po uplynutí doby rovnej jednému roku vynuluje tento príznak. Druhým príznakom je signalizácia toho, že je krava otelená a musí prestať dojiť. Tento príznak sa nuluje po 2 mesiacoch, keď krava otelie. V programe bolo najťažšou úlohou zabezpečiť súčasný príchod kráv do čakárne, následné súčasné vstúpenie istej skupiny do dojárne po ktorom opäť nasledovalo čakanie vo výstupnej čakárni na ostatné kravy zo skupiny. Do tohto procesu sme museli zahrnúť aj to, že nie vždy prišla konštantná skupina kráv ale mohol prísť iba zvyšok zo stáda, ktorý zostal. Tento problém sme riešili implementovaním funkcie WaitUntil() kde ako parametrom funkcie bola podmienka, ktorá kontroluje či je vstupná čakáreň plná. Proces naháňania kráv do čakárne trvá naháňačovi, ktorý má vlastný proces približne 8 minút konštantne. Ak nastane situácia, že vstupná čakáreň je plná, istý počet kráv, daný počtom dojičiek je vpustení do dojárne kde sú 4-6 minút. Následne čakajú vo výstupnej čakárni a potom sú všetky spolu naháňačom nahnané do maštali a ide nová skupina pokiaľ sa neprestrieda celý kravín. Podmienkou pre čakanie vo výstupnej čakárni bolo aby sa posledná várka kráv, ktorá nikdy nenaplnila kapacitu čakárne nečakala znova na zaplnenie výstupnej čakárne ako tomu bolo doteraz,

ale aby sa predom vypočítalo koľko kráv zostane v poslednej skupinke. Táto hodnota je daná ako počet kráv modulo kapacita čakárne. Ďalším procesom je zachytené chodenie auta na čerpanie cisterny mlieka. Tento proces sa opakuje každých 24 hodín, nezávisle na objemu nadojeného mlieka ako tomu bolo aj na študovanej farme. Poslednými procesmi su Otelenie(Krava *kdo) a Tela(), kde prvé zo spomínaných modeluje otelenie kravy, ktorá tento rok nebola otelená, to sa kontroluje podmienkou podľa ukazateľa na kravu, ktorý je vstupným parametrom procesu. Po otelení čaká 2 mesiace vo waite, čo simuluje neschopnosť kravy byť podojená. Toto je riešené v samotnom procese kravy. V procese Otelenie() sa rieši iba nulovanie príznaku kravy, ktorý sa zmaže po roku v ktorom proces otelenia konkrétnej kravy čaká. Posledným procesom je Tela(), ktorý simuluje narodenie telata. V tomto procese je rozhodovanie kde v 50% prípadov (narodil sa býk) proces opúšťa systém príkazom Passivate() a vo zvyšných prípadoch čaká 2 roky, čo simuluje dobu do prvého otelenia, po ktorej sa jalovica stáva dojacou kravou a vstupuje do systému odkiaľ zároveň jednu z aktívnych kráv odstraňuje, čím simulujeme proces striedania generácii kráv na farme.

