**MASARYKOVA UNIVERZITA**
**PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA**
**ÚSTAV MATEMATIKY A STATISTIKY**

# Bakalářská práce

**BRNO 2018** **SOŇA SLODIČKOVÁ**

**MASARYKOVA UNIVERZITA**
**PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA**
**ÚSTAV MATEMATIKY A STATISTIKY**

# Simulace výroby pomocí soustavy signálů ve výrobní síti

Bakalářská práce

**Soňa Slodičková**

**Vedoucí práce: doc. RNDr. Jan Paseka, CSc.** **Brno 2018**

# Bibliografický záznam


| | |
|---|---|
| **Autor:** | Soňa Slodičková<br>Přírodovědecká fakulta, Masarykova univerzita<br>Ústav matematiky a statistiky |



| | |
|---|---|
| **Název práce:** | Simulace výroby pomocí soustavy signálů ve výrobní síti |
| **Studijní program:** | Matematika |
| **Studijní obor:** | Finanční a pojistná matematika |
| **Vedoucí práce:** | doc. RNDr. Jan Paseka, CSc. |
| **Akademický rok:** | 2017/2018 |
| **Počet stran:** | $xx + 29$ |
| **Klíčová slova:** | Signál; Výroba; Tok výroby; Stroj; Zásobník; Odhad signálu; Proces; WBS; Plánování výroby |

# Bibliografický záznam

| | |
|---|---|
| **Autor:** | Soňa Slodičková<br>Prírodovedecká fakulta, Masarykova univerzita<br>Ústav matematiky a štatistiky |
| **Názov práce:** | Simulácia výroby pomocou sústavy signálov vo výrobnej sieti |
| **Študijný program:** | Matematika |
| **Študijný odbor:** | Finančná a poistná matematika |
| **Vedúci práce:** | doc. RNDr. Jan Paseka, CSc. |
| **Akademický rok:** | 2017/2018 |
| **Počet strán:** | $xx + 29$ |
| **Kľúčové slová:** | Signál; Výroba; Tok výroby; Stroj; Zásobník; Odhad signálu; Proces; WBS; Plánovanie výroby |

# Bibliographic Entry

| | |
|---|---|
| **Author:** | Soňa Slodičková<br>Faculty of Science, Masaryk University<br>Department of Mathematics and Statistics |
| **Title of Thesis:** | Simulation of Manufacturing Systems by signals in the production network |
| **Degree Programme:** | Mathematics |
| **Field of Study:** | Financial and Insurance Mathematics |
| **Supervisor:** | doc. RNDr. Jan Paseka, CSc. |
| **Academic Year:** | 2017/2018 |
| **Number of Pages:** | $xx + 29$ |
| **Keywords:** | Signal; Production; Production flow; Machine; Buffer; Stack; Signal estimate; Process; WBS; Production planning |

# Abstrakt

V této bakalářské práci se věnuji simulaci výroby prostřednictvím soustavy signálů ve výrobní síti. Úvodem vás seznámím se základními pojmy jako signál, stroj nebo zásobník. Hlavním cílem práce je vytvořit reálný, nikoliv nutně optimální, model toku výroby pomocí tří dimenzí - hmota, čas a prostor. Poznatky nabyté v této práci aplikuji následně na praktický příklad výroby.

# Abstrakt

V tejto bakalárskej práci sa venujem simulácii výroby prostredníctvom sústavy signálov vo výrobnej sieti. Na úvod vás zoznámim so základnými pojmami ako signál, stroj alebo zásobník. Hlavným cieľom práce je vytvoriť reálny, avšak nie nutne optimálny, model toku výroby pomocou troch dimenzií - hmota, čas a priestor. Poznatky nadobudnuté v tejto práci aplikujem následne na praktický príklad výroby.

# Abstract

The subject of this thesis is simulation of manufacturing systems through the set of signals within production network. In the beginning I introduce key concepts such as signal, machine or stack. The objective of this thesis is to develop a real but not necessarily an optimal model of production flow based on following dimensions - mass, time and space. Then I apply the knowledge from the theoretical part of the thesis in practice on a realistic example of production.

MASARYKOVA UNIVERZITA
Přírodovědecká fakulta

# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Akademický rok: 2017/2018

**Ústav:** Ústav matematiky a statistiky

**Studentka:** Soňa Slodičková

**Program:** Matematika

**Obor:** Finanční a pojistná matematika

Ředitel *Ústavu matematiky a statistiky* PřF MU Vám ve smyslu Studijního a zkušebního řádu MU určuje bakalářskou práci s názvem:

**Název práce:** Simulace výroby pomocí soustavy signálů ve výrobní síti

**Název práce anglicky:** Simulation of Manufacturing Systems by signals in the production network

**Oficiální zadání:**
Modelujte výrobní tok jako soustavu signálů ve výrobní síti. Studujte pravidla určující chování složených zařízení.

**Literatura:**
MATTA, Andrea a Quirico SEMERARO. *Design of Advanced Manufacturing Systems*. Netherlands: Springer, 2005. 278 s. ISBN 978-1-4020-2930-1.

**Jazyk závěrečné práce:** slovenština

**Vedoucí práce:** doc. RNDr. Jan Paseka, CSc.

**Datum zadání práce:** 15. 8. 2017

**V Brně dne:** 7. 11. 2017

Souhlasím se zadáním (podpis, datum): 21.11.2017

| | | |
|---|---|---|
| Slodičková | | v.z. |
| Soňa Slodičková | doc. RNDr. Jan Paseka, CSc. | prof. RNDr. Jan Slovák, DrSc. |
| **studentka** | **vedoucí práce** | **ředitel Ústavu matematiky a statistiky** |

# Poděkování

Na tomto mieste by som chcela poďakovať doc. RNDr. Janovi Pasekovi, CSc. za cenné rady a propomienky k práci. Taktiež ďakujem Mgr. Davidovi Krumlovi, Ph.D. za poskytnutie odborných rád.

# Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svoji bakalářskou práci vypracovala samostatně s využitím informačních zdrojů, které jsou v práci citovány.

Brno 30. května 2018 .....

Soňa Slodičková

# Obsah

**Úvod** ..... **xvii**

**Prehľad použitého označenia** ..... **xix**

**Kapitola 1. Základy pre vytvorenie modelu** ..... **1**
1.1 Signál ..... 1
1.2 Stroj ..... 2
1.3 Zásobník ..... 2
1.4 Dátová reprezentácia signálu ..... 3

**Kapitola 2. Model výroby** ..... **11**

**Kapitola 3. Príklad výroby** ..... **15**
3.1 Riadenie projektu ..... 15
3.2 Príklad ..... 16

**Záver** ..... **27**

**Zoznam použitej literatúry** ..... **29**

# Úvod

Predmetom tejto bakalárskej práce je nasimulovať reálnu výrobu pomocou sústavy signálov s ukážkou na príklade, ktorý si vytvoríme. Cieľom bude zhotoviť reálnu výrobu a nebudeme sa venovať jej optimalizácii.

Prvá kapitola práce sa zaoberá teóriou so základnými pojmami ako signál, stroj, zásobník alebo stromová štruktúra signálu. Signál v matematickom modeli chápeme ako abstraktnú veličinu nesúcu informáciu, ktorú si pre vizualizáciu vieme vykresliť do grafu, napríklad pomocou stromovej štruktúry. Stroj a zásobník sú zariadenia, ktoré pracujú na základe vytvorených signálov podľa očakávaného procesu.

Ďalšia kapitola je venovaná modelu výroby. Simuláciu výrobného toku si zjednodušíme modelom, lebo práca so skutočnými dátami by bola veľmi komplexná. Predstavíme si tri modely pre rôzne typy výroby. Premenné, ktoré sa v nich vyskytujú sú, hmota, čas a priestor. Každý z modelov je dvojdimenzionálny zakaždým s inými premennými. Potom si ich „pozliepame“ a vznikne zložitejší model o troch dimenziách.

V poslednej časti sú aplikované doposiaľ nadobudnuté znalosti o výrobe na zjednodušenom príklade výroby dverí od jednotlivých surovím až po funkčné dvere. Príklad je zobrazený cez rôznych pracovníkov, ktorí sa na výrobe podieľajú. Niektoré časti príkladu by boli v skutočnosti počítané programom, ale náš príklad nezahŕňa akúkoľvek výpomoc strojom pre lepšie objasnenie fungovania výroby.

Práca je založená na projekte Prírodovedeckej fakulty MU *Výzkum metod a vývoj informačního systému pro optimalizaci hodnotových toků a plánování výroby* zameraný na výskum a implementáciu simulačného modelu chovania výrobných procesov vo výrobných podnikoch.

# Prehľad použitého označenia

Pre jednoduchšiu orientáciu v texte predkladáme čitateľovi prehľad základného označenia, ktoré sa v celej práci vyskytuje.

| | |
|---|---|
| *CT* | (*cycle time*) čas medzi opracovaním dvoch výrobkov na linke |
| *CO* | (*change-over*) čas potrebný k zmene opracovávaného výrobku |
| *PT* | (*process time*) čas, ktorý výrobok strávi opracovávaním v stroji |
| *LT* | (*lead time*) čas medzi začiatkom výroby a jej ukončením |
| *QT* | (*queue time*) čas, ktorý výrobok strávi čakaním na opracovanie, je časťou *CT* |

# Kapitola 1

# Základy pre vytvorenie modelu

## 1.1 Signál

Kľúčový pojem, na ktorom je vybudovaná táto práca, je signál. Signál znázorňuje prechod materiálu v čase určitým uzlom výrobnej siete. Rozdeľujeme ho na vstupný signál a výstupný signál. Symbol $x$ reprezentuje signál prechodu nejakého výrobku uzlom. Má nulovú šírku a jednotkovú výšku. Signál $o$ vyjadruje jednotkovú medzeru, a má nulovú výšku.

$x =$ $o =$ $x * o =$

$x * o^2 * x * o^2 = (x * o^2)^2 =$ $(x * o^2)^2 * x =$

Operácia zreťazovania signálov spája jednotlivé signály a znázorňuje ju symbol $*$. Jej hlavný prínos je možnosť zapísania periodických dejov ako mocninu. Pri „jednoduchom“ signáli, teda signál obsahujúci iba výrobky, budeme nazývať *rýdzo výrobkový signál*. V opačnom prípade, rýdzo medzerový signál, nemá zmysel uvažovať kedže sa budeme zameriavať na tok výrobkov.

**Príklad 1.** $x * o * x^3 * x * o * x^3 = (x * o * x^3)^2$

Zhustený zápis v porovnaní s jednoduchým zápisom nám uľahčí spočítať celkový objem materiálu prechádzajúceho cez uzol alebo dĺžku trvania signálu.
Celkový objem materiálu zistíme z mocnín pri $x$ a to nasledovne:

$V(((x * o^5)^3 * x^2 * o)^2 * (x * o^{12} * x)^4) = (3+2) \cdot 2 + (1+1) \cdot 4 = 18.$

Dĺžku signálu určíme podobným spôsobom, ale pozeráme sa na mocniny pri $o$:

$l(((x * o^5)^3 * x^2 * o)^2 * (x * o^{12} * x)^4) = (5 \cdot 3 + 1) \cdot 2 + 12 \cdot 4 = 80$

V tomto príklade objem materiálu je 18 a dĺžka signálu 80.

