



## ALGORITMUS PRO ROZVRHOVÁNÍ VÝROBY V PROVOZECH VYRÁBĚJÍCÍCH VÝPALKY Z TLUSTÝCH PLECHŮ

### ALGORITHM FOR PRODUCTION SCHEDULING IN OPERATIONS PRODUCING HEAVY PLATE CUT SHAPES

**Radim Lenort<sup>1</sup>, David Staš<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Faculty of Metallurgy and Materials Engineering, VŠB – Technical University of Ostrava,  
Department of Economics and Management in Metallurgy, 17. listopadu 15, 708 33 Ostrava-  
Poruba, Czech Republic, Phone: +420 597 325 159, e-mail: [radim.lenort@vsb.cz](mailto:radim.lenort@vsb.cz)

<sup>2</sup> Faculty of Metallurgy and Materials Engineering, VŠB – Technical University of Ostrava,  
Department of Economics and Management in Metallurgy, 17. listopadu 15, 708 33 Ostrava-  
Poruba, Czech Republic, Phone: +420 597 325 159, e-mail: [david.stas@vsb.cz](mailto:david.stas@vsb.cz)

**Abstrakt:** Článek představuje algoritmus pro rozvrhování výroby v provozech vyrábějících výpalky z tlustých plechů, který je založen na aplikaci zobecněné přiřazovací úlohy (Generalized Assignment Problem) a metody plánování pomocí nárazníků (buffers). Vytvořený algoritmus byl verifikován na vstupních datech získaných z konkrétního provozu pro výrobu výpalků z tlustých plechů. Realizované experimenty prokázaly, že aplikace algoritmu umožňuje zvýšit ekonomický efekt výroby, zvýšit a zrovnat využití výrobních kapacit, zvýšit spolehlivost dodávek, snížit zásoby hotové výroby a vyčíslit ekonomické dopady zařazování prioritních zakázek do výroby.

**Klíčové slova:** algoritmus, rozvrhování výroby, výpalky z tlustých plechů, zobecněná přiřazovací úloha, expediční nárazníky

**Abstract:** The article presents an algorithm for production scheduling in operations producing heavy plate cut shapes which is based on the application of the Generalized Assignment Problem and the technique of planning by means of buffers. The created algorithm was verified using the entry data acquired from a concrete operation producing heavy plate cut shapes. The realized experiments proved that the application of the algorithm makes it possible to increase the economic effect of production, to increase and balance the utilization of the production capacities, to increase the reliability of supplies, to decrease the final production stock and to quantify the economic impacts of putting the priority orders into production.

**Key words:** algorithm, production scheduling, heavy plate cut shapes, Generalized Assignment Problem, supplying buffers

## 1 ÚVOD

Rozvrhování výroby je součástí procesu kapacitního plánování, jehož hlavní těžiště spočívá v optimálním rozdělení výrobní kapacity mezi jednotlivé výrobky a zařízení [1], [2].

Výrobní kapacita v provozech pro výrobu výpalků z tlustých plechů závisí na výkonu základního technologického zařízení, kterým jsou pálicí stroje. Výrobní sortiment pálicích strojů je dán zejména kombinací rozměrů a tvarů výpalků, což představuje více než desítky tisíc výrobních položek. V závislosti na výrobním sortimentu však může výkon jednotlivých strojů kolísat ve velmi velkém rozmezí. Spodní hranice tohoto rozmezí se blíží několika kilogramům za hodinu, zatímco horní hranice často dosahuje několika tun za hodinu. Zpracování různého výrobního sortimentu tak výrazně ovlivňuje výrobní kapacitu těchto provozů.

Současný přístup k rozvrhování výroby, který je aplikován v uvedených provozech, je založen na velmi hrubých heuristikách. Díky tomu dochází poměrně často k situacím, kdy nejsou plně využity výrobní kapacity nebo, naopak, není možné požadované množství výroby zpracovat v rámci disponibilního výrobního času. Díky této skutečnosti nejsou plněny jak finanční a objemové ukazatele výroby, tak požadované termíny expedice.

Cílem výzkumu autorů je najít takový algoritmus v oblasti kapacitního plánování provozů pro výrobu výpalků z tlustých plechů, který umožní optimalizaci rozvrhování výrobních zakázek na jednotlivé pálicí stroje a eliminaci výše uvedených problémů.

