

Optimalizace plánování výroby ve společnosti SWN Moravia s.r.o.

Diplomová práce

**Vedoucí práce:
Ing. Pavel Kolman, Ph.D.**

**Zpracovala:
Bc. Šárka Šabatková**

Brno 2017

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucímu své diplomové práce panu Ing. Pavlu Kolmanovi, Ph.D. za odbornou pomoc, cenné rady a ochotný přístup k vedení této práce. Mé poděkování patří také zaměstnancům společnosti SWN Moravia s.r.o. za poskytnuté materiály a v neposlední řadě i mé rodině a příteli za podporu po celou dobu studia.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto práci: **Optimalizace plánování výroby ve společnosti SWN Moravia s.r.o.** vypracovala samostatně a veškeré použité prameny a informace jsou uvedeny v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů, a v souladu s platnou *Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací*.

Jsem si vědoma, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 Autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity o tom, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne 17. května 2017

Abstrakt

Šabatková, Š. Optimalizace plánování výroby ve společnosti SWN Moravia s.r.o. Diplomová práce. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2017.

Předmětem této diplomové práce je praktická aplikace metod operačního výzkumu se zaměřením na možnosti využití síťové analýzy v podmínkách konkrétního podniku. Hlavním cílem práce je optimalizace plánování výrobních procesů za účelem zefektivnění a zkrácení doby zpracování zakázek. Teoretická část práce je zaměřena na problematiku řízení, evidence a plánování výroby. Dále obsahuje metody operačního výzkumu, charakteristiku teorie grafů, síťové analýzy a podpůrného výpočetního softwaru. V praktické části je sestaven matematický model vyjádřený hranově ohodnoceným síťovým grafem. Tento model je řešen v prostředí programu WinQSB a MS Project za pomoci metody kritické cesty, která je dále doplněna o analýzu nákladů formou CPM/COST. V závěru práce je kriticky zhodnocena využitelnost dosažených výsledků.

Klíčová slova

Plánování výroby, rozvrhování produkčních systémů, operační výzkum, síťová analýza, metoda kritické cesty, CPM/COST.

Abstract

Šabatková, Š. Optimisation of production planning in the company SWN Moravia s.r.o. Diploma thesis. Brno: Mendel University in Brno, 2017.

The subject of this diploma thesis is practical application of operations research and network analysis methods in terms of specific company. The main objective of this thesis is to optimize the planning of production processes in order to streamline and shorten the processing time of the orders. The theoretical part is focused on production management, evidence and planning. It also includes methods of operations research and characteristics of the graph theory, network analysis and supporting software. In the practical part is compiled a mathematical model as edge-rated network graph. This model is solved in program WinQSB and MS Project using the Critical Path Method further complemented by the cost analysis with CPM/COST method. In the conclusion, there is critical evaluation of the usefulness of provided results.

Keywords

Production planning, scheduling of production systems, operations research, network analysis, Critical Path Method, CPM/COST.

Obsah

1	Úvod	11
2	Cíl a metodika práce	13
2.1	Cíl práce.....	13
2.2	Metodika práce.....	13
3	Literární rešerše	15
3.1	Řízení výroby	15
3.2	Operační výzkum.....	22
3.3	Softwarové prostředky	36
4	Charakteristika zkoumaného objektu	37
4.1	Historie.....	37
4.2	Sídlo	39
4.3	Technologie	39
4.4	Produktové portfolio	40
4.5	Výrobní proces	43
5	Formulace modelu problému	50
5.1	Zakázkové řízení výroby	50
5.2	Aplikace síťové analýzy	52
5.3	Reprezentativní zakázka	53
6	Řešení matematického modelu	59
6.1	Časová analýza	59
6.2	Nákladová analýza	68
7	Diskuse	72
8	Závěr	75
9	Přehled literatury	77
9.1	Knižní zdroje	77
9.2	Internetové zdroje	78

10 Seznam obrázků	80
11 Seznam tabulek	81
Přílohy	83
A Uzlově ohodnocený síťový diagram jako grafický výstup WinQSB	85
B Ganttův diagram jako grafický výstup WinQSB.....	86
C Grafické zobrazení realizace zakázky formou pracovního kalendáře	87
D Zobrazení pravých činností v Ganttově diagramu.....	88
E Zobrazení čekacích a fiktivních činností v Ganttově diagramu	89

1 Úvod

Tématem této diplomové práce je optimalizace plánování výroby v konkrétním podniku.

Jako zkoumanou společnost jsem si vybrala firmu SWN Moravia s.r.o., neboť v ní dříve pracoval můj otec a tudíž mi zprostředkoval s jejími zaměstnanci schůzku, na které jsem se mohla domluvit na spolupráci a také jsem mohla využít znalostí a zkušeností blízkého člověka.

V práci budou využita metody operačního výzkumu, které mě velice zaujaly již při výuce, neboť na základě jisté míry zjednodušení skutečné situace a jejího matematického modelování lze dospět k výsledkům, které mohou zásadně ovlivnit rozhodování o budoucím směřování podniku, poskytnout základ pro rozhodování o dané situaci, či zmapování situace jako takové a odhalení potencionálních problematických oblastí a úzkých míst.

Řízení výroby je neodmyslitelnou součástí každého manažerského rozhodování o strategii společnosti. Neboť je to právě oblast výroby, která generuje přidanou hodnotu firmy a jež dává práci ostatním podpůrným pracovníkům v kancelářských prostorách pracujících na vytváření podnikatelských plánů, personálních strategií, rozhodování o vývoji nového produktu apod.

Další část teoretické části práce se věnuje plánování a evidenci výrobních procesů podniku. Ačkoliv se může zdát, že prosperující podnik nepotřebuje podobná data získávat a shromažďovat, či dokonce je jakkoliv vyhodnocovat, opak je pravdou. V případě, že se podniku v současnosti daří a nemusí řešit nějaké kritické či krizové situace, je to ideální doba pro sběr detailních informací o fungování podnikových procesů na detailní úrovni, které mu mohou být velmi užitečné až úspěšné období pomine a podnik bude muset začít analyzovat své silné a slabé stránky, aby se mohl přizpůsobit změnám v prostředí, využít potenciální příležitosti a na druhé straně se vyhnout případným hrozbám, které by mohly ohrozit jeho existenci.

Podobnou situaci právě řeší i společnost SWN Moravia s.r.o., která si uvědomuje důležitost evidence informací o výrobních i podpůrných procesech pro identifikaci a lepší využití svých konkurenčních výhod. A tak se stále více soustředí na bližší poznání průběhu zpracování zakázek na jednotlivých pracovištích, aby mohla včas odhalit případná úzká místa.

V současné době tedy podnik rozpracovává evidenci zpracování zakázek. Dopusud používali pouze sledování odvedení hotového výrobku za dané výrobní pracoviště, kterých je ve společnosti definováno celkem sedm. Nyní má společnost zájem rozpracovat tuto evidenci nedokončených a hotových výrobků na základě vykazování odvedené práce po jednotlivých operacích na daném pracovišti. Spo-

lečnost se k tomuto kroku rozhodla právě z důvodu potřeby podrobnější evidence pro kapacitní plánování.

Poslední část literární rešerše se věnuje zmapování metod a možností jak využít poznatky z oblasti operačního výzkumu v praxi. Vzhledem k praktické části jde z větší části o charakteristiku a využití principů teorie grafů a síťové analýzy, jejíž aplikace je v současnosti do značné míry ovlivněna prakticky neomezenými možnostmi počítačové techniky a vědeckého pokroku.

Jak jsem se již zmínila, v praktické části jsou aplikovány vybrané metody síťové analýzy, konkrétně časové analýzy s využitím metody kritické cesty a její rozšíření CPM/COST pro analýzu nákladů realizace zakázky. Pro tyto účely bude vytvořen model výrobního procesu ve společnosti SWN Moravia s.r.o. formou hranově ohodnoceného síťového grafu, jako výchozí bod pro optimalizaci průchodu zakázky produkčním systémem při jednotlivých činnostech zpracování, sloužící jako podklad pro zefektivnění využívání výrobních kapacit a lidských zdrojů pro maximální možnou generaci přidané hodnoty a akumulaci zisku, který společnost z větší části investuje do pořizování nejmodernější techniky a inovací svých výrobních procesů.

2 Cíl a metodika práce

2.1 Cíl práce

Cílem této diplomové práce je na základě poznání a kritického zhodnocení současného stavu výrobních procesů navrhnout takovou úpravu plánování výrobních činností, která by zvýšila efektivnost a rychlost realizace objednávek zákazníků firmy.

Tohoto cíle bude dosaženo prostřednictvím metod operačního výzkumu z oblasti teorie grafů a síťové analýzy. Konkrétně zde bude řešen časový rozbor metodou kritické cesty CPM a analýza nákladů s využitím metody CPM/COST vycházející z metody CPM.

K dílčím cílům patří poznání prostředí společnosti a fungování výrobních procesů, seznámení se s kapacitním plánováním a evidencí informací o výrobních procesech, poznání výrobního portfolia společnosti a potenciálních příležitostí pro zlepšení procesů.

Na základě poskytnutých dat ze společnosti SWN Moravia s.r.o., kterými jsou Záznamy o výrobních cyklech několika zakázek (evidovaných v rámci pilotní fáze projektu detailní evidence zpracování jednotlivých dílců zakázky) a detailní rozpis struktury několika zakázek včetně přiřazení relevantních nákladů bude vytvořen model produkčního systému, resp. zpracování zakázky, jakožto jedinečného výstupu, formou hranově ohodnoceného síťového diagramu.

Model bude řešen za použití vhodného a dostupného softwaru a implementovaných metod operačního výzkumu. K zjednodušení výpočtů bude využit volně dostupný program WinQSB a MS Project.

Výsledky modelu budou následně kriticky zhodnoceny a posouzeny možnosti jejich uplatnění při reálném plánování výrobních operací a kapacit pracovišť v nadcházejícím období.

2.2 Metodika práce

Práce je rozdělena do dvou částí. V teoretické části jsou shrnuty poznatky o řízení, plánování a evidenci výrobních procesů, dále základní informace o vědní disciplíně označované jako operační výzkum s detailnějším rozбором teorie grafů, síťové analýzy a dostupných programových systémů získané studiem dostupné literatury.

Praktická část je pak aplikací těchto poznatků na konkrétní problém časového průběhu zakázky, resp. zpracování dílčích činností vedoucích ke zhotovení jedinečného produktu přesně dle požadavků zákazníka.

Informace o společnosti byly získány studiem dostupných propagačních materiálů a osobní konzultací ve společnosti. Dále byly od zástupců společnosti poskytnuty informace o struktuře několika zakázek včetně přiřazení relevantních nákladů, o evidenci spotřeby času na jednotlivé dílce a činnosti procesu zpracování zakázky a o nutnosti detailnějšího rozpracování evidence výrobních operací. Podstatnou část získaných materiálů tvoří časový harmonogram zpracování několika různých variant zakázek jednotlivými výrobními pracovišti.

K výpočtu byl využit volně šiřitelný a uživatelsky příjemný výukový programový systém WinQSB a placená verze programu MS Project.

3 Literární rešerše

3.1 Řízení výroby

Řízení výroby lze chápat jako složitý proces úkolů zahrnujících kromě managementu výrobních procesů také podstatnou část logistiky. Jako ve všech oblastech managementu i zde je kladen důraz na plánování, a to na všech úrovních řízení:

- **strategické** - základních rozhodnutí o zaměření výkonů, dlouhodobého plánování koncepce a zdrojů,
- **taktické** – zabezpečování výkonů,
- **operativní** - rozhodování o ekonomickém provedení probíhajících procesů a krátkodobému plánování průběhu výroby.

Vždy je třeba brát ohled na ekonomické principy hospodárnosti a efektivnosti ve využívání zdrojů, jakožto součásti integrovaného systému řízení podniku. Dle Tomka a Vávrové (1999) pak řízení výroby hledá odpovědi na následující otázky:

- Jak?
- Co?
- Kdy?
- Čím?
- Kde?
- Pro koho?

Jedná se tedy o velice konkrétní komplexní přístupy realizace operativního řízení prostřednictvím operativního plánování, operativní evidence výroby a vlastních metod řízení výroby. Kromě toho ještě poskytuje zpětnou vazbu z fyzického výrobního procesu, čímž umožňuje neustálé porovnávání plánů se skutečností a přijímání příslušných rozhodnutí. Vzhledem ke komplexnosti úkolů je zde uplatňováno mnoho poznatků z různých vědeckých disciplín, jako např. systémové inženýrství, personalistika, ekonomika práce, informatika, operační výzkum, statistika, matematika, sociologie, psychologie či právo.

Z hlediska řízení výroby rozlišujeme 2 okruhy:

- **řídící okruh orientovaný na zákaznické zakázky** – odpovídá výrobě na objednávku, jak ji označuje Fiala (2002), vstupy jsou zajišťovány synchronně s výrobou na základě zakázek od zákazníků a podnik nevytváří zásoby hotových výrobků, uplatňuje se zde princip koncepce just-in-time
- **řídící okruh orientovaný prognosticky** – odpovídá výrobě na sklad (Fiala, 2002), výrobní úseky pracují na základě plánu posta-

veného podle očekávané budoucí poptávky, je nutné si dopředu stanovit jaké výrobky a v jakých variantách budou dlouhodobě vyráběny

Obecně tedy můžeme konstatovat, že podnik může docílit konkurenční výhody dvěma základními cestami:

- vedoucí postavení v nákladech,
- jedinečnost z hlediska výrobku.

Vzhledem k značně odlišným podmínkám v jednotlivých společnostech však nelze stanovit jediný univerzálně použitelný způsob řízení výroby či převzetí metody nebo dokonce informačního systému od partnera či konkurenta. Tomek a Vávrová (2007) ve své publikaci upozorňují na nutnost kombinace nejrůznějších metod a softwarových systémů tak, aby co nejlépe vyhovovaly potřebám konkrétního podniku.

Manažeři výroby stejně jako všichni pracovníci ve vedoucích funkcích musí neustále činit rozhodnutí o řešení nastalých situací. Každý takový rozhodovací proces můžeme dle Kavana (2002) rozložit na následujících 8 fází:

- identifikace problému a specifikace cílů a podstatných kritérií,
- charakteristika prvků a vazeb problémů a tvorba modelu,
- příprava většího počtu nejrůznějších alternativních řešení,
- kvalifikovaný rozbor, porovnání a utřídění těchto variant,
- výběr řešení,
- implementace zvolené alternativní varianty,
- měření dosažených výsledků,
- rozhodnutí o dalším postupu na základě užité hodnoty dosaženého výsledku.

Ne vždy se však manažer může rozhodovat za podmínek jistoty. Pokud nemáme vůbec žádnou informaci o budoucím vývoji okolností, jedná se o rozhodování za nejistoty. Mezi těmito oběma extrémy se nachází rozhodování za rizika, kdy lze odhadnout pravděpodobnost, že dané alternativy nastanou. V takovém případě se používá metoda očekávané hodnoty (Kavan, 2002).

3.1.1 Operativní řízení výroby

Operativní řízení výroby zastřešuje následující paralelně probíhající dílčí systémy:

- operativní plánování
 - odbytu,
 - výroby,
 - nákupu,

- operativní evidence výroby,
- metody vlastního řízení výrobního procesu,
- změnové řízení.

V rámci operativního plánování výroby je důležité dbát na správné stanovení cílů dle principu SMART a přiřazení zdrojů splňujících kritéria optimality v daném časovém období, respektování požadavků trhu, efektivnosti výroby a zajištění potřebné kvality. Těmito zdroji jsou:

- kapacity strojů a zařízení,
- kapacity pracovní síly,
- oběžný kapitál (materiálové zajištění).

Dle Tomka a Vávrové (2007) nelze opomenout také význam operativní evidence výroby, která však není pouze prostým sběrem údajů o výrobních procesech a dávkách, ale plní také důležitou funkci kontroly plnění operativních plánů a slouží také k vyhodnocování vlastního řízení výrobního procesu a poskytuje podklady pro evidenci výrobních nákladů a posouzení ekonomické efektivnosti vnitropodnikových útvarů.

Na základě těchto dat lze rovněž stanovovat standardy a normativy průběhu výroby:

- normy spotřeby času,
- normy spotřeby materiálu,
- kapacitní normy,
- průběžné doby výroby,
- výrobní předstih,
- výrobní takt a rytmus,
- pojistné zásoby a normy zásob rozpracované výroby,
- pojistné zásoby výrobní, nedokončené a hotové výroby.

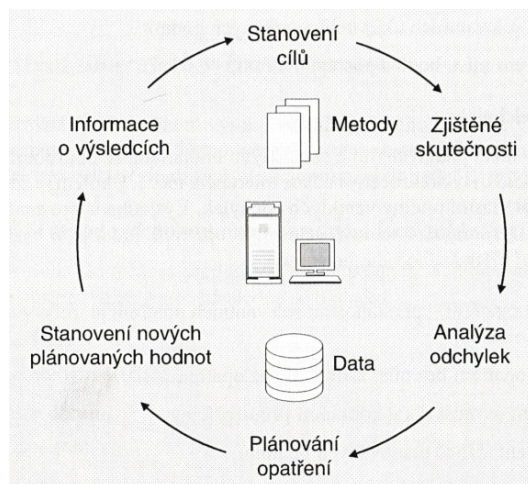
Prostřednictvím operativní evidence můžeme sledovat průběh výroby jednotlivých výrobků/zakázek/dávek v hmotných jednotkách/pracnosti/hodnotovém vyjádření.

Důležité jsou především informace o pohybu a spotřebě materiálu a polotovárů vlastní výroby upozorňující na případné odchylky a ztráty při plnění naplánovaných úkolů.

Zavedení systému operativní evidence ovlivňují dle Tomka a Vávrové (1999) především následující faktory:

- způsob, charakter a typ výroby,
- složitost výrobního procesu,
- počet spolupracujících dílen,
- množství montážních dílů a meziproduktů,

- průběžná doba výroby,
- počet pracovníků účastnících se výrobního procesu,
- organizační struktura výrobního úseku,
- vazby na ostatní složky firmy.



Obrázek 1: Postupy controllingu řízení výroby

Zdroj: Tomek, Vávrová, 1999, str. 273

Dle těchto kritérií má podnik na výběr ze tří různých systémů operativní evidence výroby:

- **systém průvodek** – vázán na průběhu dávky výrobním procesem, využívá se v sériové a kusové výrobě,
- **systém pracovních lístků** – vázán na konkrétní pracoviště s větším množstvím operací a délkou jejich trvání, součástí i výdejky materiálu apod.,
- **systém výrobních výkazů** – poskytuje komplexní data za časové období, vystavuje se na určitý den nebo směnu a zahrnuje celkový výrobní úkol pracoviště nebo dílny.

Data a informace z operativní evidence lze dále analyzovat a třídit za účelem vedení:

- záznamů o pohybu a spotřebě materiálu,
- záznamů o výkonech a využití výrobních zařízení (časové využití, objem výroby, kvalita výroby),
- evidence prostojů (příčin a míst opakovaných výskytů),
- evidence zmetků a mank (příčiny a zavinění, evidence nákladů),
- záznamy o výkonech pracovníků,

- záznamy o čerpání režijních nákladů (údržby, dopravy, pomůcek a pomocných materiálů),
- záznamy o plnění plánu výroby,
- záznamy o plnění plánu jakosti,
- záznamy o rozpracované výrobě (inventarizace stavu zásob).

OBJEKT DAT	DRUH DAT		
	kmenová data	zjišťovaná běžná	vznikající informace
personál	<ul style="list-style-type: none"> ❖ osobní číslo ❖ jméno ❖ středisko ❖ zaměstnanecký vztah ❖ mzdová skupina ❖ druh mzdy ❖ pracovní doba ❖ obsluha jednoho/více strojů 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ příchod, odchod ❖ začátek a konec nepřítomnosti ❖ údaje pro vyplacení prémie 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ přehled osob ❖ přehled o přítomnosti/nepřítomnosti ❖ přehled o činnosti ❖ přehled hodin ❖ analýza nepřítomnosti ❖ stupeň využití času
stroje	<ul style="list-style-type: none"> ❖ číslo stroje ❖ označení stroje ❖ středisko ❖ kapacitní nabídka 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ obsazení stroje ❖ začátek a konec poruch 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ přehled o strojích ❖ přehledy o obsazení strojů
výrobní zakázky	<ul style="list-style-type: none"> ❖ číslo zakázky ❖ označení zakázky ❖ číslo dílů, které mají být vyrobeny ❖ počet kusů ❖ počet a číslo naplánovaných pracovních postupů ❖ popis postupů 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ začátek, přerušení a konec postupu ❖ počet dobrých kusů ❖ data o jakosti ❖ uvolnění a hlášení dohotovení výrobních zakázek ❖ začátek a konec režijních zakázek 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ přehledy o výrobních zakázkách ❖ přehled o průběhu zakázek
sklad	<ul style="list-style-type: none"> ❖ číslo skladové pozice ❖ skladované místo ❖ pojistná zásoba 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ příchod a odchod ze skladu ❖ rezervace 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ přehled o zásobách ❖ přehled o pohybu skladovaných položek

Obrázek 2: Příklady dat vedených v operativní evidenci

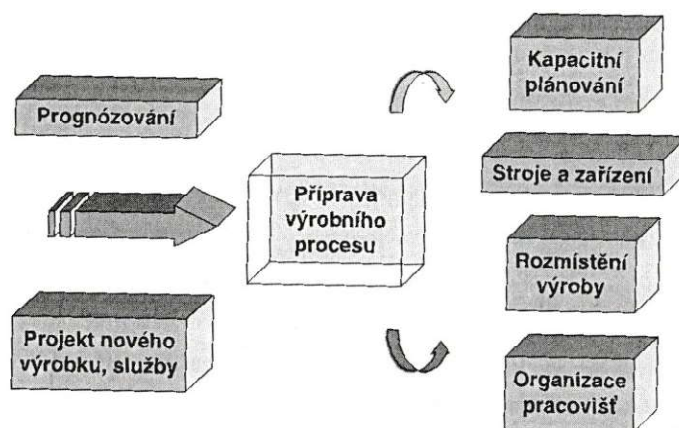
Zdroj: Tomek, Vávrová, 1999, str. 267

3.1.2 Vlastnosti výrobního systému

Pro výrobní systém jsou charakteristické zejména tyto dvě zásadní vlastnosti:

- **kapacita výrobního systému** – hlavním problémem operativního plánování a řízení výroby pak je sladění kapacitní nabídky (čili schopnosti výrobního systému k výkonu libovolného druhu, velikosti a struktury v daném časovém úseku) a kapacitní poptávky jakožto efektivního využití nebo obsazení kapacitní jednotky druhu výkonů dle množství a časových požadavků výrobků,

- **elasticita výrobního systému** - v tomto případě jde o rychlost přizpůsobení se změněným výrobním úkolům a zahrnuje i přestavitelnost či pohyblivost výrobních jednotek.



Obrázek 3: Model přípravy výrobního procesu

Zdroj: Kavan, 2002, str. 178

Vedle kapacitních norem Tomek s Vávrovou (2007) rozlišují ještě řadu dalších norem z oblasti normování práce, počtu pracovníků, podmínek bezpečnosti a ochrany zdraví, zdravotních a kvalifikačních předpokladů, ale také spotřeby pracovního času v podobě:

- norem pracnosti,
- norem obsluhy,
- norem početního stavu,
- výkonových norem formou
 - norem času,
 - norem množství.

Význam těchto norem spočívá v aplikaci v rámci úvah o objemu výroby, o časovém a prostorovém uspořádání výrobního procesu nebo o optimalizaci plánovaných prostojů výrobních zařízení. Smyslem normování práce pak je určení optimální spotřeby času konkrétní pracovní operace vykonávané na daném pracovišti kvalifikovaným pracovníkem při normální rychlosti. K měření jsou využívány pohybové a časové studie, které jsou vhodné především pro sledování krátkých a opakujících se dílčích činností, z nichž se následně odvozuje výsledné časové ohodnocení celé činnosti. Další možnou alternativou časové studie jsou tzv. křivky učení, které vyjadřují „že pro některé výrobky dochází ke zkracování výrobního času s růstem počtu vyrobených výrobků“ (Fiala, 2002, str. 93). Tohoto jevu lze využít v rámci plánování personálních zdrojů, objemu nakupovaných produktů a stanovení zásob nebo také při určování cen pro nové výrobky.