### Regulárny výraz

Regulárnymi výrazmi sa budeme snažiť reprezentovať výrobné obmedzenia a požiadavky. Preto si tento pojem stručne objasníme.

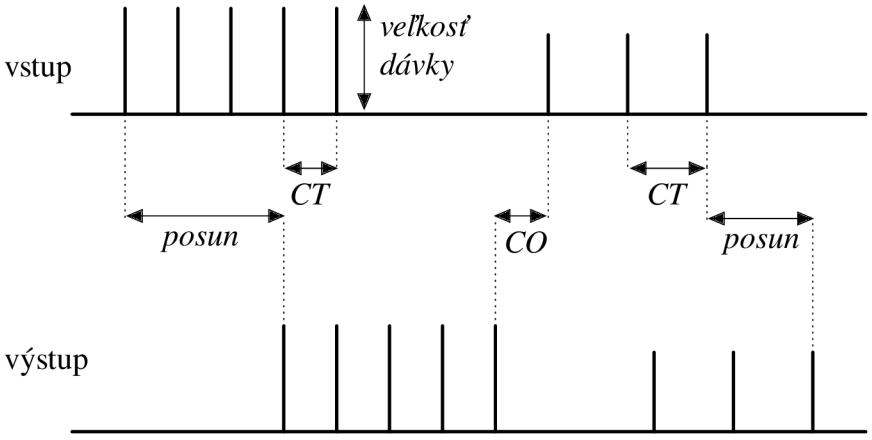
S regulárnymi výrazmi sa stretávame v teórii jazykov. Je to reťazec určitého tvaru popisujúci celú množinu reťazcov, ktorá sa nazýva regulárny jazyk. Napríklad $\{a,b\}^*$

je množina všetkých slov, vytvoriteľných z abecedy $\{a,b\}$ tak, že $\{a,b\}^* = \{\varepsilon,\ a,\ b,\ a*\ *b,\ a*a,\ b^2,\ \ldots,\ a*b^3,\ (a*b^3)^2,\ \ldots\}$, kde $\varepsilon$ vyjadruje prázdne slovo. Aby slovo patrilo do regulárneho jazyka, musí vyhovovať danému regulárnemu výrazu. Vo výrobnom procese regulárny výraz napríklad $(x*o^3*o^**x)^*$ určuje, že medzi prvým a posledným výrobkom je medzera dĺžky minimálne 3.

**Poznámka.** Pre zjednodušenie budeme ďalej zapisovať reťazce signálov bez znaku $*$.

## 1.2 Stroj

Za predpokladu, že výroba obsahuje determinovaný a konečný počet jednotiek, ktoré budú spracované na tiež dopredu danom počte zariadení, môžeme uvažovať stroj ako deterministické zariadenie. Vstupné a výstupné signály závisia na parametroch procesu: perióda a veľkosť dávky, plán výroby a omeškanie.




Graf 1.1: Vstup a výstup stroja

**Poznámka.** *CT – cycle time*, čas medzi opracovaním dvoch výrobkov na linke;
*CO – change-over*, čas potrebný k zmene opracovávaného výrobku.

## 1.3 Zásobník

Tok výrobkov je proces, v ktorom výrobok vstupuje do stroja a následne z neho vystupuje. Na to, aby tento proces bol plynulý, je dôležité uskladnenie. Keď viacero výrobkov vyjde z jedného stroja a nasledujúci spracúva výrobky iba po jednom, tak existuje zásobník, ktorý reguluje počet výrobkov v obehu. Kapacita zásobníka je avšak obmedzená, a preto je nutné navrhnúť proces tak, aby zásobník nebol prečerpaný alebo preplnený.

Požiadavky na kapacitu zásobníka sa prejavujú v rámci procesu medzi dvomi strojmi idúcimi po sebe, teda po skočení predchádzajúcej operácie a pred začatím nasledujúcej.

Keď sa zásobník preplní a nie je schopný už prijímať ďalší tovar, predchádzajúci stroj zastaví svoju činnosť po dobu, kým nasledujúci stroj odstráni zásobník jeho preťaženie. Toto riešenie pretečeného zásobníka je realizovateľné v prípade jednoduchého procesu, pri ktorom neexistuje rada strojov a zásobníkov, keď by zastavenie jedného stroja mohlo spôsobiť vážnejšiu kolíziu vo výrobe. Podobne môže nastať problém vyčepaného zásobníka. [1]

### Chovanie zásobníka

Zásobník plní nasledujúce funkcie:

- Posun signálu v čase – Posun závisí na kapacite, počiatočnej a očakávanej konečnej zásobe.
- Zmena pomeru amplitúdy (veľkosť dávky) a frekvencie (dĺžka medzery) – Dávkovaním výrobkov sa mení veľkosť jednotlivého balíčka.
- Vyrovnanie nepravideľností signálu – Zásobník reguluje frekvenciu výstupu výrobkov v rámci jeho kapacity.

Pre zjednodušenie uvažujeme pravidelné signály s jednotkovou amplitúdou. Kapacita zásobníka je spojitá veličina.

Na overenie platnosti toku zadávame vstupný a výstupný signál a overujeme podmienky:

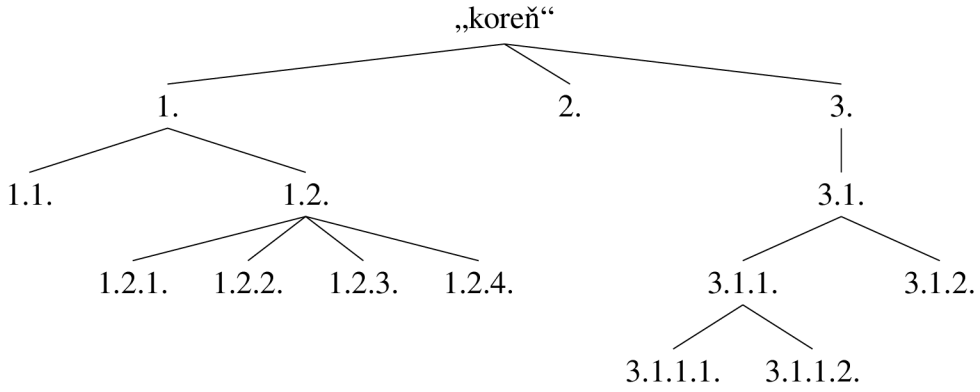
- Prípustná hodnota zásob – Aktuálne nabitie zásobníka je v rozmedzí $[0, C]$, kde $C$ je kapacita zásobníka.
- Počiatočné a koncové nabitie – Hodnoty signálu na začiatku a konci zmeny sú dopredu stanovené.

Signál nabitia definujeme ako počiatočnú hodnotu zásob plus signál celkovo prichádzajúcich výrobkov mínus signál celkovo vychádzajúcich výrobkov.

## 1.4 Dátová reprezentácia signálu

Signály znázorníme pomocou stromovej štruktúry.

Kľúč vrcholu je reťazec určujúci pozíciu v strome začínajúc z koreňa stromu smerom nadol, napríklad ” ”, ”2.”, ”1.2.1.”. Koreň stromu má prázdny reťazec. Potomka vrcholu nazývame nasledujúci vrchol a je číslovaný vzostupne podľa poradia v čase. Pri zmene štruktúry stromu, teda pridaním alebo odstránením vetvy, je nutné prečíslovanie aby algoritmus mohol fungovať správne. Indexy môžu nadobúdať aj viacciferné číslo, preto ich oddeľujeme bodkou.




Graf 1.2: Strom signálu

Parametre vrcholu sú zadané osemrozmerným poľom. Tie sú: *medzery*, *výrobky*, *mocnina*, *potomkovia*, *horný posun*, *dolný posun*, *horný obal* a *dolný obal*.

Hodnota *medzier* a *výrobkov* je celkový objem v signáli reprezentovaného vrcholom. Snahou je pracovať s jednohodnotovými signálmi, lebo viachodnotové sú náročné na narábanie. V prípade, že sa taký vyskytne, rozdelíme ho do samostatných jednohodnotových kanálov, a uvažujeme len jeden údaj pre objem výrobku.

Hodnota *mocnina* udáva koľkokrát sa signál opakuje. Pre listy stromu môže nadobúdať reálne hodnoty a pre vnútorné vrcholy prirodzené. Záporná hodnota mocniny vyjadruje úbytok výrobku a neceločíselná vyjadruje reálny čas v daných jednotkách.

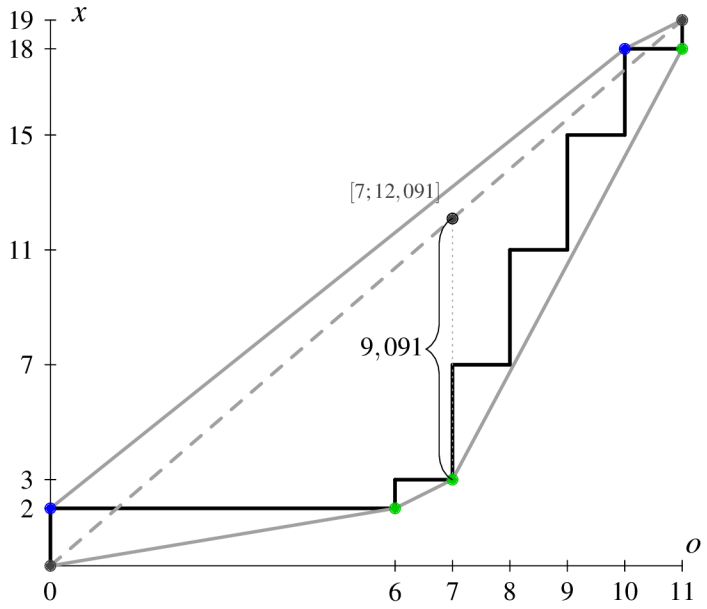
Hodnota *potomkov* značí počet priamych potomkov. Napríklad vrchol ”1.2.”má štyroch potomkov a tí sú ”1.2.1.”, ”1.2.2.”, ”1.2.3.” a ”1.2.4.”. List, ako posledný vrchol vetvy, má 0 potomkov. V spojitom modeli môžu reprezentovať plynulý tok s ľubovoľným počtom medzier a výrobkov. My sa avšak zameriame na diskrétny model, kde objem signálu „*medzera*“ je [1,0] a objem signálu „*výrobok*“ je [0,1].

Hodnoty *horný posun* a *dolný posun* udávajú najväčšiu vzdialenosť signálu od spojnice počiatku [0,0] a konečnej hodnoty v smere osi $y$.

*Horný obal*, resp. *dolný obal* zadáva zoznam rohových bodov signálu dotýkajúce sa hornej, resp. dolnej hranice konvexného obalu grafu signálu.

Parametre stromová štruktúra, mocnina a typ listu (medzerový alebo výrobkový) postačujú na určenie všetkých informácii o celom signáli. Parametre vnútorných vrcholov sa odzrkadľujú od parametrov predchádzajúcich vrcholov smerom k listom nadol.

