



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

# VYUŽITÍ DISKRÉTNÍCH SIMULACÍ V PLÁNOVANÍ VÝROBY

USING OF DISCRETE EVENT SIMULATION IN A PRODUCTION PLANNING

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Bc. Ivan SHYLIN

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. Zdeňka VIDECKÁ, Ph.D.

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie  
Akademický rok: 2013/14

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Ivan Shylin

který/která studuje v **magisterském studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie a průmyslový management (2303T005)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

### **Využití diskretních simulací v plánování výroby**

v anglickém jazyce:

#### **Using of Discrete Event Simulation in a Production Planning**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Úvod

Vymezení problému a cíle práce

Teoretická východiska práce

Analýza výrobní linky

Návrh řízení výrobní linky s využitím diskretní simulace

Zhodnocení přínosu návrhu řešení

Závěr

Seznam použité literatury

Přílohy

Cíle diplomové práce:

Návrh způsobu využití simulace v řízení a plánování výroby

Seznam odborné literatury:

BASL, J., TUMA, M., GLASL, V.: Modelování a optimalizace podnikových procesů. 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2002. 140 s. ISBN 80-7082-936-2.

LIKE, J.K. Tak to dělá Toyota 14 zásad největšího světového výrobce. Dotisk 1. vydání. Praha: Management Press, 2010. 392 s. ISBN 978-80-7261-173-7.

TOMEK, G., VÁVROVÁ, V. Řízení výroby a nákupu. 1. Vydání. Praha: Grada Publishing, 2007. 384 s. ISBN 978-80-247-1479-0.

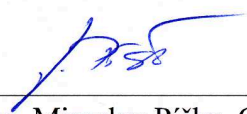
TÖPFER, A. a kol. Six Sigma. Koncepce a příklady pro řízení bez chyb. 1.vyd. Brno : Computer Press, 2008. 499 s. ISBN 978-80-251-1766-8.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Zdeňka Videcká, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/14.

V Brně, dne 22.11.2013



  
\_\_\_\_\_  
prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
Ředitel ústavu

  
\_\_\_\_\_  
prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.  
Děkan

**ABSTRAKT**

Práce se zabývá možností využití výsledků diskrétních simulací pro účely plánování výroby. Je zde popsán způsob propojení normování a plánování výroby. V práci je taktéž popsána metodika tvorby modelu linky, návrh a realizace experimentů. Pro účely plánování je popsán výběr relevantních výsledků simulace a následně jejich použití při vytvoření výrobního plánu a jeho optimalizaci.

**Klíčová slova**

diskrétní simulace, experiment, plánování výroby, lidské zdroje, optimalizace

**ABSTRACT**

Diploma thesis is dealing with the possibility of use of discrete event simulations in a production planning. The connection of the work measurement and the production planning is described. The thesis describes the modeling methodology, design and realization of the experiment with the model. The production planning part describes the processing of the data generated from the model, which are further used to demonstrate the planning method and optimization of the production plan.

**Key words**

Discrete event simulation, experiment, production planning, human resources, optimization

**BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

SHYLIN, Ivan. *Využití diskrétních simulací v plánování výroby*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 67 s., 4 přílohy. Vedoucí diplomové práce Ing. Zdeňka VIDECKÁ, Ph.D..

**PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Využití diskéčních simulací v plánování výroby vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

-----  
Datum-----  
Bc. Ivan SHYLIN

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto bych chtěl poděkovat firmě HELLA AUTOTECHNIK NOVA s.r.o. a HELLA Corporate Center Central & Eastern Europe, s.r.o. v Mohelnici, za spolupráci na diplomové práci. Velké díky Dipl. Ing. Liboru Chadimovi za cenné rady, vedení a konzultace při analýze a řešení úkolů ve firmě.

Dále chci poděkovat paní Ing. Zdeňce Videcké, Ph.D., za vedení diplomové práce, cenné rady, inspiraci a trpělivost při zpracování této diplomové práce.