3.1.3 Kritéria typologie výrobních systémů

Tomek a Vávrová (1999) analyzují výrobní systémy z různých hledisek, např. dle „*metod řízení, plánování a evidence, z hlediska volby výrobních zařízení, organizačního uspořádání, hierarchické struktury, použití standardních softwarů apod.*“.

Na základě výše zmíněných charakteristik lze rozlišovat výrobní typy podle:

- **programu** – dle vlastností výstupů a produktů
- **procesu** – souvisí s organizačním uspořádáním,
- **použití vstupů** – rozdělení závisí na poměrném zastoupení a kvalitě jednotlivých inputů výrobního procesu (materiál, energie, lidské zdroje, strojová práce, informace)

Syntézou těchto dílčích kritérií lze vytvořit tzv. kombinační typy výrobních systémů:

- nepřetržité se stálým sortimentem
- přetržité se sortimentní skladbou
- přetržité zakázkové
- jednorázové projekty.

Kavan (2002) však uplatňuje v praxi rozšířenější dělení výroby podle množství jejího výstupu na výrobu:

- **projektovou** – jednorázová produkce směřující k vytvoření jedinečného produktu nebo vývoj nového výrobku, instalace výrobní linky, projekty mají jasně stanovený a ohraničený časový rámec,
- **kusovou** – také označovanou jako zakázkovou, produkce různých výrobků v malých množstvích, specifické požadavky zákazníků, uplatňovaná pro opravy čerpadel nebo výrobu letadel,
- **sériovou** – výroba několika podobných produktů, umožňuje specializaci a automatizaci,
- **hromadnou** – uniformní výrobky ve velkém množství, charakteristické uspořádání výroby formou automatizovaných montážních linek s maximální efektivností produkce.

Toto kritérium používá i Fiala (2002) a k objemu produkce za určitou časovou jednotku přidává ještě varietu produktů hodnocenou na základě počtu různých typů produktů, produkovaných daným systémem, přičemž platí: „*čím nižší varieta produktů, tím vyšší objemy produkce v daném čase a naopak*“ (Fiala, 2002, str. 38).

3.2 Operační výzkum

Dle Jablonského (2007) „*operační výzkum nachází aplikace všude tam, kde se jedná o analýzu a koordinaci provádění operací v rámci nějakého systému*“. Pro lepší pochopení podstaty operačního výzkumu je vhodnější ho definovat jako výzkum operací, čili dílčích činností nějakého procesu.

Operační výzkum využívá různých metod matematického modelování reality za účelem podpory rozhodování na různých manažerských pozicích. Prostřednictvím modelování můžeme činit rozhodnutí např. o „*zavádění nových výrobků na trh, programy zlepšování kvality výroby, reorganizace podniku a vybudování nového podniku*“ (Fiala, 2002, str. 38). Společně se specializovaným softwarem tak může být „*matematický aparát nejvhodnější oporou v případech, které nelze všeobecnými pravdami, zkušenostmi či intuicí zvládnout*“ (Kořenář, Lagová, 2003, str. 5).

Využívání matematických metod v ekonomice však není výplodem moderní doby, ale jeho počátky lze hledat již na přelomu 17. a 18. století, kdy W. Petty a F. Quesnay položili základy nové vědní disciplíny, jež byla později nazvána ekonometrie. Prudký rozvoj této vědní disciplíny však nastal poprvé v průběhu 2. světové války, kdy bylo potřeba provádět analýzu složitých strategických a taktických vojenských problémů a operací, ve druhé vlně pak v období poválečného ekonomického vývoje v 50. letech a do třetice s nebyvalým rozvojem výpočetní techniky.

Operační výzkum však kromě znalostí matematických vyžaduje také komplexní zkušenosti z dalších oborů, jako je např. informatika či ekonomie, jejichž spojení nám umožňuje využívat principy optimalizace, statistiky, teorie pravděpodobnosti, teorie grafů, síťovou analýzu, teorii her, simulace a další).

Jablonský (2007) dále uvádí, že „*operační výzkum je možné charakterizovat i jako prostředek pro nalezení nejlepšího (optimálního) řešení daného problému při respektování celé řady různorodých omezení, které mají na chod systému vliv*“.

Základním kamenem metod operačního výzkumu je matematické modelování a zjednodušování reálného systému. Mezi výhody tohoto přístupu řadíme:

- strukturalizaci systému,
- specifikaci alternativ,
- analýzu chování systému ve zkráceném čase,
- snadnou manipulaci,
- provádění experimentů.

Vzhledem k odlišným potřebám analýzy problémů z nejrůznějších oblastí a vědních disciplín, se postupem času vystrukturovalo následujících 9 specifických metod a modelů operačního výzkumu:

- **matematické programování** – řešení optimalizačních úloh při hledání extrému zvoleného kritéria, rozlišujeme programování lineární

(výrobní program, směšovací úloha, nutriční plán, dopravní úloha) a nelineární,

- **vícekriteriální rozhodování** – hodnocení dle několika kritérií současně a řešení konfliktů mezi nimi,
- **teorie grafů** – objekty tvořené uzly a hranami, zobrazení komunikační sítě, hledání nejkratší cesty, řízení projektů,
- **teorie zásob** – řízení zásobovacího procesu a objemu zásob,
- **teorie hromadné obsluhy a teorie front** – obsluha linky či jiného zařízení, průjezd křižovatkou,
- **modely obnovy** – selhávání a náhrada jednotek
- **Markovské rozhodovací procesy** – pro chování dynamických systémů a predikci jejich budoucího vývoje,
- **teorie her** – strategické rozhodování s vlivem na ostatní účastníky,
- **simulace** – analýza složitějších systémů prostřednictvím výpočetní techniky a specializovaného softwaru.

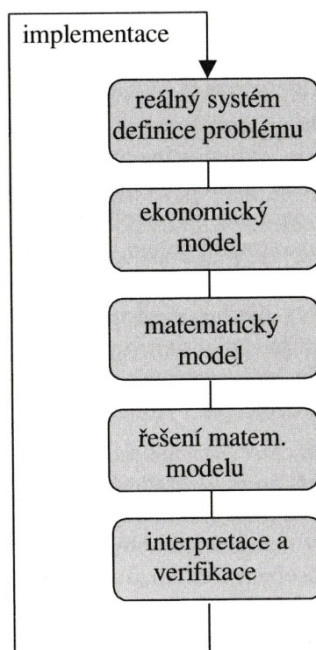
Ať už se rozhodneme pro jakoukoli analytickou metodu, vždy musíme začít tím, že podstatné rysy analyzovaného problému převedeme do vyjadřovacích prostředků matematiky, jež jsou dobře slučitelné s jazykem, který využívají počítačové programy sloužící k hledání konkrétního řešení problému.

Základním požadavkem je správná formulace problému, který je definován jako rozdíl mezi stávajícím stavem a požadovaným cílovým stavem. Formulací problému se pak rozumí způsob, jak se dostat ze stávajícího stavu do stavu cílového. Je to nejdůležitější částí řešení problému, neboť se od ní odvíjí celý následující proces. „*Nic není tak neúčinného jako správná odpověď na špatnou otázku.*“ (Fiala, 2002, str. 192) Proto bychom měli formulaci výchozího problému věnovat dostatek pozornosti a času.

Zatímco Kavan (2002) uvádí pouze 4 fáze aplikace matematického modelování, který jsou:

- **formulace ekonomického modelu** – zjednodušení a popis vybraného problému dle činností nebo procesů,
- **převod ekonomického modelu na ekvivalentní model matematický** – prostřednictvím specifikace činitelů v podobě vstupů (energie, suroviny, výrobní zařízení) a výstupů,
- **výpočet matematického modelu** – optimalizace předem určeného hospodářského kritéria (zisk, náklady, spotřeba), obvykle s využitím výpočetní techniky,
- **věcná ekonomická interpretace** – formulace praktických závěrů a doporučení.

Naproti tomu Jablonský (2007) rozlišuje postup formulace a řešení matematického modelu o něco podrobněji, viz obrázek č. 4, jenž zachycuje dokonce 6 fází:



Obrázek 4: Fáze při aplikace operačního výzkumu
Zdroj: Jablonský, 2007, str. 11

A stejně tak se přiklání i k podrobnější charakteristice předpokladů, které by v žádném ekonomickém modelu, jakožto vyjádření rozhodovacího problému formou slovního nebo číselného popisu, neměly chybět:

- **cíl analýzy** – jednoznačné určení cílového stavu, např. maximalizace zisku nebo minimalizace rizika či nákladů,
- **popis procesů** – reálných činností, u nichž je patrný vliv na cíl analýzy, např. objem výrobku,
- **popis činitelů** – omezenost zdrojů surovin, strojového času a lidských zdrojů,
- **popis vzájemného vztahu mezi procesy, činiteli a cílem analýzy.**

3.2.1 Teorie grafů

Jedním z typických příkladů využití optimalizačních metod v podnikové praxi je právě výše zmíněná teorie grafů, označovaná také jako teorie řízení projektů nebo síťová analýza. Vyjadřovacím prostředkem této teorie je graf $G = (U, H)$, který umožňuje reálný problém vyjádřit prostřednictvím matematického modelu tvoře-

ného množinou uzlů $U = (u_1, u_2, \dots, u_n)$ a jejich spojnic neboli hran $H = (h_1, h_2, \dots, h_n)$, ohodnocených podle vybraného kritéria (Fiala, 2002).

Grafy můžeme rozlišovat z několika různých hledisek podle jejich konstrukčních vlastností:

- Jestliže jsou hodnoty přiřazeny hranám, potom se graf nazývá **hranově ohodnocený**, jsou-li ohodnoceny uzly grafu, jedná se o graf **uzlově ohodnocený**.
- Je-li graf tvořen uspořádanými dvojicemi uzlů (uzel u_i je předchůdcem u_j a uzel u_j následníkem u_i), pak hrana mezi nimi h_{ij} je orientovaná a graf označujeme rovněž jako **orientovaný**. Přičemž orientace v takových grafech vyjadřuje precedenční relaci mezi dávkami nebo technologické závislosti operací v reálném systému. V případě neuspořádaných dvojic uzlů hovoříme o **neorientovaných** hranách i grafu, jehož hrany umožňují obousměrný pohyb mezi dvojicí uzlů.
- Pokud platí, že následující hrana začíná v uzlu, v němž končí hrana předcházející, označujeme takovou posloupnost hran za **cestu**. Začíná-li však cesta ve stejném uzlu, ve kterém zároveň končí, označujeme ji za **cyklus**. Stejně tak situaci, kdy samotná hrana začíná i končí ve stejném uzlu, nazýváme **smyčkou**.
- V případě, že graf neobsahuje žádné cykly, ani smyčky, jde o graf **acyklický**; v opačném případě by se jednalo o graf **cyklický**.
- Existuje-li mezi libovolnou dvojicí uzlů nějaká neorientovaná cesta, označujeme graf jako **souvislý**.

Na základě různých kombinací výše uvedených vlastností lze definovat několik rozeznáváme několik speciálních případů grafů:

- **strom** – graf souvislý, neorientovaný a acyklický, kdy mezi každými dvěma uzly stromu existuje jediná cesta, stejně tak z kořene do libovolného uzlu (odtud označení jako kořenový strom),
- **síť** – topologicky uspořádaný graf, který je souvislý, acyklický, orientovaný a nezáporně ohodnocený, a jenž je tvořen dvěma specifickými uzly (Holoubek, 2009):
 - **vstup** = uzel, ze kterého hrany pouze vycházejí, ale žádná do něj nevstupuje,
 - **výstup** = uzel, do kterého hrany pouze vstupují, ale žádná z něj nevystupuje.

Ať už se jedná o jakýkoliv typ grafu, je dle Jablonského (2007) potřeba při jeho konstrukci dodržovat následující základní pravidla:

- uzly jsou představovány kroužky s příslušným indexem uvnitř,

- hrany jsou znázorněny přímými, příp. lomenými čarami spojujícími sousední uzly,
- orientace hran je zakreslena šipkou vycházející z koncového uzlu příslušné hrany,
- ohodnocení hrany je dáno její číselnou hodnotou nacházející se u dané hrany.

Vzhledem k tomu, že grafické znázornění reálného systému přispívá k názornosti a lepšímu pochopení problematiky i pro laickou veřejnost, není divu, že je tato forma matematických modelů v praxi hojně využívána. Konkrétně v ekonomické oblasti je teorie grafů nejčastěji aplikována při řízení projektů (např. výstavba obchodního centra, sportovního areálu, rozvržení kurzů během studia). V takovém případě bývá cílem optimalizace časová a nákladová analýza (Kořenář, Lagová, 2003).

V případě, že grafem zjednodušíme nějaký reálný proces, pak každý prvek grafu, tj. uzel i hrana, mají svou logickou interpretaci - např. hrana může představovat reálnou činnost a s ní související uzly začátek a konec této činnosti. Dále lze k těmto prvkům přisoudit relevantní charakteristiku, kterou může být doba trvání činnosti, související náklady nebo požadavky na zdroje, kterými mohou být suroviny, výrobní zařízení nebo pracovníci.

Jablonský (2007) uvádí jako nejčastější úlohy v rámci teorie grafů následující optimalizační problémy:

- **optimální cesty v grafu** – hledání nejkratší cesty mezi dvěma uzly. lze řešit v grafech orientovaných i neorientovaných,
- **optimální spojení míst** – nalezení minimální kostry grafu, tj. podgraf původního grafu zahrnující všechny uzly, který bude stromem a bude mít minimální součet ohodnocení hran, které tento strom tvoří,
- **optimální toky v grafu** – maximální tok roven minimální kapacitě řezu, tedy množině hran, po jejichž odstranění by došlo k rozpůlení sítě tak, že první by obsahovala alespoň vstup a druhá alespoň výstup, minimální kapacita řezu pak poukazuje na úzká místa v systému materiálového toku (Fiala, 2002).

3.2.2 Projektové řízení

Jak bylo uvedeno v úvodu této podkapitoly, teorie grafů je často označována také jako síťová analýza nebo jako teorie řízení projektů. Fiala (2002) pojem projekt chápe jako návrh na řešení daného problému, k čemuž Jablonský (2007) dodává, že jej lze v nejobecnější podobě charakterizovat jako soubor činností. Prakticky se tedy jedná o prostorově a časově ohraničený soubor činností, mezi nimiž jsou organizační a technologické vazby a jejich realizace vyžaduje určitý čas, náklady a zdroje. Podmínkou každého projektu je uskutečnění všech činností a dosažení vytyčeného cíle. Toho je dosahováno prostřednictvím činností transformujících vstupy na výstupy za přispění disponibilních zdrojů, mezi něž řadíme materiál a suroviny, výrobní zařízení a stroje a hlavně pracovní síly spolu s finančními prostředky.

Podstatou managementu projektů je řízení a ovlivňování práce týmů pro optimální průběh a dosažení požadovaného cíle projektu, jehož proces lze rozložit do dvou na sebe navazujících částí:

- **fáze přípravná** – nejprve je nutné týmem odporníků definovat samotný projekt, poté jsou stanoveny jednotlivé činnosti vedoucí k naplnění cíle a expertní odhady času, nákladů a zdrojů, jež budou vyžadovány v následující fázi,
- **fáze realizační** – tato fáze je implementací předem nastaveného projektu, zároveň zde dochází k průběžné zpětné vazbě a neustálé kontrole reálného průběhu realizace projektu z hlediska dodržování termínů, nepřekračování nákladů a nepřetěžování zdrojů.

Projektové řízení však není jediným možným způsobem aplikace síťové analýzy, neboť jak zmiňuje Fiala (2002, str. 111): „*modely síťové analýzy jsou speciálními případy modelů rozvrhování*“ produkčních systémů při realizaci jedinečného výstupu s ohledem na širokou škálu poskytovaných produktů.

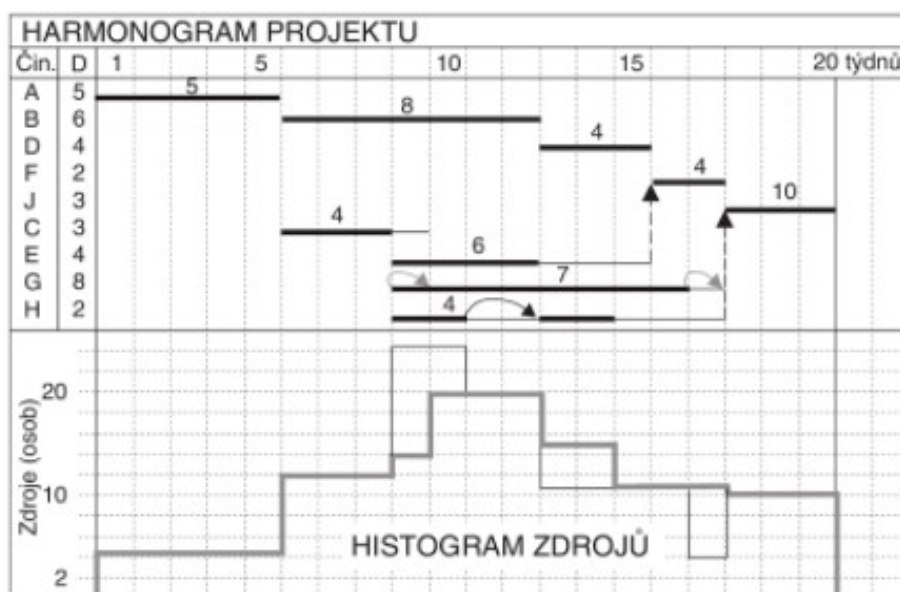
V rámci teorie rozvrhování tedy lze prostřednictvím síťového grafu znázornit úlohu časového rozmístění určitých činností na daná zařízení, tj. zpracování jediné výrobní dávky, čili projektu, rozdělené na dílčí operace představující činnosti vykonávané na jednotlivých pracovištích nebo výrobních zařízeních při dodržení precedenčních relací daných technologickými a organizačními vazbami mezi těmito činnostmi.

Rovněž v tomto případě je nutno brát ohled na modelování jakožto „*umění cíleného zjednodušování reality*“ (Fiala. 2002, str. 23), a snažit se definovat problém dostatečně výstižně, avšak s ohledem na výpočetní zvládnutelnost i v případě využití profesionálních softwarových prostředků.

Doplňujícím grafickým vyjádřením vytvořeného rozvrhu výroby daného počtu strojů nebo časového rozvrhu průchodu výrobků daným výrobním systémem pak může být např. Ganttův diagram. Ten bývá označován také jako úsečkový diagram nebo prostě jen harmonogram. Oproti síťovému grafu Ganttův diagram nabízí pře-

hlednější strukturu činností, a proto je vhodnějším nástrojem pro řízení realizace projektu či rozvrhování produkčních systémů. Síťový graf však lze na Ganttův diagram bez problémů převést tak, že nejprve vyneseme kritické činnosti a pak ostatní činnosti za předpokladu dodržení posloupnosti jejich vykonávání a se zohledněním časových rezerv (Němec, 2002).

Ganttův diagram je také vhodný pro zdrojovou analýzu projektu vyjádřeného síťovým grafem. Využití v takovém případě je součástí obrázku č. 5 níže.



Obrázek 5: Ganttův diagram s histogramem zdrojů
Zdroj: Němec, 2002, str. 90

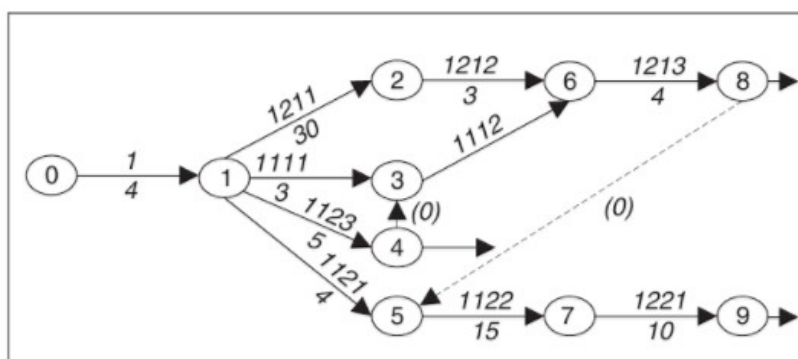
3.2.3 Konstrukce a analýza síťového grafu

Každá dílčí činnost může být realizována jen tehdy, jsou-li k dispozici všechny potřebné zdroje a za předpokladu dodržení technologických (vyvolány technologickou návazností jednotlivých činností na sebe) a organizačních vazeb (vyvolány časovým a prostorovým uspořádáním zdrojů) mezi jednotlivými činnostmi.

Grafickým zobrazením projektu je výše zmíněný síťový model splňující předpoklady, které byly dle Jablonského (2007) uvedeny v kapitole 3.2.1 Teorie grafů. Jestliže hrany představují činnosti projektu a uzly jsou začátky a konce činností, pak se jedná o graf definovaný hranově, preferovaný dle Fialy (2002) pro přehlednější postup výpočtu. Naopak v uzlově definovaných grafech lze jednodušeji vyjadřovat vazby mezi dílčími činnostmi prostřednictvím hran a uzly pak odpovídají činnostem. V případě počítačového řešení lze mezi oběma typy grafu libovolně přecházet.

Samotnému vytváření hranově ohodnoceného síťového grafu musí dle Holoubka (2009) předcházet následující příprava:

- rozčlenění projektu na jednotlivé činnosti,
- odhady dob trvání a nákladů na realizaci jednotlivých činností,
- určení časové a logické návaznosti prováděných činností.



Obrázek 6: Příklad hranově ohodnoceného síťového grafu

Zdroj: Němec, 2002, str. 82

Dle požadavků na časovou realizaci, vynaložené náklady či využívání disponibilních zdrojů můžeme v síťovém diagramu rozlišit následující druhy činností:

- **reálné / pravé činnosti** – činnosti, se kterými jsou spojeny nároky, jak na čas potřebný k jejich vykonání, tak na disponibilní zdroje,
- **fiktivní činnosti** – uměle doplněná činnost, vyznačující se nulovou délkou trvání a je bez nároku na zdroj (Sharma, 2006), dle Němce (2002) slouží k vyjádření podmíněných vazeb, nebo paralelního průběhu s další činností, Ward (1992) dále upozorňuje na její využití v případě, že se v síťovém diagramu objeví smyčka, která je nežádoucí a znemožňuje určení kritické cesty,
- **čekací činnosti** – pomáhají vyjádřit např. technologické pauzy v procesu výstavby, na rozdíl od činností fiktivních jsou s nimi ale spojeny časové požadavky.

Za předpokladu, že se nám podařilo vytvořit model problému či systému prostřednictvím síťového grafu, můžeme přistoupit k jeho analýze. Síťový graf umožňuje analyzovat problém z několika hledisek (Fiala, 2002):

- **časového** - hledáme odpověď na otázku, kdy nejdříve je možné celý projekt dokončit, tj. vykonat všechny dílčí činnosti s ohledem na jejich časovou náročnost a vazby mezi nimi. V rámci výpočtu se určují nejdříve možné a nejpozději přípustné začátky a konce jednotlivých

činností, které slouží ke stanovení celkových rezerv těchto činností. Poté následuje rozbor činností s nejmenší časovou rezervou. K časové analýze se nejčastěji využívají metody CPM (Critical Path Method) a PERT (Program Evaluation and Review Technique).