**Príklad 2.** Dátová reprezentácia signálu určeným slovom $x^2o^6(xox^3)^4ox$.



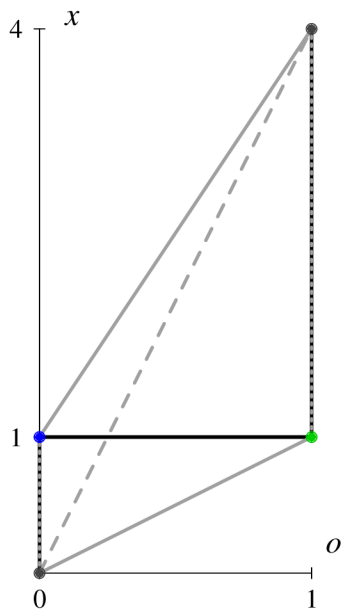

Graf 1.3: Signál $x^2o^6(xox^3)^4ox$

| Kľúč | Signál | Medzery | Výrobky | Mocnina | Potomkovia | Horný posun | Dolný posun |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ” ” | $x^2o^6(xox^3)^4ox$ | 11 | 19 | 1 | 5 | 2 | -9,091 |
| ”1.” | $x^2$ | 0 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| ”2.” | $o^6$ | 1 | 0 | 6 | 0 | 0 | 0 |
| ”3.” | $(xox^3)^4$ | 1 | 4 | 4 | 3 | -3 | 1 |
| ”3.1.” | $x$ | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| ”3.2.” | $o$ | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| ”3.3.” | $x^3$ | 0 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 |
| ”4.” | $o$ | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| ”5.” | $x$ | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |

Tabuľka 1.1: Parametre signálu - prvá časť

Horný a dolný posun v prípade rýdzich signálov je nulový, kedže signál sa prekrýva so spojnicou jeho počiatku a koncom. V zložených signáloch, teda v reťazci ” ” a ”3.” už je zaujímavé zistiť ich posuny. Signál $x^2o^6(xox^3)^4ox$ je vykreslený v grafe 1.3. Jasne vidíme, že horný posun sa realizuje medzi spojnicou počiatku a konca a bodom [0,2]. Preto je ho možné bez akéhokoľvek výpočtu určiť, a to je 2. Kde sa vyskytuje dolný posun, zistíme znovu z grafu. Je zrejmé, že to je v bodoch [6,2] alebo [7,3]. Keď sa na to lepšie pozrieme, vidíme, že najvačšia vzdialenosť smerom nadol spojnice počiatku a konca signálu so signálom je v bode [7,3]. Funkčná hodnota priamky $y = \frac{19}{11}x$, cez ktorú prechádza počiatok

aj koniec signálu, v bode [7,3] je $y = 12,091$. Dopočítaním vzdialenosti bodu [7;12,091] od [7,3] je 9,091. Kedže je to dolný posun, vzdialenosť uvádzame so záporným znamienkom.




Graf 1.4: Reťazec $xox^3$

V grafe 1.4 máme vykreslený reťazec $xox^3$. Vyskytuje sa bez mocniny, lebo sa pozeráme čisto na reťazec a mocnina je uvedená ako jeden v parametrov v tabuľke 1.1. Je zrejmé, že horný odhad je medzi bodmi [0,1] a počiatkom, teda ich vzdialenosť je 1. Podobne dolný odhad sa očividne realizuje medzi bodmi [1,1] a [1,4], čo nám dáva vzdialenosť 3.

| Kľúč | Horný obal | Dolný obal |
|---|---|---|
| ” ” | [[0,0], [0,2], [10,18], [11,19]] | [[0,0], [6,2], [7,3], [11,18], [11,19]] |
| ”1.” | [[0,0], [0,2]] | [[0,0], [0,2]] |
| ”2.” | [[0,0], [6,0]] | [[0,0], [6,0]] |
| ”3.” | [[0,0], [0,1], [1,4]] | [[0,0], [1,0], [1,4]] |
| ”3.1.” | [[0,0], [0,1]] | [[0,0], [0,1]] |
| ”3.2.” | [[0,0], [1,0]] | [[0,0], [1,0]] |
| ”3.3.” | [[0,0], [0,3]] | [[0,0], [0,3]] |
| ”4.” | [[0,0], [1,0]] | [[0,0], [1,0]] |
| ”5.” | [[0,0], [0,1]] | [[0,0], [0,1]] |

Tabuľka 1.2: Parametre signálu - druhá časť

Tabuľka 1.2 obsahuje posledné dva parametre signálu $x^2o^6(xox^3)^4ox$, horný a dolný obal. Pri rýdzo výrobkovom signáli tvorí horný a dolný obal iba začiatočný a konečný bod signálu, keďže signál rovnako ako jeho konvexný obal je úsečka. Na základe grafu 1.4

tvoreným reťazcom ”3.”vidíme signál a jeho konvexný obal. Podľa toho určíme horný obal daného reťazca ako krajné body signálu a bod [0,1], ktoré sa dotýkajú konvexného obalu. Podobne zistíme jeho dolný obal a obaly signálu $x^2o^6(xox^3)^4ox$ podľa grafu 1.3.

## Induktívna príprava stromu

Ako bolo už vyššie zmienené, stromy možno modifikovať, a to v nasledujúcich krokoch:

- lepenie vetvy z potomku;
- výpočet mocniny vrcholu.

Pri lepení novej vetvy je nutné upraviť kľúče všetkých vrcholov *i*-tého stromu pridaním reťazca ”*i*.” pred pôvodné kľúče. Následne prepočítame objemy, konvexný obal a nové posuny pre nový koreň.

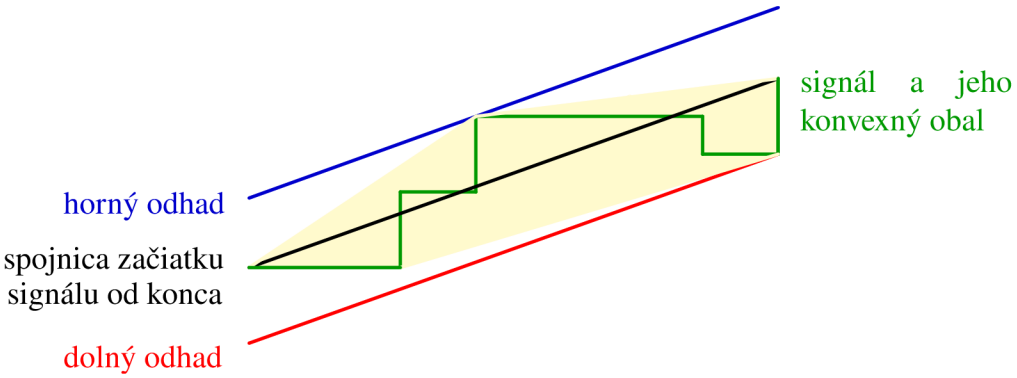
Pri mocnine iba vynásobíme objemy a prepočítame konvexný obal. Ostatné parametre ostávajú nezmenené. Listy zadávame už umocnené, pretože táto časť prípravy stromu je triviálna.

## Odhadovanie signálu

Pre zjednodušenie manipulácie so signálom, aby sme sa vyhli zbytočným detailom, si zadefinujeme konvexný obal a rovnobežník.

- **Konvexný obal**

  Odhad signálu sú dve priamky - horný a dolný odhad. Dotýkajú sa grafu signálu a sú rovnobežné so spojnicou začiatku signálu [0,0] a jeho koncom (v príklade 2 je koncová hodnota [11,19]). *Konvexný obal* budeme nazývať najmenšiu konvexnú množinu obsahujúcu graf signálu. Vrcholy *konvexného obalu* tvoria zoznam bodov, ktoré tvoria *horný*, resp. *dolný obal*. Tento náš *konvexný obal* môže nadobúdať tvar mnohouholníka alebo v špecifickom prípade konečného nenulového signálu je tvorený úsečkou. Pri pravidelných signáloch extrémne body opakovaných častí signálu významne neprispievajú do množiny extrémnych bodov, kedže ich hodnoty sa zhodujú. Konvexný obal listov sa prekrýva so spojnicou začiatku a konca signálu, z čoho vyplýva, že posuny sú nulové.




Graf 1.5: Konvexný obal signálu

Pre výpočet konvexného obalu zloženého signálu použijeme zošívací algoritmus. Máme dva po sebe idúce signály, u ktorých konvexné obaly poznáme. Je potrebné zistiť, ktoré vrcholy z konca prvého signálu a zo začiatku druhého signálu môžeme zanedbať. Fungovanie algoritmu si ukážeme na hornej hranici. Pozeráme, či posledný bod prvého signálu leží pod spojnicou predposledného bodu prvého signálu a prvého bodu druhého signálu. Ak áno, tento bod odstránime. Následne sa pýtame, či prvý bod druhého signálu leží pod spojnicou posledného bodu prvého signálu a druhého bodu druhého signálu. V prípade že leží, eliminujeme ho. Proces odstraňovania krajných bodov jednotlivých signálov vykonávame, kým z danej dvojice vymažeme aspoň jeden bod. Ak naopak, neleží ani jeden bod pod zmienenými spojnicami, cyklus ukončíme, spojíme zvyšné hraničné body. Našli sme tak konvexný obal zloženého signálu.

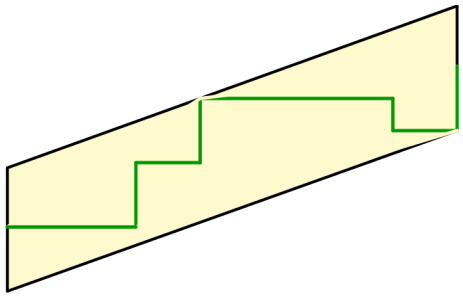
Tento algoritmus zlučovania konvexných množín do jednej je potrebný pre induktívne budovanie stromu. Zošívanie $n$ stromov si vyžaduje $n-1$ zošití. Pri mocnine sa signály opakujú, tým pádom stačí vykonať výpočet len jedenkrát, a to zlúčením prvého a posledného signálu. [5]

Graf 1.6: Konvexný obal opakujúceho sa signálu

Z konvexného obalu sa ľahšie zistia posuny. Možno ich spočítať až nakoniec a predstavujú maximálnu, resp. minimálnu vzdialenosť hraničných bodov konvexného obalu od spojnice začiatku signálu a jeho konca. Pri rýdzo výrobkovom signáli sa táto spojnica prelína so signálom tvoreným zvislou úsečkou. V opačnom prípade je smernica spojnice daná podielom celkového objemu výrobkov k celkovému objemu medzier.

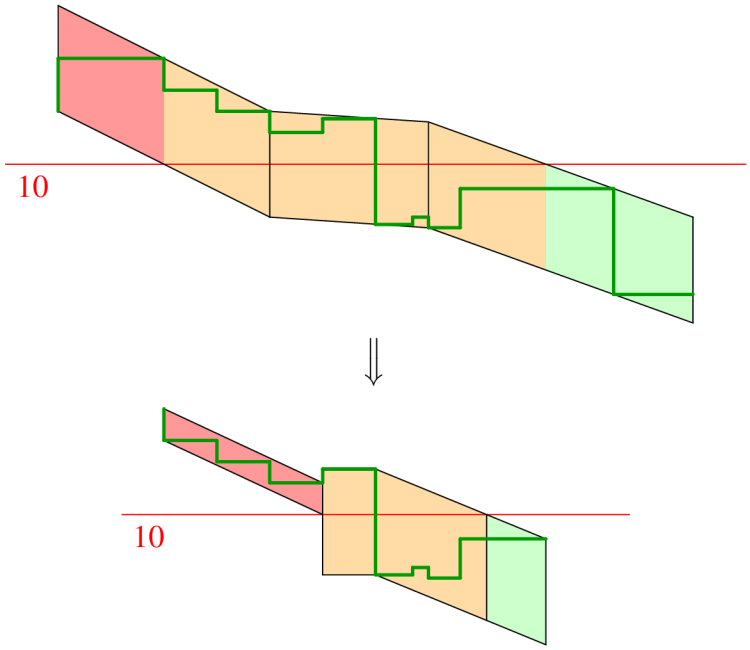
- **Rovnobežník**

Odhadnutie signálu pomocou rovnobežníka si nevyžaduje zoznam bodov v *hornom*, resp. v *dolnom obale* potrebný pre výpočet vrcholov ako v konvexnom obale. Tento spôsob spočíva vo vytvorení rovnobežných priamok *horného* a *dolného odhadu* a „obalení“ signálu do najmenšieho možného rovnobežníka pridaním zvislých úsečiek z oboch strán.