**OBSAH**

ABSTRAKT .....	4
PROHLÁŠENÍ.....	4
PODĚKOVÁNÍ .....	5
OBSAH.....	5
ÚVOD.....	8
1 VYMEZENÍ PROBLÉMU A CÍLE PRÁCE.....	9
1.1 Cíle práce .....	10
2 TEORETICKÁ VÝCHODISKA PRÁCE .....	11
2.1 Systém, model a simulace .....	11
2.2 Typy modelů .....	12
2.3 Metodika modelování diskrétních simulací .....	13
2.4 Prvky modelu .....	14
2.4.1 Entity modelu.....	14
2.4.2 Stavby systému .....	15
2.4.3 Aktivity systému .....	15
2.4.4 Zdroje systému.....	15
2.4.5 Prodlevy systému.....	16
2.4.6 Systémová logika.....	16
2.5 Postup řešení úloh pomoci simulací.....	17
2.6 Postup při vytváření modelu .....	17
3 GLOBÁLNÍ ANALÝZA .....	19
3.1 Výrobní proces .....	19
3.2 Organizace a plánování .....	20
4 LOKÁLNÍ ANALÝZA.....	21
4.1 Definice problému.....	21
4.2 Koncept modelu linky .....	21
4.2.1 Kusovník výrobku.....	21
4.2.2 Výrobní postup a operace .....	22
4.2.3 Dopravník .....	25
4.2.4 Normy spotřeby času .....	25
4.3 Ekonomické parametry linky .....	25
4.3.1 Energie .....	26
4.3.2 Údržba.....	27

4.3.3	Logistika .....	27
4.3.4	Skladování .....	27
5	NÁVRHOVÁ ČÁST .....	28
5.1	Stanovení účelu modelu .....	28
5.2	Koncept modelu .....	28
5.2.1	Dostupné objekty v programu Witness .....	29
5.2.2	Objekty a parametry modelu .....	30
5.2.3	Koncept atributů, proměnných a funkcí .....	33
5.3	Sběr dat .....	34
5.3.1	Použité díly a součásti modelu .....	34
5.3.2	Normy spotřeby času .....	34
5.3.3	Dopravník .....	35
5.3.4	Pracoviště a operace na lince .....	35
5.3.5	Cesty pro pohyb manipulanta .....	36
5.4	Verifikace modelu .....	37
5.5	Validace modelu .....	37
5.6	Experimenty s modelem .....	38
5.6.1	Návrh experimentů s modelem .....	38
5.6.2	Modul experimentů Witness .....	38
5.6.3	Získané výstupy experimentů .....	39
5.7	Zpracování výsledků simulací .....	42
5.7.1	Získané výsledky .....	42
5.7.2	Další vstupní parametry .....	43
5.8	Výběr relevantních režimů linky .....	44
5.9	Možnosti zpracování výsledků .....	47
5.9.1	Proces zavedení výroby .....	49
5.9.2	Koncept programu .....	52
5.9.3	Úloha plánovače .....	54
5.9.4	Výpočet optimálního plánu .....	55
5.9.5	Omezení použití algoritmu .....	60
	ZHODNOCENÍ PŘÍNOSU NÁVRHU ŘEŠENÍ .....	61
	ZÁVĚR .....	62
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....	63
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....	64
	SEZNAM OBRÁZKŮ .....	65



SEZNAM TABULEK .....	66
SEZNAM PŘÍLOH.....	67

## ÚVOD

Známé rčení „čas jsou peníze“ jen přibližuje pojetí v životě a v práci. Čas je neobnovitelný zdroj, absolutně vzácný a neomezeně cenný. Důležitost správného nakládání s časem v rámci výroby dostává nový význam. Dobře vynaložená práce jednoho člověka je ta, která dalším lidem ušetří hodiny, dny nebo roky jejich práce. Ve výrobě inženýři se snaží optimalizovat operace na pracovišti a snaží se omezit plýtvání časem. Sledují a optimalizují jednotlivé pohyby a ergonomii, přidávají mechanizaci a automatizaci, s cílem snížit náročnost pro pracovníka. Dobře organizovaná výrobní linka může fungovat efektivně, ale z pohledu celé soustavy linek tomu tak nemusí být. Pokud nelze „dokonalé“ linky provozovat v optimálních režimech, nevyužijeme předchozí práce inženýrů. Dostáváme se tedy k optimálnímu rozdělení práce mezi linkami – tedy k plánování lidských zdrojů a výroby.

