

# Sistem za razporejanje in zmanjševanje stroškov proizvodnje

## A Scheduling System for Minimizing the Costs of Production

Peter Bubeník

*Prispevek opisuje uporabo tehnike za razporejanje proizvodnih naročil na ravni delavniške proizvodnje. Možnost dejanskega uvajanja za razporejanje naročil v podjetju je odvisno od posodabljanja plana proizvodnje in podatkov v proizvodni delavnici.*

© 2004 Strojniški vestnik. Vse pravice pridržane.

**(Ključne besede: razporejanje, načrtovanje proizvodnje, razporejanje delavniško, simuliranje)**

*This paper discusses the use of simulation techniques for work-order scheduling at the factory-floor level of production. The ability to implement a simulation effectively for factory scheduling is dependent upon the availability of shop-floor data and the response time for the evaluation process.*

© 2004 Journal of Mechanical Engineering. All rights reserved.

**(Keywords: scheduling, production planning, shop floor scheduling, simulations)**

### 0 UVOD

Delavniški raspored ima pomembno vlogo pri upravljanju proizvodnega sistema. Odločati se je treba, ob upoštevanju celotnih ciljev, o rokih dobave, zmanjševanju stroškov, povezanih z zalogami blaga.

Upoštevanje vseh spremenljivk, ki vplivajo na zmožnost določenega rasporeda, je zelo zahtevno in je praktično nemogoče pri večini proizvodnih opravil. Če se stroški proizvodnje zvečujejo, obstaja možnost za izrazite spremembe, predvsem s sestavljanjem proizvodnih rasporedov za učinkovitejše postopke.

Kakovostni proizvodni raspored včasih vsebuje veliko spornih ciljev. Če se zmanjša prepustnost proizvodnje, bo idealni raspored imel naslednje lastnosti:

- križajo se dobavni roki;
- stroški zalog so na sprejemljivi ravni;
- naprave, kader in drugi omejeni viri so dobro izkoriščeni in uravnotežijo potek proizvodnje;
- prilagajanje je lahko hitro tudi ob nagli spremembi (napake na napravah, premalo vstopnega materiala itn.).

Načrtna proizvodnja in raspored imata pomembno vlogo pri doseganju ciljev v današnjem, pogosto se spreminjajočem konkurenčnem okolju. Primarni cilji načrtovanja in razporejanja v modernem proizvodnem okolju so naslednji:

### 0 INTRODUCTION

Shop-floor scheduling is an important task in managing a production system. A complex decision must be made, which impacts on global objectives such as meeting delivery due dates and minimizing the inventory of cost.

Attempting to consider all of the variables that which determine the effectiveness of a particular schedule is highly interrelated and has not been possible in most manufacturing operations. In the case of manufacturing-cost increases there are major productivity improvements to be realized by making the production scheduling for the process more effective.

The quality of a production schedule involves many—sometimes conflicting—objectives. While maximizing throughput is certainly an important consideration, an ideal schedule will also have the following characteristics:

- Delivery due dates are met.
- Inventory costs are maintained at acceptable levels.
- Equipment, personnel and other limited resources are well utilized and have balanced workloads.
- Adaptations can be made quickly in the event of an unexpected change (equipment failure, raw-material shortage, etc.).

Production planning and scheduling play a key role in helping management achieve its goals in this ever-changing and competitive environment. The primary objectives of production planning and scheduling in the modern manufacturing environment are as follows:

- časovno omejena proizvodnja, če je načrtovana in obljubljena;
- zmanjševanje t.i. polproizvodnje (polizdelkov);
- zmanjševanje zalog končne proizvodnje;
- zmanjševanje izkoriščanja razpoložljivega kapitala in drugih virov;
- povečanje zmogljivosti s krajšanjem časa proizvodnje;
- zmanjševanje stroškov proizvodnje.

## 1 TEHNIKE RAZPOREDA

Ni lahko optimizirati razpored v praksi ob upoštevanju vseh omenjenih ciljev. Izbere se eden od več proizvodnih razporedov za poudarjanje odvisnosti perečih proizvodnih skupin. Na splošno mora biti sprejet kompromis – uravnotežena rešitev posameznih ciljev. Proizvodna razporeditev v praksi poteka na več različnih načinov.

