



Univerza v Mariboru

---

Fakulteta za strojništvo

# **TERMINIRANJE VRSTNEGA REDA DELOVNIH NALOGOV ZA PROIZVODNJO PODJETJA X**

Diplomsko delo

Študent: Patrik ŠTRUCL  
Študijski program: Visokošolski strokovni študijski program  
Strojništvo  
Smer: Proizvodno strojništvo  
Mentor: izr. prof. dr. Iztok PALČIČ

Maribor, avgust 2016



## IZJAVA

Podpisani Patrik Štrucl, izjavljam, da:

- je diplomsko delo rezultat lastnega raziskovalnega dela,
- da je predloženo delo v celoti ali v delih ni bilo predloženo za pridobitev kakršnekoli izobrazbe po študijskem programu druge fakultete ali univerze,
- da so rezultati korektno navedeni,
- da nisem kršil-a avtorskih pravic in intelektualne lastnine drugih,
- da soglašam z javno dostopnostjo diplomskega dela v Knjižnici tehniških fakultet ter Digitalni knjižnici Univerze v Mariboru, v skladu z Izjavo o istovetnosti tiskane in elektronske verzije zaključnega dela.

Maribor, 22. 8. 2016

Podpis: \_\_\_\_\_

## **ZAHVALA**

Zahvaljujem se mentorju doc. dr. Iztoku Palčiču za pomoč in vodenje pri opravljanju diplomskega dela.

Zahvaljujem se tudi podjetju X za pomoč pri izvedbi računskega dela diplomske naloge.

Posebna zahvala velja tudi staršem in puncu, ki so mi stali ob strani in me podpirali skozi študij.

## **TERMINIRANJE VRSTNEGA REDA DELOVNIH NALOGOV ZA PROIZVODNJO PODJETJA X**

**Ključne besede:** proizvodnja po naročilu, terminiranje, pretočni časi, prednostna pravila, Lekin

**UDK:** 658.513/.514(043.2)

### **POVZETEK**

*Osnovni cilj proizvodnje po naročilu je predvsem zagotoviti dobavo kupcem v obljubljenih rokih, kateri pa so dandanes vedno krajši. Da lahko dosegamo zastavljene dobavne roke z minimalnimi stroški, moramo optimalno razvrstiti delovne naloge tako, da so pretočni časi čim krajši. Zato se moramo dobro seznaniti z terminiranjem in njegovimi metodami. Ker vse metode ne dajo enako dobrih rezultatov, moramo za razvrščanje delovnih nalogov izbrati tisto, ki najbolje ustreza našemu sistemu.*

*V diplomski nalogi smo na realnem primeru preučili prednostna pravila in hevristično metodo terminiranja ter ugotovili, katera najbolje ustreza našemu podjetju.*

## **SCHEDULING OF WORK ORDERS IN MANUFACTURING COMPANY X**

**Key words:** build-to-order-production, scheduling, flow time, priority rules, Lekin,

**UDK:** 658.513/.514(043.2)

### **ABSTRACT**

*The main goal of the build-to-order-production is to deliver the product to the customer within the specified deadline. Nowadays, deadlines are becoming increasingly shorter. In order to meet the specified delivery deadlines at minimal cost, tasks need to be scheduled in a way that will make the flow times as short as possible. That is why it is important to learn about scheduling and its methods. Since not all methods of scheduling provide equally good results, we need to choose the one that is the most suitable for our system of task scheduling.*

*This graduation thesis involves a case study and treats the priority rules as well as the heuristic method of scheduling in order to find out which method is the most suitable for our company.*

## KAZALO

<b>1 UVOD.....</b>	<b>1</b>
1.1 Opis splošnega področja diplomskega dela .....	1
1.2 Opredelitev diplomskega dela.....	2
1.3 Struktura diplomskega dela.....	2
<b>2 TERMINSKO PLANIRANJE PROIZVODNJE PO NAROČILU .....</b>	<b>3</b>
2.1 Pretočni časi naročil.....	4
<b>3 METODE VODENJA PROIZVODNJE .....</b>	<b>5</b>
3.1 Ročno vodenje proizvodnje .....	5
3.2. Analitične metode .....	5
3.3. Hevristične metode .....	6
<b>4 PREDNOSTNA PRAVILA.....</b>	<b>7</b>
4.1 EDD (ang. Earliest Due Date).....	8
4.2 FCFS (ang. First Come, First Served).....	9
4.3 SPT (ang. Shortest Processing Time) .....	10
4.4 LPT (ang. Longest Processing Time) .....	11
4.5 Uporaba prednostnih pravil .....	12
<b>5 GANTTOVI DIAGRAMI.....</b>	<b>13</b>
<b>6 PROGRAM LEKIN .....</b>	<b>14</b>
<b>7 APLIKACIJA PREDNOSTNIH PRAVIL ZA PODJETJE X.....</b>	<b>15</b>
7.1 Vhodni podatki.....	15

---

<b>8 REZULTATI .....</b>	<b>17</b>
8.1 Prednostno pravilo EDD .....	17
8.2 Prednostno pravilo FCFS.....	18
8.3 Prednostno pravilo LPT.....	19
8.4 Prednostno pravilo SPT .....	20
8.5 Hevristična metoda.....	21
8.6 Primerjava rezultatov in diskusija.....	22
<b>9 SKLEP .....</b>	<b>24</b>
<b>10 SEZNAM UPORABLJENIH VIROV .....</b>	<b>26</b>
<b>11 PRILOGE.....</b>	<b>27</b>



**KAZALO SLIK**

Slika 6.1: Programski paket Lakin .....	14
Slika 8.2: Ganttov diagram po pravilu EDD .....	17
Slika 8.3: Preračun pravila EDD .....	17
Slika 8.4: Ganttov diagram po pravilu FCFS.....	18
Slika 8.5: Preračun pravila FCFS.....	18
Slika 8.6: Ganttov diagram po pravilu LPT.....	19
Slika 8.7: Preračun pravila LPT.....	19
Slika 8.8: Ganttov diagram po pravilu SPT .....	20
Slika 8.9: Preračun pravila SPT .....	20
Slika 8.10: Ganttov diagram po hevristični metodi .....	21
Slika 8.11: Preračun hevristične metode.....	21

**KAZALO TABEL**

Tabela 7.1: Vhodni podatki.....	15
Tabela 8.2: Primerjava rezultatov .....	22

**SEZNAM SIMBOLOV**

$i$  – števec naročil

$j$  – števec operacij

$O$  – zaporedje vseh operacij naročila

$T_n$  - skupni čas operacije

$t_{prih}$  – čas prihoda naročila

$op$  – število vseh operacij pri naročilu

$t_{dob}$  – dobavni rok naročila

**SEZNAM KRATIC**

EDD	–	earliest due date
FCFS	–	first-come, first-served
SPT	–	shortest processing time
LPT	–	longest processing time

## 1 UVOD

### 1.1 Opis splošnega področja diplomskega dela

Tržišče oblikujejo naraščajoče število ponudnikov, ki tekmujejo med sabo, in kupci, ki imajo vedno zahtevnejše želje. Zaradi tega je odločilna sestavina uspešnosti podjetja pravilna poslovno-proizvodna strategija. Da je podjetje uspešno, ni dovolj, da le drži korak z drugimi, ampak mora stalno postavljati nova merila v smeri usmeritve h kupcu, ceni izdelkov in njihovi kakovosti, hitrosti in prilagodljivosti, k varčevanju z viri in skrbjo za okolje. Poleg konkurenčne stroškovne kalkulacije in ustrezne kakovosti izdelka je postal čas najpomembnejši dejavnik poslovnega uspeha. To se še posebej opazi v proizvodnji po naročilu, kjer o uspehu ali neuspehu podjetja odločata prilagodljivost in skrajševanje pretočnih časov [1].