Jako hlavní metodologické přístupy byly pro návrh tohoto algoritmu zvoleny:

## 1 INTRODUCTION

Production scheduling is a part of the capacity planning process, whose main centre lies in the optimum split of the production capacity for single products and pieces of equipment [1], [2].

The production capacity in operations producing heavy plate cut shapes depends on the producing ability of the basic technological machines, which are the flame-cutting machines. The product range of the flame-cutting machines is primarily stated by a combination of the sizes and shapes of the cut shapes, which represent as many as numerous thousands of product items. Based on the product range, the producing ability of the single flame-cutting machines may, however, move within a very large range. The lower limit of this range is close to only few kilos per hour, whereas the upper limit normally achieves several tons per hour. Processing of various product ranges thus significantly affects the production capacity of the operation.

The present approach to the production scheduling, applied in the mentioned operations, is based on very rough heuristics. Therefore, situations when the production either does not fill the production capacity or makes it impossible to reach the required amount within the usable production time are very often. Due to this fact, the required financial and volume indexes are not achieved in the production, and as a result the work order completion dates are not fulfilled too.

The objective of the authors' research is to find such algorithm in the area of capacity planning in operations for the production of cut shapes from heavy plates which would enable optimizing the schedule of work orders for single flame-cutting machines and eliminating the above-defined problems.

The following main methodological approaches were selected for the designed algorithm:

- Zobecněná přiřazovací úloha (Generalized Assignment Problem / GAP) definovaná Rossem a Solandem [3]. Celkový přehled a diskusi přiřazovacích úloh a jejich zobecnění uvádějí Ferland [4] a Öncan [5].
- Metoda plánování pomocí nárazníků (buffers) vymezená Goldrattem v jeho Teorii omezení (Theory of Constraints) [6].

Bližší popis metodologického rámce kapacitního plánování v provozech pro výrobu výpalků z tlustých plechů je možné nalézt v publikaci [7].

## 2 NÁVRH ALGORITMU

Vytvořený algoritmus vyžaduje vstupní data z následujících oblastí:

1. Operativní plánování:
  - $T$  – délka plánovacího období (dny).
  - $t_b$  – expediční nárazník (dny). Expediční nárazník udává časový předstih, který by měl ochránit termín expedice proti možnému zpozdění výrobních zakázek ve výrobě. Při určování velikosti expedičního nárazníku je vždy nutné posoudit náklady na udržování nárazníku a možné dopady jeho vyčerpání.
2. Výrobní zakázky určené k výrobě:
  - $n$  – počet výrobních zakázek.
  - $m_{zi}$  – hmotnost  $i$ -té výrobní zakázky (t).
  - $t_{ei}$  – termín expedice  $i$ -té výrobní zakázky.
  - $a_i$  – šířka výpalku  $i$ -té výrobní zakázky (m).
  - $b_i$  – délka výpalku  $i$ -té výrobní zakázky (m).
  - $d_i$  – tloušťka výpalku  $i$ -té výrobní zakázky (m).
  - $p_i$  – cena  $i$ -té výrobní zakázky (€).
  - $v_i$  – variabilní náklady  $i$ -té výrobní zakázky (€).

- Generalized Assignment Problem introduced by Ross and Soland [3]. Ferland [4] and Öncan [5] have presented a general overview and discussion of assignment type problems and their generalizations.
- The technique of planning by means of buffers defined by Goldratt in his Theory of Constraints [6].

A more detailed description of the methodology frame of the capacity planning in operations for the production of cut shapes from heavy plates can be found in the publication [7].

## 2 THE ALGORITHM DESIGN

The created algorithm requires entry data from the following areas:

1. Operational planning:
  - $T$  – length of the planning period (days).
  - $t_b$  – supplying buffer (days). The supplying buffer determines such timing in advance which should sufficiently protect the supplying date against any eventual delay in production. When determining the above-mentioned supplying buffer, it is always required to consider the costs of the buffer maintenance and the eventual consequences of the “buffer over-utilization”.
2. Work orders intended for production:
  - $n$  – number of work orders.
  - $m_{zi}$  – weight of the  $i$ -th work order (t).
  - $t_{ei}$  – supplying date of the  $i$ -th work order.
  - $a_i$  – cut shape width of the  $i$ -th work order (m).
  - $b_i$  – cut shape length of the  $i$ -th work order (m).
  - $d_i$  – cut shape thickness of the  $i$ -th work order (m).
  - $p_i$  – price of the  $i$ -th work order (€).