Najpogosteje se uporabljajo ročni postopki. V večini primerov vodja delavnice ali operater stroja vnese pripravljeno nalogo v zaporedje in naslednji zagon stroja. Merila, ki se uporabljajo v takšnih okoliščinah, pogosto kažejo ukrepe, ki se vrednotijo, ni pa nujno, da velja za vse cilje podjetja. Pogosto se uporablja načrtna tabla, ki prikazuje stanje dejanskih nalog in vizualno shemo razporeda.

Veliko analitičnih načinov postopka razporeditve je razvrščanje v skladu z odpravnimi pravili. Takšne metode uporabljajo pravila, ta dajejo prednost nalogam, ki čakajo na nadaljnjo obdelavo. Učinkovitost razporeda se lahko zelo razlikuje glede na nekatera izbrana pravila, tipe proizvodnih obratov in kombinacije izbranih nalog. Napoved zmogljivosti odpravnih pravil s tradicionalnimi metodami je zapleteno, hkrati pa so pravila od primera do primera omejena in se večinoma zelo težko uvajajo v proizvodni delavnici.

Vodje »poklicno« sovražijo analize. Z uporabo analiz in računalnikov ter grafičnih konstrukcij, ki jih imajo dandanes vodje na voljo, lahko zelo hitro dobijo odgovor glede analize razporeda proizvodnih naročil ali naročil za nadaljnjo proizvodnjo, ali pa lahko prejmejo informacijo v preprosti in razumljivi obliki.

Glavna prednost izdelanih podatkovnih tehnologij in računalnikov je nadzor proizvodne delavnice sproten. Le-ta omogoča dostop in ravnanje s podatki za proizvodnjo v dejanskem času in v okviru realnih možnosti.

Načrtovanje izdelavnih zmogljivosti II (NIZ II - MRP II) je razširilo cilje načrtovanju izdelavnih zmogljivosti (NIZ-MRP) in mu dodalo veliko novih vidikov proizvodnega vodenja. Obenem pa za podjetje izračuna njegovo zmogljivost, kar omogočajo moduli za zmogljivostno načrtovanje in zbiranje delavniških podatkov.

Sistemi razpolagajo z učinkovitimi tehnikami za določanje dolgoročnega terminskega razporeda in

- Produce, on time, what has been planned and promised.
- Minimize work in process.
- Minimize the inventory of finished goods.
- Maximize the utilization of capital assets and other resources.
- Increase throughput by reducing the manufacturing time.
- Minimize the cost of production.

## 1 SCHEDULING TECHNIQUES

It is difficult to optimise a schedule over all these characteristics in practice. From most production schedules, choose one to focus on, depending on the current production objectives. Generally, a trade off must be made to reach a balance between the objectives. Production scheduling is done in many ways in practice.

The most common methods of scheduling are purely manual techniques. In the most straightforward form, the department foreman, or the machine operator, selects the job to run next from those jobs waiting in front of the machine. The criteria used in this circumstance often reflects the measures by which he is evaluated, and may not reflect overall business objectives. Job status control boards are also used to visually layout schedules.

