

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

FILOZOFICKÁ FAKULTA

Síťová analýza a její využití ve štihlé výrobě

Bakalářská práce

Autor: Robin Uher

Vedoucí práce: Mgr. et Mgr. Jan Stoklasa, Ph.D.

Olomouc, 2020

Prohlášení

Místopřísežně prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: „*Síťová analýza a její využití ve štihlé výrobě*“ vypracoval samostatně a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Olomouci dne

Podpis

Poděkování

Touto cestou bych rád poděkoval Mgr. Janu Stoklasovi, Ph.D., za odborné vedení při vypracování bakalářské práce a velmi vstřícný přístup.

Obsah

Úvod	5
I. TEORETICKÁ ČÁST	6
1. ÚVOD DO TEORIE GRAFŮ	7
2. PROJEKTOVÉ ŘÍZENÍ A SÍŤOVÁ ANALÝZA	13
2.1. SÍŤOVÁ ANALÝZA	17
2.1.1. METODA CPM	20
2.1.2. METODA PERT	22
2.1.3. POSTUP SÍŤOVÉ ANALÝZY	23
3. ŠTÍHLÁ VÝROBA	25
3.1. METODY ŠTÍHLÉ VÝROBY	26
3.1.1. METODA 5S	26
3.1.2. METODA JIT	27
3.1.3. DALŠÍ VÝZNAMNÉ METODY	27
II. PRAKTICKÁ ČÁST	29
4. Vizualizace hodinového cyklu výroby	30
5. Průměrný, minimální, maximální odhad	35
6. Porovnání získaných informací	38
7. CPM A PERT	43
Závěr	48
Summary	50
Seznam pramenů a literatury	51
Seznam obrázků	54
Seznam tabulek	55

Úvod

Téma bakalářské práce jsem si vybral díky zkušenostem, které s tématikami Síťové analýzy a Štíhlé výroby mám. Štíhlou výrobu jsem poprvé poznal osobně z domova, jelikož rodinný příslušník pracuje v podniku zaměřeném na kovovýrobu, kde se tato metoda praktikuje. Naopak, téma Síťové analýzy jsem poprvé poznal při studiu na Univerzitě Palackého v Olomouci.

Cílem této bakalářské práce bude zjistit, jak se pojí síťová analýza s praktikováním metod štíhlé výroby. Dalším cílem této práce bude určit teorii a principy štíhlé výroby a následně je v praktické části uplatnit. Pro teoretickou část byly stanoveny otázky, které budou obsahem následujících kapitol zodpovězeny. Co je to síťová analýza a jaké má metody? Co je to štíhlá výroba? Na začátku přibližuji teorii grafů, základní termíny a jejich využití. Druhá kapitola stručně popisuje projektové řízení, které je spojeno se síťovou analýzou. V poslední kapitole je stručně nastíněna tematika Štíhlé výroby a uvedeny její základní metody.

Praktická část se bude zaměřovat na metody síťové analýzy a jak je lze uplatnit v aplikaci štíhlé výroby v každodenním provozu podniku. Cílem praktické části bude také aplikovat různé metody na získaná data a následně je, dle potřeby, interpretovat. Praktická část práce bude odpovídat na otázky: Jak se pojí témata síťové analýzy a štíhlé výroby? Jaké informace lze pomocí metod síťové analýzy získat a jak je lze využít? K vypracování praktické části bude potřeba využít zavedených termínů z části teoretické.

Práce je rozdělena do sedmi kapitol, které jsou následně rozděleny do dvou částí, tedy teoretické a praktické. První kapitoly pojednávají o termínech používaných pro popis grafů a následně termíny využívány pro popis síťové analýzy. Následující kapitola popisuje, co to je štíhlá výroba a jaké má metody. Praktická část práce spojuje tyto dvě metodiky a popisuje, jaký přínos může mít jejich propojení.

I. TEORETICKÁ ČÁST

Obsahem teoretické části je popis terminologie a metod, které se obecně používají k daným tématům, jež budou následně používány v praktické části práce.

Teoretická část práce obsahuje popis základních termínů teorie grafů, jež budou nadále využívány v teoretické i praktické části práce. Zaveden je také termín síť, jež je jedním z hlavních prvků celé bakalářské práce. Následující část se více zabývá analýzou grafů a sítí, analýzou toků na sítích, metodami síťových analýz, jejich uplatněním a optimalizací. Práce také obsahuje část popisující metodiku štihlé výroby. Teoretická část je zakončena metodami štihlé výroby, které jsou používány pro snížení nákladů a zbytečných ztrát.

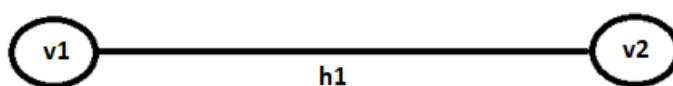
1. ÚVOD DO TEORIE GRAFŮ

Před prvotním popisem síťové analýzy je důležité, aby byly vymezeny pojmy, které úzce souvisí se síťovou analýzou. Síťová analýza se zakládá na teorii grafů, která vizualizuje danou situaci, algoritmus atd. Nejen síťová analýza, ale také jiné, zejména matematické, metody využívají grafy.

Prvním, a nejdůležitějším pojmem, pro popis síťové analýzy je termín **graf**. Fronček definuje graf následně: „*Graf G je uspořádaná dvojice (V,E) , kde V je neprázdná množina vrcholů a E je množina dvouprvkových podmnožin množiny V , zvaných hrany.*“¹

Graf může být také znázorněn **diagramem**, kde jsou vrcholy reprezentovány pomocí kroužků a křivky značí hrany, které spojují dvojici vrcholů. Hlavním rozdílem mezi grafem a diagramem je jejich význam.²

Jako příklad pro využití Frončkovy terminologie je vytvořen popis jednoduchého grafu A (viz Obrázek 1). Pro Graf A je uspořádaná dvojice bodů $v1$ a $v2$, kde $v1$ a $v2$ jsou **vrcholy**. V grafu $h1$ značí **hranu**, která znázorňuje časovou následnost. Graf A lze označit jako graf A ($v1, v2$).³



Obrázek 1 - Jednoduchý graf A, vlastní tvorba

Demel popisuje tzv. **síť**, což je graf, jehož hrany nebo vrcholy jsou opatřeny časovými nebo jinými ohodnoceními. Druhým výrazem sítě je ohodnocený graf. Každá taková síť musí mít alespoň, nejvýše, a právě jeden začáteční a koncový bod.⁴

¹ FRONČEK, D. *Úvod do teorie grafů*. Str. 7

² Tamtéž. Str. 7

³ Tamtéž. Str. 7

⁴ DEMEL, J. *Grafy a jejich aplikace*. 2002. Str. 14

Tzv. **jednoduché grafy**, jsou grafy, které neobsahují násobné hrany ani smyčky. V grafu A (v_1, v_2) jsou tzv. **koncové vrcholy** v_1 a v_2 . Hrana h_1 je jejich spojnicí. Koncové vrcholy se nazývají vrcholy, jež ohraničují určenou popisovanou hranu nebo celý diagram. Koncové vrcholy jsou **incidentní** s hranou h_1 , což znamená, že k hraně h_1 náleží. V grafu A jsou vrcholy v_1 a v_2 spojeny jednou hranou (h_1), jsou tedy **sousední**.⁵

Hrany jsou sousední, pokud mají společný koncový vrchol (vrchol G, na obrázku 2), který spojuje jen dané dvě hrany. Na druhém grafu, obrázku č.2 je zobrazen graf E (F, G, I) s dvěma hranami H a J. V diagramu sousedí vrchol G s vrcholy F a I, ale vrchol F nesousedí s vrcholem I. Můžeme tedy říct, že F a G jsou vzájemně sousedící, stejně jako vrcholy G a I. Naopak, vrcholy F, a I jsou **nesousedící**, tedy **nezávislé**, protože jsou vzdálené o více než jednu hranu (tedy i o minimálně jeden vrchol).⁶



Obrázek 2 - sousednost vrcholů, vlastní tvorba

Počet hran v grafech není vždy pevně dán, ale např. Demel definuje minimální počet hran a vrcholů u souvislých grafů jasně: „Každý souvislý graf o n vrcholech má alespoň $n - 1$ hran.“⁷

Existují i grafy s tzv. **násobnými hranami**, kde vrcholy spojuje více než jedna hrana. Naopak, ve **smyčce** jsou oba koncové vrcholy grafu tím samým. Grafy, ve kterých jsou násobné hrany nebo smyčky se nazývají **multigrafy**. Tzv. **triviální graf** má jen jediný vrchol. Graf s více než dvěma vrcholy **není triviální**.⁸

Dalším důležitým prvkem grafu je **stupeň vrcholu**. Počet hran, které se dotýkají daného vrcholu můžeme označit jako tzv. **stupeň vrcholu**.⁹ Tzv. **podgraf** vzniká „vynecháním nějakých (nebo žádných) vrcholů a hran. Podstatné je, že podgraf musí

⁵ FRONČEK, D. Úvod do teorie grafů. Str. 7

⁶ Tamtéž. Str. 7

⁷ DEMEL, J. Grafy a jejich aplikace. 2002. Str. 59

⁸ FRONČEK, D. Úvod do teorie grafů. Str. 8

⁹ Tamtéž. Str. 9

*být také grafem: spolu s každou hranou, která je v podgrafu, tam musí být i oba její krajní vrcholy. Poznamenejme, že každý graf pokládáme za podgraf sebe sama.*¹⁰

Faktor je podgraf, který vznikl vynecháním některých hran z grafu, ale vrcholy zůstaly totožné s grafem původním. Odstraněním vrcholu a všech hran, které jsou s ním incidentní, vzniká **indukovaný podgraf**.¹¹

Pokud chceme stanovit pohyb v grafech (či diagramech), musíme určit, jakými body se chceme vydat. Důležitost průběhu je podstatná hlavně při determinaci nutných akcí, které musíme dokončit, než započneme jinou akci. Například při stavbě nejprve musí architekti navrhnut stavbu, poté se postaví základy a následně se až postaví budova. Jednoduchou logikou věci je možné usoudit, že úkony v grafu jsou na sebe vzájemně závislé a druhá věc musí následovat první atd. Proto je důležité, aby graf byl zobrazen přesně dle pořadí daných úkonů. Pro tyto situace slouží **sled**, který určuje posloupnost vrcholů a hran, které začínají i končí ve stejném vrcholu.¹²

*„**Tahem** grafu G nazýváme takový jeho sled, v němž jsou všechny hrany různé.“¹³ V tahu sice můžeme daný vrchol použít vícekrát, avšak hranu lze použít pouze jednou, proto při pohybu do vrcholu musíme použít jiné hrany, které jsou např. na obrázku č. 4 označeny malými písmeny. Dle Koláře je **cesta** v grafu tah, ve kterém každý vrchol inciduje maximálně se dvěma hranami daného tahu.¹⁴*

Pokud mluvíme např. o cestě $H (v_a, v_f)$, dle vrcholů v grafu určíme, že její první vrchol je v_a a její poslední vrchol je v_f . První a poslední vrchol se nazývají **koncové vrcholy** (zde a, f) a zbytek vrcholů mezi nimi je nazýván **vnitřní vrcholy**.¹⁵ Neopakování vrcholů také znamená, že se v cestě neopakují ani hrany. Znamená to tedy, že každá cesta je též sledem a tahem. Důležitý je také výpočet nejkratší cesty, který pracuje s délkami reálných hran. Tzv. **délka cesty** je počet hran pro

¹⁰ Demel J. *Grafy a jejich aplikace*. 2002. Str. 18

¹¹ FRONČEK, D. *Úvod do teorie grafů*. Str. 13

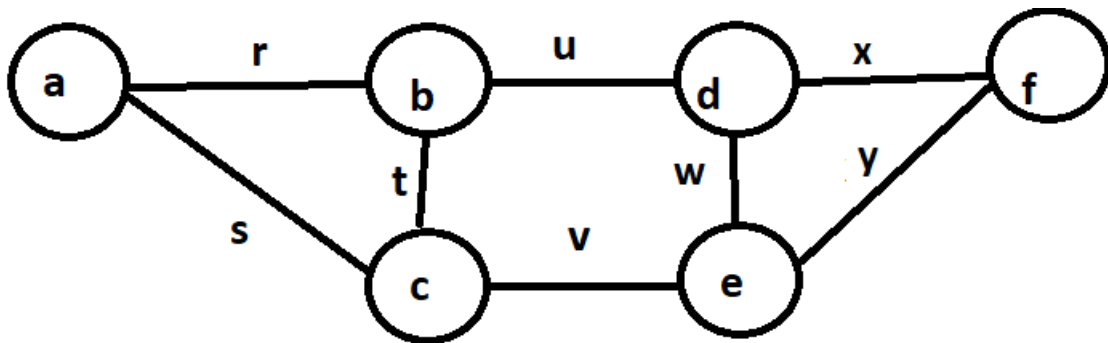
¹² Tamtéž. Str. 16

¹³ KOLÁŘ, J. *Teoretická informatika*. Str. 24

¹⁴ Tamtéž. Str. 24

¹⁵ FRONČEK, D. *Úvod do teorie grafů*. Str. 7

nehodnocené grafy a součet ohodnocených hran pro grafy ohodnocené.¹⁶ Demel uvádí následující důkaz existence nejkratší cesty: „Počet hran v cestě je omezen počtem vrcholů grafu. Všechny cesty z *a* do *b* je tedy konečně mnoho, proto některá z nich je nejkratší.“¹⁷ **Vzdálenost** v grafu tedy lze zjistit pomocí spočítání nejkratší cesty mezi danými vrcholy. Např. v uvedeném obrázku 3 - vzdálenost mezi vrcholy A a E jsou 2 hrany, tedy s-v (vrcholy a-c-e). Vzdálenost se označuje **dist** (a, e).¹⁸



Obrázek 3 - vzdálenost, vlastní tvorba

Pokud by při tahu (či sledu) došlo k situaci, kdy je první a poslední vrchol totožný, mluvíme o tzv. **uzavřeném tahu** (či sledu). Tzv. **délka tahu** určuje, kolik hran spojuje dané dva koncové vrcholy. Pokud sled obsahuje pouze jeden vrchol a žádnou hranu, nazývá se **triviální**.