3. Výrobní a kapacitní možnosti provozu:
  - $m$  – počet pálicích strojů, které má provoz k dispozici.
  - $P_{ij}$  – výkon  $j$ -tého pálicího stroje při zpracování  $i$ -té zakázky ( $t \cdot \text{hod}^{-1}$ ). K určení  $P_{ij}$  lze doporučit postup pro analýzu plovoucích úzkých míst v hutní výrobě [8].
  - $C_{nj}$  – nominální čas  $j$ -tého stroje (min), tj. kalendářní čas  $C_k$  (min) snížený o nevýrobní čas daný nepracovními dny.
  - $p_{dj}$  – čas plánovaných prostojů  $j$ -tého stroje v % nominálního času.
  - $k_s$  – koeficient směnnosti.
  - $a_{mj}$  – maximální šířka výpalku, kterou je možné zpracovat na  $j$ -tém pálicím stroji (m).
  - $b_{mj}$  – maximální délka výpalku, kterou je možné zpracovat na  $j$ -tém pálicím stroji (m).
  - $d_{mj}$  – maximální řezná tloušťka  $j$ -tého pálicího stroje (m).

Algoritmus pro rozvrhování výroby v provozech vyrábějících výpalky z tlustých plechů zahrnuje 13 kroků:

1. Výpočet předpokládaného termínu dokončení výrobních zakázek:

$$t_{vi} = t_{ei} - t_b \quad (1)$$

$t_{vi}$  – předpokládaný termín dokončení  $i$ -té výrobní zakázky,  $i = 1, 2, K, n$

2. Výběr výrobních zakázek s předpokládaným termínem dokončení  $t_{vi}$  v plánovacím období  $T$ .
3. Seřazení získaného souboru zakázek podle předpokládaného termínu dokončení v sestupném pořadí.
4. Určení pálicích strojů, které jsou schopny zpracovat požadované výrobní zakázky. Důvodem pro nezařazení určité výrobní zakázky k pálicímu stroji mohou být výpalky rozměrů

- $v_i$  – variable costs of the  $i$ -th work order (€).
- 3. Production and capacity potential of the operation:
  - $m$  – number of flame-cutting machines available for the operation.
  - $P_{ij}$  – producing ability of the  $j$ -th flame-cutting machine when processing the  $i$ -th work order ( $t \cdot \text{hour}^{-1}$ ). For determining  $P_{ij}$ , we can recommend a procedure for analyzing floating bottlenecks in metallurgical production [8].
  - $C_{nj}$  – nominal time of the  $j$ -th machine (min), i.e. calendar time  $C_k$  (min) reduced by the amount of time resulting from breaks by virtue of nonworking days.
  - $p_{dj}$  – time of planned downtimes of the  $j$ -th machine in % of nominal time.
  - $k_s$  – shift working coefficient.
  - $a_{mj}$  – maximum width of the cut shape which can be processed on the  $j$ -th flame-cutting machine (m).
  - $b_{mj}$  – maximum length of the cut shape which can be processed on the  $j$ -th flame-cutting machine (m).
  - $d_{mj}$  – maximum cutting thickness of the  $j$ -th flame-cutting machine (m).

Algorithm for production scheduling in operations producing heavy plate cut shapes includes 13 steps:

1. Calculate the expected completion date of production orders:

$$t_{vi} = t_{ei} - t_b \quad (1)$$

$t_{vi}$  – expected completion date of the  $i$ -th work order,  
 $i = 1, 2, K, n$

2. Select the work orders with the expected completion date  $t_{vi}$  which is within the planning period  $T$ .

přesahujících plochu pracovního stolu pálicího stroje nebo výpalky s tloušťkou, která nemůže být zpracovávána určitou technologií pálení. Výrobní zakázka tak nemůže být zpracována na pálicím stroji, pokud není splněna alespoň jedna z následujících podmínek:

$$a_i > a_{mj} \quad (2)$$

$$b_i > b_{mj} \quad (3)$$

$$d_i > d_{mj} \quad (4)$$

$$i = 1, 2, K, n, j = 1, 2, K, m$$

5. Určení času zpracování výrobních zakázek na jednotlivých pálicích strojích vztaženého na tunu produkce. Pokud bude možné výrobní zakázku zpracovat na daném pálicím stroji, lze uvedený čas zpracování vypočítat dle vztahu:

$$t_{ij} = \frac{60}{P_{ij}} \quad (5)$$

$t_{ij}$  – čas zpracování  $i$ -té výrobní zakázky na  $j$ -té pálicím stroji vztažený na tunu produkce ( $\text{min} \cdot t^{-1}$ ),  $i = 1, 2, K, n, j = 1, 2, K, m$