- **nákladového** - úkolem je určit délku realizace projektu s ohledem na minimalizaci celkových nákladů, které se skládají z nákladů přímých (projevuje se zde růst při snaze o zkracování dílčích činností z důvodu nutnosti vynaložit dodatečné náklady na získání dalších zdrojů – pracovníků, strojů, finančních prostředků) a nepřímých (režijní náklady, které naopak při zkracování doby projektu klesají). Nákladovou analýzu je možné provést metodou CPM/COST, které je v podstatě rozšířením výše zmíněné metody CPM.

- **zdrojového** - cílem je stanovit délku trvání projektu s přihlédnutím k omezené kapacitě jednotlivých zdrojů a při dodržení zásady o jejím nepřekračování. Jestliže některé činnosti probíhají paralelně, dochází ke kumulování požadavků na zdroje, v důsledku toho je nutno vhodně reorganizovat realizaci těchto činností, avšak jen do té míry, aby nedocházelo k nežádoucímu prodlužování projektu. Analýzu zdrojů lze tedy rozdělit do dvou fází: sumarizaci zdrojů a rozvrhování zdrojů, jejichž závislost čerpání na v čase projektu se znázorňuje tzv. součtovou čarou.

Při řešení opět vycházíme z časového řešení získaného metodou CPM; avšak vzhledem k obtížnosti exaktního řešení je nutno využít různé heuristické přístupy, např. paralelní heuristickou metodu s dynamickými prioritami pro přiřazování přípustných činností tak, aby nebyla překročena kapacita relevantního zdroje.

Nyní se blíže zaměříme na metody CPM a CPM/COST, které budou využity v rámci praktické části této diplomové práce.

3.2.4 Metoda CPM

Metoda kritické cesty je matematická metoda, kterou lze provést časovou analýzu projektu při jeho deterministické struktuře a ohodnocení dílčích činností (Fiala, 2002). Cílem metody je výpočet tzv. kritické cesty daného projektu, tedy posloupnosti činností, jejichž prodloužení trvání má přímo úměrný vliv na délku celého projektu.

Ačkoliv je tato metoda považována za univerzální prostředek rozboru jakéhokoliv projektu, dle autorů Punmia, Khandelwal (2005) tomu tak není, neboť CPM je vhodná především pro opakující se typy projektů jinými slovy se příliš nehodí, aby byla aplikována na výzkumné a vývojové projekty.

Na rozdíl od metody PERT, která pracuje s pravděpodobnostními odhady délky trvání činností, metoda CPM bere délku trvání činnosti jako konstantní a navíc umožňuje také nákladovou analýzu a optimalizaci (Sharma, 2006).

Výchozím bodem této metody je dle Warda (1992) sestavení grafického modelu prostřednictvím hranově ohodnoceného síťového diagramu. Činnosti projektu jsou tedy zastoupeny hranami s ohodnocením y_{ij} , které představuje jejich dobu trvání, a uzly symbolizují okamžiky zahájení a ukončení dílčích činností. Dále je nutné znát celkovou dobu trvání projektu T , v níž by měly být všechny dílčí činnosti projektu vykonány.

Před započítáním procesu výpočtu si vysvětleme proměnné, s nimiž budeme při výpočtech pracovat:

- $t_{i,j}$ - doba trvání činnosti (i, j),
- NMZ_i odpovídající $t_i^{(0)}, ZM$ - nejdříve možný začátek činnosti (i, j) vycházející z uzlu i, tj. časový okamžik, v němž může příslušná činnost nejdříve začít,
- NMK_j odpovídající $KM_j = ZM_i + t_{i,j}$, tj. $t_i^{(0)} + y_{ij}, KM$ - nejdříve možný konec činnosti (i, j),
- NPK_j odpovídající $KP_j = ZP_i + t_{i,j}$, tj. $t_j^{(1)}, KP$ - nejpozději přípustný konec činnosti (i, j), tj. časový okamžik, v němž se musí nejpozději ukončit příslušná činnost,
- NPZ_i odpovídající $t_j^{(1)} - y_{ij}, ZP$ - nejpozději přípustný začátek činnosti (i, j)
- celková rezerva CR_{ij} odpovídající $CR_{ij} = t_j^{(1)} - (t_i^{(0)} + y_{ij})$, tedy rozdílu mezi maximálním časovým intervalem, který je pro danou činnost k dispozici, a dobou trvání této činnosti.

Pro všechny výrazy platí podmínka $i, j = 1, 2, 3, \dots, n$, kde:

- n - počet uzlů sítě,
- $i = 1$ - počáteční uzel sítě,
- $i = n$ - koncový uzel sítě.

Dle Fialy (2002) se samotný výpočet provádí ve dvou fázích:

- první fáze - probíhá od počátečního uzlu sítě, pro který platí $t_i^{(0)} = 0$, ke koncovému uzlu a jsou při ní určeny NMZ činností podle výrazu
$$t_j^{(0)} = \max_i (t_i^{(0)} + y_{ij})$$
,
- druhá fáze - probíhá opačným směrem, tedy postupujeme sítí

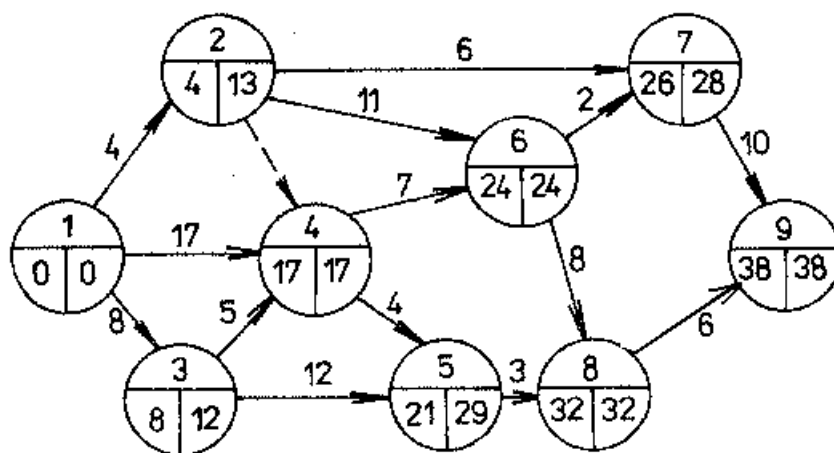
od koncového uzlu sítě, pro který platí $t_n^{(1)} = t_n^{(0)}$, resp. $t_n^{(1)} = T$, k počátečnímu uzlu a počítáme NPK činností podle výrazu $t_i^{(1)} = \min_j (t_j^{(1)} - y_{ij})$.

Jablonský (2007) však rozlišuje proces výpočtu detailněji na fáze tři takto:

- první fáze - výpočet NMZ a NMK prováděných činností,
- druhá fáze - výpočet NPZ a NPK provádění činností,
- třetí fáze - určení celkových časových rezerv CR.

Na základě výpočtu celkových časových rezerv můžeme identifikovat tzv. kritickou cestu, tedy takovou cestu mezi vstupem a výstupem sítě, které je tvořena výhradně z kritických činností, pro něž je charakteristická nulová celková časová rezerva. Tato kritická cesta je zároveň nejdelší cestou v síti mezi vstupem a výstupem.

Výpočet lze provádět buď přímo v zadané síti (při menším počtu uzlů grafu), nebo tabelárně. Při výpočtu přímo na síti je vhodné uzly zakreslovat dostatečně velkými kroužky pro zaznamenání pořadového čísla uzlu, nejdříve možného začátku činností vycházejících z daného uzlu (vpravo) a nejpozději přípustného konce činností končících v daném uzlu (vlevo).



Obrázek 7: Řešení CPM přímo v síťovém grafu

Zdroj: Walter, Vejmla, Fiala, 1989, str. 166

3.2.5 Metoda CPM/COST

Tato metoda vychází z časového řešení metodou CPM a je v podstatě jejím rozšířením o analýzu nákladů vynaložených na realizaci projektu. Základním principem této metody je postupné zkracování délky trvání dílčích činností, což vede ke snížení doby nutné k realizaci celého projektu na jedné straně a k navyšování celko-

vých nákladů na projekt v důsledku dodatečných přímých nákladů na straně druhé. STEWART a WYSKIDA (1987) zmiňují následující cesty, jak zkrátit dobu trvání činností: přesčasová práce, nábor nových pracovníků, zaškolení stávajících zaměstnanců na další pracovní pozici, pořízení dodatečných výrobních zařízení nebo zvýšení zainteresovanosti dodavatelů. Zároveň však upozorňují, že tento efekt je nejvíce patrný především u krátkodobých a střednědobých projektů, zatímco u dlouhodobých projektů postupně vyprchává. Nákladová analýza bývá dle Sharmy (2006) prováděna v rámci tzv. controllingové fáze projektu.

Metoda CPM/COST sestává ze tří fází:

- konstrukce nákladových křivek k dílčím činnostem,
- minimalizace přímých nákladů jednotlivých činností,
- minimalizace celkových nákladů vynaložených na projekt.

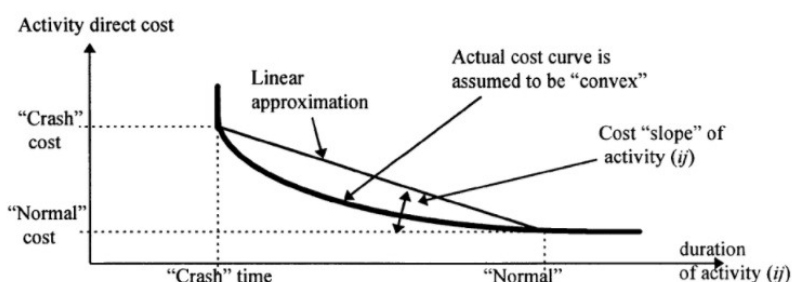
V rámci výpočtu se dle Fialy (2002) určují následující charakteristiky:

- $D_{i,j}$ – normální délka trvání činnosti,
- $C_{D_{i,j}}$ – minimální náklady odpovídající normální délce činnosti $D_{i,j}$
- $d_{i,j}$ – nejkratší možná délka trvání činnosti,
- $C_{d_{i,j}}$ – minimální náklady odpovídající nejkratší možné délce činnosti $d_{i,j}$,
- $t_{i,j}$ – skutečná délka trvání činnosti,
- $C_{i,j}$ – náklady odpovídající skutečné délce trvání činnosti $t_{i,j}$,
- $a_{i,j}$ – koeficient nákladového spádu, znázorněný na obrázku č. 8, který je lineární aproximací vztahu mezi normální délkou trvání činnosti a relevantních nákladů a minimální dobou trvání činnosti a souvisejících nákladů dle vztahu:

$$a_{i,j} = (C_{d_{i,j}} - C_{D_{i,j}}) / (D_{i,j} - d_{i,j})$$
 a jeho hodnota je vyjádřením velikosti nákladů připadajících na jednotku zkrácení trvání činnosti.

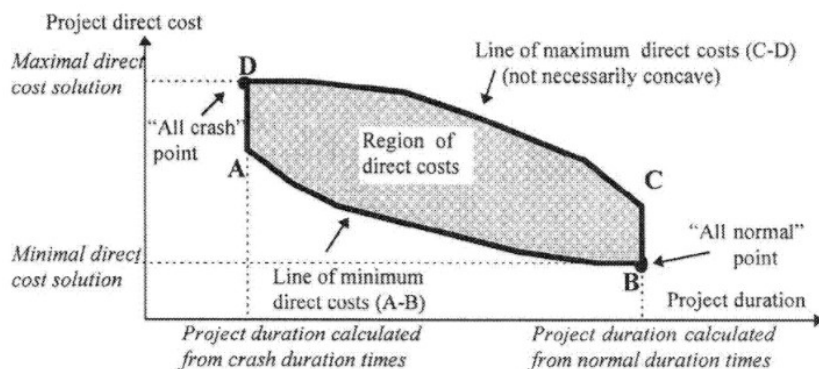
Nyní tedy lze přistoupit k samotnému výpočtu. Nejprve je nutné provést výchozí časovou analýzu síťového grafu projektu metodou CPM pro určení kritické cesty. Následně budeme s jednotlivými kritickými činnostmi pracovat v pořadí daném velikostí nákladového spádu od jeho nejnižší hodnoty. Algoritmus tedy zahájíme zařazením zkrácené doby trvání kritické činnosti, jejíž koeficient nákladového spádu má nejnižší hodnotu, tj. vyžaduje nejnižší dodatečné přímé náklady na zkrácení doby realizace dané činnosti připadající na jednotku času. Tento postup opakujeme i u ostatních kritických činností podle rostoucího koeficientu nákladového spádu.

Takto získané hodnoty následně přičteme k výchozím parametrům kritické cesty, čímž dochází ke zkracování délky trvání celého projektu, za současného růstu celkových přímých nákladů projektu, klesající tendence nepřímých nákladů a do určitého bodu i k poklesu celkových nákladů realizace projektu. Vzhledem k tomu, že přímé náklady však rostou s ohledem na rostoucí koeficient nákladového spádu rychleji, než mohou nepřímé náklady klesat, od určitého bodu dochází opět k růstu celkových nákladů projektu, a tedy již není vhodné přistupovat k zařazení další kritické činnosti zkracující délku trvání celého projektu. V tomto bodě jsme tedy dosáhli optimální délky trvání projektu s ohledem na minimalizaci celkových nákladů realizace projektu.



Obrázek 8: Znárodnění lineární aproximace koeficientu nákladového spádu

Zdroj: Hajdu, 1997, str. 82



Obrázek 9: Závislost celkových přímých nákladů na době trvání projektu

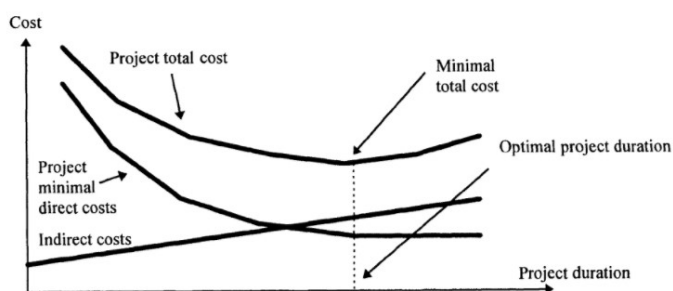
Zdroj: Hajdu, 1997, str. 82

Další z nákladových graf zobrazuje situaci, kdy se snažíme najít minimum celkových přímých nákladů projektu. Toho lze dosáhnout prostřednictvím tzv. Weberova aproximačního postupu (Fiala, 2002):

- Nejprve musíme nalézt kritickou cestu pro situaci zobrazenou v bodě A, kdy trvání činnosti je nejmenší, avšak to s sebou nese nejvyšší přímé náklady.
- Dále tedy zkracujeme kritické činnosti s ohledem na rostoucí hodnotu koeficientu nákladového spádu.

- Zkracováním délky trvání těchto činností až na hodnotu $d_{i,j}$, tím však vznikají další kritické cesty v síti, které je rovněž potřeba postupně zkrátit.
- Postupné zkracování tedy opakujeme až do vyčerpání všech možností k eliminaci doby trvání činností, čímž se dostaneme k bodu minimálních celkových přímých nákladů projektu.

Obvykle však neusilujeme pouze o minimalizaci přímých nákladů realizace projektu, ale zajímají nás celkové náklady, které budeme muset na uskutečnění projektu vynaložit. Průběh těchto nákladů je přehledně uveden na obrázku č. 9, kde si můžeme povšimnout, že zatímco, přímé náklady v důsledku zkracování doby realizace projektu opravdu rostou, nepřímé náklady klesají přímo úměrně se zkracující se délkou trvání činností.



Obrázek 10: Závislost přímých, nepřímých a celkových nákladů projektu na délce jeho trvání

Zdroj: Hajdu, 1997, str. 83

Aby tedy bylo možné v rámci metody CPM/COST optimalizovat dobu trvání projektu tak, aby celkové náklady na jeho realizaci byli minimální, musíme dle Fialy (2002) zajistit splnění následujících podmínek:

- minimální náklady $c_{D_{i,j}} < \text{maximální náklady } c_{d_{i,j}}$,
- mezi trváním činnosti a výši jejích nákladů je definován lineární vztah,
- existují disponibilní zdroje, díky nimž bude možné činnosti zkracovat.

3.3 Softwarové prostředky

Jak již bylo naznačeno výše, praktické využití nejrůznějších optimalizačních modelů je úzce spjato s rozvojem a rozšířením výpočetní techniky a specializovaného softwaru, který si hravě poradí i se složitějšími matematickými modely, jejichž počet omezení a počet proměnných se pohybuje v řádech tisíců, a tudíž by ruční výpočty nepřicházely vůbec v úvahu.

V současné době lze aplikační software dostupný na trhu rozdělit do tří skupin dle jeho uživatelů (Kořenář, Lagová, 2003):

- **výukové programové systémy** (STORM, MOR, DS Win),
- **profesionální programové systémy** (LINDO, LINGO, XA-Professional Linear Programming System),
- **optimalizační moduly tabulkových kalkulátorů** (Quattro Pro, MS Excel).

V praktické části práce však budou využity následující dva programy, kterým se bude věnovat blíže:

- WinQSB, neboli Win Quantitative Systems for Business je modulově stavěným nástrojem pro podporu rozhodování. Ačkoliv byl původně vytvořen pro výukové účely, lze ho využít i pro řešení nepříliš rozsáhlých praktických problémů a jeho výpočetní kapacita přibližně odpovídá i obdobných výukovým trial verzím výpočetních prostředků, jako je LINGO či Solver. Program se jednoduše ovládá i používá a je rovněž uživatelsky příjemný (Sarker, Newton, 2007). Uživatelskou verzi si lze zdarma stáhnout z internetu.

V rámci této práce byl využit pro určení kritické cesty metodou CPM.

- **MS Project**, je další součástí kancelářského balíku Microsoft Office od společnosti Microsoft, avšak tento program je nutné si zaregistrovat a předplatit. Jak již vyplývá z jeho názvu, je určen pro zpracování, správu a řízení projektů. Poskytuje také několik možností jejich zkoumání z různých hledisek (Adamec, 1997). Uživatelé jistě ocení různé možnosti grafických výstupů formou Ganttova diagramu, kalendáře, přehledu peněžních toků, analýzy EVA, CPM, PERT apod. Program nabízí provádění všech relevantních činností, které s projektem souvisejí – od sledování termínů až po přiřazování a kontrolu nepřekračování zdrojů projektu. Veškerá data je zároveň možno sdílet se členy projektového týmu prostřednictvím SharePointu. V rámci této práce byl využit pro stanovení kritické cesty s ohledem na nastavení pracovní doby a pro grafický výstup formou Ganttova diagramu.

4 Charakteristika zkoumaného objektu

Předmětem zájmu této diplomové práce je společnost zabývající se zakázkovou výrobou schodišť SWN Moravia s.r.o., která v letošním roce oslavila již dvacet let svého působení na trhu. Ačkoliv se jedná o ryze českou společnost, již od svého počátku zaznamenala velký úspěch také v okolních německy mluvících zemích, zvláště pak v Rakousku, kde se účastnila svého prvního zahraničního veletrhu již v prvním roce po založení.

Síť výstavních studií (tzv. showroomů) a poboček je pak rozprostřena po celé ČR (např. Praha, Brno, Plzeň, České Budějovice, Pardubice, Ostrava, Zlín), na Slovensku i v Rakousku, tak aby byla co nejbližší potencionálním zákazníkům. Obchodní zastoupení společnosti však najdeme ještě v řadě dalších zemí, jako je Německo, Francie, Nizozemí, Itálie, Španělsko, Slovinsko, Spojené království či Rusko (WEB 4 ALL COMPANY S.R.O., 2016). Společnost SWN Moravia s.r.o. patří k největším výrobců a vývozcům schodišť, neboť více než polovinu své roční produkce exportuje nejen do celé EU, ale i za hranice Evropy (PRO VOBIS S.R.O., 2016b).

4.1 Historie

Společnost byla založena v roce 1996 dvěma bratřenci na základě jejich zkušeností nabitých při zahraničním pobytu v Německu. Tehdy byli se svou malou firmou první svého druhu u nás, a tak se museli „prodrat“ do podvědomí obyvatel vlastními silami, respektive vlastní precizní prací (INTERNET STREAM S.R.O., 2016). Od roku 1998 se společnost zaměřuje výhradně na výrobu a distribuci schodišť a o dva roky později tak začíná s rozšiřováním svých výrobních prostor a specializovaných sušáren, ke kterým v roce 2008 pak přibyla i nová administrativně-výrobní budova. Mezitím se společnost účastní řady světových veletrhů, a tak dochází k postupnému otevírání nových poboček a výstavních studií nejen v krajských městech po celé republice, ale také v Rakousku, na Slovensku a v Rusku. Zlomovým okamžikem se pro společnost stal rok 2006, kdy se po deseti letech specializace na dřevěná schodiště a doplňky, rozhodla rozšířit své produktové portfolio o tzv. kombinovaná schodiště.

Postupně společnost získává povinné certifikáty (CE a TÜV) a investuje do modernizace a pořízování vyspělejších technologií, jako je např. 3D scanner. V loňském roce se společnost účastnila také Desingbloku v Praze.

Vedoucí pozici na středoevropském trhu si společnost zajišťuje prostřednictvím symbiózy a spolupráce s desítkami menších firem, architektonických a interiérových ateliérů, díky nimž je schopna se přizpůsobovat rychle se měnícím požadavkům a přirozené dynamičnosti prostředí.

Specifické bylo také chování společnosti v případě krize, kdy s úsměvem přihlížela cenovým závodům konkurentů na stavebním trhu, u nichž 30-50% slevy z ceny nebyly žádnou výjimkou. Společnost si totiž stojí za tím, že nabízí 100% službu, jež je bohužel za 50 % procent ceny seriózně nerealizovatelná, a ze své kvality nechce ustupovat. Nabízí však svým zákazníkům jiné řešení v podobě prakticky nekonečného prostoru možností volby jednoduššího typu schodiště, jednoduššího zpracování i použití lacinějších materiálů.

V níže uvedené tabulce č. 1 jsou přehledně shrnuty základní údaje o společnosti, vedené v obchodním rejstříku:

Tabulka 1: Základní údaje o obchodní společnosti

Obchodní firma:	SWN Moravia, s.r.o.
Sídlo:	Mladoňovice 65, PSČ 67532
Identifikační číslo:	63493845
Právní forma:	Společnost s ručením omezeným
Datum zápisu:	28. února 1996
Spisová značka:	C 22162 vedená u Krajského soudu v Brně
Předmět podnikání:	Obráběčství truhlářství, podlahářství zámečnictví, nástrojářství výroba, obchod a služby neuvedené v přílohách 1 až 3 živnostenského zákona
Statutární orgán - jednatel:	ZDENĚK SVOBODA, dat. nar. 20. března 1969 Fibichova 1665, 676 02 Moravské Budějovice Den vzniku funkce: 28. února 1996 TOMÁŠ NEKULA, dat. nar. 19. července 1969 Partyzánská 1679, 676 02 Moravské Budějovice Den vzniku funkce: 28. února 1996
Způsob jednání / Způsob zastupování:	za společnost jedná každý z jednatelů samostatně a podepisuje tak, že k obchodnímu jménu společnosti připojí svůj podpis, uvedený ve společenské smlouvě.
Společníci:	SWN Holding s.r.o., IČ: 052 74 834 č.p. 65, 675 32 Mladoňovice Podíl: Vklad: 1 000 000,- Kč Splaceno: 100% Obchodní podíl: 100% Druh podílu: základní
Základní kapitál:	1 000 000,- Kč

Zdroj: Ministerstvo spravedlnosti České republiky, 2016

4.2 Sídlo

Sídlo společnosti se nachází v obci Mladoňovice v kraji Vysočina. Součástí areálu je kromě výrobních hal i nová obchodně administrativní budova se školícím centrem a výstavním studiem. Pod jednou střechou je tak situován kromě obchodního, technického a vývojového oddělení i úsek konstrukce. Celý proces od zadání výkresové dokumentace až po zabalení a expedici schodiště k zákazníkovi tak probíhá na jednom místě.