Graf 1.7: Signál obalený rovnobežníkom

Odhadnutý signál pomocou rovnobežníka umožňuje ľahší výpočet či signál nepresahuje obmedzenia, alebo práve určite presahuje. Majme obmedzenie vo výške 10 ako maximálny počet výrobkov v zásobníku.




Graf 1.8: Algoritmus odhadu prípustnosti signálu

Signál v hornej časti grafu 1.8 je obalený tromi rovnobežníkmi. Červená časť signálu dáva informáciu o tom, že obmedzenie je s istotou prekročené a zásobník pretečie. Zelená časť naopak hovorí, že počet výrobkov nepresiahne kapacitu zásobníka. Oranžová časť môže zahŕňať signál presahujúci obmedzenie alebo nepresahujúci hranicu. Kľúčové je presne zistiť, kde je neprípustný počet výrobkov v zásobníku. Preto si oranžovú časť signálu musíme rozdeliť na viac menších rovnobežníkov, ako v druhej časti grafu 1.8, z ktorých určíme, kde je počet výrobkov väčší, resp. menší ako kapacita zásobníka. Ostane opäť časť signálu, kde to nevieme určiť. Tento algoritmus opakujeme, kým si rovnobežíkmi nepriblížime celkový signál na čiastové signály. Takýmto spôsobom presne zistíme, kde je proces prípustný a kde nie.

Opísali sme si dva rôzne spôsoby, akými je možno odhadnúť signál, a následne zistiť, či patrí do prípustnej množiny a kde. Odhad pomocou rovnobežníka pri porovnaní s odhadom prostredníctvom konvexného obalu si vyžaduje viac približovaní, avšak je výpočtovo jednoduchší. Preto sme si zvolili pracovať s odhadom signálu pomocou rovobežníka.

# Kapitola 2

# Model výroby

## Geometrická interpretácia toku

Pred predstavením si našich modelov si najprv objasníme základné pojmy, na ktorých sú modely postavené.

- **Priestor** $l$ - predstavuje výrobnú cestu, teda vykresľuje zariadenia (proces alebo zásobník), cez ktoré tok prechádza. Jednotkou priestoru môžeme chápať ako proces. Na priestor sa pozeráme ako na stav rozpracovanosti výrobkov, ktorý sa mení po každom prechode výrobku procesom.
- **Hmota** $N$ - vyjadruje množstvo výrobkov. Jednotkou sú kusy, poprípade ich hmotnosť alebo objem pre spojitú výrobu. Rôzne výrobky alebo materiály meriame v odlišných jednotkách.
- **Čas** $t$ je ďalší vyskytujúci sa parameter, ktorý chápeme tak, ako sme naň zvyknutí.

**Poznámka.** Pojmy, ktoré budeme potrebovať. *PT - process time*, čas, ktorý výrobok strávi opracovávaním v stroji;
*LT - lead time* čas medzi začiatkom výroby a jej ukončením;
*QT - queue time*, čas, ktorý výrobok strávi čakaním na opracovanie, je časťou *CT*.

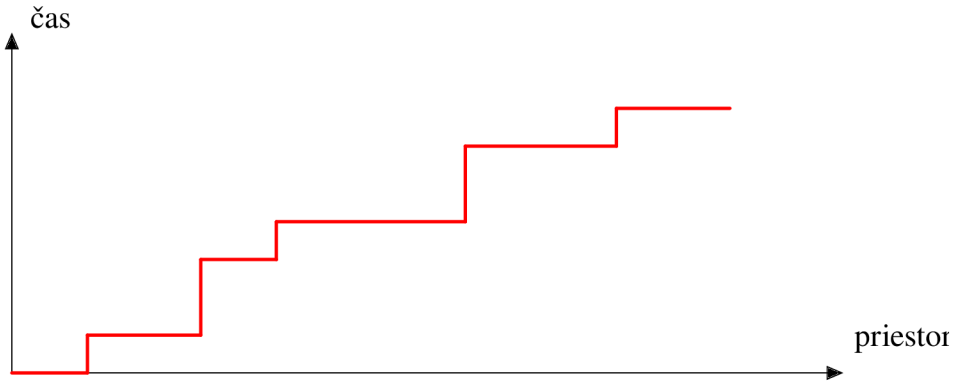
Platí

$$LT = \sum PT + \sum QT.$$

Tieto tri rozmery výroby dávajú dokopy 3-dimenzionálny „hmotočasopriestor“. Predstavíme si tieto tri dimenzie v kocke, kde počiatok zadáva žiadny hotový výrobok, nulový posun a nulový čas. Ľubovoľný bod vnútri kocky $(N,l,t)$ zadáva informácie o stave výroby, teda množstvo zpracovaných výrobkov, kde sa nachádzajú a v akom momente.

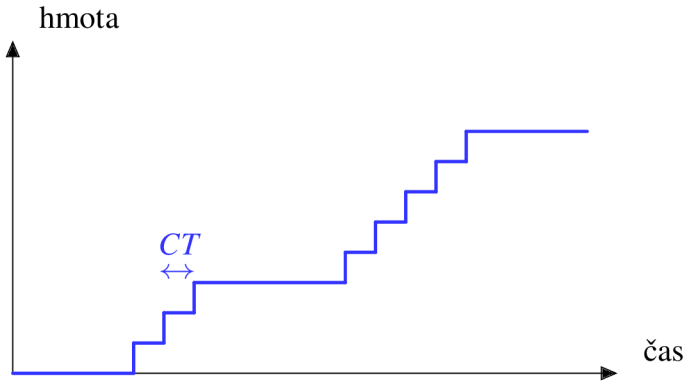
**Červený model** uvažujeme z pohľadu jedného výrobku na prechod výrobnou sieťou. Tento model je vhodný pre výrobu prechádzajúcu cez výrobnú linku. Vyskytuje sa v nej málo výrobkov, periodicky sa opakujú a postačujú minimálne zásobníky. Výroba je pravidelná a cesta každého výrobku je rovnaká ako iného výrobku, teda jednotlivé opracovania

a doby čakania sa zhodujú. Preto pri červenom modeli stačí spočítať tok jedného výrobku a ten iba skopírovať pre ostatné výrobky.

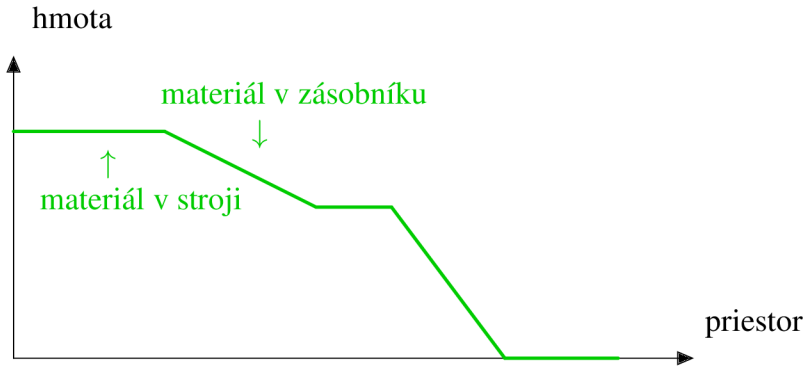



Graf 2.1: Červený model

**Modrý model** pracuje na základe pohľadu jedného zariadenia na tok výrobkov. Ideálny je pre typ výroby *mass customization*. Výrobkov je viac ako v červenom modeli a prechádzajú strojom po dávkach. Opracovanie je pravidelné, ale v dôsledku vačšieho množstva výrobkov sa mení čakacia doba a prechod výrobkov spracovaním je individuálny. Rôzne čakacie doby sú vykompenzované vysoko kapacitnými zásobníkmi.




Graf 2.2: Modrý model

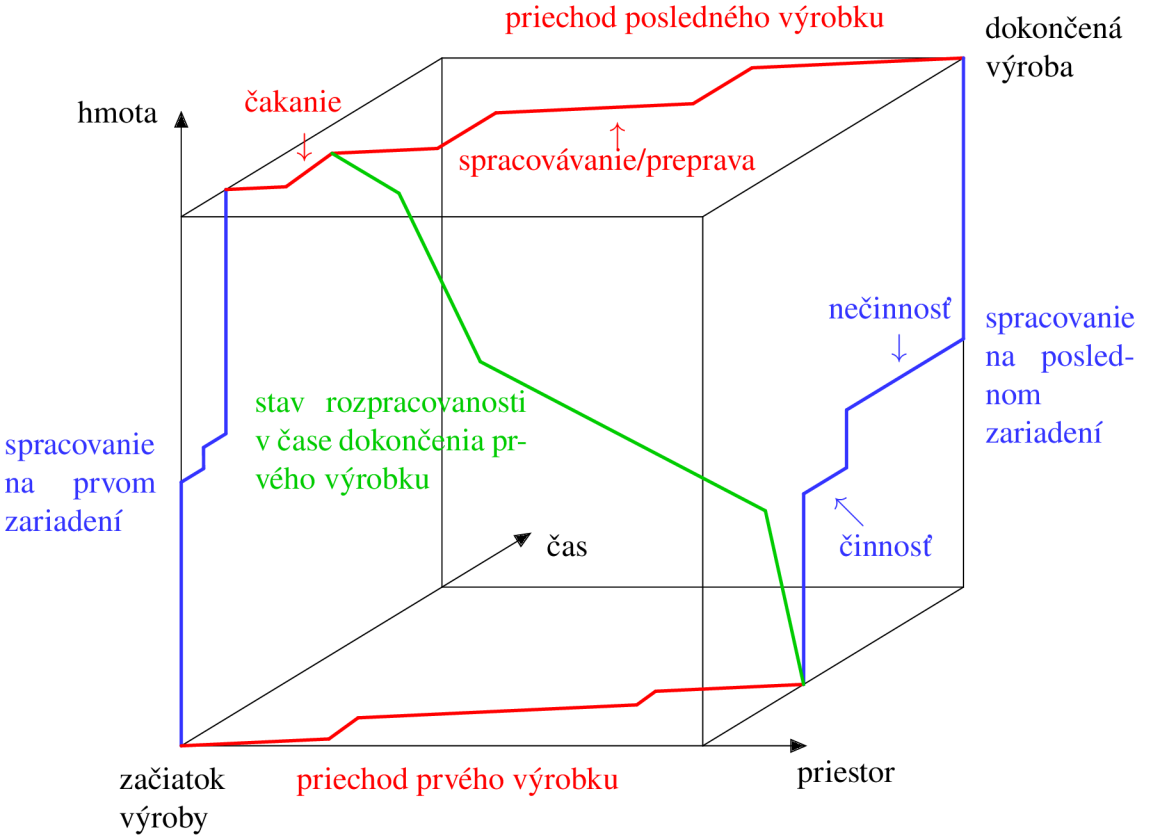



Graf 2.3: Zelený model

**Zelený model** sa zaoberá pohľadom na výrobu v určitom okamžiku. Môžeme si ho predstaviť ako zastavenie centrálnych hodín a sledujeme kde a aké výrobky sa nachádzajú. Tento model je vhodný využiť pre *zákazkovú výrobu*, kde sa vyskytuje málo výrobkov v nepravidelných dávkach. V porovnaní s predchádzajúcimi dvomi modelmi, modrý model je menej efektívny pre malý objem výroby a červený si vyžaduje pravidelnosť výrobkov.