Procesi proizvodnje po naročilu so sestavljeni iz večjega števila delovnih operacij, ki si sledijo v različnem zaporedju, izvajajo pa se na različnih delovnih mestih. Tipični proizvodni obrat sestavljajo skupine strojev, ki so razvrščene po tehnološki podobnosti. Pri tem se pogosto pojavlja neuskkljenost med transportnimi in tehnološkimi tokovi ter zmogljivostmi tehnologij. Proizvodnja se v celoti izvede po prejemu naročila, material se naroča glede na naročilo, zaradi česar so roki lahko zelo dolgi. Tako lahko ustrezno konkurenčnost zagotavljata le ustrezna organizacija in prilagodljiva tehnologija [1].

Pri sami organizaciji proizvodnje se dogaja, da bi morali na nekem delovnem mestu izvesti več operacij različnih nalogov ob istem času, razlog pa je predvsem neuskkljenost proizvodnih zmogljivosti. Zaradi omejenosti kapacitet delovnih mest je potrebno naročila obdelati drugo za drugim. Nekatero operacijo na delovnih nalogah morajo počakati, da se zasedeno delovno mesto sprost in se bo operacija lahko začela izvajati, zaradi česar se začnejo pojavljati čakalne vrste. Zasedenost kapacitet tako predstavlja osrednji problem vodenja proizvodnje, saj bolj kot so kapacitete strojev izkoriščene, težje je izdelati dovolj dober načrt oziroma določiti dober vrstni red naročil [1].

Dela, ki čakajo v vrsti, so lahko razporejena različno, ta raspored pa opredeli zaporedje izvajanja, torej katero delo se bo izvedlo prvo, ko se sprost delovno mesto, in katera dela bodo morala počakati. Sodilo za takšen raspored je pomembnost delovnih nalogov, pri čemer damo prednost operacijam, ki nam predstavljajo prioriteto [2].

## 1.2 Opredelitev diplomskega dela

Odločanje o optimalni razporeditvi dela v podjetju z omejenimi kapacitetami je zahtevna naloga, še posebej z naraščajočimi zahtevami tržišča. Naročila v zadnjem trenutku in kratki dobavni roki onemogočajo temeljito analizo metod izvajanja dela, s katerimi bi si zagotovili njegov idealen potek. Pomembno je, da podjetje izbere takšno metodo, ki bo s svojimi rezultati zadovoljila cilje in kriterije podjetja. Literatura nam ponuja veliko rešitev, vendar vse ne podajo enako dobrih rezultatov. V diplomskem delu bomo tako predstavili nekaj teh metod in poskušali določiti najbolj optimalno za podani realni primer podjetja X.

## 1.3 Struktura diplomskega dela

Diplomsko nalogo sestavlja osem poglavij. Prvih pet poglavij je namenjeno teoretični osnovi o načrtovanju proizvodnje, pretočnosti naročil in opisu različnih metod terminiranja. Zadnja tri poglavja so namenjena praktičnemu delu, kjer je predstavljen postopek terminiranja s pomočjo prednostnih pravil na realnem primeru, temu pa sledita še primerjava in diskusija rezultatov.

## 2 TERMINSKO PLANIRANJE PROIZVODNJE PO NAROČILU

Z izrazom terminiranje v proizvodnji označimo določanje rokov za dokončanje operacij, komponent in proizvodov ter potreben čas začetka dela [3].

Najpodrobnejši plan dela v proizvodnji je terminski plan. Z njim določimo razvrstitev dela oziroma razporedimo izvajanje operacij po posameznih delovnih mestih na dan in uro natančno. Za vsako delovno mesto je potrebno ugotoviti, katere operacije na posameznih delovnih nalogih se bodo na njem izvajale v naslednji terminski enoti, koliko časa bo trajalo izvajanje teh operacij ter roke začetka in zaključka posameznih operacij [2].

Obstajata dva pristopa k terminskemu planiranju, in sicer [4]:

- terminiranje v naprej, pri katerem je cilj, da je vsak delovni nalog čimprej zaključen. Roki dokončanja naročila niso posebej določeni, zato izhajamo iz začetnega termina, ki mu v naprej prištevamo čase za izvedbo posameznih delovnih operacij in zastojev, kot rezultat pa dobimo informacijo, kdaj bo lahko naročilo najhitreje končano. Takšen način terminiranja enakomerno zaseda kapacitete in ima časovne rezerve, a povzroča medfazne zaloge obdelovancev;
- terminiranje v nazaj, katerega cilj je dokončanje naročila točno na datum obljubljenega roka. Roki dokončanja naročila so torej jasno določeni, od tega termina pa nato nazaj odštevamo čase za izvedbo posameznih operacij in zastojev. Kot rezultat dobimo informacijo, kdaj je zadnji rok, da začnemo s proizvodnjo. Takšen način terminiranja manj ugodno zaseda kapacitete, prav tako nima časovnih rezerv, prednost pa je v manjših medfaznih zalogah obdelovancev.

Pogosta je uporaba kombinacij obeh načinov terminiranja, pri čemer se najprej izvede terminiranje v naprej in nato še terminiranje v nazaj.

Podjetja imajo postavljene različne cilje, ki jih želijo doseči s terminiranjem. Osnovni cilj je predvsem zagotoviti dobavo kupcem v obljubljenih rokih, pri čemer bi bili stroški za doseg tega cilja čim nižji [3].

Ta cilj vključuje še številne podcilje:

- uresničitev obljubljenih dobavnih rokov;
- minimalizirani stroški proizvodnje;
- zagotovitev čim krajših pretočnih časov proizvodov;
- zagotovitev čim boljše izkoriščenosti delovne sile in opreme;
- zagotovitev čim nižjih v proizvodnji vezanih sredstev;
- zagotovitev čim večje prilagodljivosti zahtevam kupcev.

## 2.1 Pretočni časi naročil

Pretočni čas celotnega naročila je vsota pretočnih časov vseh delovnih operacij, ki sestavljajo to naročilo. To je čas med prihodom naročila v čakalno vrsto za izvajanje prve operacije in končanjem izvajanja zadnje operacije oziroma prihodom končanih izdelkov v skladišče.

Pretočni čas delovne operacije predstavlja čas med prihodom naročila na eno delovno mesto, kjer se bo izvedla operacija, in prispetjem naročila na drugo delovno mesto, kjer se bo izvedla naslednja operacija. Ta čas je sestavljen iz časa prihoda in čakanja oziroma ležanja pred operacijo, pripravljalnega časa, časa obdelave, zaključnega časa, časa čakanja oziroma ležanja po operaciji, časa kontroliranja, časa čakanja oziroma ležanja pred transportiranjem in časa transportiranja [1].