Jsou-li dané dva body ve stejném grafu a existuje mezi nimi cesta, jsou navzájem **dosažitelné**. Dosažitelnost platí, pokud existuje cesta z bodu A do bodu E nebo pokud jsou A a E totožné.

Pokud v grafu existuje orientovaná cesta mezi každým vrcholem, hovoříme o **silné souvislosti grafu**. Pokud ale v grafu existují dva body, které nelze spojit cestou, nebo nejsou totožné, graf je zvaný **nesouvislý**. **Komponenta** je nejdelší souvislý podgraf daného grafu.¹⁹

¹⁶ DEMEL, J. *Operační výzkum*. Str. 99

¹⁷ Tamtéž. Str. 100

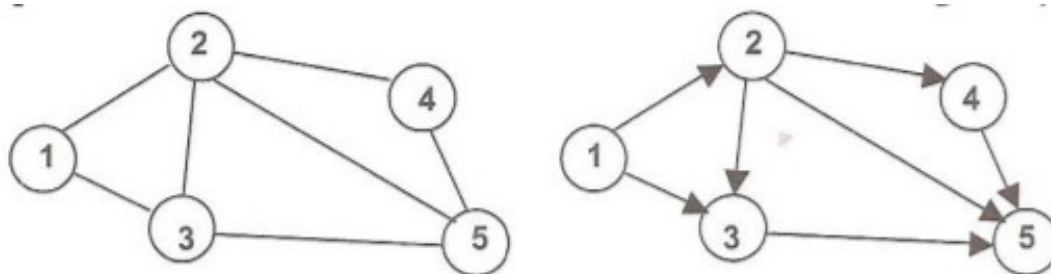
¹⁸ FRONČEK, D. *Úvod do teorie grafů*. Str. 17

¹⁹ DEMEL, J. *Grafy a jejich aplikace*. Str. 67.

Orientovaný graf obsahuje orientované hrany, které mají daný začátek a konec. Jejich realizace v grafu je šipkou. Orientace hran je definována pomocí uspořádání krajních uzlů, tedy hrana inciduje s uspořádanou dvojicí uzlů. Pokud je v grafu cesta (posloupnost daných vrcholů), nazývá se tzv. **orientovaná**.²⁰

Na obrázku č. 4 je graf vpravo orientovaný, a naopak graf vlevo neorientovaný. **Neorientovaný graf** je graf, který sice obsahuje vrcholy, avšak bez orientace jejich hran (viz obrázek 4 – graf vpravo). Například hrana (a, b) může znamenat to samé jako (b, a).

Existují i grafy, tzv. **smíšené**, ve kterých se objevují jak orientované, tak neorientované hrany.



Obrázek 4 - Neorientovaný a orientovaný graf, zdroj: Jablonský. Str. 169

Lze také sestavit graf, ve kterém je cesta J s vrcholy (j, v) a s více než jednou hranou a vrcholy j a v jsou sousední, pak cestu J a hranu j, v nazýváme **cyklem**. Graf, který obsahuje cyklus se nazývá cyklický.²¹ Naopak, „Acyklický graf je orientovaný graf, který neobsahuje žádný cyklus (tedy ani smyčku).“²²

Demel zmiňuje **seznamy vrcholů a hran** jako popis grafu, který používá jméno hrany a jeho počáteční a koncový vrchol. Při popisu orientovaných hran je důležité uvádět vrcholy v pořadí, v jakém jsou v grafu ale naopak, při popisu neorientovaných hran, pořadí může být jakékoliv.²³

Matice sousednosti popisuje sousednost vrcholů. Sloupce a řádky obsahují dané uzly a pokud je na místě střetu číslo 1, uzly sousedí, a pokud 0, tak ne. Úsporná

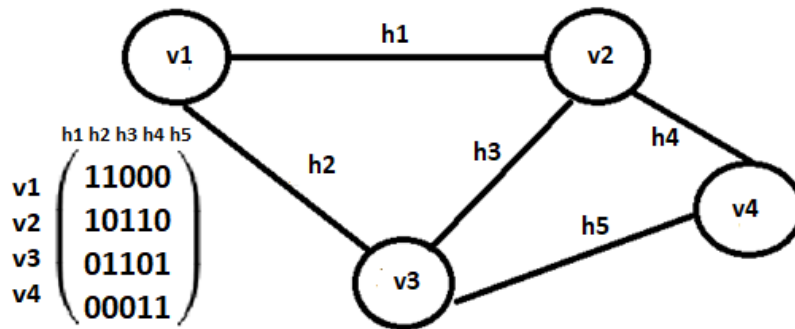
²⁰ KOLÁŘ, J. *Teoretická informatika*. Str. 28.

²¹ FRONČEK. Str. 17

²² DEMEL, J. *Grafy a jejich aplikace*. 2002. Str. 73.

²³ DEMEL, J. *Grafy a jejich aplikace*. 2002. Str. 26.

metoda reprezentace grafů je také **incidenční matice**, jež se používá na popis grafů, pokud je jejich hustota či nepřehlednost tak veliká, že jej nelze správně graficky zobrazit. Pokud graf nelze správně graficky zobrazit, lze být převeden do matice. Při reprezentaci v matici každý řádek reprezentuje daný vrchol a každý sloupec reprezentuje danou hranu. Pomocí jednoduché incidenční tabulky lze zjistit, jak finální graf bude vypadat.²⁴ Příkladný graf a jeho incidenční matice vypadají následně:



Obrázek 5 - incidenční matice, vlastní tvorba

Zobrazený graf má vedle sebe také danou incidenční matici, která obsahuje popsané vrcholy a sloupce. Pokud daná pozice (např. v1/h1) obsahuje číslo 1, znamená to, že daný vrchol inciduje s hranou a pokud obsahuje číslo 0, znamená to, že k dané hraně neinciduje.²⁵

Tzv. **matice dostupnosti** uvádí vrcholy do řádků a sloupců a následně pomocí čísel 1 a 0 zodpovídá, jestli jsou dané dva, zvolené, body dosažitelné. Existuje také **matice vzdálenosti**, která pomocí vrcholů v řádcích a sloupcích ukazuje, jak vzdálené jsou dané dva vrcholy. Vyhledáním dvou bodů, jeden v řádku a druhý ve sloupci, je nalezeno číslo, jaká je jejich vzdálenost v grafu. Pokud v grafu existuje více cest, jak dané dva body spojit, uvádí se vždy ta kratší. Metodou, která je také používaná pro popis grafu je metoda **nepřímého popisu**, kdy je graf zadán algoritmem, jelikož není potřeba aby byl udán seznam hran, když jej lze vypočítat algoritmem.²⁶

²⁴DEMEL, J. *Operační výzkum*. [online]. [cit. 2019-04-08]. Dostupné z:

<https://kix.fsv.cvut.cz/~demel/ped/ov/ov110215.pdf> Str. 87

²⁵ KOLÁŘ, J. *Teoretická informatika*. Str. 65.

²⁶ DEMEL, J. *Operační výzkum*. [online]. [cit. 2019-04-08]. Dostupné z:

<https://kix.fsv.cvut.cz/~demel/ped/ov/ov110215.pdf> Str. 88

2. PROJEKTOVÉ ŘÍZENÍ A SÍŤOVÁ ANALÝZA

Druhá kapitola zpočátku přibližuje definici termínů, co to vlastně projektové řízení a projekt jsou a jak je daní autoři popisují. Následně budou využity termíny zavedené v první kapitole v návaznosti na analýzu síťových grafů, jejichž využití je stěžejní bod pro celou bakalářskou práci. Podkapitola s názvem Síťová analýza nadále přibližuje téma síťové analýzy, která propojuje témata grafů a jejich využití v projektovém řízení.

Metoda síťové analýzy spadá pod prvky řízení projektů, které jsou využívány při plánování projektů, projektovém řízení, v komerční sféře. **Projektové řízení** (anglicky *project management*) je Janem Doležalem a kol. definováno jako: „...způsob přístupu k návrhu a realizaci procesu změn (tj. projektu) tak, aby bylo dosaženo předpokládaného cíle v plánovaném termínu, při stanoveném rozpočtu s disponibilními zdroji tak, aby realizovaná změna nevyvolala nežádoucí vedlejší efekty, jinými slovy – aby vznikl úspěšný projekt.“²⁷ Osoba, která zodpovídá za plánování, organizování a následnou kontrolu se nazývá **projektový manažer**.

Nejdůležitějším prvkem, o kterém tematika projektového řízení pojednává, je **projekt**, který Svozilová definuje, dle prof. Kerzera, jako: „jakýkoliv jedinečný sled aktivit a úkolů, který má: dán specifický cíl, jenž má být jeho realizací splněn, definováno datum začátku a konce uskutečnění, stanoven rámec pro čerpání zdrojů potřebných pro jeho realizaci.“²⁸

Další definice projektu, dle Pokorné, zní: „V obecné rovině je projekt možno definovat jako jedinečnou soustavu činností směřujících k předem stanovenému cíli, která má určitý začátek i konec. Vyžaduje spolupráci různých profesí, váže či spotřebovává jejich kapacity a využívá je pro vytvoření výstupu.“²⁹

²⁷ DOLEŽAL, J. a kol. *Projektový management*. 2016. Str. 16

²⁸ SVOZILOVÁ, A. *Projektový management*. 2011. Str. 22

²⁹ POKORNÁ, G. *Projekty – Jejich tvorba a řízení*. 2008. Str. 6

Také Fiala ve své knize popisuje projekt, a to následně: „*Projekt je výsledek materiální nebo nemateriální povahy, založený na strategickém plánu, navržený, organizovaný a realizovaný pod řízením někoho v zájmu vlastníka nebo zadavatele.*“³⁰

Jedním ze společných prvků daných definic projektu je cíl, jež je dosažen aktivitami, jejichž pořadí, návaznost, časové vymezení a zdroje jsou, ve většině případů, předem definovány.

Pokorná určuje úspěšnost projektu pomocí tzv. **trojimperativu** projektu. Jsou to tři dimenze, které projekt musí splnit, aby byl úspěšný. Pokorná mluví o dimenzi věcné (co se dělá a jak), časové (kdy se projekt děje) a nákladové (financování).³¹

Aby byl projekt úspěšný, musí být ukončen včas, pomocí určených nákladů a do určené podoby. Pokud cíl nebyl splněn, nebo byl splněn pouze z části, projekt je klasifikován jako neúspěšný. Neúspěšnost projektu může být také například čerpání zdrojů nad rámec nebo zdržení dokončení projektu.

Svozilová ve své definici projektu zmiňuje definování začátku a konce projektu. Čas je jedním z nejdůležitějších zdrojů, pokud je potřeba navrhout projekt.