Graf 2.3 vykresľuje zelený model, teda závislosť hmoty na priestore. Premennú *hmota* chápeme ako množstvo nedokončených výrobkov na danej pozícii vo výrobe. Vo vodorovnej časti krivky sa výrobky nachádzajú v stroji a sú opracovávané. V šikmej časti sú výrobky v zásobníku. Pre lepšie pochopenie si musíme uvedomiť, že sa na výrobu pozeráme v jednom okamžiku, a nesledujeme tok výrobkov v čase. Keď sa materiál vyskytuje v stroji, tak počet opracovaných výrobkov sa nemení. Na materiál v zásobníku sa pozeráme že čím ďalej, tým viac produktov „preskočilo“ zo stroja do zásobníka, a tým sa množstvo neopracovaného materiálu znižuje.

Tieto tri modely výroby poskladáme do jedného grafu a vykreslíme si vyššie zmieňovanú kocku.




Graf 2.4: Model o troch dimenziách

Ako príklad si uvedieme výrobu zaváraných uhoriek. Modrý model bude vykresľovať pohľad na výrobky z jednotlivých zariadení, v našom prípade počet obratých uhoriek z poľa, ich umývanie, triedenie, naloženie do nálevu, sterilizácia, rozvoz pohárov pripravených na predaj do rôznych obchodných reťazcov, roznos pohárov do regálu v obchode a ich prechod pokladňou. Červený model sa pozerá na konkrétnu uhorku, neskôr pohár s uhorkami, ako a kedy prechádza vyššie uvedenými procesmi. Zelený model je z pohľadu „hlavného manažéra“, ktorý kontroluje množstvo uhoriek alebo pohárov v istom čase a kde sa nachádzajú v rámci spracovania.

V našom modelovaní budeme uvažovať modrý model, teda *signálový model*. Vhodný je pre hromadnú a pravidelnú výrobu, kde jednotlivé procesy nemusia byť zosynchronizované. Rýchle procesy sú skôr ukončené a tak kapacitu stroja využije nasledujúci proces. Doba čakania medzi opracovávaním výrobkov sa líši, preto je náročné predpovedať čas vyvinutý na opracovávanie, a tak zavedieme plánovanie. Hlavný plán výroby (*master production schedulling - MPS*) zahŕňa vyrábané položky, ich množstvo a kedy majú byť vyrobené.

# Kapitola 3

# Príklad výroby

## 3.1 Riadenie projektu

Výroba je v realite zložitá procedúra, preto je nutné si efektívne rozplánovať jednotlivé procesy a určiť si cieľ alebo ciele projektu. Predstavíme si Ganttov diagram pre vizualizáciu plánu a dokument nazývaný Work Breakdown Structure, v ktorom sa rozdeľuje hlavný cieľ na čiastočné.

- **Ganttov diagram**

  Rozvrh výroby je najčastejšie reprezentovaný Ganttovým diagramom. Tento výrobný rozvrh je potrebné zmieniť pre uľahčenie organizácie výroby. Na $x$-ovej osi je časový horizont od začiatku výroby po jej koniec a na $y$-ovej osi pracovanie jednotlivých strojov. Vznikajú tak obdĺžniky pre každý stroj spolu s dĺžkou práce toho stroja. Zľava udáva plánovaný začiatok činnosti a sprava predpokladané ukončenie. Užitočný môže byť aj pri porovnaní plánovaných činností s činnosťami, ktoré v skutočnosti nastali, alebo pre zvýraznenie určitého procesu, na ktorý si treba dať pozor. Využitie Ganttovho diagramu je teda rôznorodé. [2]

- **Plán pomocou WBS (Work Breakdown Structure)**

  WBS je najefektívnejší spôsob rozpísania projektu. Je to hierarchická štruktúra rozdelenia práce, ktorej účel je rozložiť si celkový cieľ na jednotlivé dodávané výsledky, čiastočné výsledky až komponenty. Logika spočíva v produkovaní postupne od najnižšej úrovne, teda komponent, až po poslednú úroveň. Takéto rozdelenie zaručí prehľad o všetkých vstupoch potrebných k výstupom projektu a taktiež predíde nepotrebnej výrobe výstupov.

Ako príklad si uvedieme výrobu dverí. Budeme sa na ich výrobu pozerať cez oči rôznych pracovníkov, ktorých role si stručne predstavíme a potom využijeme v príklade.

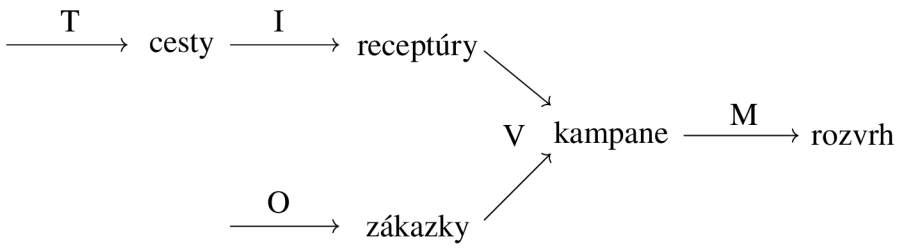
- **Technológ** vytvára možné spôsoby výroby jedného produktu, teda cesty. Procesy rozpisuje pomocou WBS.

- **Inžinier** sa pozerá na konkrétne procesy a zásobníky a prideľuje im režimy s obmedzeniami. Z cesty spolu s režimom vznikajú receptúry.

- **Obchodník** spracováva zákazky (produkty s ich údajmi o množstve a termíne dodania) a navážky (suroviny s ich údajmi o množstve a termíne dodania). Po nadobudnutí zákaziek si systém prepočíta množstvo surovín potrebnú na ich výrobu. Navážky sú stanovené na základe zásob surovín.

- **Výrobák** prideľuje zákazkám od obchodníka receptúry od inžiniera. Musí zohľadňovať síce rovnaké cesty, ale rozdielne časy na procesy. Zjednodušene povedané, výrobák prideľuje rôznym režimom rozmer čas, čím vytvára kampaň. Ďalej výrobák zadáva zásoby rozpracovaných výrobkov na začiatku výroby a konečnú hodnotu zásob na konci a určuje medze prijateľného rizika pre zásobníky.

- **Majster** rozmiestňuje kampane do rozvrhu. Prichystané ich má systémom, ktorý vytvorí časovo vymedzenú činnosť jednoho procesu v jednom režime (kampaň) podľa počtu výrokov, režimov procesov a zásoby. Kampane prispôsobuje danej situácii spájaním alebo rozdeľovaním. Taktiež prihliada na možné pridanie obmedzení, ktoré je nutné doplniť, napriek tomu, že niektoré obmedzenia systém už pozná. V zložitejšom pravdepodobnostnom modeli, ktorý si síce predstavovať nebudeme, ale stojí za zmienku, majster má ako úlohu aj dohliadať na prekročené riziko pretečenia zásobníka. V takom prípade musí preskúmať chovanie zásobníka a upraviť návrh. Ak už nezachytí ďalší možný problém zásobníkov, scenár výroby je prijateľný.



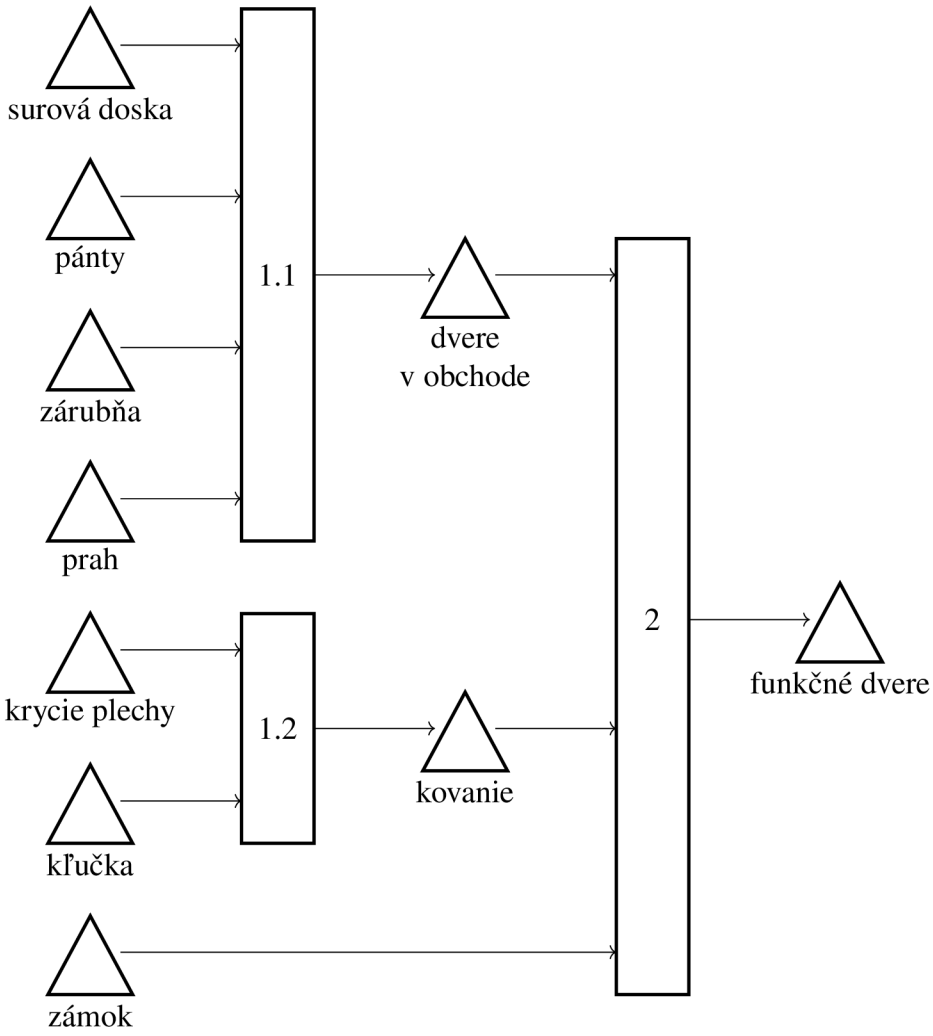

Graf 3.1: Scenár výroby

## 3.2 Príklad

Náš príklad bude pozostávať z konštrukcie otočných dverí z pohľadu rôznych rolí.