6. Stanovení disponibilního času pálicích strojů:

$$C_{ij} = C_{nj} \left(1 - \frac{P_{dj}}{100}\right) k_s \quad (6)$$

$C_{ij}$  – disponibilní čas  $j$ -té pálicího stroje (min),  $j = 1, 2, K, m$

7. Vymezení kritéria pro optimalizaci rozvrhu výrobních zakázek na pálicí stroje v daném plánovacím období  $T$ . V praxi se jako optimalizační kritéria využívá objem výroby (v tunách), což však negarantuje maximalizaci ekonomického efektu výroby. Proto bylo navrženo ekonomické kritérium v podobě jednotkového příspěvku na úhradu:

$$c_i = p_i - v_i \quad (7)$$

$c_i$  – příspěvek na úhradu  $i$ -té výrobní zakázky ( $\text{€} \cdot t^{-1}$ ),  $i = 1, 2, K, n$

8. Sestavení analytického modelu přiřazovací úlohy, tj. určení základní proměnné modelu, souboru:

omezujících podmínek a účelové funkce:

3. Sort the obtained files by the expected completion date in ascending order.
4. Determine the flame-cutting machines which are able to process the required work orders. The reasons for the non-completion of the given work order on a flame-cutting machine may include cut shapes with a size and/or length exceeding the usable surface of the cutting table or cut shapes with a thickness that cannot be processed by the stated cutting technology. That is why the production order can not be processed on the flame-cutting machine unless at least one of the following conditions is satisfied:

$$a_i > a_{mj} \quad (2)$$

$$b_i > b_{mj} \quad (3)$$

$$d_i > d_{mj} \quad (4)$$

$$i = 1, 2, K, n, j = 1, 2, K, m$$

5. Determine the processing time of work orders on the single flame-cutting machine related to a ton of product. If the work order can be implemented on the flame-cutting machine, the processing time is calculated according to:

$$t_{ij} = \frac{60}{P_{ij}} \quad (5)$$

$t_{ij}$  – processing time of the  $i$ -th work order on the  $j$ -th flame-cutting machine related to a ton of product ( $\text{min} \cdot t^{-1}$ ),  $i = 1, 2, K, n, j = 1, 2, K, m$

6. Determine the usable time of the flame-cutting machines:

$$C_{ij} = C_{nj} \left(1 - \frac{P_{dj}}{100}\right) k_s \quad (6)$$

$C_{ij}$  – usable time of the  $j$ -th flame-cutting machine (min),  $j = 1, 2, K, m$

7. Define the criteria for optimizing the schedule of work orders for flame-cutting machines in the period  $T$ . In practice, the volume of production (in

- základní proměnná modelu:  $x_{ij}$  – množství  $i$ -té výrobní zakázky přiřazené k  $j$ -tému pálicímu stroji (t),
- omezení týkající se disponibilního času pálicích strojů – celkový čas potřebný k výrobě jednotlivých výrobních zakázek na  $j$ -tém pálicím stroji nemůže překročit disponibilní čas  $C_{ij}$  (min):

$$\sum_{i=1}^n t_{ij} x_{ij} \leq C_{ij} \quad (8)$$

$j = 1, 2, K, m$

- omezení dané hmotnosti výrobních zakázek – součet dílčích hmotností  $i$ -té výrobní zakázky přiřazené k jednotlivým pálicím strojům nemůže překročit celkovou hmotnost výrobní zakázky  $m_{zi}$  (t):

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} \leq m_{zi} \quad (9)$$

$i = 1, 2, K, n$

- podmínky nezápornosti:

$$x_{ij} \geq 0 \quad (10)$$

- účelová funkce pro maximalizaci celkového příspěvku na úhradu (€):

$$\max \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_i x_{ij} \quad (11)$$

9. Optimalizace sestaveného modelu – k praktickému řešení modelu je vhodné využít dostupného programového vybavení. K řešení úloh menšího rozsahu je možné využít tabulkový kalkulačor (např. doplněk Řešitel kalkulačoru MS EXCEL) nebo statistický software (např. Matlab). V případě velkého množství výrobních zakázek (omezení) je nutné využít specializovaný software (seznam tohoto software je uveden v publikaci [9]).