Doležal při popisu časového aspektu projektů zavádí tzv. **životní cyklus projektu**, který je dělen na tři části. Předprojektová fáze, ve které projekt vzniká, je prvním aktem, kdy je celý projekt navrhován a prvotně zkoumán. Následná projektová fáze, při které je projekt zahájen, naplánován, realizován a ukončen, je průběhem celého navrhnutého projektu. Poprojektová fáze je zakončením projektu pomocí ohodnocení.³²

Právě při předprojektové fázi, zmiňované Doležalem, je možné, aby znalý člověk zhodnotil sekvenci prací a jejich délku. Jednoduché projekty, bez jakýkoliv složitějších vazeb, lze popsat jen nepřímo. Složitější projekty je ale lepší zobrazit graficky, například pomocí síťové analýzy, která je hlavním tématem druhé kapitoly – následujících

³⁰ FIALA, P. *Řízení projektu*. 1. vyd. 2002. Str. 10

³¹ POKORNÁ, G. *Projekty – Jejich tvorba a řízení*. 2008. Str. 6 a 7

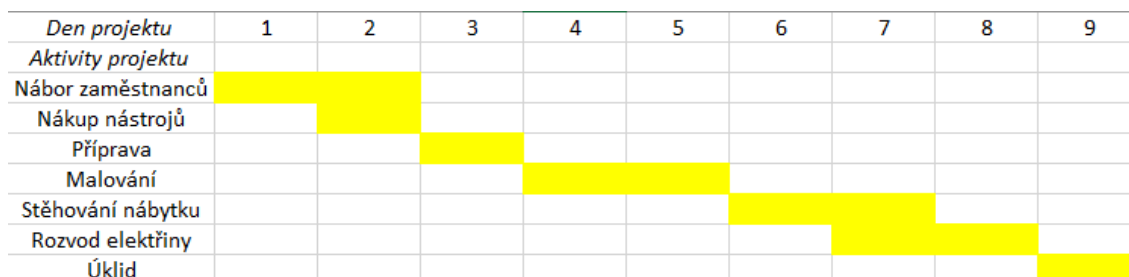
³² DOLEŽAL, J. a kol. *Projektový management*. 2016. Str. 54

podkapitol. Síťová analýza je však používána i při realizaci projektu, nejen při jeho plánování.³³

Dle Friebelové je optimální délka projektu, především, stanovena náklady či zdroji. Prodlužováním projektu se sice snižují přímé náklady, avšak se zvyšují náklady nepřímé. Pro nalezení časového bodu, kdy jsou náklady nejnižší je sestaven často graf obsahující vývoj přímých a nepřímých nákladů. Optimální délka trvání projektu je ta, ve které jsou celkové náklady nejnižší.³⁴

Projektové řízení se, kromě síťové analýzy, skládá z více druhů metod či nástrojů, které lépe, dle potřeby, determinují průběh projektu. Významnou metodou je **Ganttův diagram**, jež podobně jako síťová analýza, stanovuje posloupnost a délku daných částí projektu. Diagram využívá časových jednotek na ose vodorovné (podobně jako časová osa) a názvu aktivity na ose svislé.³⁵

Úkolem vizualizace je nastínit, jak dlouho dané aktivity budou trvat a jaká je mezi nimi vazba. Diagram lze lehce převést na náčrt na papíru, avšak v nynější době je častěji vizualizován elektronicky. Jako jednoduchý příklad bude uveden vymyšlený



Obrázek 6 - Ganttův diagram, vlastní tvorba pomocí MS Excel

projekt, příprava k nastěhování daného obytného zařízení, jehož kroky budou převedeny do Gantova diagramu pomocí programu MS Excel.

Daná vizualizace projektu ukázala, že třetí aktivita (příprava) nemůže začít, než skončí aktivita první (nábor) a druhá (nákup). Naopak, druhá aktivita může začít již druhý den, zároveň při průběhu náboru, avšak končí druhým dnem, stejně jako aktivita

³³ DOLEŽAL, J. a kol. *Projektový management*. 2016. Str. 54

³⁴ FRIEBELOVÁ, J. *Operační analýza*. 2009. Str. 122

³⁵ CADLE, J. *Project Management for Information Systems*. 2008. Str. 131

první. Všechny aktivity spolu mají nějaký vztah, tedy návaznost. Tyto návaznosti, vytvářejí následující vztahy dvou daných činností.

Činnost **Start to start** (SS) říká, že činnost nemůže začít, dokud daná, jiná, činnost také nezačne. **Finish to finish** (FF) říká, že činnost nemůže skončit, dokud další určená činnost také neskončí. **Start to finish** (SF) znamená, že pro to, aby vybraná činnost skončila, musí druhá určená činnost započnout. Vazba **Finish to start** (FS) znamená, že daná činnost musí skončit, aby následující, vybraná, činnost započala.

Metoda WBS rozděluje hierarchicky daný projekt Průběh projektu je rozčleněn do činností a podčinností (dílčí činnosti). Činnosti a podčinnosti mohou, ale nemusí, probíhat zároveň. Nevýhodou metody WBS je chybějící návaznost a vztahy činností, které poté lze zobrazit slovním popisem nebo využitím jiných metod.³⁶

WBS činnosti rozřídí do dalších, dílčích, činností. Projekt, který byl uveden k popisu metodiky Ganttova diagramu, lze převést do WBS. Jeho část sestavená pomocí programu MS Excel by vypadala následně:

Název projektu	Činnosti	Dílčí činnosti
Stěhování obytného zařízení	1. Nábor zaměstnanců	1.1. Určení množství finančních zdrojů
	2. Nákup nástrojů	1.2. Určení množství pracovníků, podmínek
	3. Příprava	1.3. Kontaktování vhodných kandidátů
	4. Malování	1.4. Sjednání podmínek, sepsání smlouvy
	5. Stěhování nábytku	1.5. Zjištění potřebných informací o potřebách
	6. Rozvod elektřiny	1.6. Dojednání podrobností
	7. Úklid	

Obrázek 7 - metoda WBS, vlastní tvorba pomocí MS Excel

³⁶ CHRISTENSEN, E. How to Create a Work Breakdown Structure and Why You Should. Dostupné z: <https://www.lucidchart.com/blog/how-to-create-a-work-breakdown-structure-and-why-you-should>

2.1. SÍŤOVÁ ANALÝZA

Síťová analýza je grafickým zobrazením projektu, které je využíváno především pro výpočet délky trvání, rezerv a dalších časových aspektů. Síťová analýza se snaží o jednoduché zobrazení grafem, jehož čitelnost a jednoduchost převyšuje ústní, či jiný, popis projektu. Jedním z úkolů síťové analýzy je zjištění nejdelší cestu a jak nejrychleji ukončit projekt. Častým úkolem analýzy je také pouze vizualizovat činnosti pro jejich lepší čitelnost, či pro prezentaci vykonané práce.

Grafy síťové analýzy obsahují nejdřívější možný začátek popisované činnosti, nejpozdější přípustný začátek, nejdříve možný konec a nejpozději možný konec. Důležitá může být u některých grafů také **fiktivní činnost** (fiktivní hrana), která „slouží k vyjádření návaznosti skutečných činností nebo k zamezení vzniku multigrafu a má vždy nulovou dobu trvání“³⁷. Pomocí fiktivních činností dosazujeme časové vazby, které sice neexistují, ale pro časovou správnost jsou vytvořeny. Naopak, k reálné činnosti lze přiřadit dané zdroje (časové, peněžní, ...).

Friebelová zavádí běžně používané zkratky pro definování hodnot grafu. Jsou to např: t_{ij} je doba trvání činnosti, t_i^0 je nejdřívější možný začátek, t_j^0 je nejdřívější možný konec činnosti, t_i^1 je nejpozdější přípustný začátek činnosti. T_i^0 je nejdřívější možný čas uzlu i (nejdříve možný začátek činností z daného uzlu) a T_j^1 je nepozději přípustný čas uzlu j (nejpozději přípustný konec činností končících v daném uzlu).³⁸ **Časová rezerva** je čas, který je přiřazen každé aktivitě, aby stihla proběhnout v případě, že by došlo k jejímu zdržení nebo zdržení předešlých aktivit.³⁹

Závislá (nutná) časová rezerva „udává, o kolik časových jednotek lze prodloužit dobu trvání činnosti t_{ij} nebo posunout dobu nejdříve možného začátku činnosti (i, j), skončí-li všechny předchozí činnosti v nejpozději přípustných časech a všechny následující začnou též v nejpozději přípustných časech... Pokud závislou rezervu vyčerpáme u činnosti (i, j), musíme u všech následujících činností dodržovat jejich doby

³⁷ FRIEBELOVÁ, J. *Operační analýza*. 2009. Str. 100

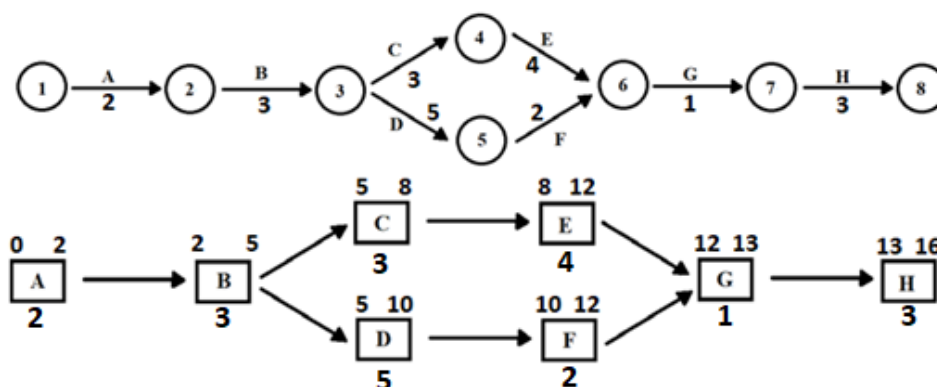
³⁸ Tamtéž. Str.103

³⁹ Tamtéž. Str. 104

trvání, protože u těchto činností dochází k posunu možných začátků. Je-li uzel i kritický, pak plné vyčerpání závislé rezervy vede ke vzniku nové kritické cesty.⁴⁰

Duchoň zmiňuje **volnou časovou rezervu**, která říká, o kolik časových jednotek jde posunout možný začátek nebo doba trvání dané činnosti bez toho, aby ohrozila možný začátek následujících činností. Rezerva vzniká, když předcházející činnosti skončí v nejdříve možných časech, přičemž činnosti následující začnou v nejdřívější možné časy. **Nezávislá časová rezerva** naopak značí, o jakou dobu může být činnost posunuta nebo posunut možný začátek, a to nezávisle na činnostech následujících a předcházejících.⁴¹

Síťová analýza je vizualizována grafem. Hillier ve své knize píše o dvou způsobech realizace síťové analýzy. Prvním způsobem je **hranově orientovaný graf** (activity-on-arc, AOA), ve kterém, jak už anglický název napovídá, jsou používány hrany jako činnosti a vrcholy uvádějí čas jejich zakončení, tedy i minimální dobu startu následující aktivity. **Uzlově orientovaný graf** (activity-on-node, AON) je graf ve kterém jsou vrcholy využity k popsání aktivit a pomocí hran lze zjistit, které činnosti danou aktivitu předcházejí či jaké uzly ji následují. Původní verze metod síťové analýzy (CPM a PERT) používali hranově orientovaný graf.⁴² Pro lepší porovnání hranově a uzlově orientovaných grafů je potřeba uvést grafy, které realizují stejný příklad. První graf bude hranově orientovaný a následující, graf druhý, bude vrcholově orientovaný.



Obrázek 8 - AON, AOA grafy, vlastní tvorba

⁴⁰ DUCHOŇ B. *Inženýrská ekonomika*. 1. vyd. 2007. Str. 249.

⁴¹ Tamtéž. Str. 250.

⁴² HILLIER, F. S. et Lieberman G. J. *Introduction to Operations Research*. 7. vyd. 2000. Str. 471

Další reprezentací projektu může být také, například, tabulka. Tabulka obsahuje důležité parametry pro případné sestavení grafu či jeho dostatečný popis. Následující tabulka bude realizovat graf, který byl uveden k rozdělení hranového a vrcholového zobrazení. Tabulka bude obsahovat název činnosti, trvání v časových délkách a předcházející činnosti.

Tabulka 1 - seznam činností, vlastní tvorba

ČINNOST	DOBA TRVÁNÍ	PŘEDCHÁZEJÍCÍ ČINNOSTI
A	2	-
B	3	A
C	3	B
D	5	B
E	4	C
F	2	D
G	1	E, F
H	3	G

Znak (-) v přechozí tabulce znamená, že činnost A neměla žádnou činnost předcházející, což znamená, že činnost A je počáteční (první). Na druhou stranu, pokud tabulka končí činností H, znamená to, že právě tato činnost je poslední a koncem této činnosti graf končí. Tabulka je často doplňkem dané síťové analýzy, která je potřeba zobrazit rozdílným způsobem. Tabulkové zobrazení daného projektu také často obsahuje název činnosti, potřebné zdroje a jiné potřebné údaje.

Výsledek časové analýzy se může zdát užitečný jen v omezené míře a pro omezený počet uživatelů, avšak různé aspekty analýzy můžou být nápomocný pro, téměř, kohokoliv v daném podniku, či kdekoliv jinde.

Pomocí časového rozložení lze vypočítat, kdy je potřeba jaké zdroje a kolik by, při hodinové taxě, stály. Síťová analýza často slouží, mimo jiné, také jako výsledek při prezentaci odvedené práce. Jedním z nejdůležitějších uživatelů síťových analýz jsou investoři, kteří potřebují potvrdit, jestli je projekt správně sestaven, tedy jestli bude fungovat a bude jeho realizace bude možná. Další, neméně důležitý, uživatel je majitel daného podniku nebo reality, kde se projekt uskuteční.

Analýza je důležitá také pro pracovníky, kteří se na dílčích aktivitách projektu podílejí, aby zjistili, jaké aktivity jim předcházely nebo co se v budoucnu bude dít. Dokumenty můžou využít například také technologové, kteří budou potřebovat vědět, jak dlouho budou potřeba jaké stroje atd.