### Technológ

Dvere si rozdelíme na surovú dosku, zárubňu, pánty, prah, krycie plechy, kľučku a zámok. Návrh technológa na cestu je nasledujúci:




Graf 3.2: Cesta

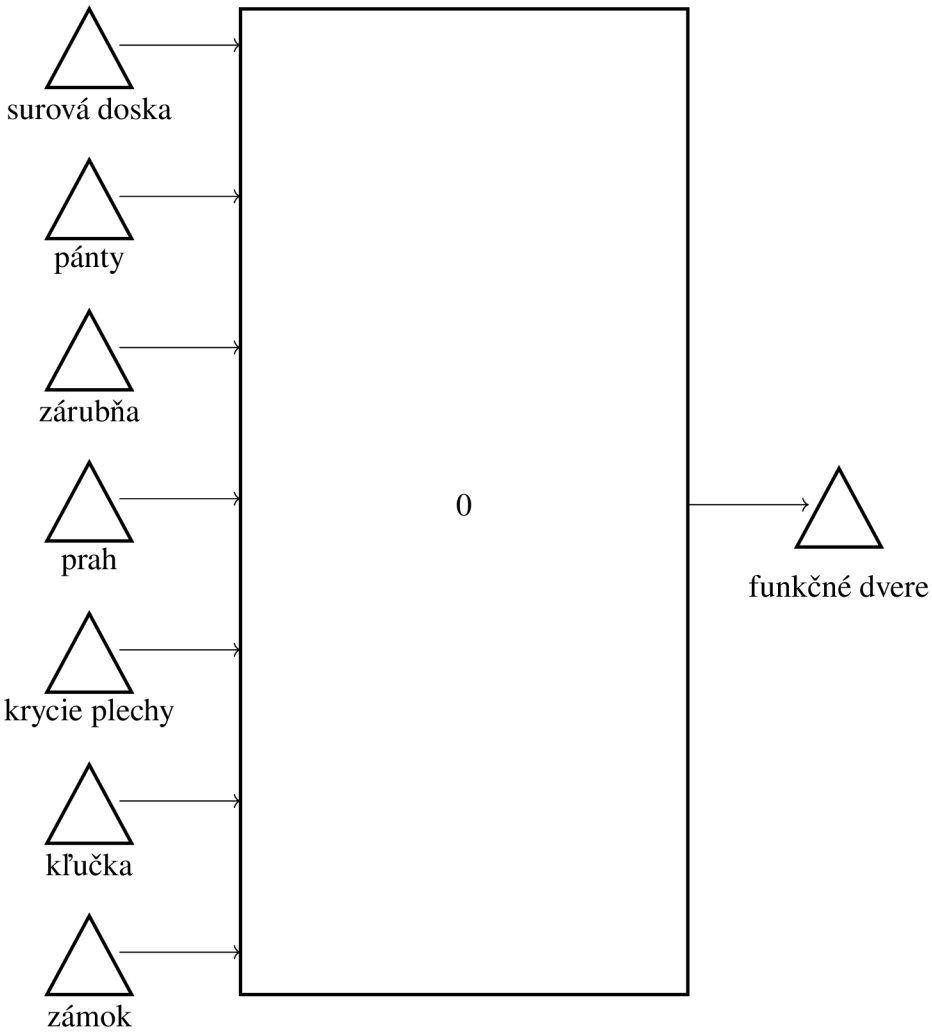
Procesy sú popísané pomocou WBS nasledovne:

1.1 zoskupenie surovej dosky, pántov, zárubne a prahu k predaju

1.2 primontovanie kľučky na krycie plechy

2 primontovanie kovania a zámku k dverám zakúpených v obchode

WBS o úroveň vyššie bude vyzerať takto:




Graf 3.3: Cesta

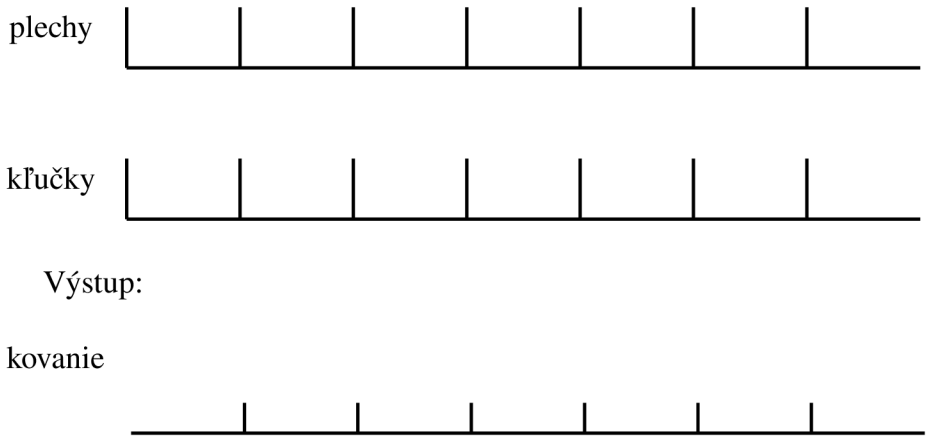
Technológ vyberie jednu z možných ciest, v našom prípade máme iba jednu, a na základe tej inžinier bude pokračovať.

## Inžinier

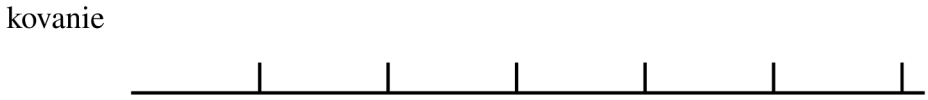
Inžinier dodáva zariadeniam charakteristiky, teda zásobníkom obmedzenia a procesom režimy.

Zoberieme si proces 1.2, kde montujeme krycie plechy s kľučkou. Výsledkom tejto činnosti bude kovanie. Na jedno kovanie potrebujeme dvojicu krycích plechov a dvojicu kľučiek. Uvažujeme čas na ich montáž dokopy 60 sekúnd. Fázový posun a zároveň čas cyklu je teda 60 s. Režim si zobrazíme ako nekonečný signál.

Vstup:

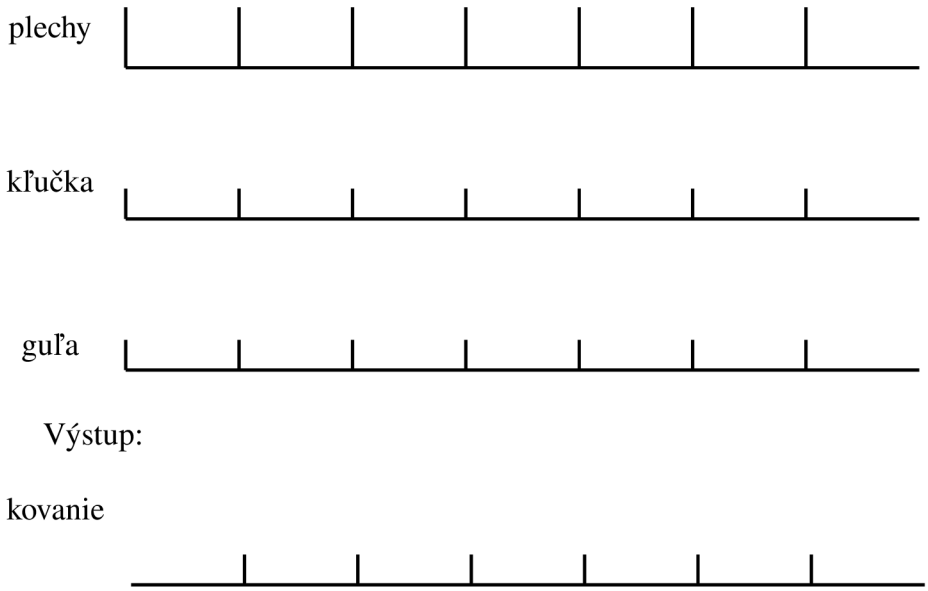



Ak zarátame 20 s potrebných na podanie ďalšieho materiálu, fázový posun ostáva 60 s, ale čas cyklu sa zmení na 80 s. Výstup je nasledovný:




Graf 3.4: Signály procesu montáži kovania

Montovanie kľučiek sa však môže líšiť podľa toho, či na jedno kovanie idú kľučky z oboch strán, alebo dvere sú vonkajšie, a z jednej strany sa nachádza guľa miesto kľučky. Preto ako na vstupe budú tri signály, a to plechy, kľučka a guľa. Zmontovanie plechu s guľou je menej náročné ako montáž kľučky. Doba ($CT$) na dodanie materiálu sa nelíši od predchádzajúcej situácie, preto dĺžka signálu pre určité množstvo kovaní ako výstup sa nemení.




Graf 3.5: Signály procesu montáži kovania

Predpokladajme, že montér si potrebuje odpočinúť po každých zmontovaných 50 kovaniach na 5 minút. Tento proces montáže 50 kovaní na vnútorné dvere, teda bez vonkajšej gule, si vyjadríme pomocou slov, keďže graficky znázornený signál by sa nezmestil na stranu.

| | slovo | |
|---|---|---|
| vstup: | plech | $(x^2o^{80})^{50}o^{300}$ |
| | kľučka | $(x^2o^{80})^{50}o^{300}$ |
| výstup: | kovanie | $(o^{80}xo^{20})^{50}o^{300}$ |

## Obchodník

Úlohou obchodníka je spracovať objednávky a podľa nich určiť dátumy jednotlivých zákaziek a navážok. Zákazky sú v našom príklade funkčné dvere, a navážky surová doska, pánty, zárubňa, prah, krycie plechy, kľučka a zámok. Uvažujeme objednávky:

| zákazník | typ dverí | množstvo | expedícia |
|---|---|---|---|
| predajca 1 | vnútorné | 40 | 30.6.2018 |
| | vonkajšie | 40 | 30.6.2018 |
| predajca 2 | vnútorné | 50 | 6.7.2018 |
| | vonkajšie | 30 | 4.7.2018 |

Tabuľka 3.1: Objednávky

Systém roztriedi zákazky a spočíta požiadavky na suroviny. Našim podstatným rozdelením sú vonkajšie alebo vnútorné dvere. Od toho sa odvíjajú navážky. Musíme ďalej rozlišovať zámok na vložku pre vonkajšie dvere a zámok na klasický kľúč pre vnútorné dvere.