4.2 Simulačné experimenty

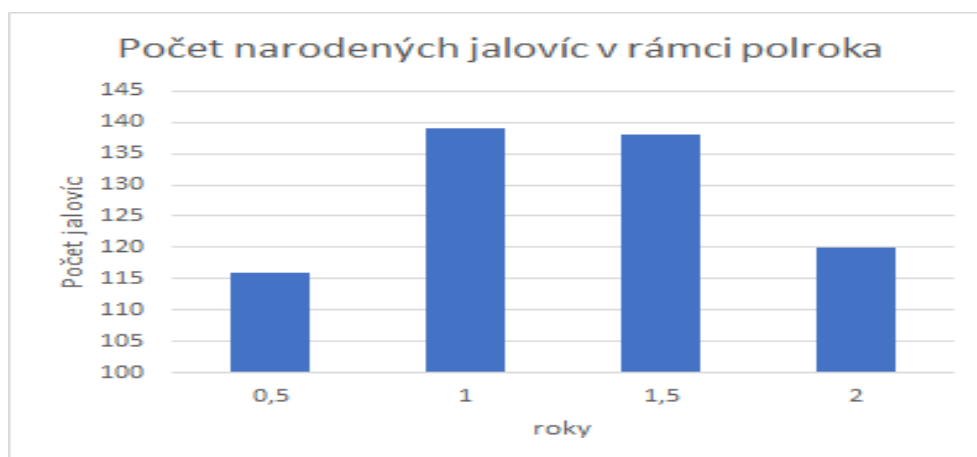
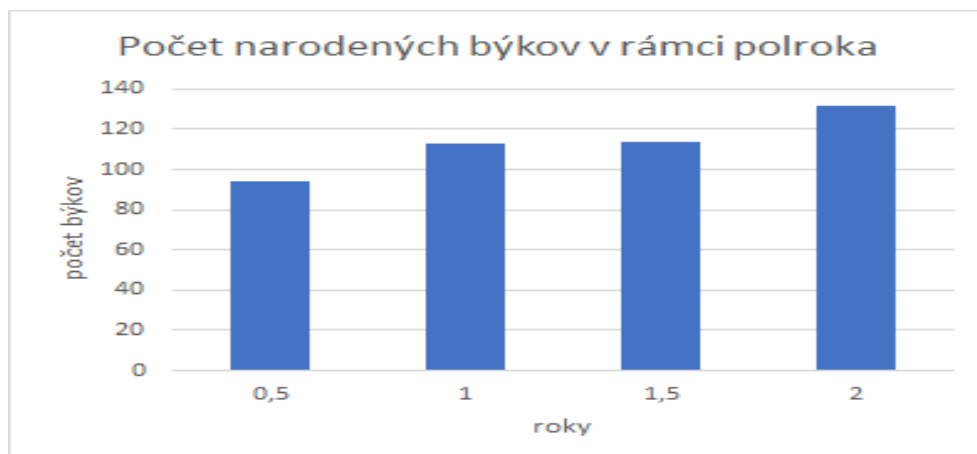
Podstatou týchto experimentov bolo získanie štatistík, ktoré boli konzultované s reálnymi štatistikami farmy a na základe tohto porovnania určiť na koľko je systém validný. Prvé výsledky poukazovali na vážne chyby v systéme pretože boli veľmi vzdialené od reálnych hodnôt. Problém bol hlavne v tom, že sa v našom systéme spúšťali časovače až po skončení činnosti, ktorú časovali. Ako príklad uvedieme proces dojenia, ktoré sa opakuje každých 8 hodín a trvá približne 30 minút pre jednu kravu. Tento proces sa tak spúšťal opakovane až po podojení čo malo za následok, že kravy boli dojené každých 8 a pol hodín. To pre náš systém znamenalo, že sa za deň nepodoja 3 krát ako by sme očakávali ale iba 2 krát. Tento fakt spôsoboval pomerne veľké odchýlky. Po následnej úprave systému sa výsledky ukázali ako veľmi podobné reálnym výsledkom s odchýlkou do 5% z nameraného počtu. Tieto odchýlky sme si vysvetlili ako rôzne nečakané udalosti, ktoré mohli nastať v reálnom systéme ako je napríklad nadmerný počet otelených kráv. Na základe týchto porovnaní sme usúdili, že systém dosahuje pomerne vysoké percento validity.

4.2.1 Experiment 1

Tento experiment prebiehal s použitím prednastavených hodnôt, ktoré sme zistili priamo na mieste farmy. Počet kráv, ktoré na farme žijú je nastavený na 520. Počet dojičiek, ktoré určujú koľko kráv sa môže naraz dojiť je 24. Posledným východiskovým parametrom je kapacita čakárne, ktorá určuje koľko kráv bude nahnaných z maštali pred dojením. Základné nastavenie je 72, tento počet je však veľmi špecifický pre danú farmu pretože na farme sa nachádza 24 dojičiek, čo je tretina z kapacity čakárne. Uvedené informácie sú za obdobie 800 dní, aby sme boli schopní simulovať aj narodenie teliat. V tabuľke sú uvedené príkladné informácie, ktoré náš systém uchováva, viac informácii sa nachádza v histogramoch po spustení experimentov.