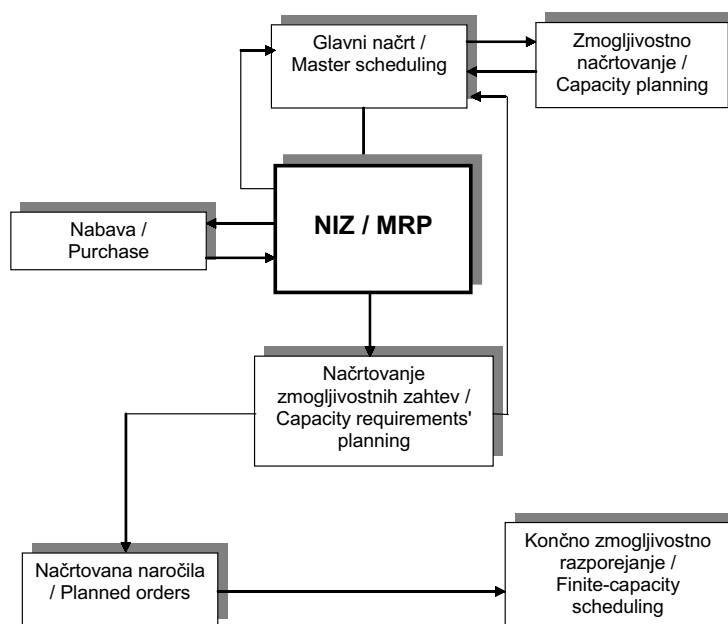
A more analytical approach to scheduling involves sequencing by dispatching rules. This method uses rules that prioritise the jobs waiting for processing. The effectiveness of the schedule may vary widely depending on the particular rule selected, the type of production facility, and the mix of jobs to be produced. It is difficult to predict the performance of dispatching rules by traditional methods. They are also limited in the scope of what they consider and are often hard to implement on the shop floor.

Managers have historically disliked having to wait a long time for analysis. With the computing capabilities and graphics constructs that are now available, managers can not only get a quick response for an analysis of work-order scheduling or work-order release, they can also receive the information in an easily understood form.

The major advances in database technologies have been made, and the computer is now a common sight on the shop floor. These improvements make the access to and manipulation of data for real-time factory control a real possibility.

MRP II (Manufacturing Resource Planning) expanded the scope of MRP to consider many other facets of production-facility management. In addition to sophisticated factory-accounting capabilities, modules for capacity planning and shop-floor data collection were also provided.

These techniques are effective for longer-term scheduling of order launching, but lack the de-



Sl.1. Načrtovanje zmogljivosti podjetja

Fig.1. Enterprise resource planning

izvedbo naročil, vendar pa ne zadostujejo za drobne potrebe in dejanski vsakdanji raspored. Načrtovanje zmogljivosti podjetja (NIZ - ERP) se pojavlja kot razširjena oblika NIZ II z možnostmi integracije proizvodnih procesov s finančnimi operacijami in končnim zmogljivostnim razporejanjem (KZR - FCS).

tail necessary for effective day-to-day production scheduling. ERP (Enterprise Resource Planning) emerged as an extension of MRPII, with the ability to integrate a company's manufacturing processes with financial transactions and FCS (Finite Capacity Scheduling).

## 2 KAJ JE KZR ?

## 2 WHAT IS FCS ?

Tradicionalni sistemi NIZ II predpostavljajo brezkončne zmogljivosti in preprosto sporočanje o preobremenjenih virih. Ročno je treba uravnotežiti načrte z uporabo povratne informacije iz funkcije načrtovanja zmogljivosti.

Traditional MRPII assumes infinity capacity and simply notifies you when resources are over-utilized. You must then manually balance plans using feedback from the capacity-planning function.

KZR pa nasprotno rešuje dejanske omejitve za glavno planiranje. Ta način sestavljanja rasporeda je optimiziran za končno dosegljive proizvodne zmogljivosti.

FCS technology, on the other hand, provides true constrained privatisation for master planning. This means schedules recommended by the FCS are optimised the finite capacity available.

Programska oprema za KZR je učinkovita zbirka programov, ki se na tem načelu uporabljajo za proizvodno podjetje. Znajo identificirati kritične in nekritične vire za optimizacijo rasporeda proizvodnje. Optimizirajo osnovne faktorje proizvodnje preko končnih vnaprejšnjih rasporeditev kritičnih virov po načelih OPT (Optimizacija proizvodne tehnologije) in menedžerski prednostni politiki.

