

# Plánování a řízení provozu pivovaru s podporou počítačové simulace

## *Planning and Management of a Brewery Production with the Support of Computer Simulation*

Jiří HLOSKA, Miroslav ŠKOPÁN

Ústav automobilního a dopravního inženýrství, Fakulta strojního inženýrství, Vysoké učení technické v Brně, Technická 2896/2, 619 69 Brno / *Institute of Automotive Engineering, Faculty of Mechanical Engineering, Brno University of Technology, Technická 2896/2, CZ-619 69 Brno*

e-mail: jiri.hloska@isilog.cz

Recenzovaný článek / *Reviewed paper*

**Hloska, J. – Škopán, M.: Plánování a řízení provozu pivovaru s podporou počítačové simulace.** Kvasny Prum. 60, 2014, č. 6, s. 146–150

Plánování a řízení výrobního procesu pivovaru je z technologického i manažerského pohledu náročná úloha. Důvodem je množství procesních fází a jejich parametry (v závislosti na druzích vzniklých produktů a šíři výrobního portfolia) a technická omezení technologických zařízení (kapacita sil, objem tanků a filtračních nádrží, rychlost jejich plnění a vypouštění, čištění filtrů atd.), stejně jako provozní podmínky (disponibilita vstupních surovin, výrobních prostředků, směnový režim v částech výroby s podílem manuální práce, využitelnost plnicích linek, logistika skladování hotových produktů a další). Mnohé z těchto parametrů mají navíc stochastickou povahu (prostoje plnicích linek, fluktuace tržní poptávky apod.). Tento článek pojednává o způsobu, jakým lze celý proces výroby a stáčení piva plánovat a řídit s využitím počítačového modelu, a to od vstupu surovin až po sklad balených produktů. V úvodu je pojednáno obecně o související problematice diskrétních simulací výrobních procesů s cílem jejich optimalizace. Hlavní část článku představuje nadstavbu softwarového simulačního nástroje, pomocí kterého lze na základě tabulárně zpracovaných provozních údajů vygenerovat simulační model pivovaru. Prostřednictvím případové studie je dále demonstrována možnost provedení simulačních experimentů s cílem nalezení a odstranění úzkých míst výroby a zvýšení vytiženosti výrobních prostředků a tím i produktivity celého pivovaru. V závěru jsou shrnuty poznatky vztahující se k současné úrovni technologie simulace s ohledem na její využití v potravinářském průmyslu a pivovarství.

**Hloska, J. – Škopán, M.: Planning and management of a brewery production with the support of computer simulation.** Kvasny Prum. 60, 2014, No. 6, pp. 146–150

Planning and management of the process of a beer production is a complex task, both from technological and managerial point of view. The reason is high number of process stages and their parameters (in relation to the type of final product and to the production portfolio) together with technical limitations of technological equipment (capacity of silos, volume of fermentation and filtration tanks, their filling and emptying rate, cleaning of filters etc.), and also operating conditions (availability of raw material, production facilities, shift regime in sectors of the production with manual labour, availability of filling lines, storage logistics of finished products, etc.). This paper deals with a way in which the process of beer production and bottling can be planned and controlled with the support of a computer model (from input of raw material to store of packaged products). In the introduction general information about the related issue of discrete-event simulation of production processes with the aim of their optimization is discussed. The main part presents an add-on of simulation software, which enables generating of a brewery simulation model based on operational data which are processed in a spreadsheet. The example of a case study demonstrates the possibility to carry out simulation experiments in order to find and remove bottlenecks in production and to enhance utilization of production facilities and thus productivity of the entire brewery. The conclusion summarizes findings related to the current level of simulation technology.

**Hloska, J. – Škopán, M.: Planung und Management des Brauereibetriebs mit Hilfe einer Computer Simulation.** Kvasny Prum. 60, 2014, Nr. 6, S. 146–150