V neposlední řadě je síťová analýza potřebná pro kohokoliv, při porovnání s projektem nastávajícím. Například špatně uskutečněný projekt, který byl původně projektován stejně jako projekt, o který je zájem, může dokázat, jak špatně by realizace dopadla. Důležité je také ukázat, jak se v minulosti analyzovaný projekt nakonec uskutečnil a jak moc se lišil od skutečného výsledku. Síťová analýza pracuje s různými metodami, které zkoumají časové, či jiné, zdroje a následně je hodnotí a porovnávají.

2.1.1. METODA CPM

CPM (z anglického Critical Path Method) je podle Friebelové metoda **kritické cesty**, jejíž délka určuje dobu trvání celého projektu.⁴³ Zuchovickij definuje **kritickou cestu** jako cestu (posloupnost) činností z prvního do posledního uzlu, která má maximální délku.⁴⁴ Dle Duchoňe je to tzv. metoda deterministická, tedy má předem určené časové délky. CPM je možno použít tam, kde známe strukturu činností a jejich časové ohodnocení.⁴⁵ Zkratka CPM, která pochází z anglického termínu Critical Path Method – česky **metoda kritické cesty**. Aktivity, které se nacházejí na kritické cestě se nazývají **kritické aktivity**.⁴⁶

Definice délky projektu, dle Hilliera, říká, že se rovná délce nejdelší cestě v daném síťovém grafu a tuto nejdelší cestu nazývá kritickou cestou. Zmiňuje také, že pokud je v grafu více stejně dlouhých, ale nejdelších, cest, všechny se počítají jako kritické.⁴⁷ Obecným pravidlem pro výpočet CPM je **pravidlo nejdřívějšího startu**.

⁴³ FRIEBELOVÁ, J. *Operační analýza*. 2009. Str. 102

⁴⁴ ZUCHOVICKIJ, S. I., RADČIKOVÁ, I. A. *Matematické metody síťové analýzy*. 1972. Str. 28

⁴⁵ DUCHOŇ B. *Inženýrská ekonomika*. 1. vyd. 2007. Str. 242

⁴⁶ KALLEY, J. E. et al. *Critical-Path Planning and Scheduling*. 1961. Str. 317

⁴⁷ HILLIER, F. S. et Lieberman G. J. *Introduction to Operations Research*. 7. vyd. 2000. Str. 476

Pravidlo říká, že nejdřívější start dané aktivity se musí rovnat nejpozdějšímu konci předchozích aktivit.⁴⁸

V grafu je také potřeba vypočítat, kdy nejpozději daná aktivita může začít. Hillier ve své knize stanovuje danou rovnici, díky které lze tyto časy vypočítat. Při počítání těchto časů zavádí pojmy, které jsou podobné termínům dle Friebelové, avšak z části se liší. Pro výpočet je potřeba vysvětlit zkratky, které se zde používají. Zkratka LS stojí za, anglicky, *latest start*, tedy nejpozdější start, a zkratka LF stojí za, anglicky, *latest finish*, tedy nejpozdější konec. Rovnice tedy zní: **LS (nejpozdější start) = LF (nejpozdější konec) – trvání dané činnosti**. Nejpozdější start dané činnosti se vypočítá tím, že se od nejpozdějšího konce této činnosti odečte trvání této činnosti. Hillier také díky daným zkratkám převádí rovnici pro výpočet LF (nejpozdějšího konce) pomocí LS (nejpozdějších startů) předcházejících aktivit. Rovnice pro výpočet LF: **LF = LS následujících aktivit**. Jinými slovy, nejpozdější konec je tedy determinován dle nejpozdějšího startu následujících aktivit, do jehož začátku se musí daná předcházející aktivita ukončit.⁴⁹

Metoda CPM pracuje nejen s časovými údaji začátků a konců, ale také s trváním aktivit (která již byla zmíněna v rovnici pro výpočet LF). Výpočty se provádějí např. v incidenční matici, v Ganttově diagramu nebo, nejčastěji, v síťovém diagramu.⁵⁰

Síť je zprvu vypočítána „dopředu“. Za každý nejdřívější možný začátek dané aktivity je připočtena délka dané aktivity a tím vzniká nejdřívější možný začátek následující aktivity. To ale neplatí v případě, že dané aktivitě předchází dvě aktivity, tedy nejdříve možný začátek se vždy počítá ten pozdější. Potom, co je celá síť vypočítána „dopředu“, následuje výpočet „dozadu“. Od Tj¹ posledního vrcholu se odečítá délka aktivit, čímž na každém vrcholu vznikají dvě čísla: nejdříve možný začátek a nejpozději možný začátek. Po výpočtu daných dvou čísel na uzlu je zjištěna rezerva, kterou daná hrana vytváří.

⁴⁸ HILLIER, F. S. et Lieberman G. J. *Introduction to Operations Research*. 7. vyd. 2000. 479.

⁴⁹ Tamtéž. Str.480.

⁵⁰ FRIEBELOVÁ, J. *Operační analýza*. 2009. Str.103.

2.1.2. METODA PERT

Metoda CPM pracuje s přesnými časy a je učiněn předpoklad, že náhodného nic není. Naopak metoda PERT používá ke každé činnosti tři **odhady** (odhad délky činnosti). Jelikož metoda kritické cesty nedokáže počítat s aspektem odhadů, je potřeba definovat metodu, na metodu CPM podobnou, PERT.⁵¹ Zkratka PERT pochází ze zkratky anglického názvu metody Program Evaluation and Review Technique. Metoda byla poprvé zavedena v článku Operational Research od autorů Malcolm a Roseboom.⁵² Metody PERT a CPM byly vyvinuty v padesátých letech minulého století.⁵³ Metody PERT a CPM pracují často s pojmem síť, jelikož jejich hrany musí být opatřeny časovým ohodnocením.

„Při použití metody PERT známe pro každou činnost pouze tři odhady doby trvání každé činnosti, ze kterých vypočítáme střední hodnotu doby trvání. U metody PERT jsou tedy jednoznačně určené termíny nahrazeny středními hodnotami náhodných veličin.“⁵⁴

Metoda PERT v projektu u dané aktivity definuje tři délky aktivity:

- **Nejpravděpodobnější odhad** (nejpravděpodobnější výsledek)
- **Optimistický odhad** (nejlepší výsledek, docílen při nejlepších podmínkách)
- **Pesimistický odhad** (nejhorší výsledek, docílen při nejhorších podmínkách)⁵⁵

Hillier stanovuje také křivku, ve které zobrazuje pravděpodobnost výsledného času aktivity vypočítaného pomocí průměrného (**m**), optimistického (**o**) a pesimistického (**p**) odhadu. Jak je na obrázku č.9 vidět, pravděpodobná délka činnosti se blíží nejvíce průměrnému odhadu a optimistický a pesimistický odhad jsou v poměrně nižším zastoupení. Graf nejen naznačuje přibližný odhad, ale díky němu také Hillier stanovuje rovnici, díky níž jde vypočítat neznámou **μ**. Veličina **μ** je výsledek sečtení **o** (optimistického odhadu), $4 * m$ (průměrného odhadu), **p** (pesimistického

⁵¹ FRIEBELOVÁ, J. *Operační Analýza*. Str. 107.

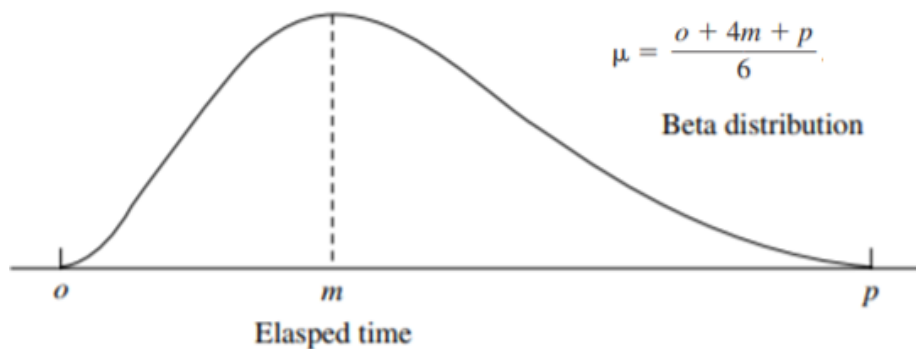
⁵² MALCOLM et al. *Operations research*. Str. 648.

⁵³ HILLIER, F. S. et Lieberman G. J. *Introduction to Operations Research*. 7. vyd. 2000. Str. 468

⁵⁴ FRIEBELOVÁ, J. *Operační analýza*. 2009. Str. 107.

⁵⁵ HILLIER, F. S. et Lieberman G. J. *Introduction to Operations Research*. 7. vyd. 2000., Str. 486.

odhadu) a následným vydělením číslem 6 (1 čas optimistický, 4 průměrné a 1 pesimistický) a tedy následným zjištěním jejich průměru.⁵⁶



Obrázek 9 – PERT, zdroj: Hillier, str. 86

2.1.3. POSTUP SÍŤOVÉ ANALÝZY

Konstrukce dané síťové analýzy není jednoduchou činností, proto při jejím zhotovení jde způsobit mnoho, často velmi drahých, chyb. Pokud více činností skončí ve stejném vrcholu, jejich následující činnost bude stejná. Důležité také je, aby žádná činnost neměla víc než jeden konečný a počáteční uzel, jinak je potřeba zavést fiktivní hrany. Délka hrany v načrtlém grafu síťové analýzy nesouvisí s její časovou hodnotou.

Analýza daného projektu, či jiného souboru činností, sestává z několika kroků, které je potřeba dodržet pro správnost postupu analýzy sítě: Před nákresem grafu je potřeba sepsat seznam činností, které se v dané analýze budou vyskytovat. K určeným činnostem je potřeba přiřadit délku trvání daných činností. Při pracování s časem je také důležité stanovit, jaké časové jednotky budou délku daného projektu popisovat (hodiny, dny, týdny, ...). Důležité je také určit, v jaké návaznosti činnosti budou probíhat a jaké jsou mezi činnostmi vazby. Například je důležité, aby každá činnost měla striktně určené, jaké předešlé činnosti jí předchází.

Po výběru činností, společně s jejich časovým a vazbovým určením, je důležité, aby byl graf správně sestaven. Sestrojení probíhá buď hranově nebo uzlově orientovaným grafem a jeho forma (ať už hranová či uzlová) musí být dodržena při realizaci celého projektu. Při složitějším projektu je dobré využít také fiktivních hran, které pomáhají lépe vizualizovat dané spojitosti.

⁵⁶ HILLIER, F. S. et Lieberman G. J. *Introduction to Operations Research*. 7. vyd. 2000., Str. 486.

Sestrojený graf již sám o sobě dokáže o projektu leccos říct, avšak metody, které graf popisují jej dokážou lépe interpretovat a využít daných informací. Například metoda CPM (metoda kritické cesty, viz podkapitola 2.1.1.), která pracuje s daným grafem a zkoumá, jaké činnosti jsou na kritické cestě nebo jaké činnosti vytvářejí časové rezervy. Následně je častým prvkem také přenesení grafu do tabulky, incidenční matice atd.

3. ŠTÍHLÁ VÝROBA

Štíhlá výroba (anglicky *Lean management* nebo jen *lean*) je, dle Womacka, který pojem poprvé zavedl, souborem praktik a metod, které identifikují a eliminují činnosti v provozu, které nepřidávají žádnou hodnotu a umožní tak procesy provádět efektivněji.⁵⁷

Vznikala dlouhá léta postupnou evolucí a každý teoretický či praktický zástupce metody ji nějakým způsobem obohatil. Mezi praktické zástupce patří např. F.W. Taylor nebo manželé Gilbertovi, k jejichž působení v 19. století patří myšlenka snížení průběžné doby výroby pomocí odstranění ztrátových časů, úspořádání výrobních procesů a jejich analýza. Nemalou kapitolou v evoluci leanu bylo také Fordovo zavedení montážních linek začátkem 20.století. V neposlední řadě také japonští výrobci (např. Toyota), kteří vynalezli metody just in time a další.⁵⁸

Mezi stěžejní autory, kteří se zasadili, o veřejnou znalost leanu patří např. spisovatelé James P. Womack, Daniel T. Jonas a další. Mezi jejich knihy, které ovlivnili veřejné mínění patří např. *The Machine That Changed the World* (1990) a *Lean Thinking* (1996), v kterých položili základy pro světovou literaturu o dané tématice.⁵⁹

K principům štíhlé výroby patří například prvky: Směřování výroby na zákazníka (ten je primární, určuje tempo a množství); Převedení činností do procesu (proces je soubor daných činností); Popis a definování činností v daném procesu výroby; Snaha o dosažení dokonalosti; Nízké náklady, prostoje, ztráty⁶⁰

Termín, který se používá nejvíce je plýtvání (anglicky waste, japonsky muda). Prvky, na které se dále metodika zaměřuje je redukce špatných výrobků, identifikace

⁵⁷ WOMACK, James P, Daniel T JONES. *Lean thinking*.2003. Str. 15.

⁵⁸ TOMEK, G. et al. *Integrované řízení výroby*. 2014. Str.66.