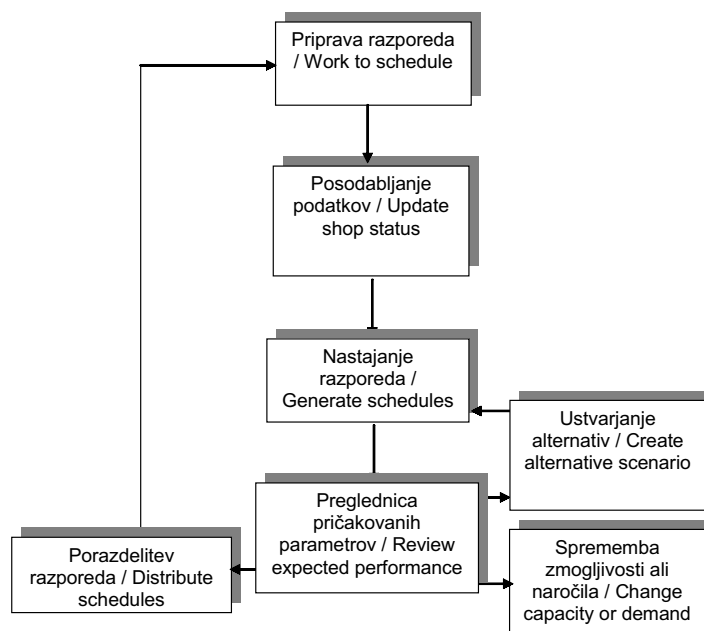
The FCS software is a powerful suite of programs that apply these principles to any manufacturing business. FCS identifies the critical and non-critical resources for optimised scheduling. FCS provides the optimised pacing of production by finitely forward-scheduling the critical resources according to the OPT (Optimization Production Technology) principles and the management prioritisation policy.

KZR usklajuje proizvodnjo na osnovi povratnega rasporeda neomejujočih sestavnih delov proizvodnega okolja. To zagotavlja odpravljanje materiala v delavnico ob primernem času, da izpolnimo zahteve rasporeda za kritična omejujoča področja, ko ohranjamo majhne zaloge.

FCS synchronises production by backward-scheduling the non-constraining parts of the manufacturing environment. It ensures the release of materials to the floor at the proper time to meet the needs of the schedule for critical constraining areas while maintaining a lean inventory.

Z uvajanjem KZR-a v obratih bomo hitro spoznali naslednje dejanske izmerljive prednosti (preglednica 1).

By implementing the FCS system in plants, we will quickly realize the following quantifiable real benefits (Tab.1).



Sl. 2. Postopek načrtovanja na osnovi KZR

Fig.2. The FCP Planning Process

Preglednica 1.

Table 1.

Prednosti Benefit	Potencial izboljšave Improvement potential
zmožnost dobave delivery performance	10 - 20 %
začeta proizvodnja work in process reduction	20 - 25 %
skrajšanje časa uvrščanja setup time reduction	50 %
izraba strojev machine utilization	15 - 25 %
zmanjšanje čakalnih dob reduction in idleness	15 - 20 %
izkoristek vzdrževanja maintenance crew utilization	10 - 15 %

### 3 PREDLOG IN DELO S SISTEMOM RAZPOREJANJA

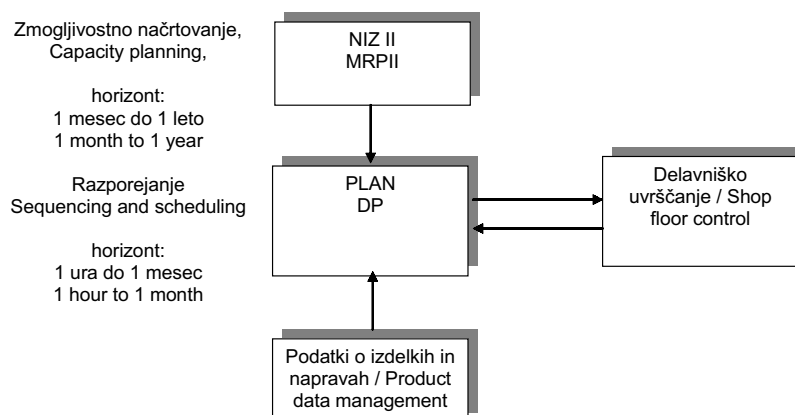
Na zahtevo podjetja Matador, Dopravné pásy, a. s. je bil izdelan osnutek elektronske načrtné table "PlanDP". Podatki o naročilu / stranka, številka naročila, količina, datum dobave/ se naložijo iz sistema NIZ II v PlanDP in vsi podatki o proizvodnih opravilih (operativni časi, čas uvrščanja) se shranijo v podatkovno bazo PlanDP.