Die Planung und Verwaltung eines Brauherstellungsprozesses stellt vom technologischen und betriebswirtschaftlichen Gesichtspunkt eine anspruchsvolle Aufgabe dar. Der Grund dafür ist große Anzahl der Prozessphasen und ihre Parameter (in Abhängigkeit von Sorten der Endprodukte und Breite des Herstellungsportfolios) und auch die technischen Beschränkungen von technologischen Anlagen (Kapazität von Silos, Volumen von Tanks und Filteranlagen, Füllungs- und Entleerungsgeschwindigkeit, Reinigung der Filter, usw.), sowie auch die Betriebsbedingungen (Disponibilität der Rohstoffe, Produktionsmittel, Schichtregime in Betriebsbereichen mit einem Anteil an Handarbeit, Verfügbarkeit der Abfüllungslinien, Logistik der Lagerung von fertigen Produkten und Weiteres). Darüber hinaus weisen viele von diesen Parametern stochastische Natur auf (Ausfallzeit der Abfüllungslinien, Fluktuation der Marktnachfrage usw.). Dieser Artikel befasst sich mit dem Verfahren, wie der gesamte Bierherstellungs- und Abfüllungsprozess als Ganzes vom Rohstoffeintritt bis zum Lager für verpackte Produkte mit Hilfe eines Computers geplant und gesteuert werden kann. In der Einleitung des Artikels wird allgemein die Problematik der ereignisorientierter Simulation der Herstellungsprozesse mit dem Ziel ihrer Optimierung beschrieben. Der Hauptteil des Artikels stellt eine Erweiterung eines Simulationsinstruments vor, mit der auf Grund von tabellarisch verarbeiteten Betriebsdaten ein Simulationsmodell der Brauerei generiert werden kann. Durch eine Fallstudie ist weiter die Möglichkeit demonstriert, Simulationsexperimente durchzuführen, um Engpässe in dem Bierproduktionsprozess zu finden und zu entfernen, womit die Auslastung der Produktionsmittel und damit die Produktivität der ganzen Brauerei steigen. Zum Schluss des Artikels werden Kenntnisse über den aktuellen Stand der Simulationstechnologie mit Rücksicht auf ihren Einsatz in der Lebensmittelindustrie und in den Brauereien zusammenfasst.

**Klíčová slova:** pivo, výroba piva, diskrétní simulace, simulační model, simulační experiment

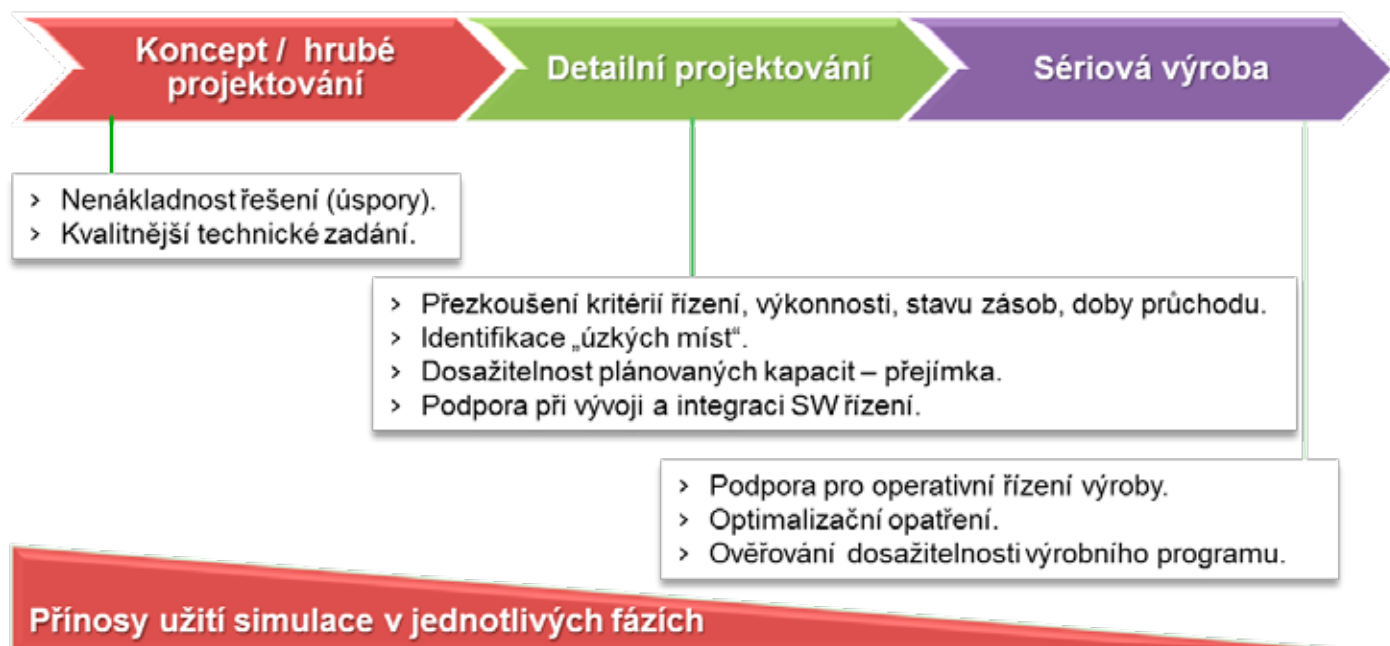
**Keywords:** beer, beer production, discrete event simulation, simulation model, simulation experiment

### 1 ÚVOD

Simulaci lze definovat jako napodobení dynamického procesu v rámci zkoumaného systému pomocí modelu za účelem provádění experimentů, kterými lze získat informace využitelné v reálném systému (VDI 3633, Blatt 1, 2010). Využití diskrétní simulace za účelem ověření funkčnosti plánovaných výrobních systémů i jejich operativního řízení je dnes v podnicích zaměřených na hromadnou výrobu denní praxí. V závislosti na různých fázích projektů plánování či říze-