## 3 METODE VODENJA PROIZVODNJE

### 3.1 Ročno vodenje proizvodnje

Ročno vodenje proizvodnje poteka v mnogih, a predvsem manjših podjetjih. V takih podjetjih izvaja fino-podrobno načrtovanje izkušen delavec, ki je po navadi delovodja.

Ta ima nalogo, da določi prostorski in časovni potek izvajanja delovnih nalogov. Njihov vrstni red določa po nujnosti naročil, razpoložljivosti orodij in strojev, kvalifikacije izvajalcev ipd. Pri sprejemanju odločitev ne uporablja posebnih pripomočkov, izjemoma planske table, ampak se raje opira na svoje dolgoletne delovne izkušnje.

Takšno vodenje proizvodnje zahteva veliko izkušenj, hkrati pa ne zagotavlja, da bomo dosegli postavljene cilje. Zato je nujna izgradnja avtomatiziranega sistema z ustrezno logiko odločanja, ki prevzame nadzor nad dogodki v proizvodnji [1].

### 3.2. Analitične metode

Značilnost analitičnih metod je, da so le v izbranih slučajih uporabne za določanje razporeda naročil, kar pomeni močno idealizirane pogoje in minimalno število naročil in delovnih mest. Le takrat dajejo optimalne rezultate glede postavljene ciljne funkcije. Med analitične metode prištevamo mešano-celošteviločno programiranje in postopek Razveji in omeji.

Pomen izbranih ciljnih funkcij in robnih pogojev, na primer omejitve glede zaporedja operacij in delovnih mest v optimizacijskih modelih, je v natančno raziskani situaciji z eksaktno upoštevanim stanjem, vplivnimi veličinami in soodvisnostjo veličin. Zaradi izredno obsežnih preračunov je praktična uporaba omenjenih metod in tudi drugih analitičnih metod nemogoča [1].



### 3.3. Hevristične metode

Hevristika je strategija za selektivno preiskovanje problemskega prostora. Običajno predstavlja kompromis med dvema zahtevama: nujnostjo poenostavitve merila in ob istem času pravilnim razločevanjem med dobrimi in slabimi alternativami.

Z uporabo prioriternih kriterijev lahko formiramo zaporedje izvajanja naročil, kakovost katerega je odvisna predvsem od kriterija, ki smo ga uporabili [6].

Poznanih je več različnih pristopov, najpomembnejši pa so prioriteta naročila, interna prioriteta tipa naročila in prednostna (prioritetna) pravila [1].

Pri prioritetnih naročilih le-ta razvrščamo po stopnji pomembnosti oziroma nujnosti. Prioriteto označimo s številko, ki jo naročilo nosi vse do dokončanja. Najnujnejša naročila označimo z najvišjo prioriteto številko, normalna naročila s srednjo, z nižjimi številkami tista, kjer ni potrebno hiteti, in z najnižjo številko tista naročila, ki so začasno zadržana.

Interna prioriteta tipa naročila je namenjena uravnoveženemu koriščenju kapacitet, predhodno pa je podrejena prioriteti naročila. Če želimo doseči enakomerno zasedenost delovnih mest z naročili, moramo upoštevati vrstni red tipov naročil. Na delovno mesto najprej usmerimo tisto naročilo, ki se lahko izvede le na tem delovnem mestu, nato izberemo tista naročila, ki se lahko izvedejo še na kakšnem drugem delovnem mestu, in na koncu tista, ki se lahko izvedejo na katerem koli delovnem mestu.

Med hevrističnimi metodami so najbolj uporabljena prednostna pravila. To so hevristična odločitvena pravila, ki se opirajo na zasledovanje ciljev planiranja proizvodnje in verjetnostne veličine. Vsakemu naročilu pripišejo ustrezno prioriteto in tako omogočijo razporejanje naročil po trenutnih veljavnih smernicah in razpoložljivih kapacitetah.

## 4 PREDNOSTNA PRAVILA

Z uporabo prednostnih pravil pripišemo vsakemu naročilu, ki čaka v vrsti pred določenim delovnim mestom, prednostno številko, ki določa mesto naročila v čakalni vrsti v primerjavi z drugimi naročili [5].

Poznamo več delitev prednostnih pravil [6]:

- statična in dinamična: prva določijo prioriteto naročilom pred postopkom razvrščanja, prioriteta pa se med izvajanjem ne spremeni. Druga pa dodeljujejo prioriteto odvisno od časa, glede na izvajanje naročil;
- lokalna in globalna: lokalno prednostno pravilo potrebuje le nekatere podatke o čakajočem naročilu, medtem ko globalno prednostno pravilo zahteva še dodatne podatke o drugih naročilih in vseh čakalnih vrstah. Posledično so zaradi manjšega obsega podatkov enostavnejša in cenejša lokalna pravila;
- temeljna in kombinirana: prva so elementarna, enostavna pravila in obsegajo eno funkcijsko odvisnost, medtem ko so druga sestavljena iz več temeljnih pravil.

Značilna je tudi razdelitev pravil v štiri skupine kriterijev:

1. Pravila, ki vključujejo skupne čase operacij oziroma posamezne elemente teh časov.
2. Pravila, ki vključujejo dobavne roke naročil.
3. Pravila, ki ne vključujejo niti časov operacij niti dobavnih rokov.
4. Kombinirana pravila (prioriteto določamo z ustreznimi količniki za temeljna pravila).

V vsakdanji praksi se, predvsem zaradi enostavnosti, največ uporabljajo EDD, FCFS in SPT.

## 4.1 EDD (and. Earliest Due Date)

$$\min t_{dob_i} \tag{4.1}$$

kjer je:

$i$  – števec naročil

$t_{dob}$  – dobavni rok naročila

EDD spada pod pravila, ki vključujejo dobavni rok, saj ima prednost naročilo z najzgodnejšim dobavnim rokom.

Pravilo najzgodnejšega roka dobave razporedi delovne naloge v vrsto glede na njihove zahtevane roke dokončanja. Kot prvi se tako izvede delovni nalog z najzgodnejšim rokom dokončanja, sledijo mu dela s kasnejšimi roki dokončanja.

Takšno pravilo poskuša minimalizirati maksimalno zaostajanje in maksimalno zamujanje [4].

Do dolgih čakalnih časov, visokih zalog nedokončane proizvodnje in prenatrpanosti obrata lahko pripeljeta določitev realno dosegljivih dobavnih rokov in neupoštevanje stopnje realizacije naročil, kar sta slabosti tega pravila. Prav tako je slabost tega pravila, da neenakomerno zaseda kapacitete [1].

## 4.2 FCFS (ang. First Come, First Served)

$$\min t_{prih/op_i} \tag{4.2}$$

Kjer je:

$i$  – števec naročil

$op$  – število vseh operacij pri naročilu

$t_{prih}$  – čas prihoda naročila

FCFS spada pod pravila, ki ne vključujejo ne časov operacij ne dobavnih rokov, saj daje prednost naročilom, ki so najdlje v čakalni vrsti za aktualno operacijo.

Na novo prispela naročila se postavljajo na konec čakajoče vrste pred določenim delovnim mestom, medtem ko gredo v obdelavo tista dela, ki so na začetku vrste. Takšen način razporejanja ne upošteva nobenih drugih podatkov, kot so na primer dobavni roki, skupni časi operacij, število preostalih operacij ipd.