Postopek načrtné proizvodnje ima dve ravni. Zgornja raven je dolgoročni razpored in tradicionalna načrtna proizvodnja. Ta raven napoveduje oceno zmogljivosti in potrebnih virov na podlagi podatkov o prodaji ali pridobljenih naročil strank za sorazmerno velik časovni horizont (informacije se nalagajo iz sistema NIZ II.).

### 3 DESIGN AND WORKING WITH THE SCHEDULING SYSTEM

At the request of the division Dopravné pásy, MATADOR, a.s. we designed the electronic planning board "PlanDP". Data of order (customer, order number, batch size, due date) are downloaded from the MRPII system into PlanDP and all the information of product operations (processing times, set-up time) are held in the Plan DP database.

The production-planning process has two layers. The top layer represents long-range scheduling or traditional production-planning and control. This layer forecast the capacity and resources needed, based on estimated sales or orders for a relatively large time horizon (information loaded from the MRP II system).



Sl.3. Postopek načrtovanja proizvodnje  
Fig.3. Production-Planning Process

Druga raven prikazuje podrobnosti razporeda opravil, predstavlja jo časovno okno naročila za nekaj ur in dni. Natančno uvrščanje je ugotovljeno za vsako napravo posebej. Načrtni mojster – razpošiljavca se najbolj osredotoči na to raven.

PlanDP se lahko uporabi kot grafični MPS (Glavno načrtovanje), kjer se naročila nalagajo z informacijami o izdelku v PlanDP, ki dokončno razporedi proizvodnjo. Ta korak se ponavlja, če proizvodni raspored ni v nasprotju s predpisanim ciljem. Cilj lahko določi vodstvo npr. najmanjše stroške proizvodnje itn.

»Srce in duša« predloženega KZR je zaporedje. Zaporedje je pravzaprav elektronska načrtna tabla, kjer so prikazani proizvodni viri in opravila.

V spodnji polovici slike, so prikazani vsi proizvodni viri in razporejena opravila, preprosto berljivi v obliki gantograma. Zunaj pogleda zaporedja so individualna okna virov z barvnimi ikonami, ki se uporabljajo za prikaz vnesenih opravil.

Postopek zaporedja:

1. Sistem naloži naročila in podatke o izdelku (številko naročilo, količino, kosovnik, termin dobave, tehnološki postopek).
2. Sistem uredi naročila glede na tip proizvodnega postopka in roka dobave.
3. Odmerja blago iz naročil, zmanjšuje število naprav – spremembe izbire.
4. Pošilja delo vseh kompletov, pravočasno za vsak stroj posebej, če stroj ne dela in je pripravljen za delo.
5. Sistem analizira cilje (rok dobave, najmanjše količine zamenjave začeto proizvodnjo, predpostavljene čas proizvodnje).
6. Če raspored ni v nasprotju s predpisanimi cilji, je mogoče preklicati naloge in spremeniti zaporedje, operator spremeni količine, varianto tehnologije in vstop dejanskega časa naloge.

The second layer represents detailed or operational scheduling, here the time frame is of the order of hours to several days. The exact sequencing is determined for each machine. The scheduler concentrates most of his effort on this layer.