### 1 INTRODUCTION

Simulation can be defined as an imitation of a dynamic process within the investigated system using a model in order to perform experiments that can be used to obtain information applicable for the real system (VDA 3633, Blatt 1, 2008). The use of discrete event simulation in order to verify functionality of planned production systems and their operative control is a daily praxis in companies which are focused on mass production. Depending on various stages of



Obr. 1 Účely využití diskrétní simulace v různých fázích projektu plánování výroby / Fig. 1 Purposes of use of simulation in different stages of production planning

ní výroby jsou simulační nástroje využívány pro účely ověření funkceschopnosti konceptu, ověření kvality řízení, výkonnosti systému, stavu zásob apod., nebo také za účelem optimalizace operativního řízení výroby – obr. 1 (Hloska a Štoček, 2013).

Bez nároků na přesnou definici lze říci, že diskrétní simulace je technika replikace určitého procesu pomocí počítače, přičemž počátek až konec tohoto procesu jsou přerušeny sekvencí událostí řízenými správcem událostí („event manager“). Čas v rámci simulačního modelu tedy neplyne kontinuálně, nýbrž nabývá diskrétních hodnot podle toho, kdy se má (na základě interní logiky simulačního softwaru) ta která událost odehrát. Problematika diskrétní simulace je součástí konceptu digitální továrny, který v sobě zahrnuje digitální (počítačové) modely, metody a nástroje spravované „pod jednou střechou“ integrovaným databázovým systémem podniku. Cílem konceptu digitální továrny je plánování, vyhodnocení a průběžné zlepšování všech podnikových procesů v souvislosti s nabízeným produktem v celém průběhu jeho životního cyklu. (VDI 4499 Blatt 1, 2008). Výsledkem využití nástrojů digitální továrny je lepší plánování a v důsledku i kratší uvedení produktu na trh, resp. pružnější a méně nákladná reakce na proměnlivé tržní podmínky (Kühn, 2006).

Předmětem zájmu diskrétní simulace jako součásti zmíněného konceptu digitální továrny je materiálový tok. Původně byla využívána v automobilovém průmyslu (zde vývoj tohoto oboru pokročil tak daleko, že vznikla potřeba standardizace tvorby a správy simulačních modelů a sjednocení pravidel provádění simulačních experimentů – v Evropském měřítku je v tomto ohledu určující činnost pracovní skupiny VDA Arbeitsgruppe Ablaufsimulation, která si klade za cíl standardizovat metody, rozhraní a softwarové nástroje pro diskrétní simulace (VDA, 2014). V posledních letech je rozvíjena také oblast využití diskrétní simulace pro účely tzv. virtuálního zprovoznění, zejména v souvislosti s jeho ekonomickými aspekty (Versteeg a Verbraeck, 2002).

Počítačové řízení výroby je samozřejmě běžné také v potravinářském průmyslu a pivovarnictví. Stále častěji jsou PLC pro řízení akčních členů, které ovládají výrobní zařízení, propojena se (simulačními) modely daného výrobního systému nebo jeho částí. Toho lze využít nejen v praxi, ale také pro výukové účely. (Krnínek et al., 2013). Pokud jde o technologické procesy probíhající v pivovaru, (Gläßer, 2011) navrhuje plánování kapacit technologických zařízení jednotlivých procesů jako zpracování příměsí, fermentace či filtrace pomocí diskrétní simulace. Kromě toho je pro potravinářský průmysl typickou úlohou řízení výrobního procesu ve smyslu časového a kvantitativního plánování výrobních dávek. Také tento problém lze s výhodou řešit pomocí počítačových či matematických modelů – např. s využitím fuzzy logiky (Osofisan, 2007).

Pro potravinářství byla vyvinuta speciální knihovna prvků (Food&Beverage Library, resp. Brewing Library) rozšiřující základní

a planning project or operation control simulation tools are used for the purpose of verification of performance of the particular concept, quality of control, output of the system, inventory levels etc., and also for the purpose of optimization of operational production (see Fig. 1 (Hloska and Štoček, 2013)).

Without giving a precise definition, discrete event simulation can be understood as a technique to replicate the production process on a computer, while the beginning and the end of the process are interrupted by events triggered by “event manager”. Therefore, time does not run continuously within the simulation model but it takes discrete values according to when (based on internal logic of the particular simulation software) the respective event should occur. The issue of discrete event simulation is part of a concept called Digital Factory, which includes digital (computer) models, methods and tools, which are managed „under one roof“ via an integrated database system of the particular enterprise. The aim of the Digital Factory concept is planning, evaluation and continuous improvement of all enterprise processes in relation with the product throughout its whole life cycle (VDI 4499 Blatt 1, 2008). The use of tools of Digital Factory concept results in better planning and thus shorter time to market, respectively a more flexible and less costly reaction to changeable market conditions (Kühn, 2006).