Výrobní závod je tvořen výrobní halou dřevovýroby, výrobní halou kovovýroby, počítačově řízenými velkokapacitními sušárnami dřeva a sklady. Na výrobní ploše cca. 3000 m² pracuje více než 100 zaměstnanců.



Obrázek 11: Nová administrativně-výrobní budova z roku 2008

Zdroj: Archiv společnosti SWN Moravia s.r.o.

4.3 Technologie

Od svého založení investovala SWN Moravia s.r.o. obrovský um, nápaditost a desítky milionů korun do získání nejnovějších technologií a zkušeností, aby zákazníkovi nabídla pestrou paletu technicky a konstrukčně špičkových řešení schodišť (Podlahy Blanket s.r.o., 2016). Vývojová základna je tvořena více než deseti špičkovými designéry, kteří používají nejmodernější techniku. Nyní zavádí jako první v České republice zaměřování schodišťového prostoru pomocí laserového 3D scanneru FLEXI JET (CSTUDIO, 2014).

Technologické zázemí SWN Moravia zahrnuje strojírenskou výrobu včetně obráběcích strojů nebo zařízení pro povrchové úpravy, kde se k závěrečnému čištění ocelových součástí budoucích schodišť před lakováním používá otryskávání (pískování) jemnými ocelovými broky. Výrobní haly jsou vybaveny nejmodernějšími technologiemi pro výrobu schodišť postavenou na NC a pětiosých CNC strojích pro opracování správně vysušeného masivního dřeva.

Návrh schodišť pak probíhá prostřednictvím speciálního softwaru pro výrobu schodišť, který umožňuje zadat každé schodiště přesně na míru podle požadovaných rozměrů plynoucích ze situace přímo u zákazníka.

4.4 Produktové portfolio

Dle ČSN 73 4130 je schodiště „*stupňovitá stavební konstrukce určená k překonávání rozdílů výškových úrovní chůzí. Jedná se o spojnicí 2 podlaží vyrobenou z lepených dřevěných lamel*“ (TECHNOR, 2015) Je tedy nezbytným funkčním prvkem každého vícepodlažního prostoru, ať už se jedná o rodinný dům, byt, kancelář nebo venkovní prostor. Nelze však opomíjet ani jeho estetickou funkci, neboť jeho tři dimenze nabízejí nečekanou pestrost řešení.

4.4.1 Základní parametry schodiště

Provedení schodišť včetně zábradlí se řídí danými předpisy, které se týkají rozměru, tvaru, bezpečnosti, statiky apod.

Schodiště se skládá ze schodišťových ramen a schodišťových podest. Každý schod tvoří stupnice (nášlapná vodorovná část) a podstupnice (svislá část). Ta ale nemusí u některých typů schodišť být - nejčastěji u dřevěných nebo skleněných. Všechny stupně schodů mají mít stejnou výšku, samotný rozměr schodu obvykle vychází z průměrné délky kroku: jako ideální se považuje 17 cm výška a 29 cm hloubka.

Minimální průchozí šířka schodiště v rodinném domě je 60 cm, madla zábradlí mají být minimálně ve výšce 90 cm nad hranou každého schodu. Možné je zábradlí plné, sloupkové, mřížové (mezery nesmí přesáhnout 120 mm). Pro děti jsou vhodná madla ve výšce 40 až 70 cm, snadno uchopitelná, bez výstupků a hran.

4.4.2 Rozdělení schodišť na základě různých hledisek

Základní rozdělení schodišť dle umístění:

- interiérová – vhodná do rodinných domů, chat a chalup, ale i komerčních prostor,
- exteriérová.

Rozdělení schodišť dle provedení schodnice, nášlapu a zábradlí (W & WEINZETTL, S.R.O., 2013):

- dřevěná a celodřevěná,
- kovová – kombinace dřeva s železnými, ocelovými nebo mosaznými prvky s povrchovou úpravou v barvě dle vzorníku RAL; vhodná do interiérů i exteriérů,

- kombinovaná – kombinace dřeva, kovu a skleněných (bezpečnostní kalené sklo, mléčné sklo) či kamenných prvků (nášlapy a zábradlí).

Materiál, z něhož bude schodiště vyrobeno, by měl odpovídat tomu, jakou funkci by mělo schodiště plnit. Ačkoli stále přetrvává představa, že z důvodů ceny je lepší betonové schodiště, nemusí to být pravda. Rovněž celodřevěná nebo kombinovaná schodiště od společnosti SWN Moravia jsou nejen kvalitní, ale také cenově dostupná. Společnost nabízí schodiště celodřevěná, kovová, schodiště z materiálových kombinací dřeva, kovu a skla od pouhých 50 tisíc korun až do půl milionu v závislosti na volbě materiálu a jejich případné kombinaci a zpracování.

Schody, odborně nášlapy či schodišťové stupně, jsou převážně ze dřeva, výjimečně je požadováno tvrzené lepené sklo. Schodnice, tedy nosná konstrukce pro schody, bývá dřevěná nebo kovová.

Zákazník má na výběr z 25 typů dřevin - od klasických jako je dub, buk, jasan, ořech, přes moderní javor nebo břízu, exotické merbau, jatoba, hevea až po cenově výhodnější smrk, borovice nebo modřín (DřevěnéBydlení.cz, 2012). A to včetně různých povrchových úprav olejováním, mořením a drásáním. Přičemž na vybrané dřeviny je poskytována až 5letá záruka (PRO VOBIS S.R.O., 2016a), neboť pro výrobu je používáno perfektně vysušené dřevo z vlastních počítačem řízených moderních sušáren. Již od svého vzniku si totiž společnost zakládá na dlouholeté zkušenosti, že správné sušení dřeva je zásadním procesem ve výrobě schodišť, jenž zaručuje stálé vlastnosti a nejlepší možnou kvalitu.

Rozdělení schodišť dle konstrukce:

- vřetenová - samostatné stupně zapsané do vřetene, což je středový nosný sloup; výsledkem je subtilní schodiště vhodné tam, kde je méně prostoru,
- bočnicové - takové, kde schody bezprostředně navazují na zeď,
- segmentové - skládá se z jednotlivých montovatelných dílů,
- podestové schodiště - schodnice kov, povrchová úprava stříbrná RAL, nášlapy ořech pařený s bělí masiv.

Rozdělení schodišť dle konstrukčního typu vnitřní a vnější schodnice:

- zadlabaná,
- sedlová,
- kombinovaná s nerezí.

Dále v nabídkovém katalogu naleznete:

- dřevěné nášlapy na schody,
- obklady pro betonové monolity.

Hanzal (2016) pak uvádí výběr z několika variant zábradlí:

- dřevěné,
- kovové,

- nerezové,
- lankové,
- skleněné (pro velice módní vzhled).

Dle Angela (2013) lze schodiště rozlišovat také podle konstrukce a půdorysového tvaru:

- samonosná dřevěná,
- s příkými, zakřivenými nebo smíšenými rameny,
- točítá (pravotočivá či levotočivá),
- lomená,
- půdní,
- olepovaná.

SWN Moravia nabízí širokou paletu designových řešení dle nejmodernějších trendů, stejně jako stylová řešení pro venkovská stavení. Důležitá je přitom spolupráce s architekty a designéry, kteří vylepšují stávající modely.

Nabídka schodišť je členěna do 3 desítek základních modelových řad, různých půdorysů, přičemž v každé modelové řadě je možno kombinovat různé stavební prvky schodiště z hlediska jejich provedení, materiálu i designu. Schodiště si lze vybrat buď z katalogizované nabídky, nebo si jej nechat vyhotovit na míru podle vlastních představ a přání. V této společnosti se rozhodně nebojí výzev a tedy ani výroby atypických schodišť, která tvoří téměř třetinu produkce.

Oblíbenou povrchovou úpravou je olej a drásané nebo katrované povrchy (přírodní, rustikální úprava).

4.4.3 Kvalita a bezpečnost

Vzhledem k tomu, že je schodiště poměrně nákladnou investicí, je třeba vybírat z kvalitních výrobců, jež disponují certifikáty, zkušenostmi a dobrými referencemi.

Nejvyšší kvalita a dlouhodobá stálost podstatných vlastností výrobků jsou pro společnost SWN Moravia naprostou samozřejmostí, neboť usnadňují následnou údržbu a zaručují odolnost a tím i spokojené zákazníky. Svobodová (2013) však dále upozorňuje, že schodiště musí splňovat také nejrůznější bezpečnostní podmínky tak, aby byly dodrženy závazné normy (zejména ČSN 73 4130 z roku 2010 a další).

Schody nesmí:

- být kluzké,
- mít ostré hrany,
- být špatně osvětlené.

Obecně je také vhodnější a pohodlnější volit schodiště přímoramenné, příp. lomené do tvaru písmene L, U, nebo J.

SWN Moravia patří k několika málo firmám v ČR, jež mohou označovat vybraná schodiště značkou CE. Toto označení je v podstatě evropským pasem pro vyvážené výrobky, které deklaruje nezávadnost, bezpečnost a že není nutné v zemi vývozu dělat jakékoliv další zkoušky (Hejhálek, 2013).

Kvalitu výroby dokazuje dále fakt, že společnost disponuje systémem technické kontroly – TÜV na sváry kovových stupnic.

Po důkladném testování a ověřování získala od notifikované osoby DIBt v Berlíně také doklad, že výrobek byl posouzen před uvedením na trh EEA (27 členských států EU plus Island, Lichtenštejnsko, Norsko) a splňuje tak legislativní požadavky EU z příslušné směrnice.

Rovněž dodavatelé a obchodní partneři společnosti jsou pečlivě vybíráni se zaměřením nejen na maximální kvalitu, ale také na dodržení podstaty trvale udržitelného obhospodařování, dodržování ekologických standardů, zvyšování stability, odolnosti, kvality a druhové rozmanitosti lesů.

4.5 Výrobní proces

Výroba probíhá výhradně v režii společnosti SWN Moravia (SWN Moravia, 2015).

Vzhledem k vysoké úrovni uplatňování vzdělávacího procesu na všech stupních v prodejním, výrobním i servisním týmu, je každý pracovník odborníkem na svém místě. Profesionalita společnosti spočívá v individuálním přístupu, osobním postoji, použití kvalitních materiálů a výsledné preciznosti. Výsledkem je pak cca. 1500 ks schodišť ročně, z nichž každé je naprosto originální chloubou v nemoovitostech jednotlivých zákazníků. Na základě spolupráce s klienty dochází ke sladění jejich náročných představ a schopností společnosti dodat hotové dílo v dostatečně krátkém časovém intervalu a za příznivou cenu (CNNN, 2014).

4.5.1 Nevýrobní pracoviště: OZV

Samotnému výrobnímu procesu předchází činnost obchodních zástupců společnosti, která zahrnuje:

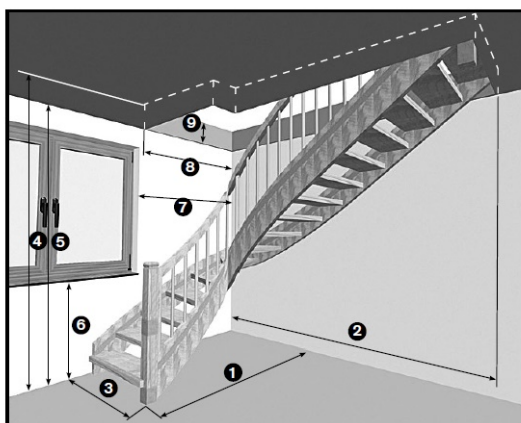
- vyhledávání potencionálních zákazníků a zjištění jejich potřeb, požadavků a představ prostřednictvím účasti na výstavách, veletrzích, ve výběrových řízeních a obchodních soutěžích o zakázky,
- péči o zákazníky, kteří si sami zavolají do firmy a sjednají si schůzku s obchodním zástupcem a technickým poradcem v jedné osobě,
- vyhotovování cenových nabídek, kupních smluv a průvodních listů zakázek,
- evidence obchodních případů a zakázek,

- zaměření schodišťového prostoru pomocí moderního laserového 3D scanneru včetně veškerých úhlů a ostatních detailů a kót (INTERIÉROVÉ STUDIO H-PARK, 2016), jak je uvedeno na obrázku č. 12 z reklamního katalogu společnosti SWN Moravia s.r.o..
- předání záznamu o zaměření zakázky a pokynů pro montáž zakázky na pracoviště TPV po uhrazení zálohové faktury zákazníkem,
- expedici a montáž zakázky,
- vývoj nových druhů výrobků a služeb.

Obchodní zástupce je tedy zodpovědný za detailní zpracování plánu umístění schodiště do schodišťového prostoru. Nejprve musí určit vnitřní a vnější pozice hran jednotlivých nášlapů a jejich kontrolních šířek. Poté provede zaměření všech úhlů schodiště a celkové výšky schodiště pro určení výšky nástupního a výstupního nášlapu včetně kontroly výšek ostatních nášlapů. Na vřetenovém schodišti je nutno změřit výšku v místě kde bude stát středový sloup a v místě kde bude výstupní podesta nebo výstupní nášlap. Dalším úkonem je rozvržení sloupek (dřevěných nebo kovových, tzv. TVH sloupek) a zaměření galerie a síla a složení špalety. Velmi důležitým úkolem je vyznačení rozvodů elektřiny, vedení podlahového topení a vodovodního potrubí, odpadů, nosníků sádkartonových desek apod. Na závěr před opuštěním stavby ještě technik provádí kontrolu plánu zaměření: zda obsahuje všechny kóty jednotlivých nášlapů a zda naměřené úhly odpovídají logice rozvírání a svírání stran.

Zaměření schodiště

Co je potřeba znát?



- 1 půdorysná délka prvního ramene (L1)
- 2 půdorysná délka druhého ramene (L2)
- 3 šířka schodiště (včetně schodnic)
- 4 celková výška schodiště [konstrukční výška]
- 5 světlá výška podlaží
- 6 rozměry stropního otvoru
- 7 poloha dalších stavebních otvorů nacházejících se v prostoru budoucího schodiště nebo v jeho blízkosti (okna, parapety, dveře, radiátory, vývody vody, elektřiny, centrální vysavače atd.)
- 8 tloušťka stropu (špalety) včetně skladby stropní konstrukce

Obrázek 12: Technologický postup pro zaměření betonových schodišť

Zdroj: interní materiály společnosti SWN Moravia s.r.o.

Právě takto zmapovaný prostor pro umístění schodiště je klíčovým prvkem přispívajícím k dokonalosti a maximální výrobní a montážní přesnosti schodových stupňů, schodnic, zábradlí, madel a dalších součástí na 0,1 mm.

V druhém kroku pak dle Pojara (2014) obchodní zástupci, se kterými zákazníci komunikují, vyslechnou všechna přání a vytvoří individuální plán včetně cenové nabídky a výkresové dokumentace, jenž je dále konzultován a odsouhlasován s klienty ještě před samotnou výrobou schodiště tak, aby se předešlo případným nesrovnalostem.

4.5.2 Technologické pracoviště: TPV

Na oddělení technologické přípravy výroby je každý návrh schodiště realizován speciálním softwarem pro výrobu schodišť, který umožňuje zadat schodiště přesně na míru dle požadovaných rozměrů plynoucích ze situace zaměřené přímo u zákazníka.

Každá zakázka je tedy odborným technologem – tzv. rozkreslovačem rozkreslena od základních prvků daného modelu schodiště po jednotlivé doplňky tak, aby mohly být vytvořeny výkresy jednotlivých dílců s kótami potřebnými pro výrobu a kusovníky skladových položek, které jsou východiskem pro přípravu a vychystání materiálu ze skladu řeziva či objednání skleněných prvků a kovových dílů pro kooperaci, jež je zajišťována dodavatelsky od renomovaného obchodního partnera společnosti.

Dále je rozkreslení zakázky podkladem pro:

- vytvoření laserového vysvicování a výrobních programů odesílaných po interní síti do konkrétního výrobního stroje či podpůrného počítače,
- vypracování a vytištění šablon pro výrobu atypických dílců,
- tisk pracovních výkazů pro směnového mistra pro evidenci zpracování zakázky na jednotlivých výrobních úsecích,
- a vyhotovení výrobních lístků s hrubými mírami komponentů (nadmíry).

Takto připravená zakázka může být následně převzata výrobními dělníky k fyzické přípravě dílů.

4.5.3 Technologické pracoviště: HPV

Na pracovišti hrubé přípravy výroby jednotlivé díly schodiště postupně procházejí čtyřmi dílčími úseky, jejichž úkolem je připravit k dalšímu zpracování dřevěné schodišťové komponenty v potřebné kvalitě, s maximální úsporou materiálu a v co nejkratším čase.

Těmito dílčími úseky HPV jsou:

- vychystání a příčné rozřezávání materiálu (tzv. vykracování),

- podélné rozřezávání materiálu (tzv. rozmítání),
- štosování a hoblování řezaných lamel,
- lepení lamel pro konkrétní dílce a jejich tloušťkování.

Hrubá příprava komponentů tedy začíná na tunelové vykracovací pile, kde je materiál na jednotlivé komponenty vykracován podle hrubých měr s ohledem na jeho délku a kvalitu. Dílce jsou zde chystány dle materiálové náročnosti – od viditelné schodnice, přes schodnice neviditelné, sloupky a madla na galerii až po nášlapy. Zbylý materiál je buď vrácen zpět do skladu, nebo rozřezán na použitelné zbytky (určené např. pro výplň prstence u vřetenových schodišť).

Druhým pracovištěm na úseku přípravy je rozmítací pila, na které jsou vykrácené kusy rozřezány na lamely určené k dalšímu opracování. Prioritou rozmítání je co největší výtěž materiálu, a tak pokud po rozmítání zůstanou použitelné zbytky materiálu, tyto jsou vráceny zpět na úsek vykracování pro přípravu nášlapů nebo špruší, jež se obvykle nechystají přímo.

Lamely nařezané v hrubých mírách postupují na čtyřstranné hoblování, pro které neplatí zásady o posloupnosti dílců, ale jejich zpracovávání je podřízeno aktuální situaci na následujícím pracovišti – lepení.

K lepení komponentů z hoblovaných lamel je využíván plošný lis, hranolový lis, hranolové lisy pro napojované lamely nebo tzv. truhlářské stahy, přičemž rozlišujeme lepení hranové, kantové a cinkování (u napojovaných lamel). Pracovník zde opět postupuje dle časové náročnosti jednotlivých dílců a s ohledem na nutnost lepených spojů min. po dobu 24 hodin; takže relevantní dílce mohou být tloušťkovány až druhý den; některé dílce mohou být tloušťkovány bez lepení (ploché lišty).

4.5.4 Technologické pracoviště: CNC

Rovněž do této oblasti výrobní činnosti již pronikl všeobecný trend automatizace práce projevující se ve všech oborech. Pro opracování masivního dřeva se používají CNC obráběcí centra zaručující vysokou přesnost při výrobě jednotlivých komponentů schodů a zkracující časy nutné pro opracování, takže efektivita výroby je mnohonásobně vyšší než v případě ruční truhlářské práce.

Tato pětiosá obráběcí centra umožňující opracovávat materiály o rozměrech až 1x6 m patří k nejmodernějším strojům současnosti.



Obrázek 13: Obráběcí stroj CNC Vision

Zdroj: interní materiály společnosti SWN Moravia s.r.o.

4.5.5 Technologické pracoviště: BRO

Po obrábění na CNC strojích je další operací broušení dílců, kterým se zušlechťuje jejich povrch.

Rozlišujeme broušení:

- plošné – při němž se používá hrubší brusný papír o zrnitosti 60 zrn/cm² k srovnání plochy obrobených dílů (tzv. egalizování) a následně 120-150zrnny smirkový papír pro dobroušnění do hladka,
- hranové – např. ruční bruska Langzauner umožňující jak broušení, tak frézování zakulacených hran nášlapů.

U některých dílců předchází samotnému broušení ještě drobné opravy, jako je např.:

- vysukování (vyspravení vypadavých suků a vadných míst v masivních dřevěných dílcích zatmelením umělými suký v barvě použitého dřeva),
- vylodičkování (odstranění smolníků a pryskyřičných kanálků a následné vložení tzv. lodiček nebo přírodních suků),
- nebo dolepení olámaných nebo oštípaných hran.

4.5.6 Technologické pracoviště: ZKS

Teprve po pečlivé realizaci všech předchozích kroků (strojovém a ručním opracování) následuje finální výroba kombinující nejmodernější technologie a tradiční řemeslnou dovednost truhlářů a zámečníků.

Na pracovišti zkušebního skládání dochází k přípravě jednotlivých dílců na tzv. pasování. Vzhledem k tomu, že 90 % schodišť je vyráběných dle individuálních požadavků, je nutné kompletní a pečlivé sestavení každého z nich dle výrobního výkresu ještě v prostorách společnosti, což zajišťuje odstranění potenciální chybovosti a také rychlost při následné finální montáži.

Tato etapa výroby zahrnuje také konstrukční práce na atypických dílcích, které nebylo možno vyrobit na CNC strojích (např. šnekovité zakončení madel).

4.5.7 Technologické pracoviště: POU

Každá dřevina vyžaduje osobní přístup při opracování jejího povrchu v závislosti na struktuře, textuře a barvě. Povrchová úprava výrobků ze dřeva plní v zásadě dvě funkce, a to funkci ochrannou a funkci výtvarně estetickou, díky níž je možné z obyčejného schodiště vytvořit umělecké dílo.

Pro povrchovou úpravu dřevěných dílců a doplňků lze volit mezi širokou škálou technik (jako je např. kartáčování plochy, jež zvýrazňuje texturu dřeva a letní části letokruhů) a prostředků – povrch lze ošetřit otěruodolným transparentním lakem švédské výroby, olejovou úpravou, tvrdým voskem nebo mořením do libovolných odstínů dle specifických požadavků zákazníka.

U kovových a kombinovaných schodišť pak přichází v úvahu žárové pozinkování nebo lak v barvě dle vzorníku RAL.

4.5.8 Technologické pracoviště: EXP

Expedice hotových zakázek se ve firmě provádí dvěma způsoby:

- zakázka se expeduje externí nebo interní montážní skupinou a ihned se montuje (způsob používaný zejména v tuzemsku),
- zakázka expeduje zákazníkům před montáží, příp. bez ní (způsob používaný zejména v zahraničí a u některých tuzemských obchodních partnerů).

Pracovníci Operačního zákaznického centra zajišťují průběžnou kontrolu výrobních a dodacích termínů, připravuje hotové schodiště k expedici a příp. organizuje montážní skupiny a dopravu schodiště k zákazníkovi.

Ještě před tím, než jsou jednotlivé komponenty baleny jako volné balíky nebo na palety, je nutné zkontrolovat kvalitu zakázky v těchto bodech:

- rozměry dílců dle výkresové dokumentace,
- kvalita materiálu u dřevěných dílců i ostatních komponent,
- kompletnost zakázky,
- úplnost balení včetně doplňků a montážních komponentů.

Pozice expedienta je v pracovním procesu velice důležitá, neboť má jako poslední článek výrobního řetězce za úkol kontrolovat výstupní kvalitu skleněných,

kovových a soustružených komponent (zajišťovaných dodavatelsky v rámci kooperace) a hotových výrobků, jejich uložení na sklad před vyexpedováním a včasné a kompletní dodání zákazníkovi. Je nutné, aby byl seznámen s úrovní kvality vyráběných výrobků a měl detailní přehled o právě expedovaných zakázkách a eliminoval případné vady a omyly z výroby nebo od subdodavatelů komponentů výrobku.

Součástí náplně práce vedoucího operačního zákaznického centra je také zpracování zpětné vazby od zákazníků a řešení reklamací výrobků a služeb společnosti, které jsou přijímány buď osobně montážní skupinou ihned při dodání a v průběhu montáže zakázky, nebo telefonicky či písemně u příslušného obchodního manažera po dokončení umístění schodiště na stavbě zákazníka.