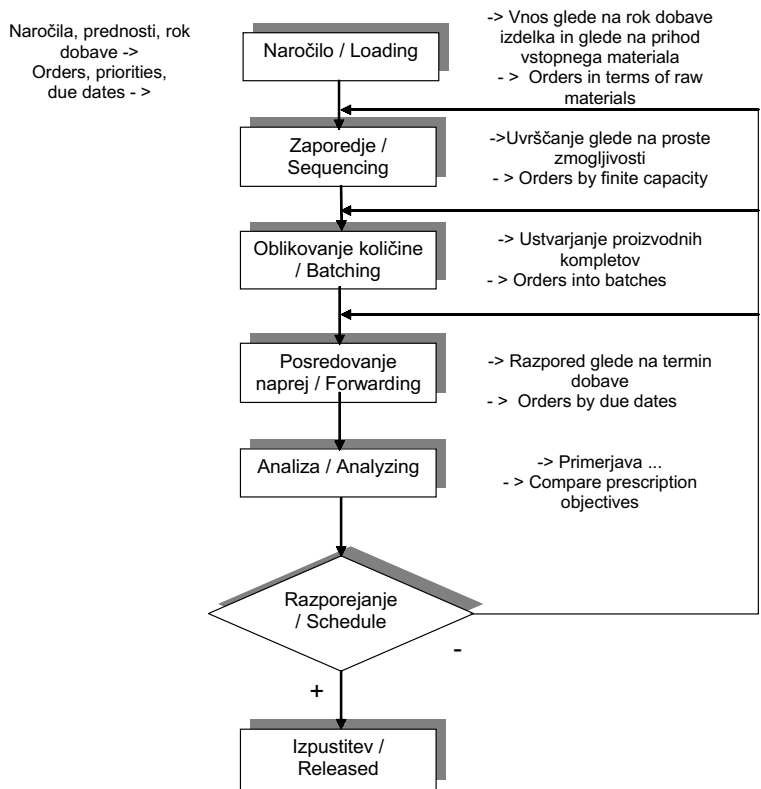
PlanDP can be used as a graphical MPS (Master Production Schedule) where orders are loaded with product information to PlanDP, which provides a finite schedule. This step is performed repeatedly until the schedule meets a prescription objective. This objective may be handed down from management, such as minimizing production costs, short lead times, etc.

The heart and soul of the design of FCS is the sequencer. The sequencer is essentially an electronic planning board where resources and the operations scheduled for processing on each resource are displayed.

In the bottom half of the screen the sequence overview displays each resource and the operations scheduled on them in an easy-to-read Gant format. Above the sequence overview are the individual resource windows with colourful icons used to represent the loaded operations.

Sequencer process:

1. System loading orders with product information (number of orders, quantity, bill of materials, due date, technologies).
2. System sequencing orders by type of production technologies, due date.
3. Making batches from orders by minimizing the amount of set-up time.
4. Forwarding jobs for all batches on the time line for each machine, when the machine is not busy, jobs waiting.
5. System analysing objective (meeting of due date, minimum amount of set-up time, work in process, lead time).
6. If schedule does not meet a prescription objective, it has the possibility to unload jobs and change a sequence, operators can change a batch, vary technologies and enter actual operation times.



Sl.4. Model „PlanDP“  
Fig.4. Model PLANDP

balik	operácia	op.čas [hod]	start	koniec	typ	párovanie	šírka textilu	šírka pásu	brm [m]	dĺžka pásu	textil	finál	lis
3416	Gumovanie 4v	0:49	6:40	7:29	A		2090	1050	150	150	4.1.2002	10.1.2002	LIS 2
3416	Prestavba	0:40	7:29	8:09	P								
3416	Táhanie KV 4v	0:38	8:09	8:47	A						4.1.2002	10.1.2002	LIS 2
3416	Lepenie kostier	0:56	7:29	8:25	A						4.1.2002	10.1.2002	LIS 2
3416	Dekovanie kombajn	1:05	8:47	9:52	A						4.1.2002	10.1.2002	LIS 2

SUMA MESAČNÝCH POŽIADAVIEK	
OPERÁCIA	[hod]
GUMOVANIE - 4V	94:46:00
TÁHANIE KV - 4V	91:38:00
DEKOVANIE - 4V	27:35:00
KONŠTRUKTA	19:36:00
KOMBAJN	21:58:00
LIS 1	269:26:00
LIS 2	21:44:00
LIS 3	

SUMA DENNÝCH POŽIADAVIEK	
ZARIADENIE	[hod]
4V	3:44:00
KONŠTRUKTA	2:31:00
KOMBAJN	3:15:00
LIS 1	
LIS 2	4:40:00
LIS 3	
Prestavba	2:40:00

ROZVRH										
Zariadenie	4.1.2002 6:00	4.1.2002 7:00	4.1.2002 8:00	4.1.2002 9:00	4.1.2002 10:00	4.1.2002 11:00	4.1.2002 12:00	4.1.2002 13:00	4.1.2002 14:00	4.1.2002 15:00
4V	3416	3421	3416	3421	3422	3423	3424			
KONŠTRUKTA				3416	3421	3422	3423	3424		
KOMBAJN					3416	3421	3422	3424		
LIS 1										3423
LIS 2							3416	3421		
LIS 3										3421