The objective of discrete event simulation as a part of the before mentioned concept of Digital Factory is material flow. Originally, discrete event simulation was used in automotive industry (here its development has progressed so far that a need for unified rules on how to perform simulation experiments arose – in European context the activities of the working group VDA Arbeitsgruppe Ablaufsimulation is defining. This group aims to standardize methods, interfaces and software tools for discrete event simulation (VDA, 2014). In recent years the field of use of discrete event simulation for the purpose of so called virtual commissioning has been developed, too, especially with regard to its economic aspects (Versteeg and Verbraeck, 2002).

Computer aided production control is of course also common in food and beverage industry. Increasingly, PLCs for controlling actuators that operate production facilities of a production system or its sections are linked with a simulation model. This can be used not only in praxis but also for educational purposes. (Krnínek, et al., 2013). As for technologic processes in a brewery, (Gläßer, 20011) suggests capacity planning for technologic facilities such as ingredients processing, fermentation or filtration with the use of discrete event simulation. Apart from that control of production process in the sense of time and quantitative planning of production batches is a typical task. Also this problem can be conveniently solved with computer or mathematical models – e.g. using fuzzy logic (Osofisan, 2007).

A special library of elements (Food&Beverage Library, or Brewing Library) has been developed for the food industry, which expands possible ways of use of the software Plant Simulation also for the needs of beer production. The following chapter deals with this library.

možnosti využití simulačního software Plant Simulation mimo jiné pro potřeby pivovarnického průmyslu. O této knihovně pojednává následující kapitola.

## 2 MATERIÁL A METODY

Pro účely simulace procesu výroby piva byla vyvinuta knihovna tříd prvků s názvem Brewing Library pro software Plant Simulation. Knihovna obsahuje následující prvky pro simulaci materiálového toku (prvkem je dále rozuměn z pohledu stavby simulačního modelu nedělitelný element, který je jednoznačně definován svými atributy, resp. jejich hodnotami, jež mohou být – částečně – určeny uživatelem v rámci parametrizace modelu):

- Brewing, Speise – výstřací, scezovací a rmutovací nádrže,
- Ferm – kvasné a ležácké tanky,
- Filter – filtry,
- BBT – přetlačný tank,
- Filling – plnicí linka,
- Warehouse – sklad balených nápojů (lahví či plechovek, barelů, cisteren...).

Pomocí těchto prvků je tedy vytvořen simulační model výrobní části pivovaru, který je vymezen oblastí příjmu vstupních surovin (sladu a příp. příměsí) – zde je dostupnost jednotlivých surovin určena v rámci parametrizace simulovaného scénáře, tj. bez detailního zohlednění procesů, jako je např. vážení a mletí sladu či separace hrubých kalů.

Kromě těchto prvků knihovna obsahuje rovněž elementy pro simulaci informačního toku tak, aby mohl být v modelu zachycen celý logistický řetězec. Kromě toho jsou k dispozici prvky zprostředkující rozhraní mezi simulačním software (Plant Simulation) a dalšími aplikacemi (XML, Oracle, MS Excel aj.). Pro vyhodnocení sledovaných klíčových ukazatelů v rámci simulačních experimentů prováděných s validním modelem jsou k dispozici kromě standardních prvků dostupných v základní verzi simulačního software již přednastavené grafické a tabelární ukazatele využitelnosti výrobních kapacit (nádrží, plnicích linek), propustnosti v různých fázích výrobního procesu (měřena v objemových jednotkách vztahených na jednotku času), časového průběhu a statistik hladiny zásob hotových výrobků (balených nápojů), trvání doby odstavení výrobních prostředků, změny výrobní dávky a čištění filtrů.

Na rozdíl od klasického přístupu, podle kterého sestává simulační studie ze čtyř fází (vytvoření pojmového a následně simulačního modelu s přípustnou mírou abstrakce, provedení simulačních experimentů, jejich interpretace a konečně implementace opatření v reálném systému na základě výsledků simulačních experimentů) (Banks, Carson et al., 2000), v případě knihovny Brewing Library je simulační model vytvořen automaticky. Děje se tak na základě dat uložených v sešitu MS Excel, která popisují potřebné atributy a technické parametry jednotlivých fází výroby piva a příslušných technologických zařízení.