4.5.9 Nevýrobní pracoviště: MON

Na závěr celého procesu dochází k samotnému umístění do finálního hotového prostoru a předání díla zákazníkovi. Montáž schodiště zahrnuje činnosti nutné k sestavení všech komponent schodiště tak, aby došlo ke správnému uložení a umístění ve schodišťovém prostoru dle výkresu a plánu ze zaměření. Většinu schodišť je díky zkušební předmontáži možno namontovat a předat zákazníkovi za jediný den.

Členové určené montážní skupiny si před odjezdem na montáž vyzvednou veškerou dokumentaci k danému schodišti a seznámí se se zakázkou tak, aby případné nejasnosti mohli včas konzultovat se zodpovědným rozkreslovačem, zkontrolují si kompletnost zakázky a naloží ji na dopravní prostředek.

Každá montáž má však svá specifika na straně zákazníka, která souvisejí s přípravou stavby. Zákazník musí:

- dodržet stavební rozměry odsouhlasené při zaměřování schodiště (omítky, špalety, betonové podlahy a stupně),
- zajistit v domě min. teplotu vzduchu + 15°C,
- zajistit potřebnou relativní vlhkost vzduchu (50-55 %) nebo objemovou vlhkost betonů a omítek, která nesmí přesáhnout 2,8 % (tj. 2,8 l obsahu vody ve^o100°kg betonu),
- připravit podlahovou plochu pod základnou schodiště v souladu s technickými parametry požadovaného schodiště.

5 Formulace modelu problému

Společnost SWN Moravia s.r.o. by se v následujících letech ráda zaměřila na upevnění svého postavení na trhu výroby schodišť jako moderní a prosperující průmyslový podnik a na zajištění svého dlouhodobého ekonomického rozvoje s využitím moderních řídicích systémů a efektivního controllingu prostřednictvím detailnějšího vedení operativní evidence zpracování zakázek při jejich průchodu jednotlivými výrobními pracovišti tak, aby na základě těchto informací mohla v budoucnu lépe odhadovat potřebné výrobní kapacity, personální zajištění a obsazení výrobních zařízení a strojů pro efektivnější a rychlejší zpracování zakázky.

5.1 Zakázkové řízení výroby

Schodiště jsou ve společnosti SWN Moravia s.r.o. vyráběna zakázkovým způsobem podle přání zákazníků. Zakázkové řízení je souhrnem činností, které rozhodují o budoucích výrobních úkolech, zajištění potřebných výrobních kapacit a personálních zdrojů a včasné a kvalitní sestavování operativních plánů výroby.

Zakázka je tedy základním nositelem informací pro evidenci a zpracování souvisejících dat. Zakázkové řízení začíná u obchodních zástupců společnosti, kteří přijímají veškeré zákaznické poptávky a při vypracovávání cenových nabídek zároveň prošetřují, zda je požadovaný výrobek opakovaný, jehož technické parametry a řešení je odvozeno z typu již vyráběného, nebo zda jde o výrobek zcela nový. Sortiment společnosti je natolik rozmanitý, že každá zakázka je individuální a do jisté míry atypická, tudíž zde nelze striktně uplatňovat jednotná technická a technologická řešení, což znesnadňuje zařazení výrobků do skupin a jednoznačnou standardizaci výroby. Z hlediska pracnosti má na výrobek vliv:

- konstrukční typ (základní tvar),
- druh materiálu,
- způsob povrchové úpravy (lak, moření, bělení, olejování, pigmentování).

S využitím těchto údajů lze zakázky charakterizovat, evidovat a následně analyzovat prostřednictvím technologických kódů uvedených v tabulce č. 2.

SWN v současné době používá v rámci informačního systému tři samostatné softwarové produkty - evidenční a kalkulační subsystémy, z nichž je pro nás relevantní především vlastní systém INFO, v němž jsou vedeny veškeré relevantní údaje o zakázkách, plánech výroby, kusovnících a výkresové dokumentaci, skladování materiálů, kooperačních zakázkách, reklamacích, obsahuje však i montážní dokumentaci, informace o spotřebě práce a v neposlední řadě také o zákaznících.

V systému INFO jsou tedy evidovány průběhy zakázek výrobou podle pracovišť na základě informací zachycených v Záznamu o výrobním cyklu zakázky, který společně s kusovníkem putuje celým výrobním procesem každé zakázky. Zpracování těchto dat společně s výrobními standardy, aktuálními ceníky materiálu a práce umožňuje vytvoření podkladů pro řízení výroby. Na základě analýzy těchto dat je tedy možné vygenerovat předpokládanou délku výrobního cyklu nově přijaté zakázky a určit plánovaný termín ukončení výroby, který je průměrně stanoven na 20 pracovních dní, tj. 4 týdny od předání podkladů pracovníkům útvaru TPV.

Tabulka 2: Technologické kódy základních výrobních standardů schodišť

Konstrukční tvar			Provedení		Povrchová úprava		
0	Přímé	00	Zadlabané	0	Standard	0	Lakováno
1	Lomené 1 (1x1/4, 1x1/4 s podestou, přímé s velmi šikmým nástupem či	01	Zadlabané s ohybníkem	1	Klasik	1	Mořeno standard a lakováno
2	Lomené 2 (2x1/4, 1x1/2)	02	Sedlové s ohybníkovým zábradlím	2	Estetik	2	Mořeno dle vzorku a
3	Lomené 3 (3x1/4, S typ)	03	Trny jednostranné VNI či VNĚ, trny oboustranné	3	Luxus	3	Bílá barva
4	Lomené 4 (1x1/2 s podestou - rovnou či šípovou, 2x1/4 s 2 podestami)	04	Sedlové, event.kombinace se zadlabanými	4	TVH Estetik	4	Černá barva
5	Obloukové 3D 1x1/4 (1 či 2 obloukové lepené schodnice)	05	Betony holé, bez zábradlí mezi zdi	5	TVK Luxus	5	Pigmentováno
6	Vřetenové kruhový půdorys	06	Betony jednostranně viditelné			6	Běleno a lakováno nebo
7	Vřetenové hranatý půdorys	07	Betony dvoustranně viditelné			7	Olejovalo
8	Kovové (kooperace)	08	Šprušlonosné VNI+VNĚ, schodnicové-sedlové			8	Bez povrchové úpravy
		09	Šprušlonosné VNI+VNĚ, trny do schodnice				
		10	Šprušlonosné VNI+VNĚ, trny do zdi				
		11	Šprušlonosné VNI+VNĚ, konzoly				
		12	Bolzen VNI+VNĚ, schodnicové-sedlové				
		13	Bolzen, VNI+VNĚ, sedlové, trny do schodnice				
		14	Bolzen VNI+VNĚ, sedlové, trny do zdi				
		15	Bolzen VNI+VNĚ, konzoly, Kengott				
9	Individuální kalkulace	99	Individuální kalkulace	9	Individuální kalkulace	9	Individuální kalkulace

Zdroj: interní materiály společnosti SWN Moravia s.r.o.

5.2 Aplikace síťové analýzy

Vzhledem k ročnímu objemu vyrobených schodišť (uvedeno v kapitole 4.5 Výrobní proces), musí zákonitě docházet k tomu, že je několik zakázek realizováno současně. Je tedy na místě uvažovat o optimalizaci procesu jejich zpracování, a proto vznikla tato diplomová práce, v níž bude provedena analýza procesu realizace jedné ze zakázek, aby bylo možné odhalit potencionálně problémová a úzká místa, jež mají vliv na průchod zakázky výrobními pracovišti, čili provádění jednotlivých činností na strojních zařízeních a s přispěním lidské práce pracovníků, které určují potřebné zdroje a zároveň nákladovou náročnost pro jednotlivé operace a ovlivňují konečnou dobu trvání zakázek.

S ohledem na skutečnost, že každá ze zakázek společnosti je jedinečnou stavbou objektu, lze zde uplatnit metody síťové analýzy obvykle používané při řízení projektů, jakožto unikátních souborů činností. Rovněž každá z těchto zakázek je časově i prostorově ohraničená, se zákazníkem je vždy dohodnut předběžný termín předání díla. Zatímco projekt je charakterizován schváleným rozpočtem, v případě zakázky tuto funkci zastupuje cenová nabídka, která zohledňuje nákladové požadavky na potřebné zdroje.

Jak již bylo uvedeno v kapitole 3.2.2 Projektové řízení, je tato úloha rovněž úlohou z oblasti teorie časového rozvrhování produkčních systémů, při níž dle Fialy (2002, str. 115) modely síťové analýzy „*popisují úlohy, které zpracovávají jedinou dávku (projekt), skládající se z více operací (činností) a ty se zpracovávají na samostatných procesorech (realizace činností). Mezi operacemi (činnostmi) existuje precedenční relace, která se vyjadřuje pomocí precedenčního (síťového) grafu*“. Správné rozvržení pracovních činností je totiž velice důležité pro výkonnost výrobního systému a zajištění produktů v požadované kvalitě, smluveném čase a s ohledem na minimalizaci nákladů. Rozvrhování činností tedy souvisí s normováním práce, při níž jsou využívány mj. výsledky časových studií uvedených v kapitole 3.1.2 Vlastnosti výrobního systému.

Po rozkreslení zakázky na oddělení technické přípravy dochází zároveň k vygenerování kusovníků s materiálovými požadavky a pracovních výkazů pro směnového mistra, které jsou podkladem nejen pro evidenci zpracování zakázky na konkrétních výrobních úsecích, ale také k vyhotovení rozvrhu práce na jednotlivých pracovištích, jež zastupuje harmonogram zpracování projektu.

Precedenční relace jsou zde vyjádřeny technologickými a organizačními vlastnostmi výrobního procesu. Technologické vztahy jsou vyjádřeny posloupností zpracování dílců a přítomností technologických přestávek v případě lepení (s tvrdnutím lepidla alespoň 24 hodin.) a povrchové úpravy (celkem 2 vrstvy oleje, z nichž každá opět vyžaduje alespoň jeden den na zaschnutí). Organizační vazby

zase zohledňují velikost směnových týmů na jednotlivých pracovištích, potřebný počet pracovníků k obsluze výrobních zařízení a také dostupný počet těchto zařízení.

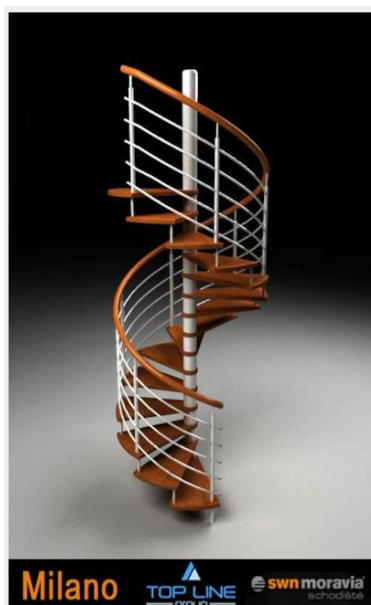
Výrobní proces zakázky také odpovídá rozfázování projektu na přípravnou a realizační fázi. V přípravné fázi totiž dochází k vytvoření cenové nabídky (odpovídá rozpočtu na projekt), rozkreslení zakázky na dílce a vyhotovení kusovníků (rozpad na dílčí činnosti a definování potřebných zdrojů) a sestavení pracovních výkazů (obdobná funkce harmonogramu) na úseku technologické přípravy výroby. Samotná výroba, tedy provádění jednotlivých činností s ohledem na disponibilní zdroje, pak probíhá v rámci realizační fáze.

Na základě tohoto rozboru zakázky lze nyní přistoupit k analýze konkrétní zakázky a sestavení síťového grafu. Detailní pochopení výrobního procesu a jeho adekvátní převedení na kartotéku činností vhodnou pro sestavení síťového diagramu je zásadní pro další kroky analýzy z důvodu stanovení správné výzkumné otázky, na niž se budeme snažit hledat odpověď.

5.3 Reprezentativní zakázka

Pro aplikaci metod síťové analýzy v praxi jsem si vybrala vřetenové schodiště s dřevěnými nášlapy doplněné nerezovým zábradlím v kombinaci se středovými nerezovými prstýnky, které dotváří moderní vzhled.

Výroba tohoto modelu schodiště je totiž poměrně náročná a výrobní cyklus odpovídá dobře potřebné na výrobu až tří kusů klasických celodřevěných schodišť v základním provedení.



Obrázek 14: Vřetenové schodiště Milano
Zdroj: KUPF.CZ, 2010

V katalogu společnosti SWN Moravia s.r.o. lze dohledat relevantní kusovník pro daný model schodiště:

- nášlapy: 40 mm
- sloupky: nerezové \varnothing 40 mm
- madlo: č. 4 \varnothing 48 mm nerezové
- pruty: 6 ks nerezových prutů, \varnothing 12 mm
- středový sloup: nerezový
- materiál: lze vybrat z materiálů SWN Moravia
- povrchová úprava: bezbarvý lak MIPA, nebo moření, olejování: dle vzorku od zákazníka nebo vzorníku SWN

Tyto dílce tedy bude potřeba nechat zhotovit v rámci výrobního procesu rozděleného na dílčí činnosti.

Kartotéka činností nutných ke zhotovení funkčního schodiště byla vytvořena na základě poskytnutého evidenčního listu označovaného jako „Záznam o výrobním cyklu zakázky“, na němž byl maticovou formou vyjádřen průchod zakázky výrobním cyklem a s ohledem na postup a zásady konstrukce síťového grafu zmíněného v kapitole 3.2.3. Konstrukce a analýza síťového grafu a předchozího rozboru výrobního procesu uvedeného v kapitole 4.5. Výrobní proces.

Jednotlivé dílce z kusovníku byly uvedeny v řádcích a výrobní zařízení, na nichž byly vykonávány dílčí činnosti pak ve sloupcích. Z příslušného políčku pro relevantní dílec a výrobní zařízení pak bylo možné vyčíst konkrétní časový údaj trvání zpracování dílce na tomto pracovišti. Konkrétní časové údaje trvání jednotlivých dílčích pracovních činností nutných pro zhotovení dané zakázky byly získány v rámci pilotní fáze projektu detailní evidence zpracování jednotlivých dílců zakázky. Tyto časy byly vyjádřeny v minutách a jsou rovněž součástí výchozí kartotéky činností.

Takto bylo zaznamenáno 188 dílčích operací zpracování zakázky. Vzhledem k náročnosti sestavení síťového grafu a navazujících výpočtů (včetně výpočetních možností volně dostupného programu WinQSB) byly tyto činnosti za pomoci odborného pracovníka vhodně agregovány a s ohledem na technologické vazby zjednodušeny na 82 pravých činností zpracovaných v kartotéce činností.

Tabulka 3: Kartotéka reálných činností včetně doby trvání a návaznosti na předcházející činnosti

Číslo činnosti	Popis reálné činnosti	Délka trvání činnosti (min.)	Číslo předcházející činnosti
1	Projektování základních dílů ze dřeva	65	0
2	Projektování kovových dílů	38	0
3	Projektování doplňků ze dřeva	62	86

4	Vychystání dřevěných fošen na dlouhé dílce	56	1,87,3
5	Vychystání dřevěných fošen na plošné dílce	77	1,87,3
6	Vychystání zbytků dřevěbých lamel na výplň nerezových prstenců	5	5
7	Vykrácení 2D a 3D díly (příčné řezání)	67	4
8	Vykrácení obyčejné lišty (příčné řezání)	4	7
9	Rozmítání dlouhých dílců (podélné řezání)	145	8
10	Vykrácení plošných dílců (příčné řezání)	92	5,9
11	Rozmítání plošných dílců (podélné řezání)	145	10
12	Štosování plošných dílců	35	11
13	Štosování dlouhých dílců	30	9
14	Prioritní hoblování dílců před lepením - 3D madlo	100	12,13
15	Lepení cinkovaných (napojovaných) lamel na 3D madlo	240	14
16	Prioritní hoblování dílců před lepením - nášlapy	150	14
17	Prioritní hoblování dílců před lepením - podesta	25	16
18	Prioritní hoblování dílců před lepením - čepice a platle	8	17
19	Prioritní hoblování dílců před lepením - přechodová lišta 2D	15	18
20	Lepení nášlapů	80	15,91
21	Lepení výstupní podesty	15	20,92
22	Lepení - čepice a platle	10	21,93
23	Ořezání rohů u přechodové lišty	10	22,94
24	Dolepení rohů u přechodové lišty	20	23
25	Hoblování ostatních dílců	65	19
26	Tloušťkování	78	25,82
27	CNC frézování nášlapů	150	26
28	CNC opravy nášlapů	30	26
29	CNC frézování výstupní podesty	30	26
30	CNC frézování čepice + platle	20	28
31	Ruční hranové broušení podesty frézou H.	30	28
32	Ruční hranové broušení nášlapů frézou L.	75	27
33	Ruční hranové broušení nášlapů frézou H.	60	30,31
34	Ruční hranové broušení podesty frézou L.	10	30,31
35	Opravy nášlapů lepením	60	32
36	Egalizování (strojové plošné broušení) celé zakázky	209	34,95,96,97,98
37	2D a 3D lepení - madlo 3D	480	36
38	Ruční frézování kulatých madel frézou D. - madlo 3D	120	83
39	Ruční broušení - madlo 3D	240	38
40	Ruční opravy - madlo 3D	60	39
41	Konstrukční práce - madlo 3D	45	40
42	Řezání součástí přímého zábradlí - výplň prstence	120	89,99
43	Řezání součástí přímého zábradlí - krycí lišta	30	42
44	Fruční frézování krycí lišty frézou T.	20	43
45	Dobroušení plochy krycí lišty	15	44
46	Závěrečné ruční broušení krycí lišty	20	45

47	Ruční frézování extra lišty 2D frézou S.	45	36
48	2D a 3D lepení extra lišty 2D	120	47,101
49	Konstrukční práce extra lišty 2D	60	83
50	Ruční frézování nášlapů frézou S.	120	102
51	Ruční frézování výstupní podesty frézou S.	30	50
52	Dobroušení plochy nášlapů	60	51
53	Dobroušení plochy výstupní podesty	20	52
54	Závěrečné ruční broušení nášlapů	120	53
55	Závěrečné ruční broušení výstupní podesty	45	54
56	Drobné ruční opravy nášlapů	60	103
57	2D a 3D lepení - madlo galerie 2D	120	104
58	Ruční frézování kulatých madel frézou D. - madlo galerie 2D	60	83
59	Ruční broušení kulatých madel - madlo galerie 2D	60	58
60	Závěrečné ruční broušení madla galerie 2D	45	59
61	Drobné konstrukční práce madla galerie 2D	35	60
62	Vyřezání profilů na čepici + platlích	15	105
63	Vyřezání profilů na přechodové liště 2D	30	62
64	Fruční frézování přechodové lišty 2D frézou T.	15	63
65	Dobroušení plochy přechodové lišty 2D	15	64
66	Dobroušení plochy čepice a platlí	5	65
67	Závěrečné ruční broušení čepice a platlí	45	66
68	Závěrečné ruční broušení přechodové lišty 2D	25	67
69	Ruční frézování kulatých madel frézou D. - madlo galerie	30	106
70	Závěrečné ruční broušení madla galerie	20	69
71	Ruční broušení kulatých madel - madlo galerie	30	70
72	Konstrukční práce na madlu galerie	30	71
73	Nanášení první olejové vrstvy na nášlapy, podestu a madlo galerie	37	55,56,72
74	Nanášení první olejové vrstvy na ostatní dílce	37	41,46,49,61,68
75	Mezibroušení výstupní podesty, extra lišty 2D a madla galerie 2D	68	84
76	Mezibroušení ostatních dílců	143	84
77	Olejování druhé vrstvy u všech dílců	74	75,108
78	Balení základních dřevěných dílců	55	85
79	Balení dřevěných doplňků schodiště	17	109
80	Balení výpně prstenců	3	100
81	Balení nerezových dílců	35	88

Zdroj: vlastní zpracování

Z důvodu paralelního provádění některých činností více pracovníky na tomtéž pracovišti, logických vazeb (u přípravy výplně prstenců a zajištění nerezových dílců kooperací), procesních vztahů mezi některými činnostmi (dle technologických norem zpracování materiálu) a nutností zohlednění technologických přestávek

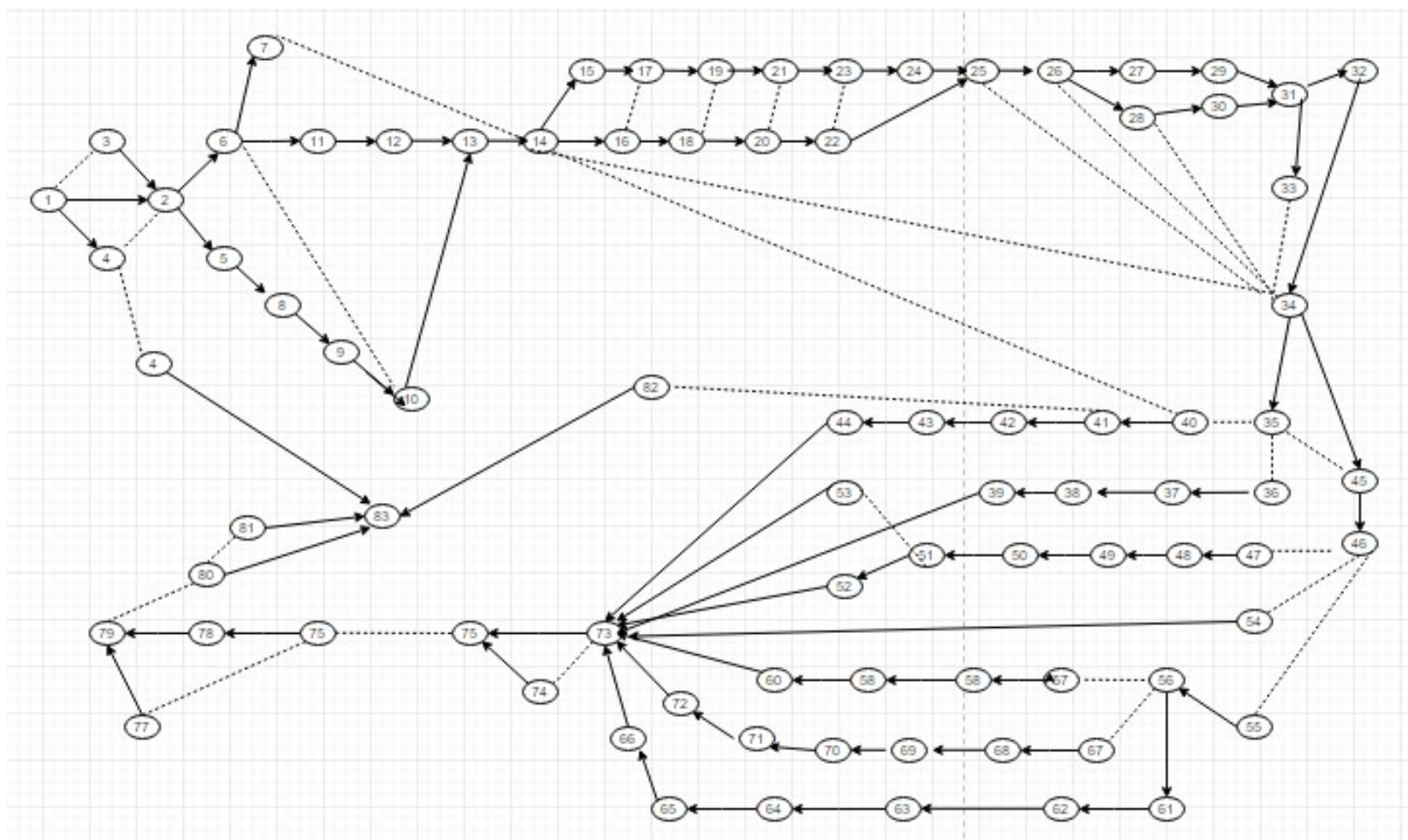
ve výrobě (vyžadováno u lepení lamel a nanášení olejových vrstev při závěrečné povrchové úpravě) bylo nutné výchozí kartotéku reálných (neboli pravých) činností rozšířit o činnosti čekací a fiktivní, jejichž význam byl vysvětlen v kapitole 3.2.3 Konstrukce a analýza síťového grafu.