Tabuľka 4.1: Experiment s prednastavenými hodnotami

Počet dojení	Počet teliat ¹
1 043 493	1 024



4.2.2 Experiment 2

Na základe prvého experimentu sme sa snažili urýchliť proces vyprázdňovania čakárne, čo je momentálne najväčším zdržaním pre systém. Týmto experimentom sme chceli zistiť, či je možné zefektívnenie systému pomocou zdvojnásobenia počtu dojičiek. Pre samotnú farmu by táto zmena znamenala veľku investíciu a preto by sa takáto úprava systému oplatila iba keby sa systém výrazne zrýchlil. Po zdvojnásobení dojičiek by sa čakáreň vyprázdňovala dvojnásobnou rýchlosťou a zároveň by mohol dvojnásobný počet kráv dojiť súčasne. Najvýraznejšia zmena nastala v maximálnom čase čakania v čakárni. Experiment ukázal, že maximálny čas procesu dojenia sa zmenší o 5 minút. Podľa nás je tento čas príliš malý na to, aby firma mala reálne zvážiť zvýšenie počtu dojičiek.

Tabuľka 4.2: Maximálny čas strávený procesom dojenia v minútach, porovnanie. Zahŕňa aj naháňanie a čakanie.

Maximálny čas - nový	Maximálny čas - pôvodný
26.1007	32.6394

4.2.3 Experiment 3

Po zrýchlení systému o 5 minút v maximálnom čakaní, sme chceli zistiť, či by pri dvojnásobnom počte dojičiek, nepomohlo k ešte väčšiemu zefektívneniu zdvojnásobiť kapacitu čakárne. Naša úvaha vyplývala z toho, že sa bude môcť nahnať dvojnásobný počet kráv a tak nebude potreba tak často naháňať kravy do čakárne. Pre samotnú farmu by zvýšenie kapacity čakárne nepredstavovalo príliš veľkú investíciu oproti zvýšeniu počtu dojičiek. Výsledky simulácie však poukázali na skutočnosti na ktoré sme pri pôvodnom vymýšľaní experimentu nebrali ohľad a síce to, že čas za ktorý naháňač naženie dvojnásobný počet kráv sa zoštvornásobí pretože mu bude trvať dvakrát dlhšie nahnať ich do vstupnej čakárne a dvakrát dlhšie nahnať ich späť do maštali. Výsledky ukázali, že táto zmena mala skôr negatívny efekt na chod systému a výsledky čakania dosiahli pôvodného stavu aj po zdanlivom zrýchlení.

Maximálny čas - nový	Maximálny čas - pôvodný
32.6438	32.6394

4.2.4 Experiment 4

Posledný experiment zvažuje pre farmu ekonomicky najpriateľnejšiu variantu a síce zväčšenie kapacity čakárne pri zachovaní počtu dojičiek. Po výsledkoch v predošlom experimente sme očakávali výsledky, ktoré by ukazovali spomalenie systému nakoľko má zvýšenie kapacity čakárne nevýhody pri naháňaní kráv a pri čakaní. Výsledky experimentu potvrdili naše domnienky a ukázali, že zdanlivo vhodné rozšírenie kapacity čakárne má negatívny efekt na chod systému. Zároveň sa zmenšil počet dojení, toto je následkom toho, že maximálne čakanie v proces dojenia sa výrazne zvýšilo a tak sa pri niektorých dojacích cykloch nestihlo prestriedať všetkých 520 kráv, tým pádom sa niektoré podojili iba 2 krát denne.

Maximálny čas - nový	Maximálny čas - pôvodný
48.5821	32.6394

Počet dojení - nové	Počet dojení - pôvodné
1 010 364	1 041 892

Kapitola 5

Záver

Experimenty boli zamerané na snahu zefektívniť a teda zrýchliť chod systému. Ako sa však ukázalo z uvedených experimentov vyplýva, že není možné výrazne zvýšiť rýchlosť systému bez zvýšenia dojičiek, čo by však predstavovalo investíciu, ktorá sa farme pravdepodobne nevyplatí alebo si ju nemôže dovoliť. Záver experimentov je teda, že skúmaný systém je v momentálnom stave dostatočne efektívny. Simulácie prebiehajú v časových jednotkách minúty, z toho vyplýva, že simulácie so simulačným časom 800 dní trvajú niekedy dlhšie než minútu. Dodatočné informácie a výsledky experimentov sú dostupné v .out súboroch, ktoré sa vygenerujú po spustení príkazu *make run*.