To ni najbolj optimalen raspored v vrsti, niti najbolj priporočena tehnika, saj slabo obvladuje doseganje proizvodnih ciljev v proizvodnji po naročilu. Naročila, ki imajo dolgo trajanje operacij, zadržujejo druga naročila v vrsti, prav tako naročila z večjim številom operacij pri naslednjih delovnih mestih povečajo čas čakanja na delo [1].

Kljub temu je pravilo naključnega zaporedja nihanja na delovno mesto najenostavnejše pravilo in je priljubljeno pri ročnem vodenju proizvodnje. Pravilo namreč daje dobre rezultate, če so pred delovnimi mesti le od dve do štiri naročila, torej so čakalne vrste zelo kratke [4].

### 4.3 SPT (ang. Shortest Processing Time)

$$\min \sum_{j \in O_i} t N_{ij} \quad (4.3)$$

Kjer je:

$i$  – števec naročil

$j$  – števec operacij

$O$  – zaporedje vseh operacij naročila

$T_n$  - skupni čas operacije

SPT spada pod pravila, ki vključujejo čas operacije, saj imajo prednost naročila z najmanjšim skupnim časom vseh operacij.

Na takšen način je zagotovljen hiter proces dela tudi za delovna mesta naslednjih delovnih operacij, posledično tudi hitrejši pretok proizvodov in visoka izkoriščenost zmogljivosti.

Pravilo je primernejše v sistemih, kjer dobavni roki ne predstavljajo pomembnega dejavnika. Ob uporabi tega pravila namreč nastane težava pri naročilih z dolgimi časi obdelave, saj ta nikoli ne pridejo na vrsto, kar lahko povzroča zamude. Na vrsto pridejo šele takrat, ko se delovno mesto popolnoma sprazni in naročilo ostane samo. To slabost lahko odpravimo tako, da omejimo maksimalen čas čakanja naročila na nekem delovnem mestu. To pomeni, da bo obsežnejše naročilo šlo v obdelavo po nekem določenem času, ne glede na to, da čakajo na obdelavo naročila s krajšim časom obdelave [3].

V praksi je uporaba tega pravila zelo popularna, saj ima najkrajše povprečne pretočne čase za delovne naloge in najkrajše povprečne čakajoče vrste. To se odraža tudi v najmanjših medfaznih zalogah, majhnem povprečnem zaostajanju in zelo majhnem deležu zamud [4].

#### 4.4 LPT (ang. Longest Processing Time)

$$\max \sum_{j \in O_i} t N_{ij} \tag{4.4}$$

Kjer je:

$i$  – števec naročil

$j$  – števec operacij

$O$  – zaporedje vseh operacij naročila

$T_n$  - skupni čas operacije

Prednost ima naročilo, ki je najobsežnejše oziroma ima največji skupni čas vseh operacij.

Pri pravilu najdaljšega pretočnega časa se delovni nalogi razvrstijo obratno kot pri pravilu najkrajšega pretočnega časa (SPT), torej od prvega do zadnjega naročila se pretočni čas skrajšuje. Takšna razvrstitev lahko povzroča velike zamude, zaradi česar pravilo ni najbolj priljubljeno, razen, če se iz nekega razloga (po času trajanja) želi dati prednost dolgim delovnim nalogom [2].

## 4.5 Uporaba prednostnih pravil

Prednostna pravila so zelo enostavna za uporabo in zahtevajo minimalne uvajalne stroške. Pravila, kot na primer FCFS, SPT, EDD, FRO, RND, zahtevajo le podatke, ki so že dani ob naročilu, zato jih lahko zelo enostavno koristimo. Nekatera druga pravila, kot na primer SCR, SRPT, LS, LS/RO, pa poleg danih še zahtevajo dodatne, obsežnejše podatke, ki jih je potrebno časovno odvisno preračunavati [1].

Ko izbiramo in uporabljamo prednostna pravila, moramo upoštevati nekaj dejstev:

- če želimo, da bo pravilo učinkovito uporabljeno, moramo razumeti, kako deluje, tako da nam bo enostavno za uporabo;
- če so naročila zakasnela, moramo uporabiti drugačna prednostna pravila;
- uporabnikom morajo biti poznane vse prednosti koriščenja, zato morajo biti prednostna pravila jasna in preverjena;
- prednostna pravila morajo podajati pomensko razumljive prioritete;
- prednostno pravilo mora delovati v skladu z obratovanjem in cilji proizvodnje;
- prednostna pravila dajejo dobre rezultate ob zadovoljivih kapacitetah, ob pomanjkanju le-teh pa niso najbolj primerna za uporabo. Prav tako ne smejo biti nadomestek za planiranje kapacitet;
- ko razvrščamo naročila, moramo uporabo prednostnih pravil jemati kot priporočilo. Prioritetam in zaporedju, dobljenim s prednostnimi pravili, lahko natančno sledimo le takrat, ko imamo večjo zasedenost kapacitet (nad 80 %).

Veliko pravil je, ki dajejo dobre rezultate, vendar je nemogoče izbrati točno določeno prednostno pravilo, ki bi veljalo kot najboljše v vseh situacijah. V različnih pogojih prednostna pravila podajo rezultate, ki med sabo zelo odstopajo. Zato lahko učinek pravil podamo le splošno z nakazano težnjo delovanja [5].

## 5 GANTTOVI DIAGRAMI

Ganttove diagrame ali gantograme ali tramične diagrame je razvil ameriški inženir Gantt leta 1901. Gre za grafično prikazovanje načrtovanja proizvodnje, pri katerem na abscisno os razvrščamo čas, na ordinatno os pa opazovane planske dejavnosti, katerim je potrebno določiti začetek, dolžino trajanja in konec dejavnosti. Za čas uporabljamo enoto TE, kar pomeni terminska enota. Ta je lahko za različne vrste načrtovanja različna, torej ura, dan, teden ali mesec. Z različnimi znaki in simboli označimo začetek in konec nekega dela, s polno črto pa njegovo trajanje. Pri vsakem načrtovanju je pomembno, da stalno spremljamo izvrševanje načrtov. V gantogramu je najobičajnejši sistem spremljanja risanje polnih črt, ki predstavljajo načrtovana dela in pod njimi risanje črtkanih črt, ki predstavljajo izvršena dela [6].

Gantograme v glavnem uporabljamo za prikazovanje:

- terminskih načrtov in časovnega napredovanja proizvodnje;
- izkoristka delovnega časa ljudi in strojev;
- razporeda del;
- obremenitve posameznih delovnih mest in njihovih skupin;
- tokov dela.



## 6 PROGRAM LEKIN

LEKIN<sup>®</sup> je sistem za razporejanje, razvit na poslovni fakulteti Stern, Newyorška univerza (Stern School of Business, NYU). Ključne dele sistema so zasnovali študentje univerze Columbia (Columbia University). LEKIN<sup>®</sup> je bil razvit kot poučevalno orodje z glavnim namenom študentom predstaviti teorijo razvrščanja in njene aplikacije. Razširljivost sistema dovoljuje (in vzpodbuja) uporabo le-tega za razvoj algoritmov. Projekt so vodili prof. Michael L. Pinedo, prof. Xiuli Chao in prof. Joseph Leung. Ta projekt je bil deloma podprt z strani Nacionalne fundacije znanosti (National Science Foundation) [8].