## 3 PŘÍPADOVÁ STUDIE

S využitím výše popsané knihovny prvků Brewing Library a na základě výrobních dat typického provozu pivovaru byl vygenerován simulační model příslušného provozu. Omezující podmínkou byla dostupnost výrobních zdrojů (zejména objem a celkový počet fermentačních nádrží). To odpovídá praktické úloze operativního plánování výrobního programu, tedy přidělení zakázek do výroby. S ohledem na zadaný výrobní program (reflektující predikovanou poptávku po jednotlivých druzích vyráběného piva) byly provedeny simulační experimenty. Jejich cílem bylo nalezení takového přidělení zakázek výrobním zdrojům, které bude optimální s ohledem na následující stanovené klíčové ukazatele:

- Celková produkce všech druhů vyráběného piva (za sledované období) (hl),
- Vytížení disponibilních fermentačních nádrží (procentuální podíl trvání doby technologického zpracování, plnění, vyprazdňování, čištění nádrží, včetně zohlednění možných technických prostojů, doby nečinnosti a čekání na novou výrobní dávku) (%).

Jako podřídné ukazatele byly využity výsledné hodnoty produkce všech uvažovaných druhů piva v jednotlivých úsecích technologického procesu (výstřací, scezovací a rmutovací nádrže, filtry, nádrže pro mladé pivo a plnicí linky). Pro návrh nového rozložení zakázek ve výrobě byly rovněž využity výstupy z Ganttova diagramu, které

## 2 MATERIAL AND METHODS

For the purposes of simulation of the brewing process a class library called Brewing Library for the simulation software Plant Simulation has been developed. The library contains the following elements for simulation of material flow (by an element we mean an entity, which from the point of view of a model structure is indivisible and which is unambiguously defined by its attributes and their values that – partly – can be set by the user within the model parameterization):

- Brewing, Speise – mashing vessel, lauter tun and wort tank,
- Ferm – fermentation and lagering tanks,
- Filter – filter,
- BBT – beer tank (for beer maturation),
- Filling – filling line,
- Warehouse – storage of packaged beverages (bottles or cans, barrels, tanks...).

Using these elements a simulation model of a brewery is created, which is limited by a reception area of input raw material (malt and possible additives) – here the availability of the raw material is determined within parameterization of the simulated scenario, i.e. without detailed consideration of processes such as malt weighing, grinding or separation of coarse sediments.

Apart from these elements the library also contains components for simulation of information flow, so that a whole logistic chain can be represented by the model. Furthermore, elements mediating interface between the simulation software (Plant Simulation) and further applications (XML, Oracle, MS Excel etc.) are available. In addition to standard elements available in the basic version of the software for evaluation of monitored KPIs (key performance indicators) within simulation experiments performed with a valid model, default graphical and tabular indicators of utilization of production facilities (tanks, filling lines), throughput in different stages of the production process (measured in units of volume per unit of time relative), dynamics of level of inventory of finished goods (packed / bottled drinks), idle times of production facilities (duration of their idle time), changes of production batches and cleaning of filters are also available.

Unlike the classical approach according to which a simulation study consist of four subsequent stages (creating of a conceptual and subsequently of a simulation model with permissible level of abstraction, performing of simulation experiments, their interpretation and finally implementation of measures in a real system based on results of the simulation experiments) (Banks, Carson et al., 2000), in case of the Brewing Library the simulation model is created automatically. This is done based on a data set saved in form of a MS Excel spreadsheet. Those data describe necessary attributes and technical parameters of individual stages of beer production and related technological equipment.

## 3 CASE STUDY

With the use of the above-mentioned elements from the Brewing Library and on the basis of a set of production data describing a typical beer production a simulation model of the corresponding brewery was generated. The limiting condition was availability of production facilities (mainly volume and the overall number of fermentation tanks). This corresponds to a practical task of operational planning of a production program, namely the allocation of orders in the production. With respect to the given production program (reflecting demand forecast for different kinds of produced beer) simulation experiments were performed. Their aim was to allocate the orders to the production resources in a way which is optimal with regard to the following KPIs:

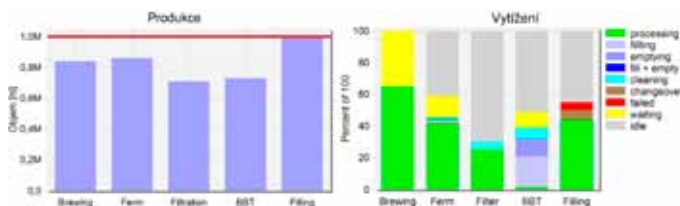
- Overall production of all kinds of beer (during the simulated period) (hl)
- Utilization of disposable fermentation tanks (percentage ratio of the time duration of technological processing, filling, emptying, cleaning of the tanks together with possible failures, idle times and times during which waiting for a new production batch was recorded).

As auxiliary performance indicators resulting values of production of all kinds of beer in individual sections of the technological process (wort tanks, filters, BBTs – bright beer tanks, and filling lines) were used. For the proposal of another order allocation in the production outputs of Gantt chart were used, too. These captured the times and durations for which production orders exceeded current availability of production resources and thus a bottle neck arose in the production system.