Plánování výroby je proces s určitými algoritmy a obvykle v ustáleném prostředí. Co ale nelze předvídat, tak jsou náhodné události. Plánování výroby z velké části ještě zůstává na lidech, na intuici plánovače, na aktuálních znalostech a zkušenostech s konkrétním prostředím. Pro objektivní rozhodování plánovač potřebuje přesné údaje o tom v

Informace pro rozhodování plánovače o provozu linek, tedy všechny kombinace obsazení linek, náklady na každou z takových variant, to už nese s sebou úskalí práce ve velkém objemu dat. Stav techniky takovou práci umožňuje. Pak také vytvořené počítačové algoritmy, které ukážou optimální plán – mohou nahradit určitou rutinu plánovače a nechat mu větší prostor pro řešení nestandardních situací.

## 1 VYMEZENÍ PROBLÉMU A CÍLE PRÁCE

Úlohou plánovače je vytváření výrobního plánu v takové podobě, aby bylo možné včas a ve správném množství vykrytí odvolávky zákazníka. Základem této činnosti je kapacitní plánování. Cílem je tedy zjistit jestli vůbec lze výrobním systémem realizovat požadovaný objem výroby, nebo tomu brání některé úzké místo. Taková analýza vyžaduje velké množství vstupních dat – operační a mezioperační časy, posloupnost operací, aktuální využití kapacit. Sledování a testování takových úzkých míst umožňuje MRP 2 systém [1].

Pokud je možné realizovat odvolávku na určitém pracovišti a nevznikne problém s nedostatkem kapacity, vyvstává další otázka – v jakých režimech vyrábět na dané lince nebo pracovišti? Režimem se rozumí to, jakým počtem pracovníků ji obsadit, aby bylo možné splnit výrobní plán s minimálními náklady.

Linku lze obsluhovat různým počtem pracovníků a realizovat tak jiný objem výroby. Pro rozhodnutí o optimálních nákladech je opět potřeba znát řadu údajů:

- nejmenší nutný počet pracovníků – například jestli je potřeba některou operaci provádět ve dvou nebo více lidech,
- nejnižší potřebná kvalifikace – některé operace může provádět pracovník se zaškolením na obsluhu stroje nebo s profesními znalostmi,
- maximální dosažitelný objem výroby – neboli omezení linky z pohledu úzkého místa,
- náklady na zvolenou variantu a jednotkové náklady na takto realizovaný výkon.

Normovači, procesní inženýři a technologové výroby dokážou vytvořit a popsat několik provozních režimů a poskytnout většinu potřebných údajů v podobě norem a pracovních instrukcí. Pokud má linka příliš mnoho různých režimů výroby, není účelné popisovat všechny varianty v instrukcích. V takovém případě je možné vytvořit simulační model linky a vybírat na základě experimentů ty použitelné a teprve následně schvalovat normy a instrukce.

Ekonomické vyhodnocení varianty by se mělo zakládat na údajích o interních sazbách obsluhujících pracovníků, počtu stálých zaměstnanců a nákladech vznikajících při nevyužití pracovní kapacitě.

### **1.1 Cíle práce**

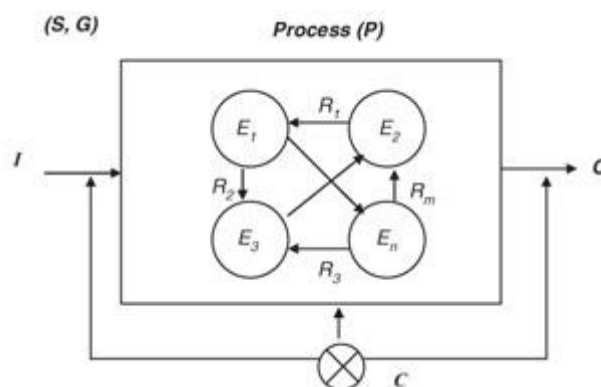
Cílem diplomové práce je navrhnout a realizovat podporu plánování montážní linky s využitím diskretních simulací. Součástí řešení je návrh experimentů pro vyhodnocení směnových režimů s vytvořeným modelem linky. Pro opakované použití modelu bude v návrhu definováno i začlenění do procesu plánování s účelem využít takto získané údaje. Dílčím cílem je sestavit algoritmus, kterým by měl plánovač ověřit plán a získat optimální provozní náklady.