10. Výpočet časů zpracování výrobních zakázek přiřazených pálicím strojům:

$$t_{zij} = t_{ij} \cdot x_{ij} \quad (12)$$

$t_{zij}$  – čas zpracování  $i$ -té výrobní zakázky na  $j$ -tém pálicím stroji (min),  $i = 1, 2, K, n$ ,  $j = 1, 2, K, m$

tons) is used as an optimization criterion but it does not ensure maximization of the economic effect as for the reached capacity plan. Therefore, an economic criterion was proposed as the unit contribution margin:

$$c_i = p_i - v_i \quad (7)$$

$c_i$  – contribution margin of the  $i$ -th work order ( $\text{€} \cdot \text{t}^{-1}$ ),  $i = 1, 2, K, n$

8. Compile an analytical model of the assignment task, i.e. determine the basic variable of the model, the set of constraints and the objective function:

- basic model variable:  $x_{ij}$  – volume of the  $i$ -th work order assigned to the  $j$ -th flame-cutting machine (t),
- constraint by the usable time of the flame-cutting machines – the total time consumed for the production of single work orders on the  $j$ -th flame-cutting machine must not exceed its usable time  $C_{ij}$  (min):

$$\sum_{i=1}^n t_{ij} x_{ij} \leq C_{ij} \quad (8)$$

$j = 1, 2, K, m$

- constraint by work order weight – the sum of the partial weights of the  $i$ -th work order assigned to the single flame-cutting machines must not exceed the total work order weight  $m_{zi}$  (t):

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} \leq m_{zi} \quad (9)$$

$i = 1, 2, K, n$

- conditions for non-negativity:

$$x_{ij} \geq 0 \quad (10)$$

- the objective function for maximization of the total contribution margin (€):

$$\max \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_i x_{ij} \quad (11)$$

9. Optimize the compiled model – for a practical solution, it is suitable to use the available program tools. When resolving a small-size task, the spreadsheet (such as MS EXCEL

11. Sestavení časového rozvrhu práce pálicích strojů vycházející z času zpracování  $t_{zij}$  a disponibilního času pálicích strojů  $C_{ij}$ .
12. Verifikace plnění expedičních termínů (nepřekročení expedičního nárazníku).
13. Provedení kapacitního vyvažování v případě, že požadavky na výrobní kapacitu (vymezené množstvím výrobních zakázek s požadovaným termínem dokončení v daném plánovacím období) nejsou v souladu s dostupnou výrobní kapacitou.

utilizing the Solver addition) or statistical software (such as Matlab) should be sufficient. In the case of a large number of orders (constraints), then use specialized software (the list of the specialized software is provided in the publication [9]).

10. Calculate the processing times of the work orders allocated to the flame-cutting machines:

$$t_{zij} = t_{ij} \cdot x_{ij} \quad (12)$$

$t_{zij}$  – processing time of the  $i$ -th work order on the  $j$ -th flame-cutting machine (min),  $i = 1, 2, \dots, n$ ,  $j = 1, 2, \dots, m$

11. Compile the time schedule for work using the flame-cutting machines based on the processing times  $t_{zij}$  and usable time of the flame-cutting machines  $C_{ij}$ .
12. Verify the fulfilment of the supplying dates (not exceeding the supplying buffer).
13. Carry out the capacity balancing in the case that the requirements of the production capacity (given by the volume of work orders with the required completion date in the given planning period) are not compliant with the available operational capacity.

### 3 REALIZOVANÉ EXPERIMENTY

Vytvořený algoritmus byl verifikován na vstupních datech získaných z konkrétního provozu pro výrobu výpalků z tlustých plechů. Rozhodující údaje využívané při verifikaci algoritmu je možné shrnout následujícím způsobem:

1. Operativní plánování:

Plánovací období je  $T = 7$  dnů.

Expediční nárazník je stanoven na  $t_b = 3$  dny.