Tabulka 4: Kartotéka čekacích a fiktivních činností

Číslo činnosti	Čekací a fiktivní činnosti	Délka trvání činnosti (min.)	Číslo předcházející činnosti
82	Čekací činnost č. 1	480	24
83	Čekací činnost č. 2	480	37,48,57
84	Čekací činnost č. 3	480	73,107
85	Čekací činnost č. 4	480	77
86	Fiktivní činnost č. 1	0	0
87	Fiktivní činnost č. 2	0	2
88	Fiktivní činnost č. 3	0	2
89	Fiktivní činnost č. 4	0	6
90	Fiktivní činnost č. 5	0	9
91	Fiktivní činnost č. 6	0	16
92	Fiktivní činnost č. 7	0	17
93	Fiktivní činnost č. 8	0	18
94	Fiktivní činnost č. 9	0	19
95	Fiktivní činnost č. 10	0	25
96	Fiktivní činnost č. 11	0	26
97	Fiktivní činnost č. 12	0	30
98	Fiktivní činnost č. 13	0	34
99	Fiktivní činnost č. 14	0	37
100	Fiktivní činnost č. 15	0	42
101	Fiktivní činnost č. 16	0	37
102	Fiktivní činnost č. 17	0	48
103	Fiktivní činnost č. 18	0	54
104	Fiktivní činnost č. 19	0	48
105	Fiktivní činnost č. 20	0	57
106	Fiktivní činnost č. 21	0	68
107	Fiktivní činnost č. 22	0	74
108	Fiktivní činnost č. 23	0	76
109	Fiktivní činnost č. 24	0	85

Zdroj: vlastní zpracování

Takto připravená kartotéka činností se stala dostatečným podkladem pro sestavení síťového grafu zakázky. S ohledem na počet dílčích činností byl pro přehlednější vyjádření zvolen hranově ohodnocený síťový diagram. Ohodnocení hran bylo provedeno dle časových nároků jednotlivých činností zastoupených hranami diagramu. Výsledná síť obsahuje celkem 83 uzlů a 109 hran, které odpovídají 81 pravým činnostem, 4 čekacím činnostem a 24 fiktivním činnostem



Obrázek 15: Výchozí síťový diagram
Zdroj: vlastní zpracování

6 Řešení matematického modelu

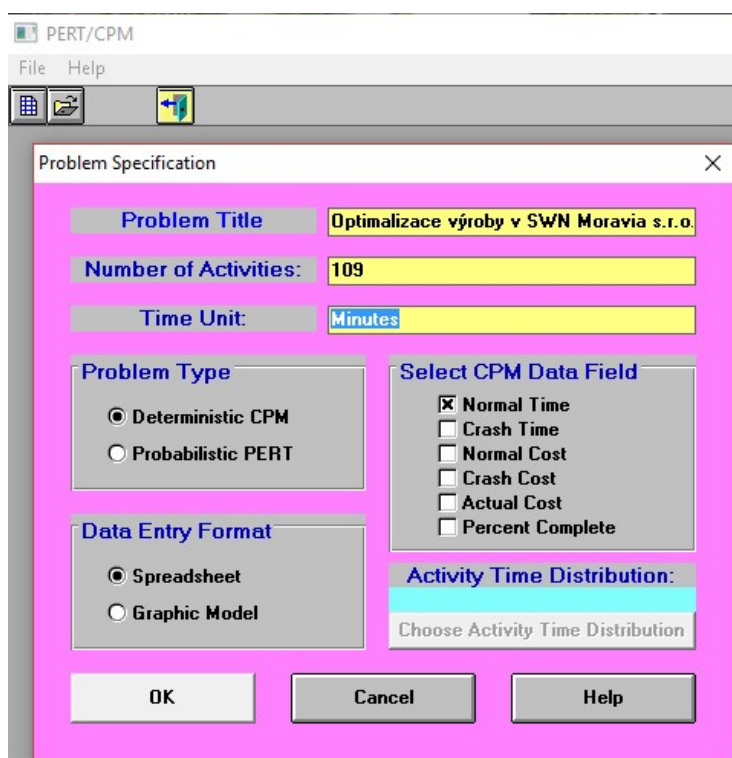
Pro řešení tohoto matematického modelu využijeme metodu CPM pro časový rozpor úlohy a metodu CPM/COST pro nákladovou analýzu.

6.1 Časová analýza

Časová analýza projektu bude provedena prostřednictvím metody kritické cesty CPM vysvětlené v kapitole 3.2.4. Metoda CPM.

Na základě znalosti trvání jednotlivých činností uvedených v kartotéce činností a posloupnosti provádění těchto činností přehledně zobrazené v síťovém digramu respektujícím logické, organizační a technologické předpoklady pro návaznost činností můžeme přikročit k časovému rozboru a určení kritické cesty.

Pro určení časových charakteristik nejdříve možných začátků a konců i nejpozději přípustných začátků a konců pro každou z evidovaných činností využijeme výpočetní program WinQSB.



Obrázek 16: Vstupní obrazovka programu WinQSB

Zdroj: výstup programu WinQSB

Vzhledem ke zvolené metodě výpočtu vybereme modul PERT/CPM a ve výchozím okně zvolíme možnost deterministického výpočtu CPM. Dále je zde možno

pojmenovat konkrétní řešený problém, uvést počet činností, na základě kterého nám bude vygenerována automatická tabulka pro uvedení kartotéky činností, či zvolit časovou jednotku.

Následně je nutné do automaticky vygenerované tabulky přepsat údaje z kartotéky činností. V prvním sloupci jsou předem očíslované činnosti dle navoleného počtu, ve sloupci druhém je možné vyplnit název či jiné označení konkrétní činnosti, do následujícího sloupce se vypisují všechny předcházející činnosti (výpis stačí provést číselně dle označení v prvním sloupci, avšak po uložení dochází k přejmenování předcházejících činností z číselného vyjádření na název konkrétní činnosti) a ve sloupci posledním je uvedena délka trvání konkrétní činnosti.

Vzhledem k tomu, že program převádí desetinná čísla na čísla celá, byla zvolena jako časová jednotka minuta namísto normohodiny apod. (takto byla připravena data již ve výchozím zpracování kartotéky činností v kapitole 5.3 Reprezentativní zakázka).

Activity Number	Activity Name	Immediate Predecessor (list number/name, separated by ',')	Normal Time
1	Activity01		65
2	Activity02		38
3	Activity03	F.Activity01	62
4	Activity04	Activity01,Activity03,F.Activity02	56
5	Activity05	Activity01,Activity03,F.Activity02	77
6	Activity06	Activity05	5
7	Activity07	Activity04	67

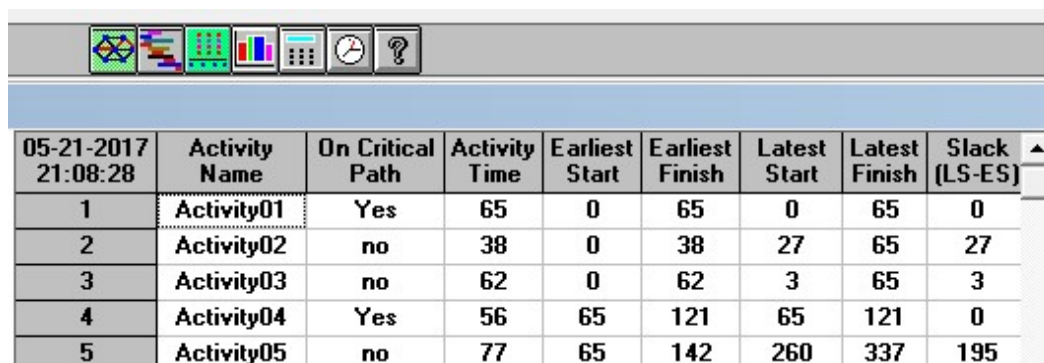
Obrázek 17: Tabulka pro přepis kartotéky činností

Zdroj: výstup programu WinQSB

Poté stačí spustit výpočet prostřednictvím „Solve and Analyze – Solve Critical Path“ a počkat několik desítek vteřin, po nichž je automaticky zobrazen výsledek výpočtu formou tabulky s údaji o zadaných činnostech, přítomnosti na kritické cestě, požadovaných časových charakteristikách a celkové rezervě – viz obrázek č. 18.

Kromě tohoto výstupu je rovněž možné dle barevných ikon v záhlaví zvolit grafický výstup formou uzlově ohodnoceného síťového grafu nebo Ganttova diagramu, jejichž ukázky jsou součástí přílohy této práce.

Pro kompletní přehled o časových charakteristikách jednotlivých činností byly výpočty z programu převedeny do klasického tabulkového procesoru následujícího níže.



05-21-2017 21:08:28	Activity Name	On Critical Path	Activity Time	Earliest Start	Earliest Finish	Latest Start	Latest Finish	Slack (LS-ES)	▲
1	Activity01	Yes	65	0	65	0	65	0	
2	Activity02	no	38	0	38	27	65	27	
3	Activity03	no	62	0	62	3	65	3	
4	Activity04	Yes	56	65	121	65	121	0	
5	Activity05	no	77	65	142	260	337	195	

Obrázek 18: Výpočet kritické cesty v programu Win QSB

Zdroj: výstup programu WinQSB

Tabulka 5: Výpočet doby trvání projektu, resp. zakázky a určení kritické cesty

Č.	Označení činnosti	Součást KC	Délka trvání	NMZ	NMK	NPZ	NPK	Celková č. rezerva
1	Activity01	ANO	65	0	65	0	65	0
2	Activity02	NE	38	0	38	27	65	27
3	Activity03	NE	62	0	62	3	65	3
4	Activity04	ANO	56	65	121	65	121	0
5	Activity05	NE	77	65	142	260	337	195
6	Activity06	NE	5	142	147	3376	3381	3234
7	Activity07	ANO	67	121	188	121	188	0
8	Activity08	ANO	4	188	192	188	192	0
9	Activity09	ANO	145	192	337	192	337	0
10	Activity10	ANO	92	337	429	337	429	0
11	Activity11	ANO	145	429	574	429	574	0
12	Activity12	ANO	35	574	609	574	609	0
13	Activity13	NE	30	337	367	579	609	242
14	Activity14	ANO	100	609	709	609	709	0
15	Activity15	ANO	240	709	949	709	949	0
16	Activity16	NE	150	709	859	799	949	90
17	Activity17	NE	25	859	884	1004	1029	145
18	Activity18	NE	8	884	892	1031	1039	147
19	Activity19	NE	15	892	907	1039	1054	147
20	Activity20	ANO	80	949	1029	949	1029	0
21	Activity21	ANO	15	1029	1044	1029	1044	0
22	Activity22	ANO	10	1044	1054	1044	1054	0
23	Activity23	ANO	10	1054	1064	1054	1064	0
24	Activity24	ANO	20	1064	1084	1064	1084	0

25	Activity25	NE	65	907	972	1499	1564	592
26	Activity26	ANO	78	1564	1642	1564	1642	0
27	Activity27	NE	150	1642	1792	4570	4720	2928
28	Activity28	ANO	30	1642	1672	1642	1672	0
29	Activity29	NE	30	1642	1672	4825	4855	3183
30	Activity30	NE	20	1672	1692	1682	1702	10
31	Activity31	ANO	30	1672	1702	1672	1702	0
32	Activity32	NE	75	1792	1867	4720	4795	2928
33	Activity33	NE	60	1702	1762	4795	4855	3093
34	Activity34	ANO	10	1702	1712	1702	1712	0
35	Activity35	NE	60	1867	1927	4795	4855	2928
36	Activity36	ANO	209	1712	1921	1712	1921	0
37	Activity37	ANO	480	1921	2401	1921	2401	0
38	Activity38	ANO	120	3121	3241	3121	3241	0
39	Activity39	ANO	240	3241	3481	3241	3481	0
40	Activity40	ANO	60	3481	3541	3481	3541	0
41	Activity41	ANO	45	3541	3586	3541	3586	0
42	Activity42	NE	120	2401	2521	3381	3501	980
43	Activity43	NE	30	2521	2551	3501	3531	980
44	Activity44	NE	20	2551	2571	3531	3551	980
45	Activity45	NE	15	2571	2586	3551	3566	980
46	Activity46	NE	20	2586	2606	3566	3586	980
47	Activity47	NE	45	1921	1966	2356	2401	435
48	Activity48	ANO	120	2401	2521	2401	2521	0
49	Activity49	NE	60	3121	3181	3526	3586	405
50	Activity50	NE	120	2521	2641	3176	3296	655
51	Activity51	NE	30	2641	2671	3296	3326	655
52	Activity52	NE	60	2671	2731	3326	3386	655
53	Activity53	NE	20	2731	2751	3386	3406	655
54	Activity54	NE	120	2751	2871	3406	3526	655
55	Activity55	NE	45	2871	2916	3541	3586	670
56	Activity56	NE	60	2871	2931	3526	3586	655
57	Activity57	ANO	120	2521	2641	2521	2641	0
58	Activity58	NE	60	3121	3181	3386	3446	265
59	Activity59	NE	60	3181	3241	3446	3506	265
60	Activity60	NE	45	3241	3286	3506	3551	265
61	Activity61	NE	35	3286	3321	3551	3586	265
62	Activity62	NE	15	2641	2656	3326	3341	685
63	Activity63	NE	30	2656	2686	3341	3371	685
64	Activity64	NE	15	2686	2701	3371	3386	685

65	Activity65	NE	15	2701	2716	3386	3401	685
66	Activity66	NE	5	2716	2721	3401	3406	685
67	Activity67	NE	45	2721	2766	3406	3451	685
68	Activity68	NE	25	2766	2791	3451	3476	685
69	Activity69	NE	30	2791	2821	3476	3506	685
70	Activity70	NE	20	2821	2841	3506	3526	685
71	Activity71	NE	30	2841	2871	3526	3556	685
72	Activity72	NE	30	2871	2901	3556	3586	685
73	Activity73	NE	37	2931	2968	3586	3623	655
74	Activity74	ANO	37	3586	3623	3586	3623	0
75	Activity75	NE	68	4103	4171	4178	4246	75
76	Activity76	ANO	143	4103	4246	4103	4246	0
77	Activity77	ANO	74	4246	4320	4246	4320	0
78	Activity78	ANO	55	4800	4855	4800	4855	0
79	Activity79	NE	17	4800	4817	4838	4855	38
80	Activity80	NE	3	2521	2524	4852	4855	2331
81	Activity81	NE	35	38	73	4820	4855	4782
82	T.Activity01	ANO	480	1084	1564	1084	1564	0
83	T.Activity02	ANO	480	2641	3121	2641	3121	0
84	T.Activity03	ANO	480	3623	4103	3623	4103	0
85	T.Activity04	ANO	480	4320	4800	4320	4800	0
86	F.Activity01	NE	0	0	0	3	3	3
87	F.Activity02	NE	0	38	38	65	65	27
88	F.Activity03	NE	0	38	38	4820	4820	4782
89	F.Activity04	NE	0	147	147	3381	3381	3234
90	F.Activity05	NE	0	337	337	4855	4855	4518
91	F.Activity06	NE	0	859	859	949	949	90
92	F.Activity07	NE	0	884	884	1029	1029	145
93	F.Activity08	NE	0	892	892	1044	1044	152
94	F.Activity09	NE	0	907	907	1054	1054	147
95	F.Activity10	NE	0	972	972	1712	1712	740
96	F.Activity11	NE	0	1642	1642	1712	1712	70
97	F.Activity12	NE	0	1692	1692	1712	1712	20
98	F.Activity13	ANO	0	1712	1712	1712	1712	0
99	F.Activity14	NE	0	2401	2401	3381	3381	980
100	F.Activity15	NE	0	2521	2521	4852	4852	2331
101	F.Activity16	ANO	0	2401	2401	2401	2401	0
102	F.Activity17	NE	0	2521	2521	3176	3176	655
103	F.Activity18	NE	0	2871	2871	3526	3526	655
104	F.Activity19	ANO	0	2521	2521	2521	2521	0

105	F.Activity20	NE	0	2641	2641	3326	3326	685
106	F.Activity21	NE	0	2791	2791	3476	3476	685
107	F.Activity22	ANO	0	3623	3623	3623	3623	0
108	F.Activity23	ANO	0	4246	4246	4246	4246	0
109	F.Activity24	NE	0	4800	4800	4838	4838	38

Délka kritické cesty: 4855 minut

Počet kritických činností: 40

Zdroj: vlastní zpracování

Výpočty časových charakteristik včetně jejich celkových časových rezerv byly provedeny pro všech 109 definovaných činností, tedy 81 činností pravých, 4 čekací i 24 činností fiktivních.

Na základě celkové časové rezervy rovné nule pak bylo 40 činností vyhodnoceno jako kritických, čili při nedodržení délky trvání použité pro tyto výpočty by došlo k prodloužení doby nutné pro zhotovení celé zakázky. Mezi činnostmi n kritické cestě je celkem 31 pravých činností, všechny 4 činnosti čekací a také 5 fiktivních činností.

Tabulka 6: Činnosti na kritické cestě

Č.	Označení činnosti	Součást KC	Délka Trvání	NMZ	NMK	NPZ	NPK	Celková č. rezerva
1	Activity01	ANO	65	0	65	0	65	0
4	Activity04	ANO	56	65	121	65	121	0
7	Activity07	ANO	67	121	188	121	188	0
8	Activity08	ANO	4	188	192	188	192	0
9	Activity09	ANO	145	192	337	192	337	0
10	Activity10	ANO	92	337	429	337	429	0
11	Activity11	ANO	145	429	574	429	574	0
12	Activity12	ANO	35	574	609	574	609	0
14	Activity14	ANO	100	609	709	609	709	0
15	Activity15	ANO	240	709	949	709	949	0
20	Activity20	ANO	80	949	1029	949	1029	0
21	Activity21	ANO	15	1029	1044	1029	1044	0
22	Activity22	ANO	10	1044	1054	1044	1054	0
23	Activity23	ANO	10	1054	1064	1054	1064	0
24	Activity24	ANO	20	1064	1084	1064	1084	0
26	Activity26	ANO	78	1564	1642	1564	1642	0

28	Activity28	ANO	30	1642	1672	1642	1672	0
31	Activity31	ANO	30	1672	1702	1672	1702	0
34	Activity34	ANO	10	1702	1712	1702	1712	0
36	Activity36	ANO	209	1712	1921	1712	1921	0
37	Activity37	ANO	480	1921	2401	1921	2401	0
38	Activity38	ANO	120	3121	3241	3121	3241	0
39	Activity39	ANO	240	3241	3481	3241	3481	0
40	Activity40	ANO	60	3481	3541	3481	3541	0
41	Activity41	ANO	45	3541	3586	3541	3586	0
48	Activity48	ANO	120	2401	2521	2401	2521	0
57	Activity57	ANO	120	2521	2641	2521	2641	0
74	Activity74	ANO	37	3586	3623	3586	3623	0
76	Activity76	ANO	143	4103	4246	4103	4246	0
77	Activity77	ANO	74	4246	4320	4246	4320	0
78	Activity78	ANO	55	4800	4855	4800	4855	0
82	T.Activity01	ANO	480	1084	1564	1084	1564	0
83	T.Activity02	ANO	480	2641	3121	2641	3121	0
84	T.Activity03	ANO	480	3623	4103	3623	4103	0
85	T.Activity04	ANO	480	4320	4800	4320	4800	0
98	F.Activity13	ANO	0	1712	1712	1712	1712	0
101	F.Activity16	ANO	0	2401	2401	2401	2401	0
104	F.Activity19	ANO	0	2521	2521	2521	2521	0
107	F.Activity22	ANO	0	3623	3623	3623	3623	0
108	F.Activity23	ANO	0	4246	4246	4246	4246	0

Zdroj: výstup programu WinQSB

Mezi kritické činnosti spadají především činnosti týkající se výroby náročných 2D a 3D dílců, dále činnosti, při nichž dochází k hromadnému opracování všech dílců na jediném stroji, a operace týkající se závěrečné povrchové úpravy. Délka kritické cesty tedy byla stanovena na 4855 minut, což odpovídá 80,91 pracovních hodin, tj. 10,11 pracovním směnám. V takovém případě by tedy bylo možné zakázku expedovat k zákazníkovi či zorganizovat montáž u zákazníka za pouhé dva týdny po odsouhlasení cenové nabídky, podpisu kupní smlouvy a zaplacení zálohy.

Již nyní lze tedy říci, že by bylo vhodné se zamyslet nad způsobem prováděním těchto činností a nad možností jak tyto dílce rozložit ke zpracování na více strojích či zapojením většího množství pracovních sil. Takové úpravy procesu by však vyžadovaly dodatečné mzdové náklady a investice do nákladných výrobních zařízení. Je tedy otázkou, zda by tyto investice byly dostatečně vyváženy přírůst-

kem tržeb při zrychlení doby zpracování zakázky, zkrácení dodacích lhůt a navýšení objemu výrobních kapacit.

Kritická cesta je názorně zobrazena také v síťovém diagramu na obr. č. 19, kde jsou kritické činnosti barevně odlišeny od nekritických.

Dalším softwarovým nástrojem, který je schopen určit minimální délku trvání projektu, resp. zpracování zakázky s přihlédnutím k délce trvání jednotlivých činností je MS Project. Postup zadání výchozích dat je i zde prakticky totožný s předchozím počítačovým programem – i zde totiž zadáváme název činností, precedenční relace v podobě předcházejících činností a délku trvání dílčích činností v libovolné časové jednotce.

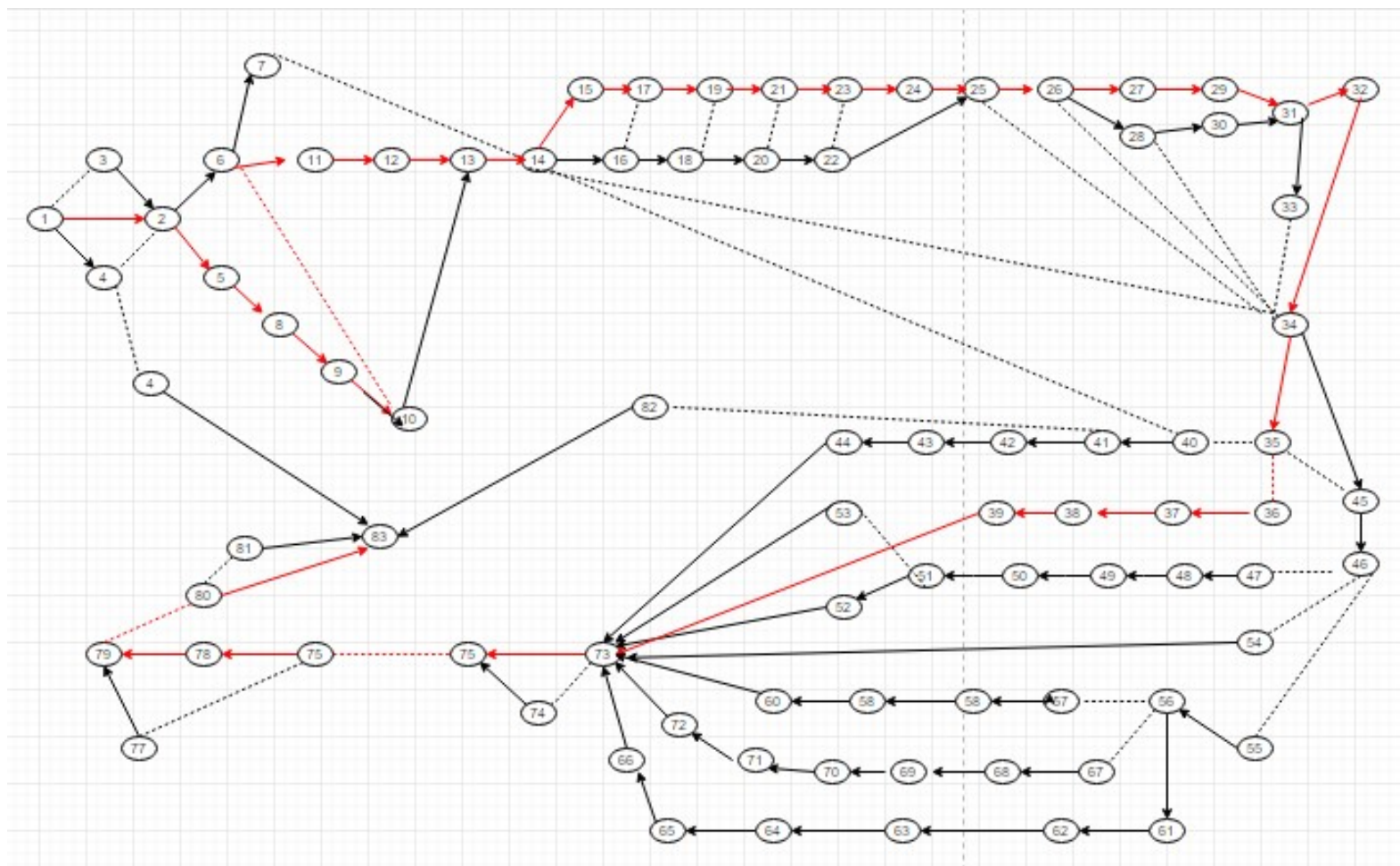
Výhodou tohoto programu je mj. možnost stanovení pracovní doby a termínu zahájení procesu, díky čemuž lze simulovat téměř reálný průběh činností se zohledněním pracovních dní a víkendů. Program tak dokáže určit přesné datum i hodinu dokončení projektu, resp. zakázky.