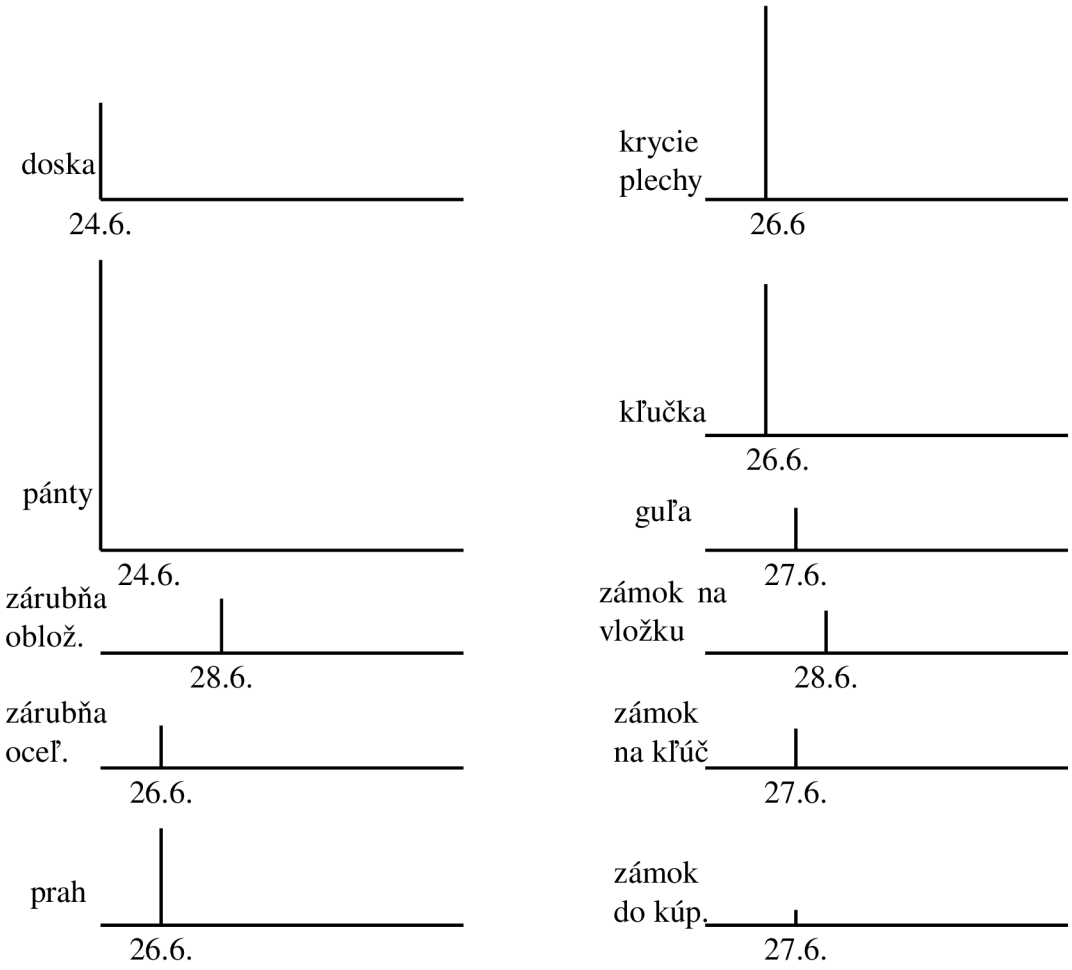
| suroviny | množstvo | navážka | objednať pred |
|---|---|---|---|
| surová doska | 160 | 24.6.2018 | 15.6.2018 |
| pánty | 480 | 24.6.2018 | 15.6.2018 |
| zárubňa obložková | 90 | 28.6.2018 | 17.6.2018 |
| zárubňa oceľová | 70 | 26.6.2018 | 17.6.2018 |
| prah | 160 | 26.6.2018 | 17.6.2018 |
| krycie plechy | 320 | 26.6.2018 | 18.6.2018 |
| kľučka | 250 | 26.6.2018 | 18.6.2018 |
| guľa | 70 | 27.6.2018 | 18.6.2018 |
| zámok na vložku | 70 | 28.6.2018 | 18.6.2018 |
| zámok na kľúč | 90 | 27.6.2018 | 18.6.2018 |

Tabuľka 3.2: Navážky

Zo surovín sme rozdelili zárubne na oceľové k vonkajším dverám a obložkové k interiérovým dverám. Ďalej rozlišujeme kľučku a guľu a rozdielne zámky v závislosti na účeli daných dverí.

Jednotlivé signály sú definované zákazkami:

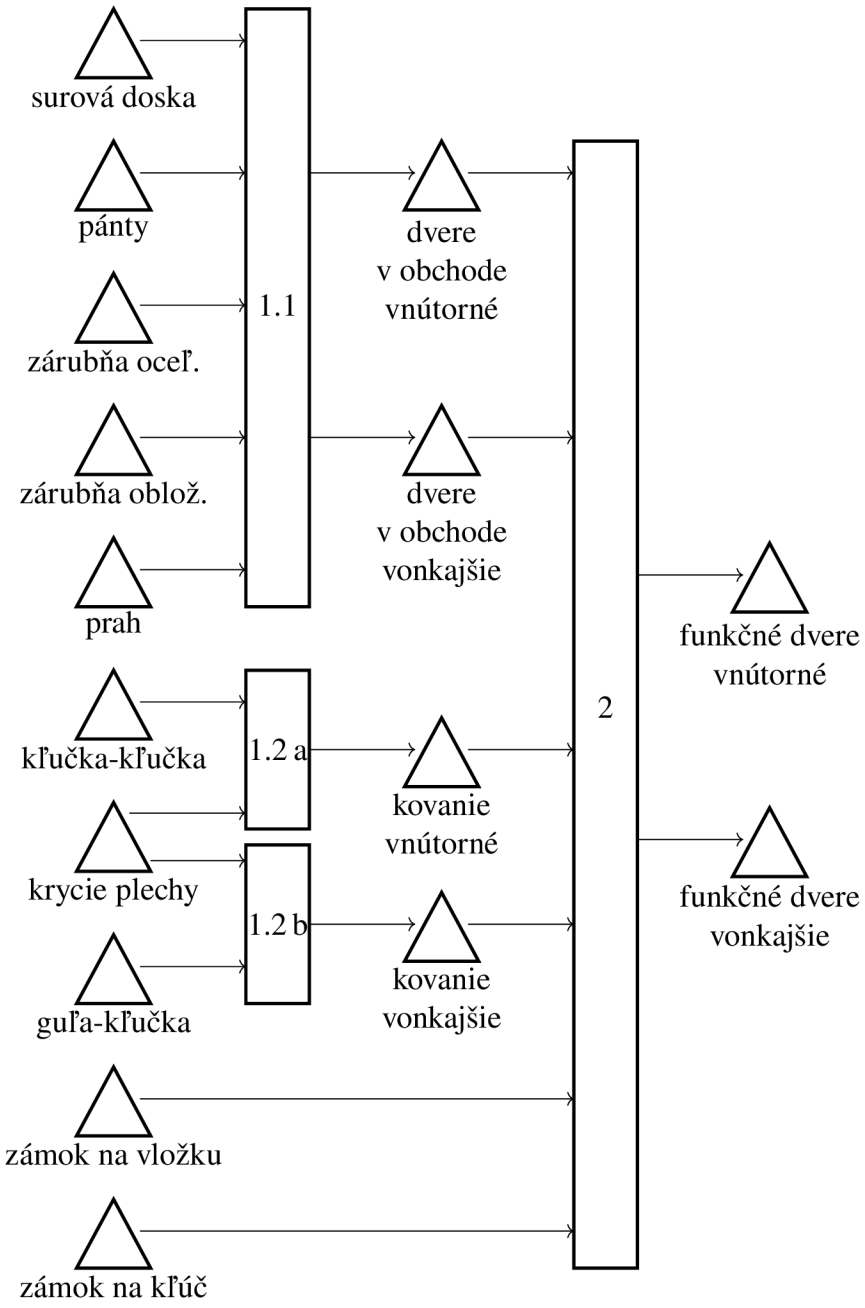
a navážkami:




## Výrobák

Výrobák zostrojuje kampane z receptúr a zákaziek. Cesty pre interiérové a vonkajšie dvere sú rovnaké, ale môžu sa odlišovať v montáži. Rôzne typy dverí nemusia mať zhodné režimy a tým aj ich receptúry sa budú odlišovať. V našom príklade je pre vonkajšie dvere jednoduchšia montáž gule ako pre vnútorné dvere kľučka. Je však na našom zvážení, či receptúry budeme považovať za dve odlišné alebo dva varianty jednej.

Predpokladajme avšak rovnaké režimy. Musíme aj tak zohľadniť rôznorodosť surovín aproduktov, ktoré si vykreslíme do siete.




Graf 3.6: Cesta

Proces 1.1 sme nemuseli rozdeľovať na podprocesy, lebo predpokladáme pre zjednodušenie príkladu, že zmontovanie oceľovej a obložkovej zárubne je rovnakej náročnosti. Proces 1.2 sme rozlíšiť už museli, lebo režimy stroja alebo pracovníka sa odlišujú pri montáži kľučky a guľe ku kryciemu plechu.

Ďalšou úlohou výrobáka je zhodnotiť obmedzenia na jednotlivých zásobníkoch aby nepretiekli a zároveň aby zásoby neklesli pod nulu. Reálne sa naše zásobníky nachádzajú v sklade, kde sú uložené suroviny a produkty. Stavy zásob vyjadrí výrobák nasledovne:

| zásobník | počiatočná zásoba | koncová zásoba |
|---|---|---|
| doska | 50 | 50 |
| pánty | 150 | 150 |
| zárubňa obložková | 30 | 30 |
| zárubňa oceľová | 20 | 20 |
| prah | 50 | 50 |
| kľučka | 100 | 100 |
| guľa | 20 | 20 |
| krycie plechy | 100 | 100 |
| zámok na vložku | 20 | 20 |
| zámok na kľúč | 20 | 20 |
| dvere v obch. vnútorné | 0 | 0 |
| dvere v obch. vonkajšie | 0 | 0 |
| kovanie vnútorné | 0 | 0 |
| kovanie vonkajšie | 0 | 0 |
| funkčné dvere vnútorné | 10 | 10 |
| funkčné dvere vonkajšie | 10 | 10 |

Tabuľka 3.3: Stavy zásobníkov

Na množstvo surovín si výrobák dohliada aby mal vždy určitú zásobu, ale nie priveľkú. Zato rozpracovanými produktami ako dvere v obchode a kovaním si nechce zaberať miesto v sklade, preto má nulové počiatočné a koncové hodnoty.

Keď procesom pridelíme režimy, tak z množstva objednávok pripravíme kampane:

| kampaň | proces | opakovanie |
|---|---|---|
| A | 1.1 vnút | 90 |
| B | 1.1 vonk | 70 |
| C | 1.2 a | 90 |
| D | 1.2 b | 70 |
| E | 2 vnút | 90 |
| F | 2 vonk | 70 |

Tabuľka 3.4: Kampane A, B, C, D, E a F

Ak máme pridelené režimy aj zloženým zariadeniam, tak môžeme nasledovne vytvoriť kampane procesov 1 a 2 aj z menej detailného pohľadu.

| kampaň | proces | opakovanie |
|---|---|---|
| G | 1 vnút | 90 |
| H | 1 vonk | 70 |
| E | 2 vnút | 90 |
| F | 2 vonk | 70 |

Tabuľka 3.5: Kampane G, H, I a J

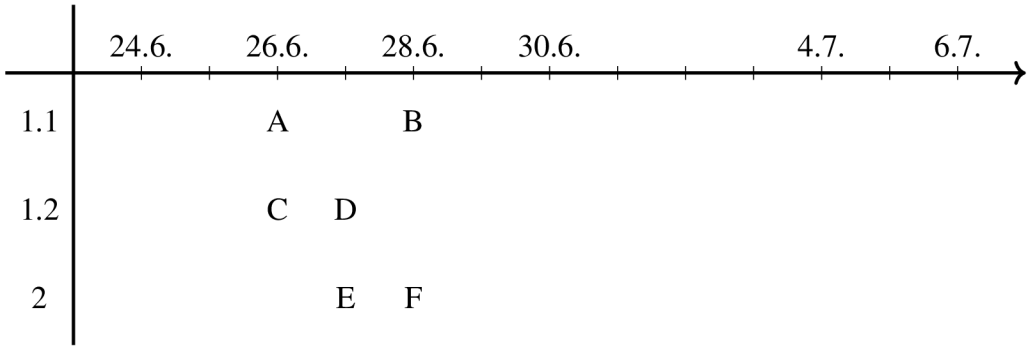
Kampane pre proces 0:

| kampaň | proces | opakovanie |
|---|---|---|
| I | 0 vnút | 90 |
| J | 0 vonk | 70 |

Tabuľka 3.6: Kampane I a J

## Majster

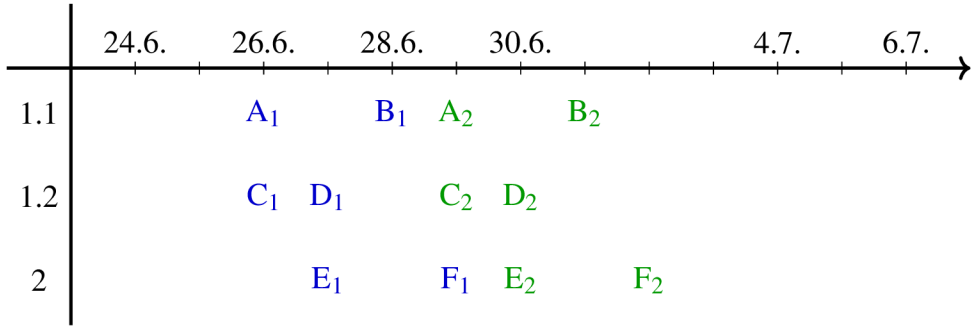
Majster rozmiestňuje kampane od výrobáka do rozvrhu. Na ľavú stranu rozvrhu patria stroje, ale v našom príklade ich môžeme stotožniť s procesmi, kedže cesta pre výrobu jedného typu výrobku je len jedna.