2. Výrobní zakázky určené k výrobě:

V daném plánovacím období je potřeba zpracovat  $n = 17$  výrobních zakázek (A – Q) s parametry uvedenými v tabulce 1.

### 3 EXPERIMENTAL WORK

The created algorithm was verified using the entry data acquired from a concrete operation producing heavy plate cut shapes. The decisive data used in algorithm verification can be summarized the following way:

1. Operational planning:

The planning period is  $T = 7$  days.

The supplying buffer is set at  $t_b = 3$  days.

2. Work orders intended for production:

$n = 17$  work orders (A – Q) with the parameters presented in table 1 need to be processed in the given planning period.

**Tab. 1** Parametry výrobních zakázek použitych při verifikaci vytvořeného algoritmu  
**Table 1** Parameters of the work orders used during the verification of the created algorithm

Zakázka	$m_{zi}$ (t)	$t_{ei}$	$t_{vi}$	$c_i$ ( $\text{€} \cdot \text{t}^{-1}$ )
A	31,3	5. 1.	2. 1.	53,85
B	175,7	10. 1.	7. 1.	107,69
C	243,0	6. 1.	3. 1.	46,15
D	73,4	8. 1.	5. 1.	123,08
E	114,3	10. 1.	7. 1.	73,08
F	268,9	9. 1.	6. 1.	46,15
G	97,9	10. 1.	7. 1.	153,85
H	54,6	6. 1.	3. 1.	84,62
I	102,5	7. 1.	4. 1.	82,69
J	46,1	7. 1.	4. 1.	115,38
K	19,5	4. 1.	1. 1.	34,62
L	97,9	5. 1.	2. 1.	44,23
M	419,6	7. 1.	4. 1.	48,08
N	211,8	9. 1.	6. 1.	121,15
O	23,8	10. 1.	7. 1.	42,31
P	59,2	9. 1.	6. 1.	348,08
Q	11,1	9. 1.	6. 1.	326,92
Celkem	2 050,5	-	-	-

### 3. Výrobní a kapacitní možnosti provozu:

Provoz zahrnuje  $m=5$  pálicích strojů (I. – V.) pracujících nepřetržitě ( $k_s = 1$ ). Nominální čas a čas plánovaných prostojů je uvažován pro všechny stroje stejný:  $C_{nj} = 10\ 080$  min,  $p_d = 20$  %. Disponibilní čas pálicích strojů je tak  $C_{ij} = 8\ 064$  min. Tabulka 2 zahrnuje výkon jednotlivých pálicích strojů při zpracování daných výrobních zakázek  $P_{ij}$ . Symbol "x" vyjadřuje skutečnost, že výrobní zakázka nemůže být na daném stroji zpracována.

V rámci realizovaných experimentů byly zkoumány tři varianty:

Varianta 1: Rozvrhování výrobních zakázek na základě výkonu  $P_{ij}$ , tj. bez použití navrženého algoritmu. Uvedený způsob je používán v praxi. Výrobní zakázky jsou přiřazovány na ty pálicí stroje, které zpracují zakázku nejrychleji (s nejvyšším výkonem). Cílem je maximalizace objemu výroby (v tunách).

Varianta 2: Aplikace vytvořeného algoritmu za předpokladu, že je jako

### 3. Production and capacity potential of the operation:

The operation consists of  $m=5$  flame-cutting machines (I. – V.) running continuously ( $k_s = 1$ ). Nominal time and time of planned downtimes is considered to be the same for all the machines:  $C_{nj} = 10\ 080$  min,  $p_d = 20$  %. Usable time of the flame-cutting machines is therefore  $C_{ij} = 8\ 064$  min. Table 2 includes producing ability of single flame-cutting machines to process the given work orders  $P_{ij}$ . Symbol "x" expresses the fact that the work order can not be processed on the given machine.

Three options were researched within the scope of the experimental work:  
 Option 1: Scheduling the work orders on the basis of producing ability  $P_{ij}$ , i.e. without using the devised algorithm. This method is used in practice. The work orders are assigned to those flame-cutting machines which will processes the order the fastest way (with the highest producing ability). The objective is the maximization of the volume of production (in tons).

Expediční nárazník  $t_b$  ve výši 3 dnů je tak schopen plně eliminovat riziko nedodržení expedičních termínů. V přídech, kdy je zakázka vyrobena dříve, však dochází ke zvýšení zásob hotové výroby. Z tohoto pohledu lze uvažovat o snížení expedičního nárazníku.