Pro názornost bylo zvoleno jako výchozí datum zahájení první činnosti pondělí 27. 2. 2017 6:00. Vzhledem k tomu, že MS Project zohledňuje při výpočtech rozvržení pracovní doby, byla určena nová hodnota pro délku kritické cesty, tedy 4982 minut, tj. 83,03 hodin, což odpovídá 10,38 pracovních směn. Oproti původní kritické cestě tedy došlo o prodloužení realizace zakázky o 2,12 hod. Pro obě kritické cesty, však platí termín dokončení poslední operace v pondělí 13. 3. 2017, pouze v případě kritické cesty určené program WinQSB tomu tak bude již v 6:55 ráno, a případě výpočtu programem MS Project o 2 hod. a 7 minut později, tedy až v 9:02. Tento výsledek je rovněž možné předvedně zobrazit v klasickém pracovním kalendáři, jak je uvedeno v příloze C.

Další předností je uživatelsky příjemné rozhraní umožňující snadnou a přehlednou manipulaci i moderně pojaté grafické výstupy.

V programu MS Project byla tedy ověřena platnost kritické cesty vypočtené v programu WinQSB a zároveň určen časový rozvrh práce s ohledem na pracovní dobu při stanovení konkrétního data zahájení první činnosti.

Dále byl vygenerován Ganttův diagram kritických činností uvedený v příloze D (jako ukázka zobrazení pravých činností) a E (ilustrující čekací a fiktivní činnosti).



Obrázek 19: Síťový diagram s vyznačením kritické cesty
Zdroj: vlastní zpracování

6.2 Nákladová analýza

Nyní na časovou analýzu provedenou v předchozí části této diplomové práce navážeme nákladovým rozborem prostřednictvím metody CPM/COST, jež je rozšířením metody CPM o nákladové hledisko.

Metoda CPM/COST tedy využívá výsledků získaných při časové analýze metodou CPM a umožňuje provést další optimalizaci, resp. zkrácení, délky trvání projektu, tentokrát s ohledem na vynaložené přímé a nepřímé náklady.

Obdobně jako v předchozí kapitole, i zde budeme při řešení vycházet z nutnosti stanovení relevantních časových a nákladových charakteristik, kterými jsou:

- $D_{i,j}$ - normální délka trvání činnosti,
- $c_{D_{i,j}}$ - minimální náklady odpovídající normální délce činnosti $D_{i,j}$
- $d_{i,j}$ - nejkratší možná délka trvání činnosti,
- $c_{d_{i,j}}$ - minimální náklady odpovídající nejkratší možné délce,
- $a_{i,j}$ - koeficient nákladového spádu definovaný v kapitole 3.2.5 Metoda CPM/COST.

Zatímco v případě stanovení normální délky trvání činností a k ní relevantních minimálních nákladů vycházíme z reálné situace, pro stanovení nejkratší možné doby trvání činnosti a odpovídajících nákladů je nutné provést expertní odhad procesu znalého odborníka či technologa.

Při přiřazování přímých a nepřímých nákladů činnostem uvedeným ve výchozí kartotéce činností byly přímé náklady uvažovány na úrovni přímých mzdových nákladů, neboť přímé náklady na materiál se v důsledku změny délky výrobního procesu nemění. S ohledem na povahu zpracování dat a konkurencí prostředí firmy byly hodnoty skutečných přímých i nepřímých nákladů přepočteny zvoleným koeficientem. Tento fakt však nijak neovlivňuje výpovědní charakter výsledků a relevantní pracovníci společnosti si při rozhodování o dalším směřování společnosti mohou uvedené částky kdykoliv zpětně převést na reálné hodnoty.

Na základě úvahy o navýšení počtu pracovníků ve směnovém týmu či pořízení dalších výrobních zařízení byly tedy reálné činnosti zkráceny o poměrnou část. Tuto úpravu doby trvání činnosti však nebylo možné provést u činností čekacích, vyloučeny byly také činnosti fiktivní, které nejsou časově ohodnoceny.

Výše zmíněné charakteristiky byly tedy určeny pouze pro pravé činnosti na dříve vypočtené kritické cestě, které mají vliv na délku trvání projektu, resp. zakázky.

Tabulka 7: Zkracování dob trvání u kritických činností

Č.	Označení činnosti	Normální Délka trvání (min)	Minimální přímé náklady normální (Kč)	Nejkratší možná délka trvání (min)	Minimální přímé náklady při zkrácení (Kč)	Nákladový spád (Kč/hod.)
10	Activity10	92	473	55	565	150
38	Activity38	120	660	60	826	165
39	Activity39	240	1 321	120	1 651	165
40	Activity40	60	330	30	413	165
48	Activity48	120	660	60	826	165
57	Activity57	120	660	60	826	165
28	Activity28	30	551	21	578	184
41	Activity41	45	248	23	316	188
4	Activity04	56	288	35	360	206
12	Activity12	35	180	22	226	213
7	Activity07	67	344	43	442	244
76	Activity76	143	1 297	85	1 542	253
14	Activity14	100	514	65	668	264
1	Activity01	65	439	50	506	270
11	Activity11	145	745	95	976	277
77	Activity77	74	671	45	817	300
78	Activity78	55	499	30	624	301
15	Activity15	240	1 233	160	1 644	308
21	Activity21	15	77	10	103	308
9	Activity09	145	745	97	997	315
37	Activity37	480	2 642	280	3 853	363
31	Activity31	30	205	15	308	410
34	Activity34	10	68	5	103	410
22	Activity22	10	51	7	72	411
23	Activity23	10	51	7	72	411
36	Activity36	209	1 429	105	2 154	418
74	Activity74	37	336	25	454	590
20	Activity20	80	411	60	617	617
24	Activity24	20	103	15	154	617
8	Activity08	4	21	3	31	617
26	Activity26	78	401	59	606	649

Zdroj: vlastní zpracování

Po této úpravě dob realizace dílčích činností na kritické cestě lze přistoupit k výpočtu přímých, nepřímých a celkových nákladů konkrétní činnosti. Proces výpočtu je zahájen činností s minimální hodnotou koeficientu nákladového spádu, kterou je v tomto případě činnost č. 10 (Vykrácení plošných dílců přímým řezáním), u níž lze zkrátit dobu trvání z 92 minut na 55 minut v případě pořízení druhé vykracovací pily a zaměstnání dalších dvou pracovníků, kteří by ji obsluhovali.

Toto zkrácení činnosti č. 10 i celé realizace zakázky o 37 minut by však vyžadovalo vynaložení dodatečných přímých nákladů ve výši 92,49 Kč a zároveň snížení nepřímých nákladů přímo úměrně změně délky trvání této činnosti. Tento postup se opakuje u všech relevantních kritických činností. Následně je nutné určit výši celkových nákladů, která do určité doby zkracování projektu klesá, avšak s přibývajícimi přírůstky přímých nákladů převyšujícími snižování nepřímých nákladů opět začne růst. V takovém případě lze říci, že doba trvání projektu je optimalizována časově i nákladově právě v bodě nejnižších celkových nákladů a další zkracování činností již není žádoucí, neboť vynaložené náklady by již nebyly dostatečně kompenzovány

Tabulka 8: Optimalizace doby realizace zakázky s ohledem na minimalizaci celkových nákladů realizace

Č.	Označení činnosti	Nákladový spád (Kč/hod.)	Změna délky trvání činnosti (hod.)	Celková doba trvání zakázky T (hod.)	Změna přímých nákladů činnosti Kč	Celkové přímé náklady zakázky (Kč)	Celkové nepřímé náklady zakázky (Kč)	Celkové náklady realizace zakázky (Kč)
10	Activity10	149,99	- 0,62	80,30	92,49	33 695	51 172	84 867
38	Activity38	165,12	- 1,00	79,30	165,12	33 861	50 535	84 395
39	Activity39	165,12	- 2,00	77,30	330,24	34 191	49 260	83 451
40	Activity40	165,12	- 0,50	76,80	82,56	34 273	48 942	83 215
48	Activity48	165,12	- 1,00	75,80	165,12	34 438	48 304	82 743
57	Activity57	165,12	- 1,00	74,80	165,12	34 604	47 667	82 271
28	Activity28	183,61	- 0,15	74,65	27,54	34 631	47 571	82 203
41	Activity41	187,64	- 0,37	74,28	68,80	34 700	47 338	82 038
4	Activity04	205,54	- 0,35	73,93	71,94	34 772	47 115	81 887
12	Activity12	213,45	- 0,22	73,72	46,25	34 818	46 977	81 795
7	Activity07	244,08	- 0,40	73,32	97,63	34 916	46 722	81 638
76	Activity76	253,42	- 0,97	72,35	244,97	35 161	46 106	81 266
14	Activity14	264,27	- 0,58	71,77	154,16	35 315	45 734	81 049
1	Activity01	270,04	- 0,25	71,52	67,51	35 382	45 575	80 957

11	Activity11	277,48	- 0,83	70,68	231,23	35 614	45 044	80 657
77	Activity77	300,35	- 0,48	70,20	145,17	35 759	44 736	80 494
78	Activity78	300,83	- 0,42	69,78	125,35	35 884	44 470	80 354
15	Activity15	308,31	- 1,33	68,45	411,08	36 295	43 620	79 916
21	Activity21	308,31	- 0,08	68,37	25,69	36 321	43 567	79 888
9	Activity09	314,73	- 0,80	67,57	251,79	36 573	43 058	79 630
37	Activity37	363,26	- 3,33	64,23	1 210,88	37 784	40 933	78 717
31	Activity31	410,22	- 0,25	63,98	102,56	37 886	40 774	78 660
34	Activity34	410,22	- 0,08	63,90	34,19	37 920	40 721	78 641
22	Activity22	411,08	- 0,05	63,85	20,55	37 941	40 689	78 630
23	Activity23	411,08	- 0,05	63,80	20,55	37 961	40 657	78 619
36	Activity36	418,11	- 1,73	62,07	724,72	38 686	39 553	78 239
74	Activity74	589,75	- 0,20	61,87	117,95	38 804	39 425	78 229
20	Activity20	616,62	- 0,33	61,53	205,54	39 010	39 213	78 222
24	Activity24	616,62	- 0,08	61,45	51,39	39 061	39 160	78 221
8	Activity08	616,62	- 0,02	61,43	10,28	39 071	39 149	78 220
26	Activity26	649,07	- 0,32	61,12	205,54	39 277	38 947	78 224

Zdroj: vlastní zpracování

Výsledná doba trvání zakázky určená metodou CPM/COST tedy byla časovou optimalizací s přihlédnutím k minimalizaci celkových nákladů realizace vyčíslena na 3686 minut, tedy 61,43 hod. (tj. 7,68 pracovní směny, čili půl druhého pracovního týdne), čemuž odpovídá výše celkových nákladů realizace zakázky 78220 Kč, která se od původního časového řešení metodou CPM liší o 6947 Kč, ačkoliv zde dochází ke zvýšení celkových přímých nákladů zakázky o 5468 Kč, zároveň došlo ke snížení nepřímých režijních nákladů o 12416 Kč.

Nutno však podotknout, že délka doby trvání u většiny činnosti byla zkrácena za předpokladu zapojení dodatečných pracovníků, příp. pořízením dalších výrobních zařízení, jejichž hodnota (příp. odpisy v rámci nepřímých nákladů) však nebyly v rámci výpočtu pomocí metody CPM/COST uvažovány.

Pokud bychom pokračovali ve zkracování všech kritických činností, u nichž to lze, mohla by doba zpracování zakázky být zkrácena až na dobu 61,12 hod., což by však vyžadovalo navýšení nákladů o další 4 Kč oproti optimálnímu řešení.

Rovněž v tomto případě přichází na řadu úvaha, zda je takové řešení v praxi realizovatelné s ohledem na nutnost zapojení dodatečných zdrojů, ať už v případě pracovníků, či rozšíření výrobního vybavení. V této části je však dokonce vyčíslena částka, o kterou by bylo nutné navýšit prodejní cenu takového schodiště, pokud by ze strany zákazníků byl vyvinut tlak na rychlejší zpracování schodiště a montáž v rámci probíhající stavby.

7 Diskuse

V rámci praktické části této diplomové práce byla zkoumána výrobní zakázka dřevěného schodiště vřetenového tvaru, kterou jsem si vybrala záměrně s ohledem na dobu nutnou k provedení všech dílčích činností vedoucích ke zhotovení finálního schodiště, jež může být umístěno do schodišťového prostoru na stavbě zákaznicka.

Proces průchodu zakázky, resp. zahájení první dílčí operace výrobního procesu, byl sledován od převzetí zakázky na oddělení TPV, jež odpovídá přípravné fázi projektu. Od tohoto okamžiku totiž společnost garantuje čtyřtýdenní lhůtu (uveďeno v kapitole 5.1 Zakázkové řízení výroby), během které bude schodiště vyrobeno a připraveno k montáži. Na tento fakt byl brán ohled již při sestavování kartotéky dílčích činností procesu zpracování zakázky na jednotlivých výrobních pracovištích a první činností, od které se počítá doba realizace, je rozkreslení schodiště pracovníky oddělení Technologické přípravy výroby.

Tato reprezentativní zakázka tedy byla podrobena detailnímu rozboru na dílčí výrobní operace, resp. činnosti, z nichž byla vytvořena kartotéka činností, sloužící jako podklad pro konstrukci síťového grafu, ze kterého vycházejí ostatní analytické metody. Pro zhotovení kartotéky bylo také nutné se podrobně seznámit s výrobním procesem, aby mohly být v síťovém diagramu vhodně nastaveny všechny precedenční závislosti zohledňující organizační, technologické a logické vazby. Na základě poskytnutého evidenčního listu Záznam o výrobním cyklu zakázky byla jednotlivým činnostem přisouzena časová hodnota délky jejich trvání. Dále byly k činnostem přiřazeny relevantní přímé a nepřímé náklady, které však byly zobrazeny a využity k výpočtům až později.

Takto připravená zakázka, resp. její převedení na kartotéku činností a síťový diagram, se stala podkladem pro časovou analýzu síťového diagramu provedenou metodou kritické cesty v prostředí programu WinQSB. V tomto kroku tedy byla určena délka kritické cesty na 4855 minut, tj. 80,91 hod., tj. 10,11 pracovních směn. Této délce kritické cesty odpovídají celkové náklady realizace zakázky 85167 Kč. Kritická cesta je tvořena 40 kritickými činnostmi, které zahrnují 31 pravých činností, všechny 4 činnosti čekací a také 5 fiktivních činností, přičemž si lze všimnout, že většina kritických činností souvisí s výrobou náročných 2D a 3D dílců, s hromadně opracovávanými dílci na jediném stroji a operacemi týkajícími se závěrečné povrchové úpravy.

Metoda kritické cesty byla následně aplikována ještě jednou, a to v programu MS Project, který díky zohlednění pracovní doby, určil délku kritické cesty na 4982 minut, tj. 83,03 hod., tj. 10,38 pracovních směn. Při simulaci realizace za-

kázky v konkrétním časovém úseku byla stanovena doba zpracování zakázky na období pondělí 27. 2. 2017 od 6:00 hod. – pondělí 13. 3.2017 do 6:55 hod., resp. *9:02 hod.

Již v tomto okamžiku se tedy můžeme zamyslet nad vhodností výrobního postupu zpracování časově náročných dílců a nad možnostmi, jak vhodně proces upravit tak, aby mohly být opracovávány časově méně náročné dílce paralelně s těmi náročnějšími, příp. aby dílce mohly být opracovávány na dodatečných výrobních zařízeních, což je v podstatě obsahem i následující analytické metody.

V další etapě praktické aplikace metod síťové analýzy byla vypočtená kritická cesta realizace zakázky podrobena nákladové analýze prostřednictvím metody CPM/COST, jejímž úkolem je optimalizovat délku trvání realizace projektu, resp. zakázky při současné minimalizaci celkových vynaložených nákladů. Algoritmus zkrácení byl aplikován na 31 kritických činností (vzhledem k povaze fiktivních a čekacích činností byly tyto z analýzy vyloučeny). Prostřednictvím tohoto postupu byla doba zpracování zakázky optimalizována při zařazení 30. kritické činnosti se zkrácenou dobou trvání na úrovni 3686 minut, tj. 61,43 hod., tj. 7,68 pracovní směny, čemuž odpovídají celkové náklady ve výši 78220 Kč, jež se od původního časového řešení metodou CPM liší o 6947 Kč, růst přímých nákladů byl v tomto bodě ještě převýšen poklesem nepřímých nákladů.

Zkrácení doby trvání kritických činností bylo uvažováno za předpokladu zapojení dodatečných pracovníků v rámci směnových týmů, pořízení nových výrobních zařízení či změně technologického postupu pro paralelní vykonávání výrobních operací v rámci směnového týmu a s ohledem na disponibilní výrobní zařízení na daném pracovišti.

Všechny tyto úpravy výrobních procesů, podmínek a disponibilních zdrojů pochopitelně vyžadují vynaložení finančních prostředků na pokrytí dodatečných mzdových nákladů a investice do zakoupení nových výrobních zařízení. Nabízí se zde tedy otázka, zda by byl tento nárůst nákladových položek adekvátně kompenzován přírůstkem tržeb při zrychlení doby zpracování zakázky, zkrácení dodacích lhůt a navýšení objemu výrobních kapacit. V praxi by část přírůstků nákladů mohla být vybalancována prostřednictvím navýšení prodejní ceny takového schodiště, pokud by ze strany zákazníků byl vyvinut tlak na rychlejší zpracování schodiště a jeho následnou montáž. Takové zásadní rozhodnutí již však náleží top managementu společnosti.

Zatímco společnost nabízí svým zákazníkům dodací dobu zpracování zakázky stanovenou průměrně na 4 týdny, resp. 20 pracovních dní, na základě výše uvedených analytických metod časového rozboru dílčích činností realizace zakázky byla stanovena doba nutná pro výrobu a přípravu uvažovaného typu schodiště na 11 pracovních dní v případě normální délky trvání činností a dokonce jen

na 8 pracovních dní pro variantu maximálního zkrácení kritických činností a navýšení přímých nákladů realizace těchto činností.

Stále je však nutné mít na paměti, že výsledky získané prostřednictvím řešení výše uvedeného matematického modelu odpovídají ideálnímu stavu, který nemusí plně odpovídat skutečné době realizace daného typu zakázky. Nejsou zde totiž uvažovány vnější vlivy jako poruchovost strojů, údržby a odstávky, nemocnost či náhlá zranění u pracovníků, problémy s externími službami a kooperacemi či dodávkami materiálů, jež mohou zásadně ovlivnit průběh realizace jednotlivých činností i efektivitu celého výrobního procesu.

Výpočty získané metodou CPM či CPM/COST jsou de facto pouze čistým časem potřebným k realizaci zakázky bez ohledu na odložení zakázky na sklad, prioritizaci jiných zakázek dle požadavků zákazníků nebo vyřizování reklamací, díky kterým se na dané zakázce právě nepracuje s ohledem na aktuální rozvrh práce.

Vypočtené hodnoty tedy odpovídají průchodu zakázky všemi dílčími činnostmi za ideálních podmínek a mohou být pro společnost přínosem v případě rozhodování o příslibení dřívějšího termínu dokončení zakázky v případě urgentního padavku zákazníka. Se zákazníkem lze tedy dohodnout standardní předběžný termín dokončení zakázky během 4 týdnů, avšak v případě naléhavosti dokončení stavby např. pro účely kolaudačního řízení, lze se zákazníkem dohodnout nejdivější možný termín na úrovni hodnot doby trvání vypočtených metodou CPM, příp. CPM/COST s ohledem na příplatek k pokrytí dodatečných nákladů.

8 Závěr

Jako téma této diplomové práce byla zvolena optimalizace plánování procesu výroby v podniku SWN Moravia s.r.o., jenž se zabývá výrobou dřevěných, kovových a kombinovaných schodišť a doplňků. Ačkoliv se jedná o poměrně malou rodinnou firmu, její vliv díky zaměření na export k zahraniční klientele sahá daleko za hranice Evropy.

Téma bylo zvoleno na základě zájmu o bližší poznání metod operačního výzkumu a jejich aplikaci na reálnou situaci v prostředí výrobního podniku, tak aby závěry mohly být využity při rozhodování o budoucím směřování podniku a poznání jeho silných stránek i potencionálních problematických oblastí a úzkých míst.

Základy řízení, evidence a plánování výroby byly nastíněny v teoretické části stejně jako stručná charakteristiky operačního výzkumu a jeho metod, se zaměřením na uplatnění teorie grafů a síťové analýzy, a možností využití aplikačního softwaru pro zjednodušení výpočtů navrhovaných matematických modelů.

Praktická aplikace síťové analýzy je následně využita při konstrukci modelu výrobního procesu, resp. průběhu činností vedoucích ke zpracování zakázky na výrobu schodiště ve společnosti SWN Moravia s.r.o. za účelem zefektivnění využití výrobních kapacit, optimalizování doby zpracování zakázky, jakožto jedinečného výstupu produkčního systému, za podmínky minimalizování nákladů realizace zakázky, poznání potenciálu pro zlepšení stávajícího procesu apod.

Hlavním cílem této diplomové práce bylo poznání a posouzení současného stavu výrobních procesů pro vytvoření návrhů na úpravu plánování výrobních činností, která by zvýšila efektivnost a rychlost realizace zakázek.

Jako metodika pro dosažení tohoto cíle byla zvolena síťová analýza se zaměřením na časovou a nákladovou analýzu prostřednictvím metody kritické cesty a jejího rozšíření metodou CPM/COST s aplikačního softwaru WinQSB a MS Project.

Na základě dat poskytnutých společností SWN Moravia s.r.o. byl sestaven matematický model v podobě síťového grafu výrobního procesu, resp. dílčích činností realizace zakázky s ohledem na dostupné zdroje (pracovní síly a výrobní zařízení) a organizační a technologické vazby.

Dosažené výsledky pak byly vyhodnoceny vzhledem k možnostem jejich uplatnění v praxi a využití při plánování výrobních procesů v budoucnosti.

K dílčím cílům pak bylo zařazeno poznání prostředí společnosti a fungování výrobních procesů, seznámení se s evidencí informací o výrobních procesech, poznání výrobního portfolia společnosti a potencionálních příležitostí pro zlepšení procesů. Rovněž tyto cíle byly v rámci diplomové práce splněny.