## 2 TEORETICKÁ VÝCHODISKA PRÁCE

### 2.1 Systém, model a simulace

Systémem se rozumí soustava objektů a vazeb mezi nimi, které transformují vstupy na výstupy. Modelování systémů je proces vytváření zjednodušené reprezentace skutečnosti (systému, výrobku, procesu), kterému lze lépe porozumět a je méně nákladné jej takto napodobit, než vytvořit dokonalou kopii. Proces modelování v sobě zahrnuje zvažování složek modelu:

- objekty – elements – E,
- vztahy – relationships – R,
- vstupy – inputs – I,
- řídicí veličiny – controls – C,
- výstupy – outputs – O [3].



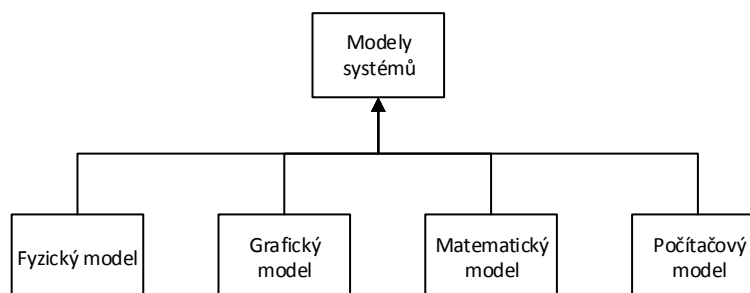
Obr. 1 Modelování systému [3].

Modelování systému tedy vyžaduje dva základní předpoklady:

- porozumění struktuře skutečného systému, funkcím a charakteristikám objektů systému.
- znalost metod tvorby modelů, které slouží k popisu skutečnosti a převodu na modelový systém [3].

## 2.2 Typy modelů

Obecně v inženýrské praxi se používá řada různých modelů, jako např. na Obr. 2. **Fyzické modely** jsou zastoupeny prototypy skutečných výrobků nebo procesů. Slouží pro demonstraci a ověření funkčnosti. Mohou se vytvářet i v měřítku ke skutečnému vzoru. Příkladem jsou prototypové díly, sestavy aj. Nevýhodou je, že ne všechny objekty lze fyzicky vytvořit pouze jako zjednodušené modely a napodobit požadovanou funkci [3].



Obr. 2 Vybrané typy modelů dle [3].

**Grafické modely** představují abstrakci systému na prvky prezentované pouze graficky. Příkladem jsou výkresy dílů a sestav, procesní a blokové diagramy, myšlenkové mapy aj. s rozvojem počítačové techniky se častěji používají i animace a videa pro grafické zobrazování. Grafické nástroje obvykle výrazně zjednodušují pohled na systém, neobsahují dynamické prvky a neumožňují tedy experimentování s modelem. Tento nedostatek se kompenzuje provázáním grafické prezentace s fyzickým, matematickým nebo počítačovým modelem [3].