⁵⁹ A BRIEF HISTORY OF LEAN. Lean Enterprise Institute [online]. [cit. 2019-04-09]. Dostupné z: <http://www.lean.org/whatslean/history.cfm>

⁶⁰ SVOZILOVÁ, A. *Projektový management*. 2011. Str.32.

problémů, omezení nadprodukce, přesné načasování dopravy, snížení nadbytků a zbytečných kroků v procesech.⁶¹

3.1. METODY ŠTÍHLÉ VÝROBY

Principy štíhlé výroby jsou praktikovány pomocí metod, které se specializují na různá témata spojená s omezením ztrát ve výrobě.

3.1.1. METODA 5S

Tato metoda vznikla jako část **Toyota Production System**, což byl systém metod používaných ke zlepšení efektivnosti a kvality výroby. Metoda 5S pochází z Toyoty, ale její prvky se objevovali po celém světě. Po rozšíření v japonských firmách pokračovala dále do USA a Evropy. Metodu 5S vynalezli Sakichi Toyoda, zakladatel Toyoty, jeho syn Kiichiro a také Taiichi Ohno, významný inženýr v Toyotě. Za názvem 5S stojí pět japonských slov (korespondujících k anglickým názvům na S), která značí kroky použití metody: **Seiry** (Sort) – uklidit zbytečnosti na pracovišti; **Seiton** (Set in Order) – posloupnost práce, potřebné nástroje v danou chvíli; **Seiso** (Shine) – každý předmět má své místo, úklid; **Seiketsu** (Standardize) – standardizace, udržení; **Shitsuke** (Sustain) – kontrola.⁶²

Cílem 5S je zlepšení kvality, bezpečnosti a příjemnosti pracovního prostředí. Mezi hlavní výhody metodiky patří čistota a přehlednost prostředí, což předchází např. chybám ve skladování a celkově upravenosti pracoviště. Velkou nevýhodou je složitost zavádění (1, 2, 3S) a následně schopnost udržení (4, 5S). Pracovníci často nejsou motivováni, aby se změnil, a proto je často podpora změn pouze jednosměrná (z vedení).

⁶¹ SVOZILOVÁ, Alena. *Zlepšování podnikových procesů*. Str.34

⁶² Bright Hub PM: *History of 5S* [online]. [cit. 2019-04-04]. Dostupné z: <https://www.brighthouse.com/monitoring-projects/70488-history-of-the-5s-methodology/>

3.1.2. METODA JIT

Roser na svém webu uvádí, že metoda JIT je zkratka spojení anglických slov *JUST IN TIME*, což v překladu znamená „na čas“. Zakladatel metody byl Kiichiro Toyoda, který také vytvořil další teorie spojené se štíhlou výrobou. Teorie JIT říká, že pokud materiál odejde brzo nebo pozdě, vytvoří to buď nedostatek nebo nadbytek výrobků. Toyota během 2. sv. války měla problémy s dodávkami materiálů, proto se snažila všechen materiál včas využít.⁶³

Název JUST IN TIME stojí za logikou celé metody – např. při využití JIT při výrobě je potřeba vyrábět jen v době, kdy je to potřeba. Naopak, pokud je velká poptávka zákazníků je nejideálnější stav, kdy je materiál buď ve výrobě nebo je transportován. Dle teorie JIT je nejdůležitější pracovat včas, což jistě má logickou spojitost s šetřením podniků. Tento moderní postup výroby dokáže být velmi efektivní, pokud jej dokáže podnik správně pojmout. Podnik, který pracuje v normálním stylu (bez JIT), sice musí platit skladníky a další poplatky spojené se skladováním, avšak pokud by přišel prostoj mezi přísunem materiálů od dodavatele, dokáže aspoň část původní výroby pokračovat dál. Firma, která praktikuje metodu JIT počítá s tím, že její dodavatelé importují materiál téměř denně. Teorie se opírá jak o schopný personál, tak o snahu o minimalizování prostojů či jiných časových rezerv.

3.1.3. DALŠÍ VÝZNAMNÉ METODY

Zajímavou metodou štíhlé výroby je **Kanban**, což v japonštině znamená billboard. Metoda pochází z let 50. let 19. století, kde Taiichi Onho tzv. kanbany vymyslel, aby kontroloval procesy produkce.⁶⁴

⁶³ ROSER, Ch. *What is „Just in time“* [online]. [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <https://www.allaboutlean.com/what-is-just-in-time/>

⁶⁴ GROSS, J. M. et R. Mc Innis K.: *Kanban Made Simple*. 2003. Str 1

Kanban je karta, která slouží pro vizualizaci toku daného výrobku nebo skupiny výrobků. Pracovníci používají vizuální signály, aby věděli, jaké množství výrobků je právě ve výrobě, kolik výrobků čeká anebo kolik výrobků se připravuje. Mezi výhody také patří prostorné zobrazení problémů, čímž dokáže vedení, či jiní pracovníci, rychleji zareagovat. Wilson popisuje Kanban jako komunikační systém a také jako prostředek k pokračujícímu pokroku v podniku.⁶⁵

Další metoda, tzv. **Doba taktu** (anglicky *takt time*) označuje, jak velká je poptávka od zákazníků po daném produktu nebo dané skupině produktů. Je to podíl skutečného výrobního času a množství výrobků, které zákazník požaduje.⁶⁶

Mezi dvě důležité strategie kontroly množství řadí Wilson např. **Jidoka** a, již zmíněné, **Just in time** (JIT). Metodu Jidoka začali používat ve výrobě Toyoty od roku 1902 a snaží se kontrolu výrobních problémů. Jidoka se snaží eliminovat vadné kusy při okamžitém zjištění, aby pracovníci nemuseli ztrácet čas např. následným opracováním. Na druhou stranu, metoda Just in Time se opírá o fakt, že materiál přijde až ve chvíli, kdy je potřeba.⁶⁷

⁶⁵ WILSON, J.: *Lean Manufacturing*. 2009. Str.48

⁶⁶ LIKER, J. K. et D. P. Meier. *Toyota Way Fieldbook*. Str. 136

⁶⁷ WILSON, J.: *Lean Manufacturing*. 2009. Str. 64

II. PRAKTICKÁ ČÁST

Může se zdát, že spolu témata síťové analýzy a štíhlé výroby nesouvisí, avšak praktická část práce se zabývá tématem celé bakalářské práce, a to uplatnit síťovou analýzu ve štíhlé výrobě. Obsahem praktické části je využití terminologie a metodiky tvoření sítí a jejich následných analýz. Výpočet sítí bude převeden do prostředí štíhlé výroby, která se snaží o zlepšení výrobních procesů. Teorie štíhlé výroby, jako např. JIT nebo 5S, mimo jiné, zdůrazňují, že je velmi důležité, aby produkty byly vyráběny v pravý okamžik. Důležitost načasování lze, teoreticky, vizualizovat pomocí síťové analýzy.

Prvním úkolem v praktické části bude sestrojení hodinového cyklu výroby, tedy obsahu práce jednoho člověka na jednu hodinu. V první části bude využita teorie grafů, jež byla popsána v první kapitole teoretické práce. Následně budou sestrojeny dvě nesprávné sítě, jež budou dokazovat, že síť první je uskutečněna správně.

Druhým úkolem praktického zkoumání práce bude transformace základní sítě na tři možnosti, tedy nejpravděpodobnějšího, nejhoršího a nejlepšího možného výsledku. Cílem této části je dokázání, pomocí grafů, jak moc může výslednou výrobu firmy může ovlivnit výkon jednoho pracovníka.

Následující část praktické části se zaměřuje na metodiku CPM, která ukazuje, které činnosti jsou v souboru činností kritické, tedy na které je kladen největší důraz, co se týče dochvilnosti. Výsledek CPM má zodpovědět, jak důležitá je kvalifikovanost a rychlost pracovníka.

Neméně důležitý je také výpočet PERT, který ukazuje, jaké budou nejpravděpodobnější výsledky práce zaměstnanců a tím zodpovídá, jak dané odhady můžou ovlivnit ekonomický výsledek daného podniku.

Metody, které budou sloužit k výpočtu budou mít za úkol zjistit časové a nákladové poměry při práci jednoho zaměstnance – výsledné informace bude moci uplatnit například při aplikaci metody JIT, Takt time atd.

4. Vizualizace hodinového cyklu výroby

Vizualizován bude provoz v dané, pomyslné, firmě, jejíž počítané jednotky byly stvořeny pomocí porovnání s jednotkami skutečných, nejmenovaných, firem v daném oboru. Pro výpočet práce stačí říct, že je to střední firma vyrábějící díly do různých strojů či dopravních prostředků. Materiál, který je používán na výrobu je kov, proto bude práce prováděna na stroji CNC. Výrobky nejsou příliš velké, proto jejich výroba netrvá dlouho. Za dané časy bylo zpracováno více než jeden výrobek, avšak počty budou uvedeny pouze v sadách, pro poměrový výpočet a porovnání.

Pro výpočet analýzy bude vytvořena pomyslná pracovní pozice strojníka – člověka, co pracuje s daným výrobním strojem CNC. Smyšlené pracoviště bude částí větší výrobní haly, jež bude obsahovat více pracovišť podobného druhu. Pracovník bude obsluhovat dva stroje, které dokážou pracovat zároveň. Tyto dva používané stroje stojí vedle sebe, takže přechod mezi těmito dvěma stroji je zanedbatelný z pohledu času.

Úkolem strojníka bude vyrobit co nejvíce výrobků na obou strojích za danou dobu. Primárním prvkem výpočtů bude „hodinový“ cyklus, který trvá přes 1 hodinu (mírně rozdílné dle grafu). Cyklus byl určen na trvání hodinu plus pár minut navíc, aby se dalo počítat s obědovou přestávkou či úklidem pracovníka. V případě výpočtu přesného hodinové cyklu by bylo potřeba se limitovat na max. 60 časových jednotek a sítě by byly úplně pozměněny. Pracovní doba bude určena na necelých 8 hodin, tedy sedm opakování cyklu, který trvá přes hodinu. **Časové jednotky pro dané sítě budou minuty.**

Mezi aktivity, které bude daný pracovník dělat, patří vložení výrobku A, jeho vyndání, pak také vložení a vyndání výrobku B. Při výrobě – opracování materiálu strojem CNC – pracovník nemusí pracovat na výrobku sám – kov opracovává stroj, proto má při čekání čas na něco jiného. Z faktu, že má pracovník čas, se odvíjí celý výpočet, protože se snaží najít ideální postup výroby. Jinými slovy, je možné uvažovat paralelní činnosti.

Co se týče výnosnosti aktivit, aktivita A trvá 20% délky aktivity B, takže výnosnost aktivit lze vyjádřit pouze poměrově a jejich skutečná cena, dle firmy, která poskytla data, nemůže být zveřejněna.

Prvním příkladem bude dokázáno, že je vizualizace dělána správně a následně budou sítě vizualizovány nesprávně. Pomocí porovnání správných a nesprávných sítí bude vyobrazena logika metodiky, se kterou bude nadále pracováno.

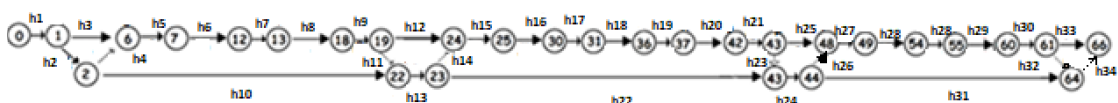
Síť 1 – základní

Primárním grafem pro výpočet bude hranově orientovaná, acyklická, orientovaná Síť 1, která je základním zobrazením výroby, bez jakékoliv úpravy pro zrychlení výroby či ztráty časových rezerv. Pro prvotní zobrazení časů na pracovišti bude pracováno s průměrnými časy.

Síť 1 obsahuje pět aktivit. $h_1, h_2 \dots$ jsou aktivity a v_A, v_B, \dots jsou jejich vrcholy. První aktivita je vsazení výrobku A, která trvá 1 minutu, druhá aktivita je vsazení výrobku B, která trvá 1 minutu, třetí aktivita je výroba výrobku A – C, která trvá 5 minut, čtvrtá aktivita je výroba výrobku B – D, která trvá 20 minut. Práce bude uspořádána v pořadí, aby byly minimalizovány časové rezervy. Cyklus bude stanoven na 1h a 5 minut.

Pracovník dělá práci A, B a kontrolu a CNC stroj provádí aktivity C a D. Každá síť bude následně převedena do statistik, kolik výrobků bylo vyrobeno, v čem je/není síť specifická a proč byla sestrojena. V síti je vrchní cesta (hrany h_1 až h_{33}) vizualizací výroby výrobku A a dolní cesta (h_{10} až h_{31}) je vizualizací výroby výrobku B.

Hodinový cyklus, zobrazen na Síti 1, trvá 66 minut, tedy 1h a 6 minut. Celý cyklus začíná vsazením výrobku A – aktivita A, poté pokračuje vsazením výrobku B – aktivita B atd. Za, přibližně, hodinový cyklus – kterých pracovník stihne za pracovní den



Obrázek 10 - Síť 1, vlastní tvorba

7 – by měl stihnout vyrobit 11 výrobků A a 3 výrobky B.