Slika 6.1: Programski paket Lekin

## 7 APLIKACIJA PREDNOSTNIH PRAVIL ZA PODJETJE X

Problem terminiranja bomo prikazali na realnem primeru s podatki, pridobljeni iz podjetja, ki želi ostati poimenovano kot »podjetje X«. Praktični del bomo izvedli s pomočjo programskega paketa LEKIN, verzije 2.4.

### 7.1 Vhodni podatki

Podatke za izvedbo praktičnega dela smo pridobili v podjetju X. Podatki so vsebovali 29 delovnih nalogov, na katerih je bil označen datum naročila, rok dokončanja naročila, pretočni časi, število operacij ter delovna mesta, kjer so te operacije izvedene.

Tabela 7.1: Vhodni podatki

Delovni nalog	Prihod naročila	Pretočni čas	Rok dokončanja	Delovni nalog	Prihod naročila	Pretočni čas	Rok dokončanja
DN459	24	11	1752	DN462	360	153	984
DN453	48	97	1680	DN475	360	480	840
DN454	72	33	1752	DN482	384	11	984
DN456	144	32	504	DN483	384	16	1224
DN458	144	4	312	DN484	384	235	1176
DN460	144	16	576	DN485	408	35	504
DN461	168	8	336	DN486	408	20	648
DN465	192	70	696	DN472	480	165	696
DN466	216	10	984	DN490	480	110	1080
DN467	216	234	1584	DN480	528	332	984
DN471	216	320	1176	DN463	528	46	1152
DN468	240	28	408	DN476	576	267	1320
DN469	240	1203	1320	DN479	648	139	984
DN473	312	83	912	DN450	720	70	1080
DN474	336	242	1416				

V tabeli 7.1 so prikazani vhodni podatki, številke delovnih nalogov in njihovi časi prihoda, roki dokončanja in trajanje operacij v urah oziroma pretočni časi. Prav tako so bili vsi datumi spremenjeni v ure, torej naročilo, ki je prišlo prvo, predstavlja prvi dan oziroma 24 ur.

Vsa naročila so bila izvedena na naboru 35 delovnih mest, ki so bila razvrščena v 20 tehnoloških skupin.

Delovni nalogi, datumi njihovih naročil in rokov dokončanja, operacije in trajanje teh operacij na posameznih delovnih mestih so prikazani v prilogi 1. V prilogi 2 so navedena vsa delovna mesta.

Podatke smo obdelali v programu LEKIN s pomočjo prednostnih pravil EDD, FCFS, SPT, LPT in hevristično metodo (General SB Routine).

Za primerjavo rezultatov smo uporabili naslednje kriterije:

- čas dokončanja vseh delovnih nalogov (Makespan);
- maksimalna zakasnitev delovnega naloga (Max. Tardiness);
- število zakasnelih delovnih nalogov (Number of Late jobs);
- skupna vsota vseh zakasnitev (Total Tardiness);
- seštevek pretočnih časov vseh delovnih nalogov (Total Flow Time).

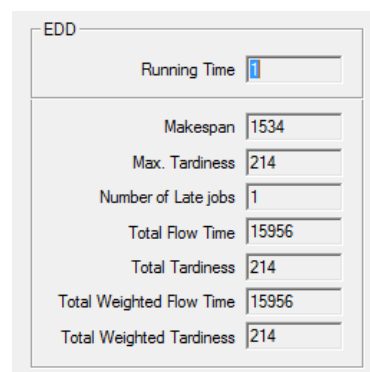
## 8 REZULTATI

### 8.1 Prednostno pravilo EDD

Najprej smo delovne naloge razvrstili po metodi EDD, po kateri ima prednost naročilo z najzgodnejšim dobavnim rokom. Na sliki 8.2 je grafični prikaz rezultatov po pravilu EDD, preračun za metodo EDD pa je prikazan na sliki 8.3.



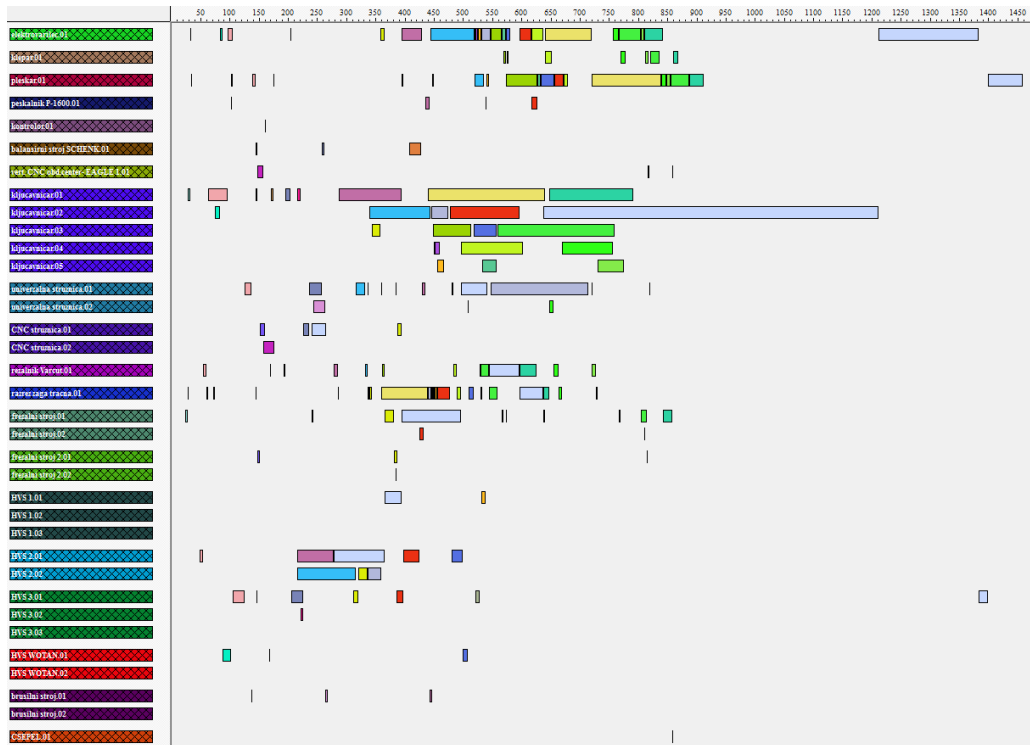
Slika 8.2: Ganttov diagram po pravilu EDD



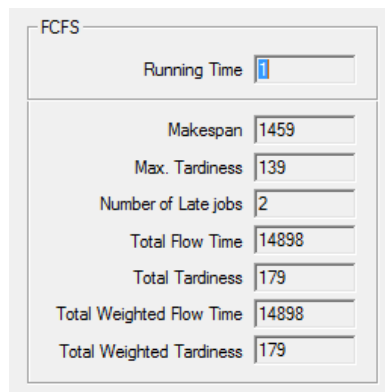
Slika 8.3: Preračun pravila EDD

## 8.2 Prednostno pravilo FCFS

Kot naslednje prednostno pravilo smo uporabili FCFS, pri katerem ima prednost naročilo, ki čaka v vrsti za aktualno operacijo najdlje. Rezultati Ganttovega diagrama po tem pravilu so prikazani na sliki 8.4. Na sliki 8.5 je prikazan preračun po metodi FCFS.