Sl.5. Načrtna tabla "PlanDP"  
Fig.5. Planning board PLAN DP

7. Če je razpored pripravljen za naročilo v proizvodnjo, KZR ponudi osnovne alternative razporeda, ki so dostopne za tisk.
8. Vnesi novo naročilo in se vrni na korak št. 1.  
Sistem je programiran s pomočjo "Visual Basic for Application" v okolju MS Excel.

7. When a schedule is ready to be released, FCS offers you basic alternatives of the printed reports available.
8. New orders added, back to step 1.  
The system has been written in the Visual Basic Application for the MS Excel environment.

## 4 SKLEP

Interaktivni sistem za razporejanje, ki je bil zasnovan za nastajanje sprejemljivega rasporeda in spremembo sedanjega rasporeda, sestavlja raspored zelo hitro in z razpoznavanjem kritičnih in nekritičnih virov. Razporejevalnik ima interaktivno orodje za učinkovito in pravočasno načrtovanje sprememb v proizvodnem obratu.

Učinkovitost predlaganega osnutka se testira v dejanskem proizvodnem postopku. Proizvodnja se je zadnjih deset dni občutno spremenila in se bo v najbližji prihodnosti spreminjala še naprej. Izvedene spremembe:

- Sistem zmanjša število zamud naročil in krajša čas proizvodnje z boljšo proizvodno kombinacijo naročil.
- Več možnosti proizvodnega rasporeda omogoča pravočasno izvedbo naročila.
- Čas proizvodnje se zmanjšuje zaradi krajšega časa, potrebnega za spreminjanje izbire.
- Zahteva za pravočasno dostavo naročila zmanjšuje začetno proizvodnjo in stroške.

Ta prispevek je podprla znanstvena ustanova slovaške vlade – št. 1/7212/20.

## 4 CONCLUSION

The interactive scheduling systems that have been presented to generate a feasible schedule and to revise the existing schedule make a schedule very quickly by identifying the critical and non-critical resources. The dispatcher has interactive tools for effective planning changes on the shop floor in time.

The effectiveness of the proposed concept has been tested in a real manufacturing process.

Manufacturing has been undergoing a significant change in the last decade and will continue to change for the foreseeable future. Some of the changes are as follows:

- The system reduces the number of delay orders and introduces shorter leadtimes by a better mix of orders.
- Many variants of sequencing make it possible to meet due dates.
- Lead times are minimized by decreasing the amount of set-up time.
- Demands to deliver just-in-time minimize work-in-process and reduce costs.

This paper was supported by the Scientific Grant Agency of Slovak Government – Grant No. 1/7212/20.

## 5 LITERATURA

## 5 REFERENCES

- [1] Grant, H.: Production scheduling using simulation technology, Factor Inc., USA.  
 [2] Gregor, M., J. Košturiak, B. Mičieta, P. Bubeník, J. Ružička (2000) Dynamické plánovanie výroby, EDIS, Žilina, (ISBN 80-7100-607-6).  
 [3] Bubeník, P. (2002) Finálne kapacitné plánovanie výroby v podmienkach zákazkovej výroby - Dopravné pásy MATADOR, a.s., Produktivita 3/2002 (ISSN 1335-5961).

Avtorjev naslov: dr. Peter Bubeník  
 Univerza v Žilini  
 Oddelek za industrijsko tehniko  
 Moyzesova 20  
 010 01 Žilina, Slovaška  
 bubenik@kpi.utc.sk

Authors Address: Dr. Peter Bubeník  
 University of Žilina  
 Dept. of Industrial Engineering  
 Moyzesova 20  
 010 01 Žilina, Slovak Republic  
 bubenik@kpi.utc.sk

Prejeto: 20.5.2003  
 Received:

Sprejeto: 8.4.2004  
 Accepted:

Odrpto za diskusijo: 1 leto  
 Open for discussion: 1 year