Teoreticky, po třetí výrobě B (h31), by mělo následovat další vsazení, avšak pro porovnání hodinových cyklů je nynější stav vyhovující. Pokud by byla síť převedena do osmihodinového celku (pokud by se pouze nynější síť roznásobila sedmkrát), její čas by byl ideální, jelikož by vytvořil 7 výrobních cyklů. Celkový čas by byl $7 * 1\text{h} + 6\text{ minut}$, tedy 7h a 42minut, což je „maximum“, jelikož další 20 minut dlouhý výrobní cyklus B by nešlo stihnout a musí být uváženo, že pracovník potřebuje nějaký čas na přípravu práce či následný úklid (tyto aspekty budou zanedbány).

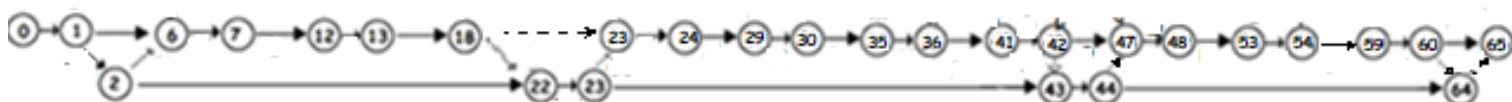
Jakým způsobem ale lze dokázat, že je Síť 1 zpracována správně? Je možné ji, částečně, pozměnit a vypočítat, kolik by byl výsledný čas (nebo kolik by se stihlo vyrobit kusů za daný čas) po malé úpravě.

Pokud je dána hrana **h11**, která musí být započata v bodě h (19 minut), musí být do toho vrcholu splněny všechny předešlé aktivity, které teoreticky všechny tvoří fiktivní hrany do tohoto bodu. Délka fiktivní hrany **h11** – časová rezerva – jsou 3 minuty. Stejný princip také platí pro hranu **h23**, která musí začínat ve 43 minutách, jsou zde teoreticky fiktivní hrany z předešlých aktivit. Délka fiktivní hrany **h23** – časová rezerva – je 0 čas. jednotek, což znamená, že zde žádná čas. rezerva vytvořena není. Další fiktivní hrana – hrana **h32** musí začínat v čase 61 čas. jednotek a zastupuje zbylé fiktivní hrany.

Je možné, že byla první síť sestrojena nesprávně, a proto následující síť budou alternativou první sítě, avšak budou mírně upraveny. Síť 1 počítala s tím, že vzniknou fiktivní hrany **h11**, **h23** a **h32**. Je však možné, že fiktivní hrany byly uvedeny špatně a celá síť se tím posunula, a to síť prodloužilo. Pokud by se tak stalo, síť by byla označena jako chybná a nebylo by s ní možné pracovat nadále. Následující výpočty budou důkazem, že metodika fiktivních hran v Síti 1 byla správná.

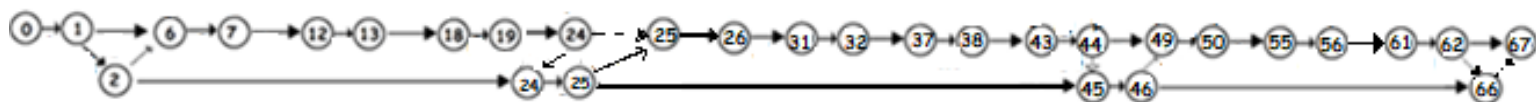
Sítě 2 a 3 – upravená Síť 1

Síť 2 je alternativním vývojem Sítě 1, kdy fiktivní hrana vyšla již v čase 18. Průběh pracovního cyklu se vyvíjel poměrně podobně, avšak výsledek byl horší. Výrobků A bylo vyrobeno 10 (o 1 méně než napoprvé) a 3 výrobky B. Výsledný čas byl o minutu menší – 65 minut, avšak pokud by mělo být vyrobeno stejně výrobků jako v Síti 1, cyklus by se prodloužil na 71 minut ($65+A+B$ aktivity). Naopak, jedna rezerva zanikla. Rezerva C4 se prodloužila z původních 0 minut na 1 minutu. Jako pozitivum může být viděno, že rezerva **h11** proběhla v čase 18-22, tedy trvala 4 minuty. Také rezerva **h26** se zkrátila ze 4 na 3 minuty. Celkově bylo vytvořeno rezervy 16 minut, což je srovnatelné s první sítí.



Obrázek 11 - Síť 2, vlastní tvorba

Síť 3 je dalším alternativním vývojem Sítě 1. Logika věci je již prvním výpočtem špatná, jelikož by pracovník v čase 18-19 musel čekat až na čas 24, kdy skončí činnost **h12**. Mezitím by druhý stroj musel od 22 čekat buď do 24, čímž by se vytvořil prostoj nebo dokonce do 25. Každopádně, síť bude počítat s tím, že pracovník se rozhodl první provést aktivitu B a poté A, jelikož výroba výrobku B je přednější a výnosnější.



Obrázek 12 - Síť 3, vlastní tvorba

Jak již z grafu vyplývá, čekání ovlivnilo všechny zbylé činnosti. Výrobků A bylo vyrobeno 11 a výrobků B 3, což znamená, že výroba nijak nebyla přerušena. Pokud by se pracovník rozhodl pro upřednostnění aktivity D před C, provoz by kromě finálního času 67 (jen o 1 větší než originál) by byl nedotčen. Rozdíl je ale ve skutečných časech, kdy rezervy C2-C6 jsou změněny: 0 (původně 3), 0 (původně 1), 1 (stejně), 3 (původně

5. Průměrný, minimální, maximální odhad

Další využití síťové analýzy, ve směru štíhlé výroby v dané situaci, může být například obměna časových informací o daných činnostech. Aktivitě již nadále sice budou mít přesný čas, avšak bude porovnávat práci třech pracovníků při různé situaci. Jediné věci, které od sebe budou odlišovat tyto tři pracovníky budou délka vsazení (aktivity A,B) a délka výroby (aktivity C, D). Pomocí jednoduché transformace grafu bude dokázáno, jak velké, tak malé, změny může vyvolat.

Výpočet bude využívat třech rozdílných grafů, pomocí jejichž obsahu bude dokázáno, jakou roli hrají schopnosti a možnosti ve výsledku. Aktivitě budou použity pro tři pracovníky a následně budou vytvořeny grafy, které dokazují, jak moc se výsledný čas a výroba můžou změnit. Aktivitě bude provádět A) člověk průměrný, s průměrným strojem, jehož výsledky korespondují s úvodním grafem, tedy nejsou čímkoliv rozdílné. Druhý člověk, varianta B), bude osoba, která je kvalifikovaná a pracuje se strojem, který je ve 100% stavu a doba vsazení (v_A, v_B) je znatelně nižší díky jeho zkušenostem a schopnostem. Poslední člověk, tedy varianta C), je nováček, jež ani zdaleka nedosahuje průměrných hodnot. Nejen vsazení, ale také samostatná výroba, trvá o mnoho déle, jelikož schopnosti dobře pracovat zatím nejsou ovládnuty.



Obrázek 14 - kopie Síť 1, vlastní tvorba

Aktivita C, D budou trvat nejrychleji 0,5 minut, maximálně 1,5 minut a nejpravděpodobněji bude trvat 1 minutu. Výroba A bude trvat nejrychleji 4 minuty, maximálně 6 minut a nejpravděpodobnější čas bude 5 minut. Výroba B bude trvat nejrychleji 18 minut a maximálně 22 minut. Práce je prováděna průměrným zaměstnancem a stroj provádí aktivity za průměrný čas. Aktivita A,B trvají 1 minut, A

trvá 5 minut a B trvá 5 minut. Tato síť se již objevila v úvodu praktické části – průměrná délka – a následující dvě sítě budou upravenou variantou sítě první.

Za 66 časových jednotek stihl průměrný zaměstnanec vyrobit 11 A a 3 B výrobků. Za 66 čas. jednotek pracovník celkově čekal na práci 49 minut, což je poněkud vysoké číslo. Rychlost práce vytvořila 15 minut rezerv. Po zjištění vysokého čísla čekání na práci je možné spočítat, jak by práci ovlivnilo zrychlení či zpomalení aktivit. Dané výpočty jsou pro firmu důležité, aby zjistila, je-li potřebné zavádět další činnost pro pracovníka. Činnost by byla přidána za předpokladu, že by měl spoustu času navíc - čas v rezervě.

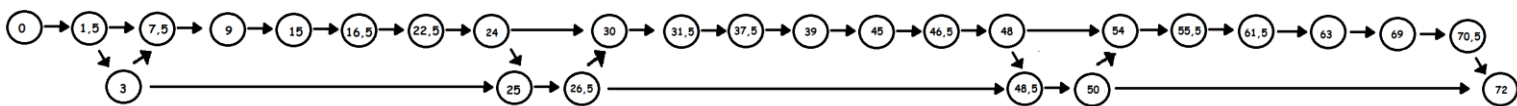
Druhá síť (obrázek 14) bude pracovat s hypotézou, že pracující strojník je člověk zkušený a stroj je v naprostém pořádku, což znamená, že činnost A a B trvá 0,5 minut, zatímco C trvá 4 minut a aktivita D trvá 18 minut.



Obrázek 15 - Síť 4, optimistická

Za 63 minut by dokázal stihnout nadprůměrný pracovník při nadprůměrné rychlosti výroby 14A a 3B. Pracovník na práci čekal 54,5 minut, což je oproti prvnímu grafu více, avšak pracovník stihl vyrobit o 3 výrobky A více za poměrně stejný čas (dokonce o 3 minuty kratší).

Třetí síť (obrázek 15) bude pracovat s hypotézou, že pracující strojník je člověk nezkušený a stroj je špatně seřízený, což znamená, že aktivity A a B trvají 1,5 minuty, aktivita C trvá 6 minut a aktivita D trvá 22 minut.



Obrázek 16 - Síť 5, pesimistická

Třetí, podprůměrný, cyklus ukázal, jak důležité je, aby byly stroje správně nastaveny. Limit „hodinového cyklu“ je, přibližně 66 čas. jednotek (minut), aby pracovník stihl 8 cyklů za pracovní den. Pracovník se nepřiblížil hodinovému cyklu ani zdaleka. První varianta je ukončení za 54 minut – strojník udělal 7 výrobků A a 2 výrobky B. Pokud by bylo podmínkou stihnout vyrobit 3 výrobky B, výroba by trvala 72

minut a A výrobků by bylo 9. Za každé situace, tenhle výkon je v poměru s původním grafem velmi špatný.

Všechny tři sítě ukázaly, že pracovník má dost času při čekání na výrobu A a B. Není však psané, potřebuje-li pracovník aspoň stát u CNC strojů a dohlížet, čímž by byly následné spekulace neupodstatnělé. Potvrzená byla také informace, že je při tomto procesu nutné dodržovat udané časy a fungovat v předem daných limitech, protože jinak jsou výsledky opodstatněně rozdílné.

6. Porovnání získaných informací

Po výpočtu třech variant možného hodinového průběhu cyklu výroby je možné, aby výsledky sítí byly převedeny do hodinových, nebo denních, výsledků (poté i rozdílů) a tím bylo stanoveno, jak velký vliv má zrychlení/zpomalení aktivit. Pro výpočet přibližného rozdílu ztráty bude dosazena mzda průměrného strojníka pro ČR. Web „platy.cz“ říká, že průměrná hrubá mzda pro strojníka aktuálně (za duben 2019) činí 28 180 Kč.⁶⁸ Průměrný pracovník u stroje pracuje 8 hodin denně pětkrát v týdnu, což znamená 40 pracovních hodin týdně. Měsíčně odpracuje, v průměru, 21 dní. Po výpočtu vychází, že firma zaplatí denně (8 hodin práce) za strojníka přibližně 1341 Kč, pokud není brán zřetel na vedlejší zaměstnanecké benefity, daň atd. Náklady na zaměstnance tedy činí 167kč/hod práce, což je přibližně 2,8 Kč/minutu pracovní doby. Následná tabulka bude ukazovat, jak dané grafy dopadly, aby jejich výsledky šlo lépe porovnat.

Tabulka 2 - porovnání činností

Pracovník	Délky činností	Výsledný čas	Počet výrobků
Průměrný pracovník	A, B 1; C 5; D 20	66 minut	11A, 3B
Nadprůměrný	A, B 0,5; C 4; D 18	63 minut	14A, 3B
Podprůměrný, A	A, B 1,5; C 6; D 22	54 minut	7A, 2B

⁶⁸ Platy.cz: *Strojník* [online]. [cit. 2019-04-05]. Dostupné z: <https://www.platy.cz/platy/stavebnictvi-a-reality/strojnik>

Podprůměrný, B	vA, vB 1,5; A 6; B 22	72 minut	9A, 3B
----------------	-----------------------	----------	--------

Porovnání ukazuje, že, například, nadprůměrné podmínky člověka dokážou práci urychlit (o 3 minuty), avšak, co je důležitější, pracovník by za danou dobu stihl vyrobit 14 místo 11 výrobků (což je přes 25% nárůst). Za dané situace by šlo, teoreticky říct, že by v 74 minutě dokázal vyrobit 4B výrobky a 17A výrobků. V porovnání s podprůměrným pracovníkem, který by za danou dobu stihl vyrobit pouze 9A a 3B, je rozdíl velký. Procentuální rozdíl, v porovnání nadprůměrného a podprůměrného pracovníka, v čase přibližně 74 minut činí: Nadprůměrný pracovník by vyrobil o 90% víc A výrobků (8) a o 33% více B výrobků (1). Nejen procentuální, ale také finanční rozdílnost je důvod, proč je potřeba sítovou analýzu provádět.