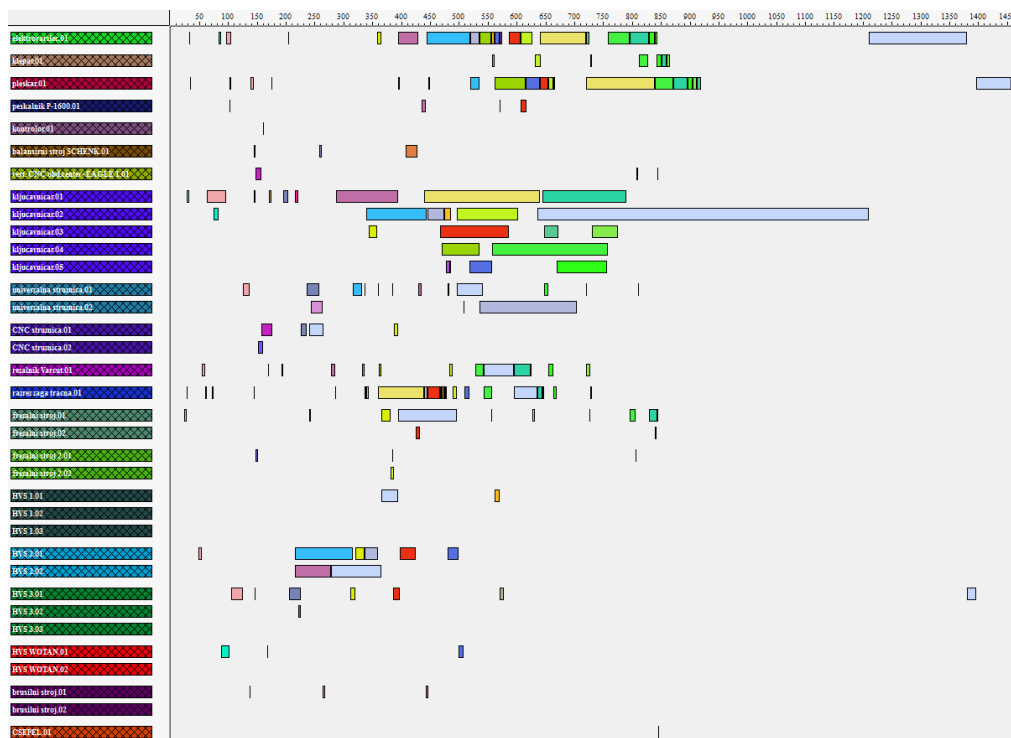
Slika 8.4: Ganttov diagram po pravilu FCFS



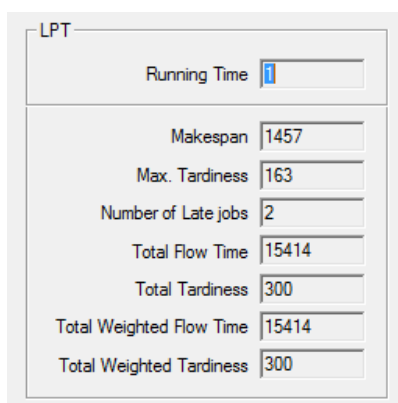
Slika 8.5: Preračun pravila FCFS

### 8.3 Prednostno pravilo LPT

Nato smo delovne naloge razvrstili po metodi LPT, pri kateri ima prednost naročilo, ki ima največji skupni čas vseh operacij oziroma je najobsežnejši. Slika 8.6 prikazuje Ganttov diagram po pravilu LPT, slika 8.7 pa prikazuje preračun po pravilu LPT.



Slika 8.6: Ganttov diagram po pravilu LPT



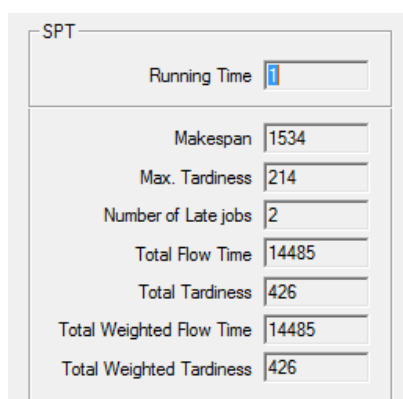
Slika 8.7: Preračun pravila LPT

## 8.4 Prednostno pravilo SPT

Za zadnje prednostno pravilo smo izbrali SPT, po katerem ima prednost naročilo z najmanjšim skupnim časom vseh operacij oziroma najmanjšim obsegom dela. Grafični prikaz rezultatov je na sliki 8.8, preračun po pravilu SPT pa je prikazan na sliki 8.9.



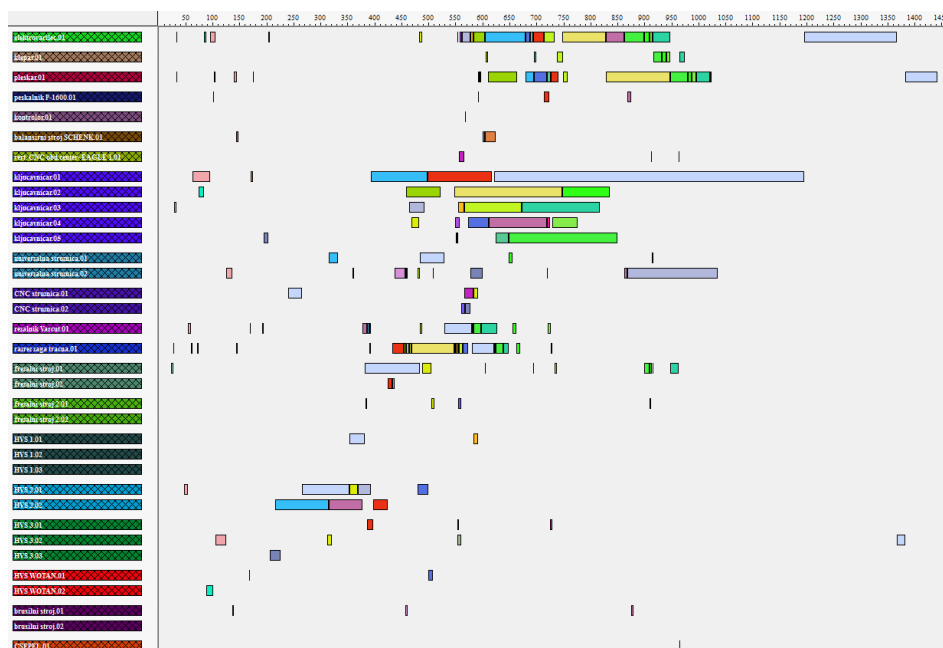
Slika 8.8: Ganttov diagram po pravilu SPT



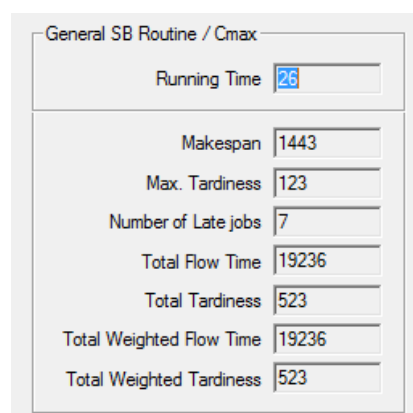
Slika 8.9: Preračun pravila SPT

## 8.5 Hevristična metoda

Program Lekin poleg prednostnih pravil ponuja tudi različne hevristične metode, ki poskušajo delovne naloge razporediti na delovna mesta tako, da minimalizirajo učinek ozkih grl. Njihov namen je torej minimalizirati čas, ki je potreben za dokončanje vseh delovnih nalogov. Za izračun smo izbrali hevristično metodo »General SB Routine / Cmax«. Rezultati so grafično prikazani na sliki 8.9, rezultati preračuna pa na sliki 8.10.