Při konečné verzi rozvrhu výroby by však bylo nutné ověřit, zda nedojde k nedodržení expedičních termínů u strategických zákazníků podniku.

period). The supplying buffer  $t_b$  of 3 days is therefore able to fully eliminate the risk of not keeping the supplying dates. However, in cases when an order is produced ahead of schedule, there is an increase in finished production stock. From this point of view, the cut of the supplying buffer can be taken into consideration.

It was necessary to verify, for the final version of the production schedule, that the supplying dates of the strategic customers of the company will be kept.

**Tab. 4** Srovnání objemu výroby a ekonomického efektu pro uvažované varianty

**Table 4** Comparison of volume of production and the economic effect for the intended options

Ukazatel	Varianta 1	Varianta 2	Varianta 3
Objem výroby (t)	1 734	1 789	1 547
Celkový příspěvek na úhradu (€)	120 605	121 778	130 981

## 5 ZÁVĚR

Vytvořený algoritmus pro rozvrhování výroby v provozech vyrábějících výpalky z tlustých plechů umožňuje:

- Zvýšit ekonomický efekt výroby pomocí analytického modelu pro přiřazení výrobních zakázek s účelovou funkcí maximalizující celkový příspěvek na úhradu.
- Zvýšit a zrovnoměrnit využití výrobních kapacit díky jednoznačné identifikaci požadavků na kapacitní vyvažování.
- Zvýšit spolehlivosti dodávek a snížit zásoby hotové výroby vhodným nastavením expedičního nárazníku.
- Vyčíslit ekonomické dopady zařazování prioritních zakázek do výroby.

## 5 CONCLUSION

The algorithm created for production scheduling in operations producing heavy plate cut shapes makes it possible to:

- Increase the economic effect of production through the use of the analytical model of the assignment work orders with the objective function maximizing the total contribution margin.
- Increase and balance the use of the production capacities thanks to clear identification of the requests for capacity balancing.
- Increase the reliability of supplies and decrease the final production stock by using suitable supplying buffer setting.
- Quantify the economic impacts of putting the priority orders into production.

Práce vznikla za podpory výzkumného záměru Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy České republiky č. MSM 6198910015.

The work was supported by the research plan of Ministry of Education, Youth and Sports of the Czech Republic No. MSM 6198910015.

**Literatúra / References**

- [1] Malindžák D.: Production Logistics I. ŠTROFEK Publishing, Košice, 1998.
- [2] Malindžák D., Straka M., Marková Z.: Návrh algoritmu agregovaného plánování (prognózy ZTD), kapacitního plánování a kapacitní optimalizace. In Logistika v praxi, Verlag Dashöfer, Praha, 2007.
- [3] Ross G. T., Soland R. M. A.: Branch and Bound Approach for Generalized Assignment Problem. Mathematical Programming, 1975, no. 8, pp. 91-105.
- [4] Ferland J. A.: Generalized Assignment-Type Problems a Powerful Modeling Scheme - The Practice and Theory of Automated Timetabling II., In Burke E. K., Carter M. W. (ed.), Springer Lecture Notes in Computer Science, 1997, pp. 53-77.
- [5] Öncan T., A.: Survey of the Generalized Assignment Problem and Its Applications. INFOR, August 2007, vol. 45, no. 3, pp. 123-141.
- [6] Goldratt E. M.: Theory of Constraints. The North River Press Publishing Corporation Great Barrington, 1999.
- [7] Lenort R., Staš D., Samolejová A.: Capacity Planning in Operations Producing Heavy Plate Cut Shapes. Metalurgija, July-September 2009, vol. 48, no. 3, pp. 209-211.
- [8] Lenort R., Samolejová A.: Analysis and Identification of Floating Capacity Bottlenecks in Metallurgical Production. Metalurgija, January-March 2007, vol. 46, no. 1, pp. 61-66.
- [9] 2007 Linear Programing Software Survey. OR/MS Today, Institute for Operations Research and the Management Science, Marietta: Lionheart Publishing, 2007, [online], [cited 2009-08-14]. Obtainable from: <http://www.lionhrtpub.com/orms/surveys/LP/LP-survey.html>.

**Recenzia/Review:** Dr.h.c. prof. Ing. Dušan Malindžák, CSc.