Závěrem tedy lze říci, že cíle diplomové práce byly naplněny, ačkoliv praktické uplatnění výsledků může být z hlediska aktuálního vývoje společnosti poněkud sporné. Na obranu výsledků modelu lze říci, že by se jednalo o velice ideální situaci, kdy by společnost musela vyloučit působení jakýchkoliv externích vlivů, jako např. poruchy strojů, úrazy pracovníků, zpoždění v dodávkách materiálu nebo prioritní zpracování jiné zakázky či reklamace. Avšak s takovými ideálními situacemi získanými matematickými výpočty či modelováním trendů a časových řad se v reálném světě plném turbulentních změn prostředí setkáváme velice zřídka i v jiných oblastech života.

9 Přehled literatury

9.1 Knižní zdroje

- ADAMEC, František. *MS Project: řízení projektů*. Praha: Grada, 1997. Snadno a dobře. ISBN 80-7169-374-X.
- FIALA, Petr. *Modelování a analýza produkčních systémů*. Praha: Professional Publishing, 2002. ISBN 80-86419-19-3.
- FIALA, Petr. *Operační výzkum: nové trendy*. Praha: Professional publishing, 2010. ISBN 978-80-7431-036-2.
- HAJDU, Miklós. *Network Scheduling Techniques for Construction Project Management*. Boston, MA: Springer US, 1997. ISBN 9781475759518.
- HOLOUBEK, Josef. *Ekonomicko-matematické metody*. V Brně: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2006. ISBN 9788071579700.
- JABLONSKÝ, Josef. *Operační výzkum: kvantitativní modely pro ekonomické rozhodování*. 3. vyd. Praha: Professional Publishing, 2007. ISBN 978-80-86946-44-3.
- KAVAN, Michal. *Výrobní a provozní management*. Praha: Grada, 2002. ISBN 80-247-0199-5.
- KEŘKOVSKÝ, Miloslav. *Moderní přístupy k řízení výroby*. 2. vyd. V Praze: C.H. Beck, 2009. C.H. Beck pro praxi. ISBN 9788074001192.
- KOŘENÁŘ, Václav, LAGOVÁ, Milada. *Optimalizační metody*. V Praze: Oeconomica, 2003. ISBN 80-245-0609-2.
- NĚMEC, Vladimír. *Projektový management*. Praha: Grada, 2002. ISBN 9788024703923.
- PUNMIA, Dr. B. C., KHANDELWAL, K. *Project Planning and Control with P.E.R.T. and C.P.M.: For Degree Classes*. Laxmi Publications, 2005. ISBN 978-8170083092.
- SARKER, Ruhula A., NEWTON, Charles. *Optimization Modelling a Practical Approach*. Hoboken: Taylor & Francis, 2007. ISBN 1420043110.
- SHARMA, S.C. *Operation research: PERT, CPM and cost analysis*. New Delhi: Discovery Pub. House, 2006. ISBN 9788183561020.
- STEWART, Rodney D. a Richard M. WYSKIDA. *Cost estimator's reference manual*. New York: Wiley, c1987. ISBN 9780471830825.
- TOMEK, Gustav, VÁVROVÁ, Věra. *Řízení výroby*. Praha: Grada, 1999. ISBN 978-80-7169-578-3.
- TOMEK, Gustav, VÁVROVÁ, Věra. *Řízení výroby a nákupu*. Praha: Grada, 2007. ISBN 978-80-247-1479-0.

WALTER, Jaromír, VEJMOLA, Stanislav, FIALA, Petr. *Aplikace metod síťové analýzy v řízení a plánování*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1989, 282 str.

WARD, Sol A. *Cost engineering for effective project control*. New York: J. Wiley, c1992. ISBN 9780471528517.

9.2 Internetové zdroje

ANGELO. Schody od SWN Moravia. In: *Hobby bydlení* [online]. 2013 [cit. 2016-10-13]. Dostupné z: <http://www.hobbybydleni.cz/schody-od-swn-moravia/>

CNNN. Kvalitní dřevěná schodiště od společnosti SWN Moravia s.r.o. In: CNNN [online]. 2014 [cit. 2016-10-13]. Dostupné z: <http://cnnn.cz/kvalitni-drevena-schodiste-od-spolecnosti-swn-moravia-s-r-o/>

CSTUDIO. Lídr musí být vždycky první. In: StavimeDum.cz: Informační portál nejen pro stavebníky rodinných domů [online]. c2014 [cit. 2016-10-13]. Dostupné z: <http://www.stavimedum.cz/lidr-musi-byt-vzdycky-prvni/>

DŘEVĚNÉBYDLENÍ.CZ. SWN Moravia s.r.o. In: DřevěnéBydlení.cz [online]. c2012 [cit. 2016-10-13]. Dostupné z: <http://www.drevenebydleni.cz/products/swn-moravia-s-r-o/>

HANZAL, Pavel. Zábradlí SWN Moravia. In: DŮMweb.cz [online]. c2016 [cit. 2016-10-13]. Dostupné z: <http://www.dumweb.cz/moderni-byt-a-dum/zabradli-swn-moravia>

HEJHÁLEK, Jiří. Schody a schodiště do interiéru. In: Stavebnictvi3000.cz: Nejvíce informací o stavebnictví v ČR [online]. 2013 [cit. 2016-10-23]. Dostupné z: <http://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/schody-a-schodiste-do-interieru/>

INTERIÉROVÉ STUDIO H-PARK. SWN Moravia. In: InteriérovéStudio.com [online]. c2016 [cit. 2016-10-23]. Dostupné z: <http://www.interierovestudio.com/?pg=SWNMoravia>

INTERNET STREAM S.R.O. Výrobce schodišť SWN Moravia. In: Bydlíme pěkně [online]. 2013 [cit. 2016-09-30]. Dostupné z: <http://www.bydlimepekne.cz/interier/vyrobce-schodist-swn-moravia.html>

KUPF.CZ: Autorizované obchodní zastoupení SWN Moravia [online]. SWN Moravia, c2010 [cit. 2016-10-22]. Dostupné z: <http://www.kupf.cz/produkty/kombinovana-schodiste/milano>

MINISTERSTVO SPRAVEDLNOSTI ČESKÉ REPUBLIKY. Výpis z obchodního rejstříku: SWN Moravia, s.r.o., C 22162 vedená u Krajského soudu v Brně. In: : Veřejný rejstřík a Sběrka listin [online]. c2012-2015 [cit. 2016-09-30]. Dostupné z: <https://or.justice.cz/ias/ui/rejstrik-firma.vysledky?subjektId=573197&typ=PLATNY>

- PODLAHY BLANKET S.R.O. SWN Moravia. In: BLANKET: Podlahové krytiny, dveře a interiéry [online]. c2016 [cit. 2016-10-13]. Dostupné z: <http://www.podlahyblanket.cz/nabidka/schodiste/>
- POJAR, Petr. O jaký typ schodiště je největší zájem? In: ČeskéStavby.cz: Portál o stavbě, zahradě a bydlení [online]. 2014 [cit. 2016-10-23]. Dostupné z: <http://www.ceskestavby.cz/clanky/o-jaky-typ-schodiste-je-nejvetsi-zajem-23342.html>
- PRO VOBIS S.R.O. SWN Moravia, s.r.o. In: Dřevo a stavby [online]. c2016a [cit. 2016-10-13]. Dostupné z: <http://www.drevoastavby.cz/adresar-firem/adresar-firem/vybaveni-domu/schodiste/swn-moravia-sro>
- PRO VOBIS S.R.O. SWN Moravia – již téměř 20 let s vámi. In: Dřevo a stavby [online]. c2016b [cit. 2016-10-30]. Dostupné z: <http://www.drevoastavby.cz/drevostavby-archiv/bydleni-nejen-v-drevostavbe/schodiste/4033-sw-n-moravia-n-jiz-temer-20-let-s-vami>
- SVOBODOVÁ, Sylva. Schody mají být bezpečné a pohodlné. In: Novinky.cz [online]. 2013 [cit. 2016-10-23]. Dostupné z: <https://www.novinky.cz/bydleni/tipy-a-trendy/298746-schody-maji-byt-bezpecne-a-pohodlne.html>
- SWN MORAVIA. Výrobní proces. In: SWN Moravia [online]. c2015 [cit. 2016-10-23]. Dostupné z: <http://www.sw-n-schody.cz/cs/proces>
- TECHNOR: Ing. Jiří Řezníček [online]. Technor.cz, c2005-2015 [cit. 2016-11-22]. Dostupné z: http://www.technicke-normy-csn.cz/734130-csn-73-4130_4_31170.html
- W & WEINZETTL, S.R.O. SWN Moravia – schodiště. In: PRŮM: Designové dveře [online]. c2013 [cit. 2016-10-13]. Dostupné z: <http://www.prum.cz/sortiment/sw-n-moravia-schodiste/>
- WEB 4 ALL COMPANY S.R.O. SWN MORAVIA S.R.O. In: Top Praha [online]. [cit. 2016-11-30]. Dostupné z: <http://www.top-praha.cz/sw-n-moravia/>

10 Seznam obrázků

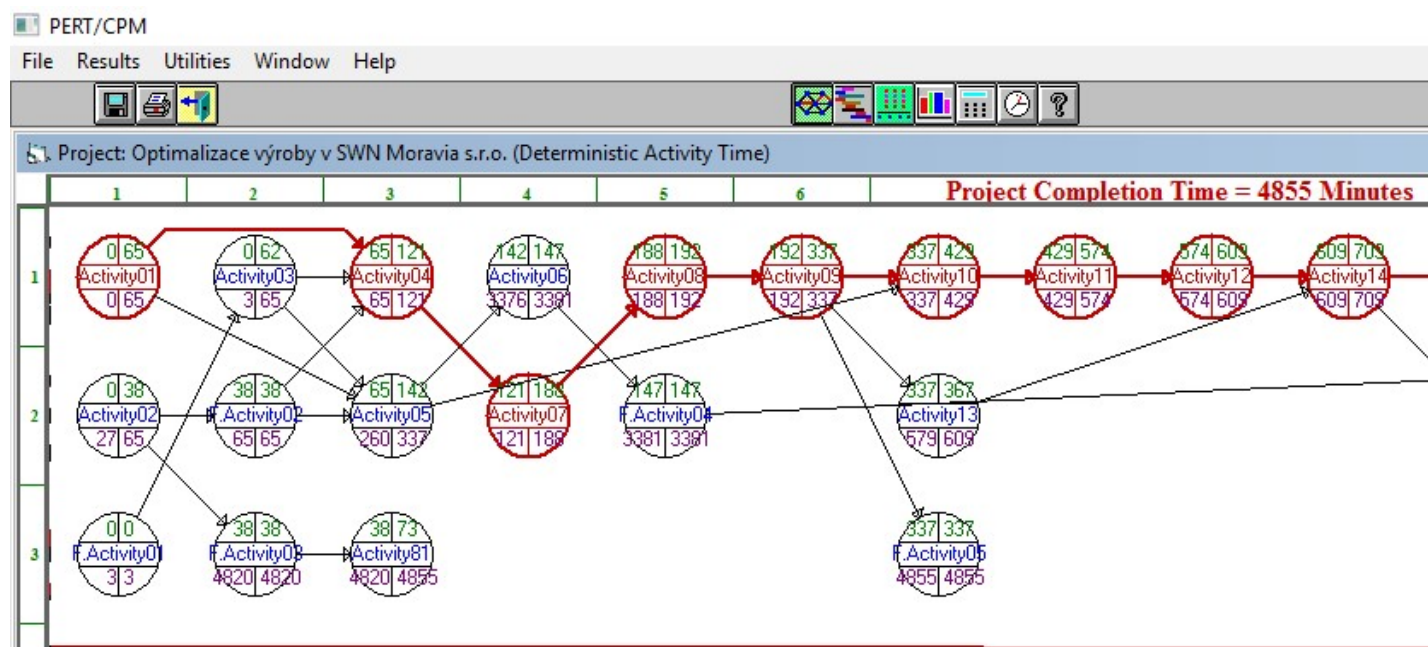
Obrázek 1: Postupy controllingu řízení výroby	18
Obrázek 2: Příklady dat vedených v operativní evidenci.....	19
Obrázek 3: Model přípravy výrobního procesu	20
Obrázek 4: Fáze při aplikace operačního výzkumu	24
Obrázek 5: Ganttův diagram s histogramem zdrojů.....	28
Obrázek 6: Příklad hranově ohodnoceného síťového grafu.....	29
Obrázek 7: Řešení CPM přímo v síťovém grafu.....	32
Obrázek 9: Závislost celkových přímých nákladů na době trvání projektu.....	34
Obrázek 8: Znázornění lineární aproximace koeficientu nákladového spádu	34
Obrázek 10: Závislost přímých, nepřímých a celkových nákladů projektu.....	35
Obrázek 11: Nová administrativně-výrobní budova z roku 2008.....	39
Obrázek 12: Technologický postup pro zaměření betonových schodišť.	44
Obrázek 13: Obráběcí stroj CNC Vision.....	47
Obrázek 14: Vřetenové schodiště Milano	53
Obrázek 15: Výchozí síťový diagram	58
Obrázek 16: Vstupní obrazovka programu WinQSB.....	59
Obrázek 17: Tabulka pro přepis kartotéky činností	60
Obrázek 18: Výpočet kritické cesty v programu Win QSB	61
Obrázek 19: Síťový diagram s vyznačením kritické cesty.....	67

11 Seznam tabulek

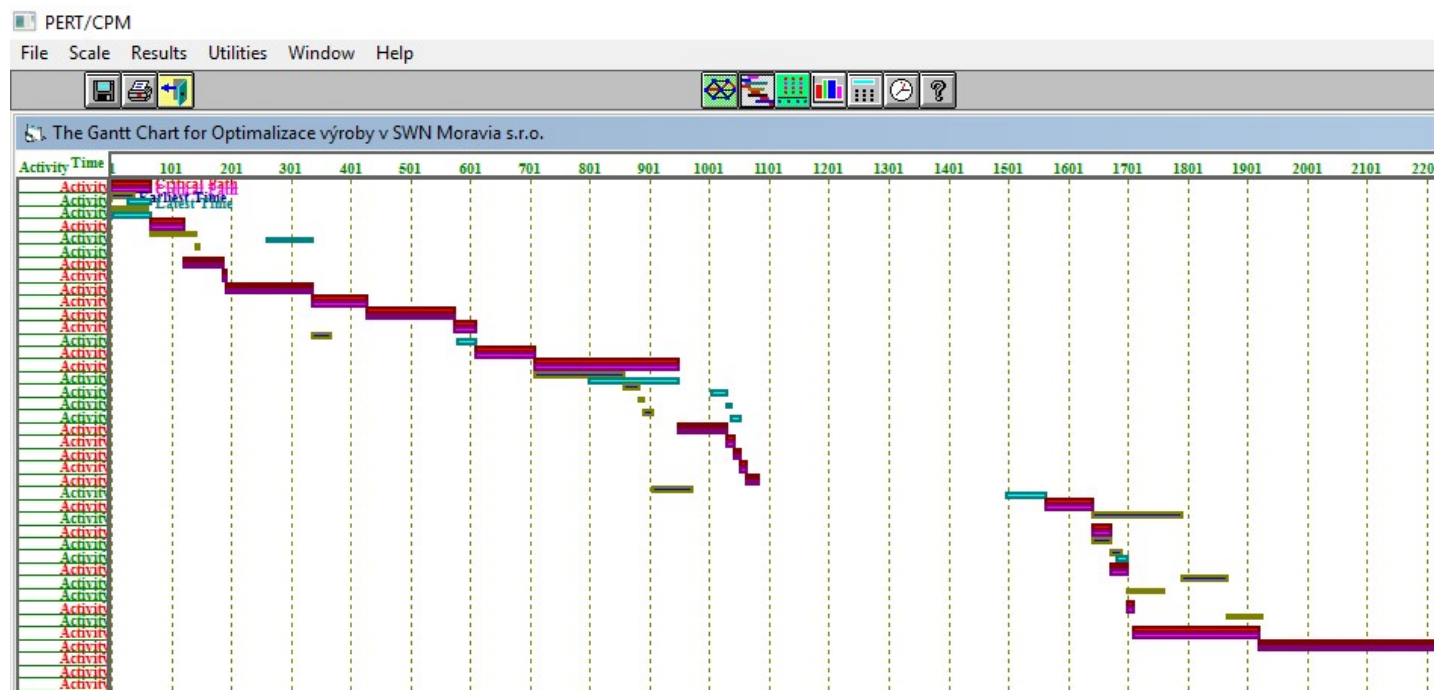
Tabulka 1: Základní údaje o obchodní společnosti	38
Tabulka 2: Technologické kódy základních výrobních standardů schodišť	51
Tabulka 3: Kartotéka reálných činností včetně doby trvání a návazností	54
Tabulka 4: Kartotéka čekacích a fiktivních činností	57
Tabulka 5: Výpočet doby trvání projektu, resp. zakázky a určení kritické cesty	61
Tabulka 6: Činnosti na kritické cestě	64
Tabulka 7: Zkracování dob trvání u kritických činností	69
Tabulka 8: Optimalizace doby realizace zakázky s ohledem na minimalizaci	70

Přílohy

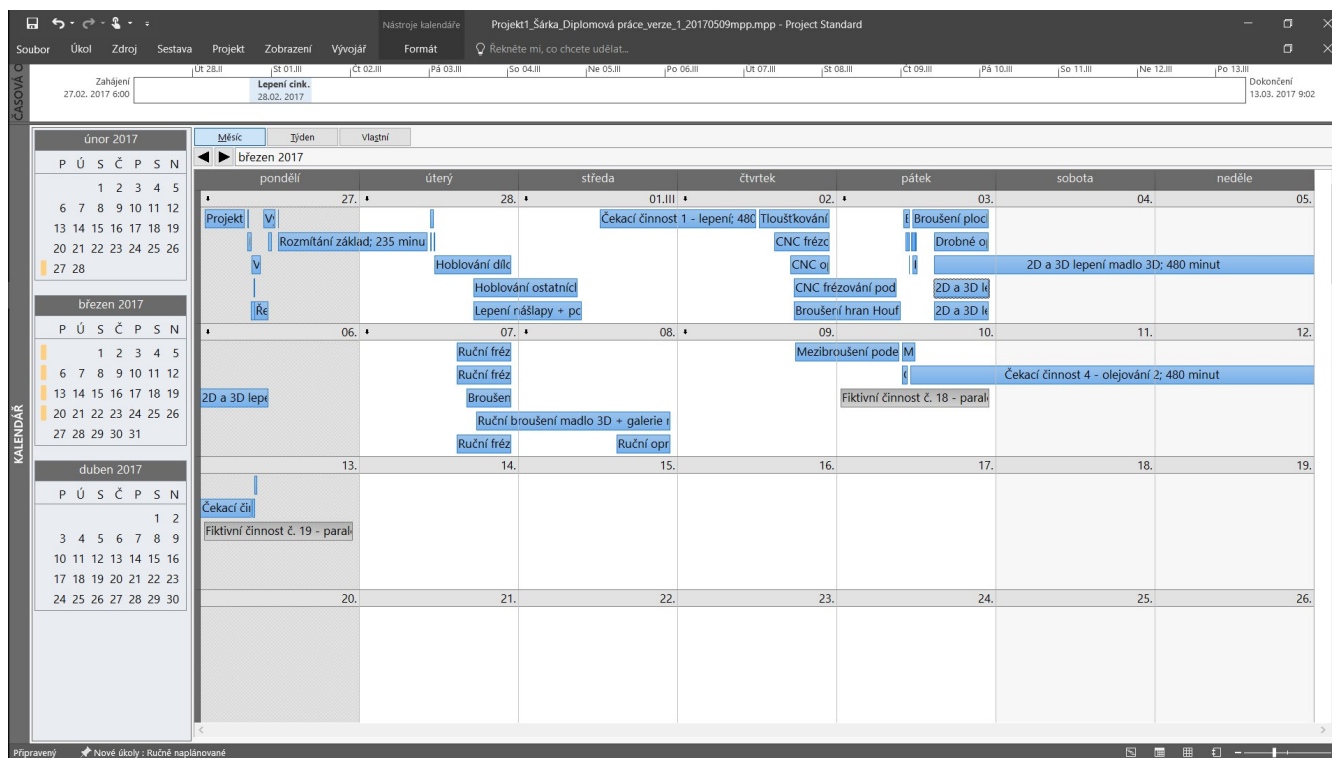
A Uzlově ohodnocený síťový diagram jako grafický výstup WinQSB



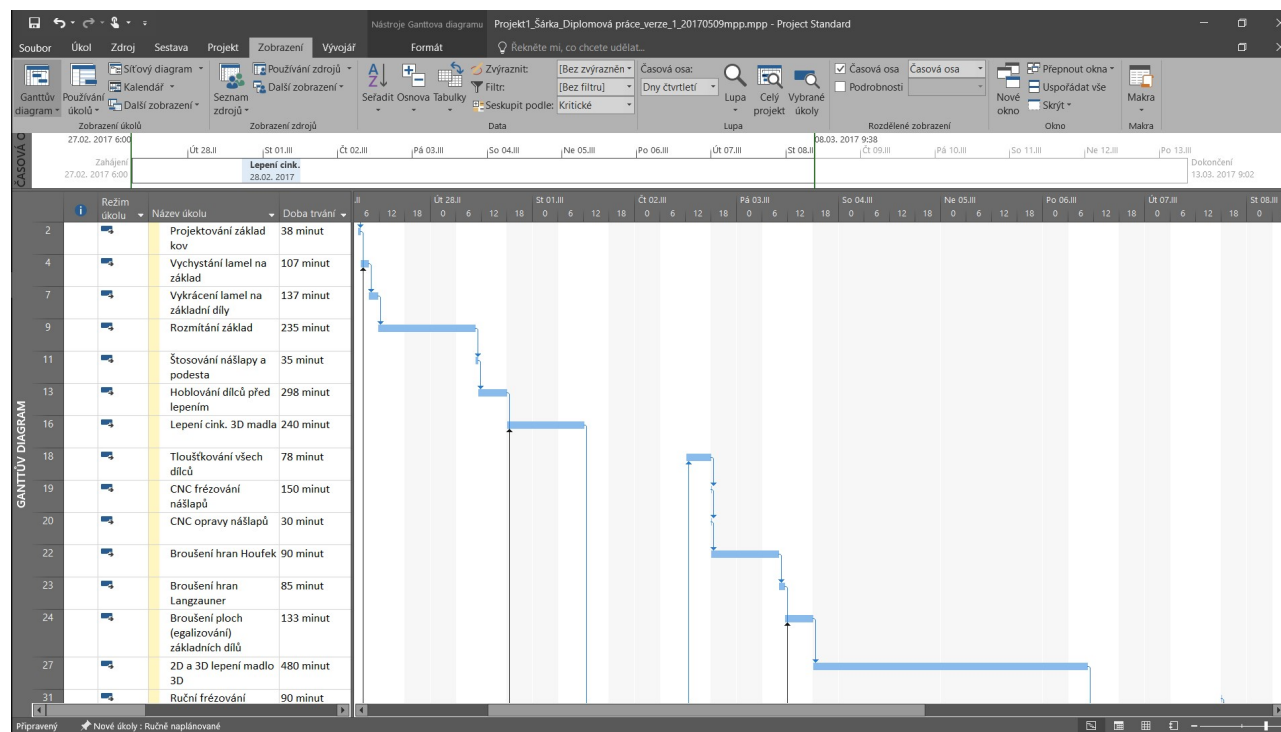
B Ganttův diagram jako grafický výstup WinQSB



C Grafické zobrazení realizace zakázky formou pracovního kalendáře jako výstup MS Project



D Zobrazení pravých činností v Ganttově diagramu jako grafický výstup MS Project



E Zobrazení čekacích a fiktivních činností v Ganttově diagramu, grafický výstup MS Project