Slika 8.10: Ganttov diagram po hevristični metodi



Slika 8.11: Preračun hevristične metode



## 8.6 Primerjava rezultatov in diskusija

Preglednica 8.2 prikazuje rezultate uporabe prednostnih pravil EDD, FCFS, LPT, SPT in hevristične metode ter njihovo primerjavo.

Tabela 8.2: Primerjava rezultatov

	Running Time	Makespan	Max. Tardiness	Number of Late jobs	Total Flow Time	Total Tardiness
EDD	1	1534	214	1	15956	214
FCFS	1	1459	139	2	14898	179
LPT	1	1457	163	2	15414	300
SPT	1	1534	214	2	14485	426
HEVRISTIC	26	1443	123	7	19236	523

Iz tabele 8.2 lahko razberemo, da različne metode pripeljejo do različnih rezultatov. Z uporabo prej omenjenih kriterijev lahko te rezultate med sabo lažje primerjamo. Izkazalo se je, da program Lekin potrebuje za izračun rezultatov po prednostnih pravilih zelo malo časa v primerjavi s hevristično metodo. Za ta izračun je potreboval 26 sekund, medtem ko so bili rezultati prednostnih pravil izračunani v 1 sekundi.

Po kriteriju časa dokončanja vseh delovnih nalogov (Makespan) vidimo, da je najboljša hevristična metoda, kot dobri pa sta se izkazali tudi pravili LPT in FCFS. Najslabše rezultate sta podali metodi EDD in SPT.

Če upoštevamo kriterij maksimalne zakasnitve delovnega naloga (Max. Tardiness), ugotovimo, da najboljše rezultate dobimo s hevristično metodo in prednostnim pravilom FCFS. EDD in SPT sta v tem primeru najslabša možna izbira.

Hevristična metoda je najslabša možna izbira, v kolikor upoštevamo kriterij števila del, ki zamujajo (Number of Late Jobs), saj bi zamujalo 7 del. Primernejša bi bila uporaba prednostnih

pravil, kjer zamujata 2 deli, kot najprimernejše pa se je izkazalo pravilo EDD, pri katerem zamuja le 1 delo.

Po kriteriju seštevek pretočnih časov vseh delovnih nalogov (Total Flow Time) je hevristična metoda zopet izstopala kot najslabša. V primerjavi s pravilom SPT, ki se je izkazalo kot najboljša izbira, ima namreč za 4741 ur večji seštevek pretočnih časov vseh delovnih nalogov.

Po zadnjem uporabljenem kriteriju, skupne vsote vseh zakasnitev (Total Tardiness), je prišlo do najbolj vidnih odstopanj. Kot najslabša izbira se je izkazala hevristična metoda, ki ima skupno vsoto vseh zakasnitev 523 ur. Najmanjšo skupno vsoto vseh zakasnitev ima prednostno pravilo FCFS, 179 ur.

## 9 SKLEP

Dandanes je za uspešnost podjetja pomembno dobro vodenje proizvodnje. Če želimo ostati konkurenčni, ni dovolj da naročila le sprejmemo, obdelamo in potisnemo skozi proizvodnjo. Želje in zahteve kupcev so namreč vedno večje, med drugim tudi krajši roki dobave naročil. Če želimo izpolniti te želje in zahteve kupcev in tako ostati na tržišču, nam mora postati čas najpomembnejši dejavnik pri vodenju proizvodnje. Ravno zaradi tega je danes cilj marsikaterega podjetja čim boljše doseganje dobavnih rokov.

Da lahko podjetja dosežejo ta cilj, je zelo pomembno, da se seznanijo z metodami terminiranja in za vodenje proizvodnje izberejo tisto metodo, ki najbolje ustreza njihovim kriterijem. Vsaki proizvodnji ne ustreza ista metoda, po kateri bodo razporejali delovna naročila. Metode imajo namreč različne cilje in dajejo prioriteto različnim naročilom, zaradi česar so tudi rezultati terminiranja pri vsaki od teh metod drugačni.

V diplomski nalogi smo predstavili najpogostejše uporabljene metode terminiranja, štiri prednostna pravila EDD, FCFS, LPT, SPT in hevristično pravilo. Z njimi smo obdelali realni primer, delovna naročila, pridobljena iz podjetja X. Izbrali smo 29 delovnih naročil iz obdobja enega meseca, pri čemer so se operacije izvajale na 35 delovnih mestih. Pri takšnem naboru naročil in delovnih mest je ročno vodenje proizvodnje seveda prezahtevno, zato smo za terminiranje uporabili programski paket LEKIN.

Rezultati našega primera so potrdili, da vsaka metoda ne ustreza podjetju X. Izkazalo se je, da je uporaba hevristične metode koristna, v kolikor je cilj podjetja X čimprej končati vsa delovna naročila oziroma čim krajše zamujanje posameznega delovnega naloga. Vendar ima hevristična metoda najdaljši seštevek pretočnih časov, največjo vsoto vseh kasnitev, prav tako pri tej metodi zamuja kar 7 del. V teh primerih so se prednostna pravila izkazala kot boljša izbira.

Metoda FCFS je pri upoštevanju vseh naštetih kriterijev v povprečju podala najbolj optimalne rezultate, kar je presenetljivo, saj je na splošno najmanj priporočena metoda. Možna razlaga za takšne rezultate je lahko v zelo različni dolžini pretočnih časov delovnih nalogov, zaradi česar lahko metode, ki se ozirajo izključno na pretočne čase (SPT, LPT) podajajo slabše rezultate, medtem ko se metoda FCFS na njih ne ozira.

Zaradi zelo raznolikega nabora naročil bi bila morda smiselna tudi uporaba kombinacije več različnih metod. Takšne kombinacije metod lahko zagotavljajo učinkovit dinamičen sistem izvajanja in kompromisno izpolnjevanje več proizvodnih ciljev hkrati.