Za osmihodinovou směnu pracovník stihne 7, maximálně 68 minut dlouhých, časových cyklů. Úkolem následujících výpočtů bude dokázat, jak moc se finální výdělek podniku může lišit v závislosti na výkonu daného člověka. Pro výpočet bude uveden pouze parametr lidského výkonu, avšak aby výpočet byl úplný, byly by dosazeny i rozdílné skutečnosti (cena provozu stroje atd.)

Při počítání s průměrným výdělkem 167kč/hod (2,8kč/min) by firma zaplatila za den v průměru za dané výrobky následně:

Tabulka 3 - vlastní tvorba

Pracovník	Výrobků A	Výrobků B	Sazba/8 hodin
Průměrný	88	24	1336 kč
Nadprůměrný	112	24	1336 kč
Podprůměrný	60	20	1336 kč

Po přenesení na měsíční náklady by firma, stejně placenému, pracovníkovi zaplatila za 21 dní – 1 pracovní měsíc – následně:

Tabulka 4 - vlastní tvorba

Pracovník	Výrobků A	Výrobků B	Sazba/8 hodin
Průměrný	1848	504	28 180 Kč
Nadprůměrný	2352	504	28 180 Kč
Podprůměrný	1260	420	28 180 Kč

Pokud by mzda práce průměrného pracovníka brána jako základ, za stejné náklady na zaměstnance (tedy za 28 180 Kč/měsíc) by nadprůměrný pracovník stihl vyrobit o přibližně 28 % víc výrobků A. Jelikož je bráno v potaz, že výrobků B stihl stejně znamená to, že nadmíra je jen poloviční (jen díky výrobkům A). Nadprůměrný pracovník by v poměru, za dobrých podmínek, díky zrychlení činnosti vyrobil, v průměru dvou aktivit, o 14 % víc výrobků celkově.

Naopak, pokud by byla brána mzda průměrného pracovníka a jeho náklady by byly převedeny na podprůměrného pracovníka, stihl by udělat přibližně o 32 % výrobků A méně. Průměrný pracovník by za dané hodinové (mzdové) náklady stihl vyrobit o 17 % výrobků B méně. V průměru dvou aktivit by pracovník B vyrobil o 24,5 % méně než pracovník průměrný.

Analýza grafů nadprůměrných, průměrných a podprůměrných výsledků ukázala, že zrychlení činností pomocí správnosti práce a seřizenosti stroje by celkové výsledky zlepšila o 14 % a pracovník nezkušený, s neseřazeným strojem, by měl o 24,5 % horší výsledky.

Výsledek lze také využít, aby bylo vypočítáno, kolik by skutečně firma měla pracovníkovi platit za dané výsledky. V této situaci je potřebné zdůraznit, že podprůměrný čas aktivity A a B pracovník zavinuje sám, jelikož si správně neseřídí stroj.

Pokud by se o správnost běhu stroje starala pouze firma, tento výpočet by byl nemístný.

Průměrný pracovník za odvedenou práci dostává 167kč/hod, což by při poměru daných výsledků znamenalo možný pohyb s mzdou daných pracovníků: Podprůměrný pracovník měl o 24, 5 % horší výsledky, což znamená že hodinová mzda by měla být pouze, přibližně, 126 kč/hod, aby firma hradila náklady lidských zdrojů na daný výrobek stejně jako při jeho průměrných výsledcích. Nadprůměrný pracovník měl o 14% lepší výsledky, čímž by se měla hodinová mzda, v přímé úměře, zvýšit na, přibližně, 190 kč/hod.

Pokud by chtěla firma zjistit, kolik ročně, měsíčně a denně přichází o financí díky špatně proškolenému nebo kolik financí šetří průměrným placením nadprůměrného pracovníka, výpočet zní následě:

Průměrný pracovník: dostává 1336 Kč za den, 28 180 Kč za měsíc, výkon na 100 %

Podprůměrný pracovník: výkon na 75,5 % = měsíční ztráta oproti průměrnému pracovníkovi činí 24, 5 % = 6 904 Kč

Naprůměrný pracovník: výkon na 114 % = měsíční zisk navíc oproti průměrnému pracovníkovi činí 14 % = 3 945 Kč

Po přepočtu na roky, kdy každý pracovník má mzdu 28 180 Kč za měsíc a 338 160 Kč za rok, vychází následné hodnoty:

Tabulka 5 - vlastní výroba

Pracovník	Výkon	Zisk/Ztráta
Průměrný	100 %	-
Podprůměrný	75,5 %	- 82 849 Kč
Nadprůměrný	114 %	+ 47 342 Kč

Z výpočtů vychází fakt, že při zaměstnání podprůměrného pracovníka společnost může přijít o 82 849 Kč, což je v přepočtu téměř 3 měsíce vyplacené mzdy. Na druhou stranu, pokud by byl zaměstnán pracovník nadprůměrný, svými výkony by dokázal společnosti ušetřit 47 342 Kč, což je v přepočtu přes 1,5 měsíce vyplacené mzdy.

Dané hodnoty nabízejí několik možností pro daný podnik:

- A) Dát zaměstnanci měsíční výdělek založený na úkolové výměře
- B) Proškolit zaměstnance z podprůměrných na průměrné nebo dokonce na nadprůměrné
- C) Zacílit nábořem spíše na zaměstnance zkušené, jejichž výkony jsou nadprůměrné, avšak jejich platové hodnocení musí být patřičně vyšší
- D) Snížit hodinovou mzdu a snížit nároky na průměrného zaměstnance

Jak již z myšlenky řešení vyplývá, řešení čtvrté – snižování – je špatným řešením, jelikož zaměstnanec, který by dokázal vyrábět průměrně a spokojil by se s nižší mzdou by firmu vyšel nevýhodně. Metoda je také špatná, protože by snižovala celkovou výrobu firmy, pokud by firma neinvestovala do dalších strojů a nových zaměstnanců. Zvýšení počtu zaměstnanců je také spojeno s dalšími, nepřímými, náklady – např. více personalistů, více manažerů atd.

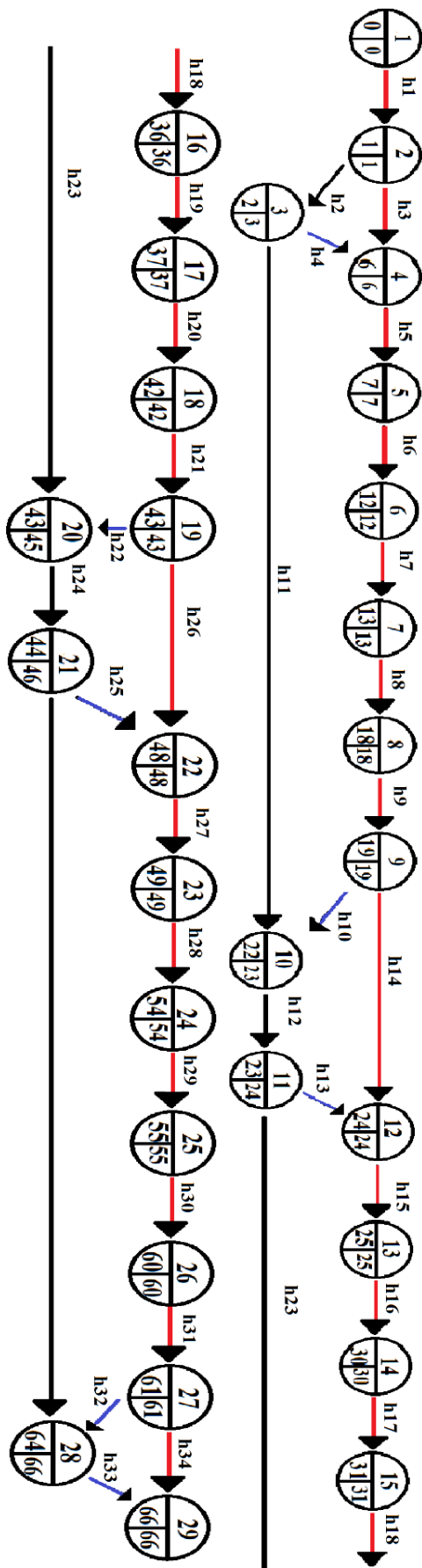
Dalším aspektem je také pozice na trhu. Firma, která snižuje svoji výrobu a omezuje prodej, bez toho, aby byla nucena trhem, dává najevo, že slábne. Slábnutí firmy s upevněnou pozicí na trhu dává jasně najevo, že její konkurenti (ať už stálí, potenciální či substituční) mají možnost vyplnit mezeru na trhu. Naopak, pokud by firma zvýšila prodej a snažila by se o expanzi, její jméno by na trhu rostlo a poptávka by se, teoreticky mohla zvýšit, čímž by expanze firmy byla užitečná. Jistým úskalím je zde ale také skutečnost, že firma musí počítat s růstem poptávky, tedy přijímat více pracovníků a budovat více strojů – větší náklady na provoz.

7. CPM A PERT

Metoda CPM

V teoretické části práce bylo pracováno s pojmem CPM – metodou kritické cesty, která bude nyní uplatněna. Následující síť bude vytvořena pro výpočet kritické cesty. Pomocí metody budou určeny aktivity, které mají nejmenší rezervu a tím se najde kritická cesta. Kritická cesta bude důležitá pro pracovníka, aby věděl, na jaké aktivity se má soustředit. Aktivity, které leží na kritické cestě jsou rizikové – mají nejmenší rezervy.

Následný graf je vytvořen pro výpočet metody CPM. Časy vlevo v daných vrcholech reprezentují nejdřívejší možný start, kdy daná aktivita může začít, a čas vpravo jejich nejpozději únosný začátek. Černé hrany reprezentují normální aktivity a modré hrany reprezentují fiktivní hrany. Rudé hrany budou reprezentovat CP – Kritickou cestu.



Obrázek 17 - CPM, vlastní tvorba

Kritická cesta, cesta s nejmenšími rezervami (a zároveň nejdelší cesta), může být popsána pomocí hran, kterými prochází. Jsou to kritické hrany:

h1 → h3 → h5 → h6 → h7 → h8 → h13 → h14 → h15 → h16 → h17 → h18 → h19 →
h20 → h25 → h26 → h27 → h28 → h29 → h31 → h34

Kritická cesta lze udat také vrcholy, kterými prochází, tedy:

1 → 2 → 4 → 5 → 6 → 7 → 8 → 9 → 12 → 13 → 14 → 14 → 15 → 16 → 17 → 18 → 19
→ 22 → 23 → 24 → 25 → 26 → 27 → 29

Hrany, které se nenachází na kritické cestě jsou: h2, h4, h9, h10, h11, h12, h21, h22, h23, h24, h32 a h33. Vrcholy, které nejsou na kritické cestě, jsou: 10, 11, 20, 21, 28.

Kritická cesta grafu hodinové práce – hodinového cyklu – výroby pracovníka zjistila, že většina aktivit se nachází na kritické cestě, což hodně značí o dané aktivitě. To, že je celá cesta 1 – 29 (kromě 10, 11, 20, 21, 28) kritická znamená, že je velmi důležité, aby se pracovník zaměřil na dochvilnost vsazení výrobků (hlavně aktivity vA). V převedení na praxi to znamená, že by měl pracovník dodržovat přesné časy vsazení a mít správně seřízený stroj, který by měl fungovat na 100% výkon.

Pokud by šlo, teoreticky, počítat s možností, že by byla daná analýza a její výsledky převedeny na provedení projektu, a ne skutečné práce, nejspíš by daný projekt ani nevznikl. Analýza obsahuje závislé časové rezervy, jejichž čerpáním by byl projekt uveden do kritické cesty nebo zpomalen celý. Práce jednoho člověka není tak riziková jako, například, projekt, kde dokáže selhat, nebo se zdržet, více věcí než jen jeden pracovník a jeden stroj.

Metoda PERT

Dalším využitím analýzy na zkoumání nákladů na lidské zdroje je využití metody PERT. Jak již teoretická část popisovala, metoda PERT počítá s více než jedním časovým údajem. Práce člověka, obdobně jako výroba stroje, vždy nefunguje přesně podle definovaných průměrů, proto je zde možnost variability a odhadů.

Pokud by bylo potřebné zjistit, kolik by daná firma měla platit zaměstnanci, lze aplikovat metodu PERT. Metoda zjistí, pomocí uvedených časů, jak moc by se měla mzda lišit od současné mzdy, jež je uvedena jako 167 Kč/hod.