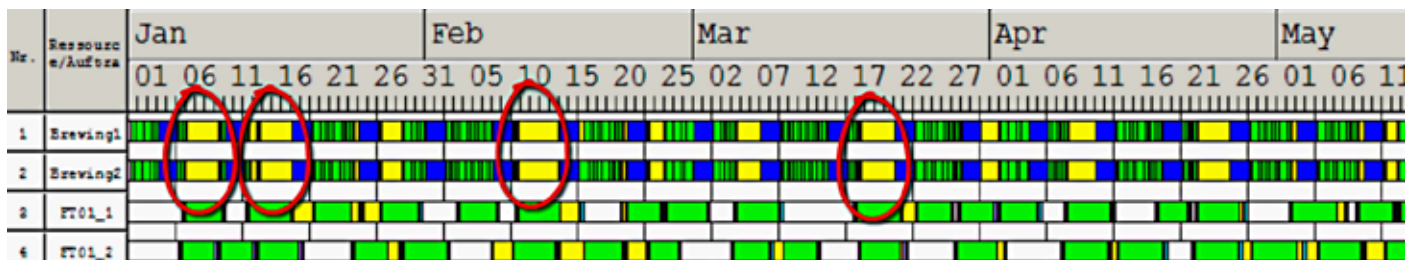


TankGroup	TanksPerGroup	TankSize	FlowRateFilling	CleaningTime
string	integer	real hl	real hl/h	time h
FT01	2	5500,0	900,0	5,0
FTG01	6	5500,0	900,0	5,0
FTG21	4	5500,0	900,0	5,0
FTG22	4	5500,0	900,0	5,0
FTG23	4	5500,0	900,0	5,0
FTG41	6	5500,0	900,0	5,0
FTG42	6	5500,0	900,0	5,0
FTG43	6	5500,0	900,0	5,0
FTG44	6	5500,0	900,0	5,0
Speise	1	5500,0	900,0	0,0

Obr. 2 Přřazení výrobních zakázek fermentačním nádržím – výrobní plán „A“ / Fig. 2 Allocation of production orders to fermentation tanks – production plan „A“



Obr. 3 Výsledná produkce a vytížení výrobních kapacit – výrobní plán „A“ / Fig. 3 Resulting production and utilization of production capacities – production plan „A“



Obr. 4 Ganttův diagram znázorňující časový průběh vytížení výrobních kapacit – výrobní plán „A“ / Fig. 4 Gantt diagram illustrating the time course of utilization of production capacities

zachytily zejména časové vymezení situací, kdy výrobní zakázky převyšovaly aktuální disponibilitu zdrojů, a projevilo se tedy úzké místo výrobního systému.

#### 4 VÝSLEDKY A DISKUSE

Prvním krokem bylo určení počátečního výrobního plánu (dále označen jako plán „A“). Na obr. 2 je znázorněn jeden list sešitu MS Excel se vstupními daty, kde jsou přiřazeny jednotlivé zakázky (TankGroup) fermentačním nádržím. Je vidět, že nádrže mají stejné technické parametry. Jak bylo uvedeno, celkový počet nádrží (45) je považován za okrajovou podmínku. „Plán A“ byl podobně jako v praxi, kde není aplikována simulace, stanoven na základě kvalifikovaného odhadu. Z toho plynul předpoklad, že takto navržený výrobní systém není optimální a že lze tedy změnou organizačního, resp. časového přiřazení zakázek jednotlivým výrobním kapacitám dosáhnout vyšší produkce. Jde o problematiku návrhu simulačních experimentů, kterými se podrobně zabývá ve své knize Kleijnen (2008). V rámci této případové studie byl volen jednoduchý přístup, kdy na základě výsledků simulačních experimentů s modelem nastaveným dle plánu „A“ bylo vytvářeno úzké místo.

Výslednou produkci a vytížení výrobních kapacit za předpokladu dodržení plánu „A“ graficky zachycuje obr. 3. Je vidět produkce všech druhů piva v jednotlivých výrobních úsecích. Červeně je v grafu produkce (vlevo) vyznačeno dosažené maximum 1 mil. hl. V diagramu vytížení výrobních prostředků (vpravo) je nápadný značný časový podíl u mladinové nádrže, kdy je nutné čekat, než bude možné přepustit již hotový polotovár do další fáze výroby (fermentační nádrží) – žlutá barva stavu „waiting“.

To je vidět také pomocí Ganttova diagramu (obr. 4), kdy na svislé ose jsou vynesena výrobní zařízení seřazená podle technologického postupu (shora dolů) a na vodorovné ose je čas. Barevné úseky odpovídají jednotlivým stavům zařízení. Žlutá barva u nádrží na mladinu představuje situaci, kdy díky nedostatečné kapacitě fermentačních nádrží tyto nemohly přijmout novou dávku.