Graf 3.7: Rozvrh A, B, C, D, E a F

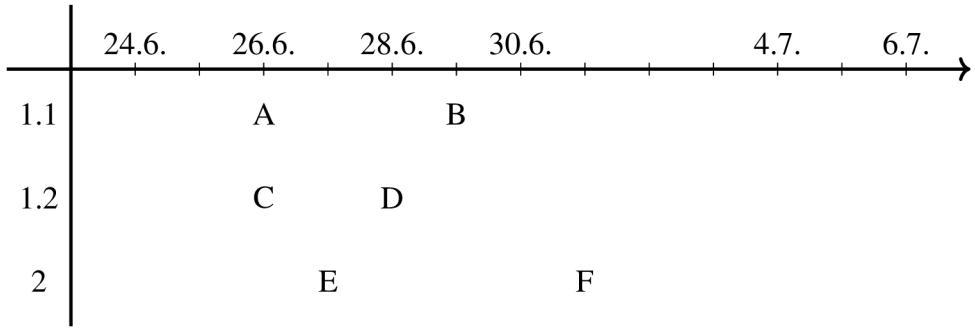
Rozvrh pre dané kampane si majster navrhne podľa dátumov navážok ako v grafe 3.7. Prepojené kampane pre výrobu vnútorných dverí sú AE a CE, pre vonkajšie dvere BF a DF. Musíme avšak zohľadniť čas potrebný pre procesy, taktiež ako množstvo opracovávaných výrobkov. Majster zistil, že takýto rozvrh nestihne, tak uvažuje ďalej.

Kampaň A je definovaná 90 opakovaniami, a môžeme si ju rozdeliť na kampaň $A_1$ so 40 opakovaniami a $A_2$ s 50 opakovaniami podľa zákaziek od predajcu 1 a predajcu 2. Rovnako kampane C a E si rozdelíme na $C_1$, $C_2$, $E_1$ a $E_2$. Kampane B, D a F predelíme analogicky s 40 a 30 opakovaniami. Objednávka predajcu 1 bude hotová pred 30.6.2018, rovnako ako zákazka predajcu 2, ktorá bude dokočená pred 4.7. a 6.7.2018.



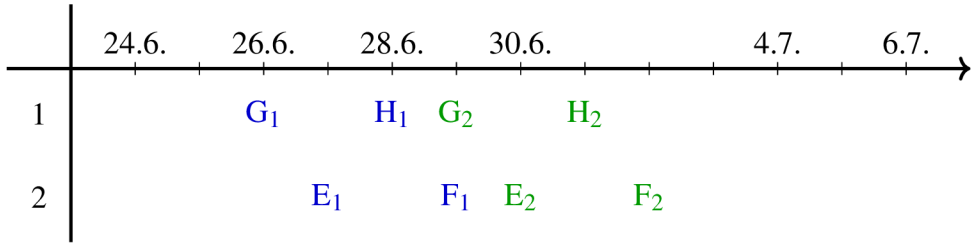

Graf 3.8: Rozvrh A, B, C, D, E a F rozdelené

Ak by sme si rozvrh rozdeliť nechceli, tak bude vyzerať nasledovne.

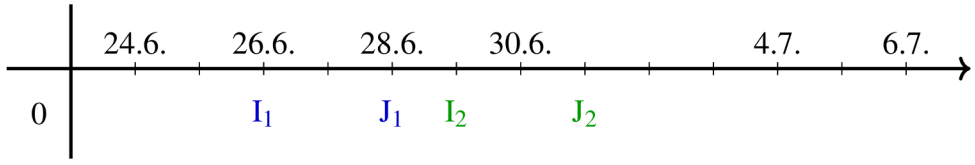



Graf 3.9: Rozvrh A, B, C, D, E a F

V prípade nerozdelenia kampaní, zákazku k 30.6. nestihneme. Z nadradeného pohľadu pomocou procesu 1 a 2 a neskôr 0 vyzerá rozvrh nasledujúco:




Graf 3.10: Rozvrh E, F, G a H rozdelené




Graf 3.11: Rozvrh I a J rozdelené

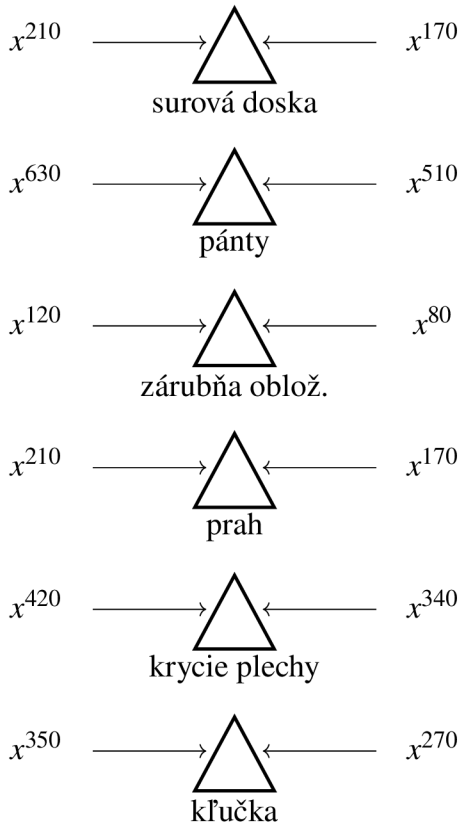
Dospeli sme k záveru, že je nutné si kampane rozdeliť podľa zákaziek, aby obe boli dokončené včas. V našom pláne uvažujeme iba s našou výrobou dverí a nezohľadňujeme

možnosť súčasného využitia strojov na inú výrobu, kde by bolo nutné prenastavenie strojov. Takisto zanedbávame možné prekážky, napríklad zdržanie pri prechode režimu 1.2 a na 1.2 b. Museli by sme túto skutočnosť zadať do systému, aby pridal prekážku zakaždým, keď sa tieto dva režimy vyskytnú po sebe v rozvrhu.

## Vyjadrenie pomocou signálov

Časť nášho príkladu si vyjadríme pomocou signálov. Budeme sa pozerať len na stav zásob plánovaného prvého dňa výroby, 26.6.2018, kedy sú navrhnuté kampane $A_1$ a $C_1$ vzťahujúce sa na vnútorné dvere objednané predajcom 1. Počiatočný stav zásobníka je počiatočná zásoba navrhnutá výrobákom v tabuľke 3.3 plus navážka v tabuľke 3.2.

Poznamenajme, že tok výrobkov sa síce pohybuje jedným smerom, teda zľava doprava, ale zásobníky fungujú na princípe ťahu. Buď materiál je pripravený na vstup do zásobníka, alebo zásobník dostáva signál na vypustenie materiálu. Šípky v grafe 3.12 smerujú k zásobníku lebo zobrazujú signál ako informáciu, a nie tok materiálu. [3]




Graf 3.12: Signály zásobníkov vyjadrené slovom

Takéto vyjadrenie zásob pomocou signálov si čitateľ može dopočítať pre nasledujúce dni výroby. Koncové zásoby surovín z tabuľky 3.3 sa budú zhodovať s dopočítanými hodnotami v posledný deň výroby.

Ako ďalší krok v príklade by sme si vykreslili Ganttov diagram na zhodnotenie či je výroba zrealizovateľná. Ten sa avšak vypočítava programom, a preto my ho ručne počítať nebudeme.

# Záver

Cieľom práce bolo nasimulovať výrobný tok ako sústavu signálov, pre ktorý sme si museli nachystať teoretické podklady. Najprv sme si objasnili pojmy signál, stroj alebo stromová štruktúra. Následne na základe týcho pojmov sme boli schopní navrhnúť tri jednoduchšie modely výroby, ktoré zlepením dokopy vytvorili komplexnejší model, podobnejší realite. Posledná časť bola určená príkladu výroby dverí, v ktorom sme si navrhli určitý postup očami rôznych pracovníkov vo výrobe.

Práca je sčasti založená na výsledku projektu *Výzkum metod a vývoj informačního systému pro optimalizaci hodnotových toků a plánování výroby*, ktorý je zameraný na výskum a implementáciu simulačného modelu chovania výrobných procesov vo výrobných podnikoch. Cieľom tohto projektu nie je navrhnúť optimálny výrobný tok, ale pre už vytvorený proces zhodnotiť či je zrealizovateľný. Túto myšlienku aplikujeme na modeli, ktorý sme si zaviedli.

Príklad dverí, ktorý sme postupne popísali, nezahŕňa nijakú pravdepodobnosť. Zanedbávame možnosť kolízie vo výrobe, čo sa v realite vyskytuje bežne, a preto považujem náš príklad za nie úplne zhodný s praxou.

Dospeli sme teda k záveru, že výrobný tok sa nám podarilo nasimulovať pomocou signálov, avšak je zložité navrhnúť model tak, aby zodpovedal čo najviac realite z nasledujúcich dôvodov: model je zjednodušenie reality, v tejto práci sa nevyskytoval pravdepodobnostný model a taktiež príklad bol počítaný ručne, čo v realite zvykne robiť program.

# Zoznam použitej literatúry


[1] FRAMINAN Jose M., LEISTEN Rainer a GARCÍA Rubén Ruiz. *Manufacturing scheduling systems: an integrated view on models, methods and tools*. London: Springer London, 2014. ISBN 978-1-4471-6272-8.

[2] AL-TURKI Umar M., AYAR Tahir, YILBAS Bekir Sami a SAHIN Ahmet Ziyaettin. *Integrated maintenance planning in manufacturing systems*. New York: Springer, 2014. ISBN 978-3-319-06289-1.

[3] ANUPINDI Ravi. *Managing business process flows*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1999. ISBN 0-13-907775-8.

[4] KRUML David a PASEKA Jan. Preprint. *Categoric Simulation of Production Flows*. 2018. 8 s.

[5] Interné materiály projektu CZ.01.1.02/0.0/0.0/15_019/0001370 *Výzkum metod a vývoj informačního systému pro optimalizaci hodnotových toků a plánování výroby.* 2018.