Jelikož metoda PERT stanovuje nejpravděpodobnější časy, je potřeba si dosadit rozdílná čísla, jelikož čísla minimální a maximální délky činnosti jsou rozdílná od průměrné délky činnosti stejně. Pro výpočet PERT budou dosazeny následná čísla:

Délky trvání činnosti A, B: $o = 0,75$; $m = 1$; $p = 1,5$

Délka trvání činnosti C: $o = 3,5$; $m = 5$; $p = 7$

Délka trvání činnosti D: $o = 17$; $m = 20$; $p = 25$

Rovnice využívá optimistického odhadu (o), pesimistického odhadu (p) a nejpravděpodobnějšího odhadu (m) k výpočtu nejpravděpodobnější délky dané činnosti (μ).

Pro μ aktivit A, B platí: $(0,75 + 4 \cdot 1 + 1,5) / 6 \doteq 1,04$ minut

Pro μ aktivity C platí: $(3,5 + 4 \cdot 5 + 7) / 6 \doteq 5,08$ minut

Pro μ aktivity D platí: $(17 + 4 \cdot 20 + 25) / 6 \doteq 20,33$ minut

Z výpočtů vyplývá, že délka průměrné aktivity A a B je nepatrně vyšší než délka nejpravděpodobnější aktivity (o 4 %), délka průměrné aktivity C se navýšila o zanedbatelné množství (1,6 %) a délka průměrné aktivity D se, oproti nejpravděpodobnějšímu odhadu, zvýšila také nepatrně (1,65 %).

Výpočtem bylo zjištěno, že byl nejpravděpodobnější odhad délky činností blízký jejich průměru, což znamená že odchylka nijak zásadně neovlivnila analyzovaný soubor činností. Pokud by se výroba zdržela, vzniklo by zpoždění, je pravděpodobnější, že zdržení bude vytvořeno právě díky aktivitám A, B (vlození výrobků A, B), jelikož nadrámec je o více než 100 % vyšší než u aktivit C a D. Průměrná délka všech tří aktivit je, v průměru, o 2,4 % vyšší než její nejpravděpodobnější. Za předpokladu, že by si firma zaměstnance chtěla udržet, měla by jeho plat buď nechat stejný nebo ho nepatrně snížit – o daná 2,4 %. Mzda, která by odpovídala daným skutečnostem, by byla přibližně, 163 Kč.

Spojením metod Sítí, a Síťové analýzy, se Štíhlou výrobou může vzniklo grafické zobrazení pracovního výkonu zkoumaného pracovníka. Pomocí metody PERT byla nalezena kritická cesta, která se

Závěr

Účelem bakalářské práce bylo přiblížení témat štíhlé výroby a síťové analýzy a jejich společné využití při analýze daných sítí.

Cílem celé bakalářské práce bylo popsat dvě, na první pohled vzdálená, témata a v praktické části, pomocí výpočtů síťové analýzy, zjistit, jaké výsledky dané spojení přináší uvedeným oborům. Cíle byly splněny a zjištěné výsledky byly vytvořeny pomocí metod CPM, PERT, jednoduchých síťových grafů a Ganttova diagramu.

Cílem teoretické části práce bylo přiblížit téma grafů, jež je úzce spojené s tématem práce, síťovou analýzou. Pomocí odborné literatury byly uvedeny termíny, které jsou užitečné pro popis grafů a jejich následné analýzy. Cíl teoretické části byl naplněn pomocí prvních třech kapitol, které, většinu v teoretické rovině, popisují témata grafů, síťové analýzy a následně, téma poněkud vzdálené, štíhlé výroby.

Praktická část si kladla za cíl využít metody, které byly stanoveny v teoretické části – metoda CPM, PERT, jednoduché sítě a Ganttův diagram. Pomocí metod vznikly výsledky, které udávají, jak má firma kooperovat se zaměstnancem a časy, jež má určené pro svoji práci. Výsledky, které vzešly z praktické části, jsou poněkud jednosměrné – hlavním důvod analýzy bylo ohodnocení časů a finančních nákladů na dané úkony.

Metodami, v praktické části práce, bylo zjištěno, že nadprůměrný pracovník (čili nadprůměrně dobré podmínky – rychlost práce, seřízení stroje) dokáže zvýšit efektivitu svojí práce až, v průměru, o 14 %. Základní mzda pro pracovníka byla stanovena dle informací, dle webu Platy, na 28 180 Kč. Jinší faktory, jako cena elektřiny, pojištění atd. nyní nehrají žádnou roli. Procentuální sazba, při převodu na roční výdělek, zjistila, že firma dokáže ušetřit až 47 342 Kč ročně na hrubé mzdě jednoho pracovníka. Na druhou stranu, pokud jsou výkony pracovníka podprůměrné, jeho efektivita klesla o 24,5 %, což firmě přineslo roční ztrátu, na mzdě, až 82 849 Kč.

Metoda CPM identifikovala kritickou cestu, vytváří malou rezervu, proto by se na aktivity na kritické cestě měl pracovník zaměřit. Výpočet činností pomocí metody

PERT objasnil, že průměrná délka činností je srovnatelná s délkou nejpravděpodobnějšího trvání činností, čímž dokázal, že časové určení pesimistického, nejpravděpodobnějšího a optimistického času byly určeny, relativně správně.

Data získaná z praktické práce lze, teoreticky, použít pro výpočet problémovosti daných aktivit, pro popis a analýzu daného člověka. Díky zjištění, že pracovník má spoustu nevyužitého času, může podnik navrhnout, aby mu byla přidána další činnost nebo jiné východisko.

Možným rozšířením práce, např. pro účely soukromého nebo akademického využití, by bylo uvést více nákladů a uvést přesnou cenu výrobků, aby bylo stanoveno, kolik přesně firma získává danou činností a jak činnosti lze vylepšit či analyzovat. Zajímavé rozšíření tématu by mohlo být také zohlednění metod 5S, a jiných, při výpočtu síťové analýzy, jelikož analýza hlavně kooperuje s metodou JIT.

Summary

The main purpose of this bachelor thesis was to describe the topic of network analysis and its usage in lean management. Important question of theoretical part of the thesis was: What is network analysis, lean management and what are their methods? And, on the other hand, the question of practical part, that needed to be answered, was: How does the network analysis connect with lean management? How people can use the calculated results with connection of, mainly, topic of JIT.

To complete the goals, that were set in introduction, it was needed to describe the topic networks and graphs. Topic of the theoretical part was, at the beginning, to describe the graphs, networks and used terms. Following topic of the thesis was to clarify, how described methods of network analysis are calculated and what are their results. After that, it was necessary to describe the lean management and its methods to reduce the production costs of a company. The methods that were described there are 5S, JIT (Just in Time), Kanban and others.

The theoretical part of this bachelor thesis was mainly formed because of the important books of the accredited authors like F. Hillier with his book Introduction to Operations Research and other, no less important, czech and world authors. Also, it was necessary to use some web sources to provide the actual informations.

After the description of these, not so commonly connected, topics follows the practical part. The practical part of this bachelor thesis describes the usage of graphs and networks and it's conjunction with the thoughts and assumptions of lean management. The practical part was dealing with the realisation of network with the connection to lean manufacturing. There were used methods of CPM and PERT. Also, the network was realised with the usage of Gantt chart with the program Microsoft Excel.

The questions that were asked on the beginning were answered, and besides, the main goal of the bachelor thesis was achieved.

Seznam pramenů a literatury

CADLE, J. a D. Yeates. *Project Management for Information Systems*. 5. vyd. Harlow: Pearson. 2008. ISBN 978-0-13-206858-1

CHRISTENSEN, E. *How to Create a Work Breakdown Structure and Why You should*. In: Lucidchart.com [online]. Lucid Software, Inc. [cit. 2020-05-05]. Dostupné z: <https://www.lucidchart.com/blog/how-to-create-a-work-breakdown-structure-and-why-you-should>

DEMEL, J. *Grafy a jejich aplikace*. Praha: Academia, 2002. ISBN 80-200-0990-6

DEMEL, J. *Operační výzkum*. [online]. [cit. 2019-04-08]. <https://kix.fsv.cvut.cz/~demel/ped/ov/ov110215.pdf>

DOLEŽAL, J. a kol. *Projektový management*. Praha: Grada, 2016. ISBN 978-80-247-5620-2

DUCHOŇ B. *Inženýrská ekonomika*. 1. vyd. Praha: C. H. Beck, 2007. ISBN: 978-80-7179-763-0

FIALA, P. *Řízení projektu*. 1. vyd. Praha: VŠE v Praze, 2002. ISBN 80-245-0448-0

FRONČEK, D. *Úvod do teorie grafů*. Opava: Slezská univerzita. 1999. ISBN: 80-7248-044-8

FRIEBELOVÁ, J. *Operační analýza*. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích. 2009. ISBN 978-80-7394-193-2

GROSS J. M. a K. R. McInnis. *Kanban Made Simple*. New York: Amacom. 2003. ISBN 0-8144-0763-3

HILLIER, F. S. a G. J. LIEBERMAN. *Introduction to Operations Research*. 7. vyd. New York: McGraw-Hill, 2000. ISBN 0-07-232169-5

JABLONSKÝ, J. *Operační výzkum*. Praha: Professional Publishing, 2007. ISBN 978-80-86946-44-3

- KALLEY, J. E. et al. Critical-Path Planning and Scheduling: Mathematical Basis. *Operations Research*. New York: Association for Computing Machinery, 1961, roč. 9, č. 3, s. 296-320. ISBN 978-1-4503-7868-0
- KOLÁŘ, Josef. *Teoretická informatika*. Praha: Česká infromatická společnost, 2000. ISBN 80-900853-8-5.
- LIKER, J. K. a D. P. Meier. *Toyota Way Fieldbook*. 1. vyd. New York: McGraw – Hill, 2005. ISBN 978-0071448932
- MALCOLM, D. G. et al. Application of a Technique for Research and Development Program Evaluation. *Operations Research*. New York: Association for Computing Machinery, 1959, roč. 7, č. 5, s. 646-669. ISBN 978-1-4503-7868-0
- Platy.cz: *Strojník* [online]. [cit. 2019-04-05]. Dostupné z: <https://www.platy.cz/platy/stavebnictvi-a-reality/strojnik>
- POKORNÁ, G. *Projekty – Jejich tvorba a řízení*. 1.vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2008. ISBN 978-80-244-1914-5
- ROSER, Ch. *What is „Just in time“*. In: Allaboutlean.com [online]. 21.6.2016 [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <https://www.allaboutlean.com/what-is-just-in-time/>
- SVOZILOVÁ, A. *Projektový management*. 2. vyd. Praha: Grada, 2011. ISBN 978-80-247-7428-2
- SVOZILOVÁ, A. *Zlepšování podnikových procesů*. Praha: Grada, 2011. ISBN 978-80-247-7296-7
- TOMEK, G. et al. *Integrované řízení výroby*. Praha: Grada, 2014. ISBN 978-80-247-4486-5
- WILSON, L. *How to Implement Lean Manufacturing*. New York: McGraw-Hill, 2010. ISBN 978-0-07-162508-1
- WOMACK, J. P. et al. *The Machine That Changed the World*. New York: Simon & Schuster, 1990. ISBN 978-0-7432-9979-4

WOMACK, J. P. a Daniel T JONES. *Lean thinking: banish waste and create wealth in your corporation*. 2. vyd. New York: Free Press, 2003, 396 s. ISBN 07-432-4927-5.

ZUCHOVICKIJ, S. I. a I. A. Radčiková. *Matematické metody síťové analýzy*. 1.vyd. Praha: SNTL, 1973. 291 s.

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Jednoduchý graf A, vlastní tvorba.....	7
Obrázek 2 - sousednost vrcholů, vlastní tvorba	8
Obrázek 3 - vzdálenost, vlastní tvorba	10
Obrázek 4 - Neorientovaný a orientovaný graf, zdroj: Jablonský. Str. 169	11
Obrázek 5 - incidenční matice, vlastní tvorba	12
Obrázek 6 - Ganttův diagram, vlastní tvorba pomocí MS Excel.....	15
Obrázek 7 - metoda WBS, vlastní tvorba pomocí MS Excel	16
Obrázek 8 - AON, AOA grafy, vlastní tvorba.....	18
Obrázek 9 – PERT, zdroj: Hillier, str. 86.....	23
Obrázek 10 - Síť 1, vlastní tvorba	31
Obrázek 11 - Síť 2, vlastní tvorba	33
Obrázek 12 - Síť 3, vlastní tvorba	33
Obrázek 13 - Ganttův diagram, vlastní tvorba	34
Obrázek 14 - kopie Sítě 1, vlastní tvorba.....	35
Obrázek 15 - Síť 4, optimistická.....	36
Obrázek 16 - Síť 5, pesimistická.....	36
Obrázek 17 - CPM, vlastní tvorba	44

Seznam tabulek

Tabulka 1 - seznam činností, vlastní tvorba	19
Tabulka 2 - porovnání činností	38
Tabulka 3 - vlastní tvorba	39
Tabulka 4 - vlastní tvorba	40
Tabulka 5 - vlastní výroba.....	41