Přirozeným závěrem tedy je, že původní výrobní plán „A“ má pro příslušnou skupinu druhů piva poddimenzovanou kapacitu fermentačních nádrží. Alternativní plán rozvržení výrobních kapacit (na základě vytváření úzkého místa – fermentačních nádrží) je opět ve formě listu sešitu MS Excel se vstupními daty zachycen na obr. 5. Je vidět, že celkový počet fermentačních nádrží (jakožto okrajová podmínka), ani jejich technické parametry, nebyly změněny. Z finančního hlediska tedy přechod na výrobní plán „B“ nevyžaduje žádné investiční náklady.

Pohled na celkovou produkci a vytížení výrobních kapacit poskytuje obr. 6. Je z něj patrné, že objem celkově vyprodukovaného piva (za stejnou dobu sledování) je téměř o 20 % vyšší než v případě plánu „A“. Rovněž úzké místo – fermentační nádrže – bylo jejich

#### 4 RESULTS AND DISCUSSION

The first step was to determine an initial production plan (hereinafter referred to as plan „A“). On Fig. 2 one list of the MS Excel sheet with input data is shown, where the individual orders (TankGroup) are allocated to the fermentation tanks. It can be seen that all tanks have the same technical parameters. As stated before, the total number of tanks (45) is considered a boundary condition. Like in praxis where no simulation is applied, the plan „A“ was set according to an expert estimate. Therefore, a presumption was made that such a production system is not optimal and thus it is possible to achieve higher production thanks to changes in organizational and time allocation of the orders to the individual production capacities. This issue is related to design of experiments which is described in detail by Kleijnen (2008). In this case study a simple approach was chosen where the bottle neck was identified on the basis of results of simulation experiments performed with the model setting according to the plan „A“.

The overall production and utilization of production resources when the production plan „A“ was followed is shown on Fig. 3. Production of all kinds of beer in individual production sections can be observed. The maximal achieved throughput 1 million hl is marked with a red line (left). In the utilization diagram (right) a noticeable time portion in case of the brewing tank can be seen. The state „waiting“ is attributed to situation when it is necessary to wait until content from brewing tanks can be pumped to further stages of the production (fermentation tanks) – yellow color.

This can also be observed in Gantt diagram (see Fig. 4), where on the vertical axis individual production equipment is plotted according to the technological process (top to bottom) and the horizontal axes represents time. Colored sections correspond to individual states of the equipment. The yellow color in case of the brewing tanks represents situation where the fermentation tanks cannot accept another batch because of their insufficient capacity.

Therefore, an intuitive conclusion is that the initial production plan „A“ has undersized capacity of fermentation tanks for the respective group of beer types. An alternative plan for allocation of production capacities (based on identification of the bottle neck – fermentation tanks) is again shown in form of a MS Excel sheet with input data on Fig. 5. It can be seen that the total number of fermentation tanks (as the boundary condition) as well as their technical parameters remained unchanged. Therefore, from a financial point of view, the production plan „B“ requires no investment costs.

Fig. 6 provides an overview of the overall production and utilization of production resources. The figure shows that the overall beer production (for the same simulated period) is higher by nearly 20% than in case of the plan „A“. Also the bottle neck – fermentation tanks – was removed thanks to a convenient allocation of the particular beer types within the production program.

TankGroup	TanksPerGroup	TankSize	FlowRateFilling	CleaningTime
string	integer	real l	real h/h	time h
FT01	6	5500,0	900,0	5,0
FTG01	5	5500,0	900,0	5,0
FTG21	3	5500,0	900,0	5,0
FTG22	3	5500,0	900,0	5,0
FTG23	3	5500,0	900,0	5,0
FTG41	6	5500,0	900,0	5,0
FTG42	6	5500,0	900,0	5,0
FTG43	6	5500,0	900,0	5,0
FTG44	6	5500,0	900,0	5,0
Speise	1	5500,0	900,0	0,0

Obr. 5 Přiřazení výrobních zakázek fermentačním nádržím – výrobní plán „B“ / Fig. 5 Allocation of production orders to fermentation tanks – production plan “B”

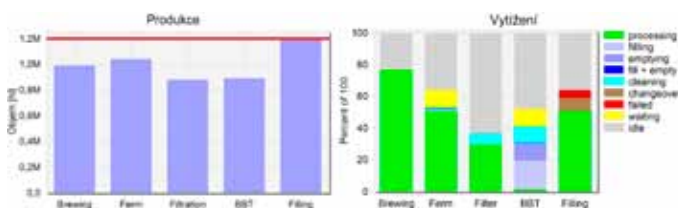
vhodným přidělením typů piva zařazeným do výrobního programu odstraněno.

Takto lze tedy na základě několika málo vybraných klíčových ukazatelů vzájemně porovnat různé výrobní scénáře (případně uspořádání výrobních kapacit) a vybrat ten, který z hlediska zvolené cílové funkce představuje optimální řešení. To lze nalézt automatickým provedením simulačních experimentů, přičemž v příslušné matici experimentů je předem vydefinována sada testovaných variant, lišících se z technického pohledu pouze (výrobními) daty ve vstupním sešitu MS Excel.