## 10 SEZNAM UPORABLJENIH VIROV

- [1] Polajnar, B. Buchmeister, M. Leber, K. Pandža, N. Vujica-Hercog, I. Palčič, T. Fulder, Menedžment proizvodnih sistemov – sodobni pristopi. Maribor: Fakulteta za strojništvo, 2004.
- [2] T. Ljubič, Operativni management proizvodnje. Kranj: Moderna organizacija, 2006.
- [3] B. Rusjan, Management proizvodnje. Ljubljana: Ekonomska fakulteta, 1999.
- [4] T. Ljubič, Planiranje in vodenje proizvodnje: modeli, metode, podatki. Kranj: Moderna organizacija, 2000.
- [5] A. Polajnar, B. Buchmeister, M. Leber, Proizvodni menedžment. Maribor: Fakulteta za strojništvo, 2001.
- [6] B. Buchmeister, Advanced job shop scheduling. Vienna: DAAAM International Publishing, 2013.
- [7] B. Buchmeister, A. Polajnar, Andrej, Priprava proizvodnje za delo v praksi. Maribor: Fakulteta za strojništvo, 2000.
- [8] Lekin –Flexible Job-Shop Scheduling System [online], Dosegljivo: <http://web-static.stern.nyu.edu/om/software/lekin/> [ Datum dostopa: 20.7.2016]

## 11 PRILOGE

- Delovni nalogi – vhodni podatki (priloga 1)
- Delovna mesta (priloga 2)

## Priloga 1

Job Pool - Diplomska\_naloga\_lekin2.4 (Job Shop)

ID	Wght	Rls	Due	Pr.tm.	Stat.
<b>DN 450</b>	1	720	1080	77	
				1	A
				6	A
				3	A
				46	A
				5	A
				2	A
				6	A
				8	A
<b>DN 453</b>	1	48	1680	97	
				6	A
				6	A
				3	A
				33	A
				10	A
				20	A
				11	A
				2	A
				6	A
<b>DN 454</b>	1	72	1752	33	
				3	A
				9	A
				4	A
				14	A
				1	A
				2	A
<b>DN 456</b>	1	144	504	32	
				1	A
				1	A
				2	A
				10	A
				18	A
<b>DN 458</b>	1	144	312	4	
				4	A
<b>DN 459</b>	1	24	1752	11	
				4	A
				1	A
				4	A
				1	A
				1	A
<b>DN 460</b>	1	144	576	16	
				1	A
				1	A
				5	A
				8	A
				1	A
<b>DN 461</b>	1	168	336	8	
				2	A
				1	A
				4	A
				1	A
<b>DN 462</b>	1	360	984	153	
				2	A
				3	A
				3	A
				65	A
				20	A
				2	A
				4	A
				54	A

## Job Pool - Diplomska\_naloga\_lekin2.4 (Job Shop)

ID	Wght	Rls	Due	Pr.tm.	Stat.
<b>DN 463</b>	1	528	1152	46	
					rezalnik Varcut 2 A
					razrez zaga tracna 3 A
					kljucavnicar 24 A
					elektrovarilec 6 A
					frezalni stroj 1 2 A
					klepar 3 A
					pleskar 6 A
<b>DN 465</b>	1	192	696	70	
					rezalnik Varcut 3 A
					kljucavnicar 9 A
					elektrovarilec 2 A
					HVS 3 20 A
					CNC struznica 10 A
					univerzalna struznica 22 A
					balansirni stroj SCHENK 4 A
<b>DN 466</b>	1	216	984	10	
					kljucavnicar 5 A
					HVS 3 5 A
<b>DN 467</b>	1	216	1584	234	
					HVS 2 62 A
					rezalnik Varcut 8 A
					razrez zaga tracna 1 A
					kljucavnicar 108 A
					elektrovarilec 34 A
					univerzalna struznica 6 A
					peskalnik P-1600 8 A
					brusilni stroj 4 A
					pleskar 3 A
<b>DN 468</b>	1	240	408	28	
					frezalni stroj 1 4 A
					univerzalna struznica 20 A
					brusilni stroj 4 A
<b>DN 469</b>	1	240	1320	1203	
					CNC struznica 26 A
					HVS 2 88 A
					HVS 1 28 A
					frezalni stroj 1 102 A
					univerzalna struznica 45 A
					rezalnik Varcut 52 A
					razrez zaga tracna 41 A
					kljucavnicar 574 A
					elektrovarilec 171 A
					HVS 3 16 A
					pleskar 60 A
<b>DN 471</b>	1	216	1176	320	
					HVS 3 100 A
					univerzalna struznica 16 A
					rezalnik Varcut 4 A
					razrez zaga tracna 4 A
					kljucavnicar 104 A
					elektrovarilec 76 A
					pleskar 16 A



## Job Pool - Diplomska\_naloga\_lekin2.4 (Job Shop)

ID	Wght	Rls	Due	Pr.tm.	Stat.
<b>DN 472</b>	1	480	696	165	
				4	A
				5	A
				8	A
				105	A
				20	A
				4	A
				11	A
				8	A
<b>DN 473</b>	1	312	912	83	
				9	A
				15	A
				2	A
				4	A
				14	A
				7	A
				16	A
				6	A
				8	A
				2	A
<b>DN 474</b>	1	336	1416	242	
				24	A
				6	A
				28	A
				16	A
				168	A
<b>DN 475</b>	1	360	840	480	
				80	A
				200	A
				80	A
				120	A
<b>DN 476</b>	1	576	1320	267	
				29	A
				9	A
				145	A
				33	A
				15	A
				1	A
				1	A
				9	A
				25	A
<b>DN 479</b>	1	648	984	139	
				7	A
				8	A
				7	A
				87	A
				10	A
				3	A
				9	A
				8	A
<b>DN 480</b>	1	528	984	332	
				15	A
				14	A
				201	A
				38	A
				10	A
				2	A
				2	A
				2	A
				16	A
				32	A

## Job Pool - Diplomska\_naloga\_lekin2.4 (Job Shop)

ID	Wght	Rls	Due	Pr.tm.	Stat.
<b>DN 482</b>	1	384	984	11	
				razrez zaga tracna	1 A
				kljucavnicar	2 A
				elektrovarilec	1 A
				HVS 3	7 A
<b>DN 483</b>	1	384	1224	16	
				univerzalna struznica	2 A
				razrez zaga tracna	2 A
				kljucavnicar	8 A
				elektrovarilec	4 A
<b>DN 484</b>	1	384	1176	235	
				frezalni stroj 2	2 A
				HVS 3	11 A
				HVS 2	28 A
				frezalni stroj 1	8 A
				razrez zaga tracna	22 A
				kljucavnicar	119 A
				elektrovarilec	20 A
				peskalnik P-1600	10 A
				pleskar	15 A
<b>DN 485</b>	1	408	504	35	
				razrez zaga tracna	4 A
				kljucavnicar	12 A
				elektrovarilec	6 A
				HVS 1	8 A
				peskalnik P-1600	1 A
				pleskar	4 A
<b>DN 486</b>	1	408	648	20	
				balansirni stroj SCHENK	20 A
<b>DN 490</b>	1	480	1080	110	
				HVS 2	20 A
				HVS WOTAN	8 A
				univerzalna struznica	2 A
				razrez zaga tracna	9 A
				kljucavnicar	39 A
				elektrovarilec	8 A
				pleskar	24 A

## Priloga 2

ID	MCs
elektrovarilec	1
klepar	1
pleskar	1
peskalnik P-1600	1
kontrolor	1
balansirni stroj SCHENK	1
vert. CNC obd.center- EAGLE	1
kljucavnicar	5
univerzalna struznica	2
CNC struznica	2
rezalnik Varcut	1
razrez zaga tracna	1
frezalni stroj 1	2
frezalni stroj 2	2
HVS 1	3
HVS 2	2
HVS 3	3
HVS WOTAN	2
brusilni stroj	2
CSEPEL	1