## 5 ZÁVĚR

Technologie diskretní simulace je v současném průmyslu důležitým podpůrným nástrojem pro plánování a řízení výrobních procesů. V současnosti se jejich využití rozšiřuje také do potravinářského průmyslu. V tomto článku byla předvedena nadstavba simulačního softwaru Plant Simulation pro modelování výrobního procesu pivovaru.

Pomocí případové studie bylo ukázáno, jakým způsobem lze definovat vstupní parametry pro automatické vygenerování modelu procesu výroby piva. Na základě zadaných okrajových podmínek byl proveden návrh přiřazení zakázek výrobním kapacitám a pomocí modelu nalezeny hodnoty klíčových ukazatelů takto definovaného provozu. Analýzou ukazatelů produkce a vytížení výrobních kapacit bylo odhaleno úzké místo a navrženy změny v přiřazení zakázek stejným výrobním zdrojům. Pomocí simulačních experimentů byly ověřeny pozitivní dopady navržených změn vedoucích ke zvýšení produktivity modelovaného pivovaru a odstranění úzkého místa.



Obr. 6 Výsledná produkce a vytížení výrobních kapacit – výrobní plán „B“ / Fig. 6 Resulting production and utilization of production capacities – production plan “B”

In this way it is possible to compare various production scenarios (or organization of production) based on a few selected KPIs and to pick the one which provides the optimal solution from the viewpoint of chosen objective function. The optimal solution can be found by automatic execution of simulation experiments while in the experiment matrix a set of variants to be tested is predefined with differing in (production) data saved in the input MS Excel sheet.

## 5 CONCLUSIONS

The technology of discrete event simulation is currently an important supportive tool for planning and control of production processes. Currently the application of simulation is expanding into the sector of food and beverage industry. In this article an add-on library of the simulation software Plant Simulation for modelling of production processes of a brewery was presented.

Using a case study it was shown how to define input parameters for automatic generation of the model of beer production. Based on given boundary conditions allocation of orders to production capacities was proposed, and with the use of the model values of key indicators of the production defined in this way were verified. Through analysis of indicators of production and utilization of production capacities bottle neck was identified and changes in order allocation to the same production resources were proposed. With the use of simulation experiments positive effects of the proposed changes leading to productivity enhancement of the modelled brewery and elimination of the bottle neck were verified.

## LITERATURA / REFERENCES

- Banks, J., Carson, J., Nelson, B., Nicol, D., 2009: Discrete-event system simulation, Pearson Education, Upper Saddle River, N. J. ISBN 978-0-13-815037-2.
- Hloska, J., Štoček, J., 2013: Simulace zřetězení linky pro obrábění hřídelí, Automa, Vol.19, (2013), No.8–9/2013, pp.16–19, ISSN 1210-9592, FCC Public s. r. o.
- Kleijnen, J. P., 2008: Design and analysis of simulation experiments, Springer, New York. ISBN 978-0-387-71812-5.
- Kmínek, M., Nachtigalová, I., Dostálek, P., 2013: Počítačové řízení minipivovaru VŠCHT Praha, Automa, 19(10): 9–12, ISSN 1210-9592, FCC Public s. r. o.
- Gläßer, J. F., 2011: Ereignisorientierte Simulation der Bierherstellung. Dostupné z: <http://mediatum.ub.tum.de/doc/1081285/1081285.pdf>. Dizertační práce. Technische Universität München, Lehrstuhl für Lebensmittelverpackungstechnik.
- Osofisan, P.B., 2007: Fuzzy Logic Control of the Syrup Mixing Process in Beverage Production. In: Leonardo Journal of Sciences. 11. vyd. Cluj-Napoca: AcademicDirect Publishing House, s. 93–108. ISSN 1583-0233. Dostupné z: [http://ljs.academicdirect.org/A11/093\\_108.htm](http://ljs.academicdirect.org/A11/093_108.htm)

- Kühn, W., 2006: Digitale Fabrik – Fabriksimulation für Produktionssplaner. Hanser, München. ISBN 3-446-40619-0.
- VDA, 2014: VDA – Verband der Automobilindustrie. [online]. <http://www.vda.de/de/index.html> [cit. 2014-01-03].
- VDI 3633, Blatt 1, 2010: Simulation und Logistik-, Materialfluss- und Produktionssystemen, Grundlagen, Frankfurt: VDI – Gesellschaft Produktion und Logistik.
- VDI 4499, Blatt 1, 2008: Verband Deutscher Ingenieure, VDI-Richtlinie 4499, Blatt 1; Digitale Fabrik: Grundlagen, Februar 2008, Beuth Verlag GmbH.
- Versteegt, C., Verbraeck, A., 2002: The extended use of simulation in evaluating real-time control systems of AGVs and automated material handling systems, Proceedings of the 2002 SWC: 1659–1666.