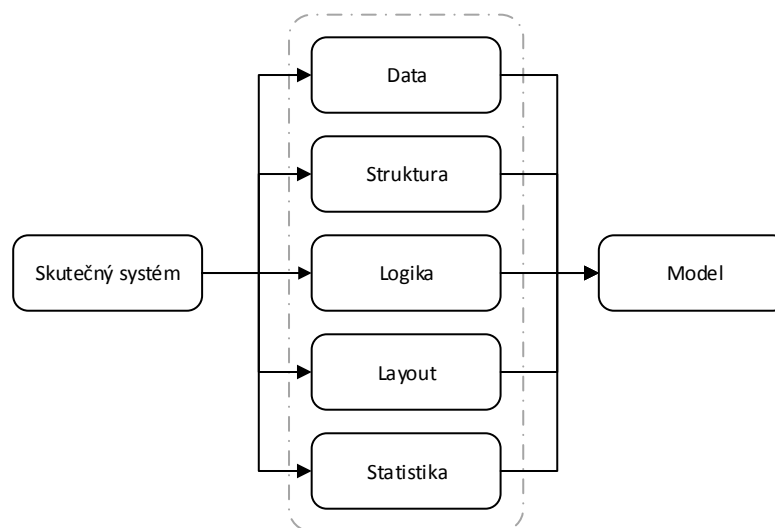
**Matematické modely** popisují chování systému pomocí matematických vztahů. Používají se zde vstupní parametry, rozhodovací bloky, funkce a omezující podmínky pro výpočet výstupních parametrů s matematicky definovaným systémem lze obvykle provádět i experimenty a optimalizace [3].

**Počítačové modely** slučují numerické, grafické a logické reprezentace systémů s využitím výpočetních výkonů počítačů. Toho se využívá pro počítačové modelování dílů a sestav, testování možnosti montáže celků. MKP umožňuje provádět simulace chování pevných těles a tekutin. Počítače umožňují využití diskretních simulací (DES), které napodobují skutečný systém a jeho změny v čase – takové simulace se využívají například pro analýzy výrobních linek [3].

### 2.3 Metodika modelování diskretních simulací

Tvorba modelu vyžaduje napodobení řady skutečností reálného objektu, patří sem pět hlavních reálií dle Obr. 3. Modelování obecně spočívá v převodu **struktury** reálných vlastností a objektů na objekty a parametry modelových prvků. Samozřejmě se do modelu převádí jen prvky a vlastnosti, které přispějí ke splnění cíle projektu [3].

Jako příklad si lze představit model výrobní linky za účelem stanovení propustnosti a úzkých míst. Svou roli v takovém modelu bude hrát například skutečný dopravník, jeho délka a rychlost. Dopravník se převede na modelový objekt s určitou kapacitou a dobou, za kterou se dopravovaný materiál posune na další pozici[3].



Obr. 3 Elementy pro tvorbu diskretních simulací [3].

**Plánem linky** (layoutem) se rozumí prostorové rozvržení objektů modelu. Umožňuje uvážit rozměry a vzdálenosti. Hraje důležitou roli například při plánování materiálových toků ve výrobních halách nebo v rámci linky. Je také důležitý při interpretaci modelu a sledování změn [3].

Fungování jakéhokoliv reálného systému je doprovázeno velkým množstvím **obíhajících dat**. Pro vytvoření modelu je potřeba posbírat a vyhodnotit velký objem dat (automaticky nebo ručně, průběžně, nebo jednorázově cíleně na určité parametry). Samozřejmě pro sestavení modelu nejsou zapotřebí všechna dostupná data. Například pro sestavení modelu výrobní linky jsou podstatné operační časy, pravděpodobnosti poruch, typy výrobků, zmetkovitost operací aj. [3].

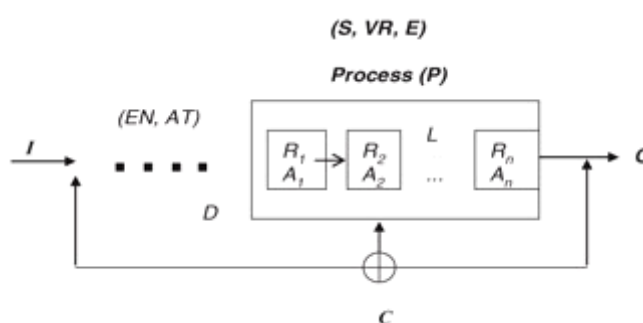
**Logika systému** postihuje pravidla a procesy, kterými se řídí interakce mezi objekty modelu. Popisuje vztahy mezi objekty a tok objektů nebo informací v modelu. Pro napodobení logiky se využívá programovacích jazyků.

Definování funkcí systému pomocí **statistiky**, jejich agregace a následné použití v modelu umožňuje zjednodušit model a přiblížit se skutečnosti právě pomocí nejistoty. Například poruchovost stroje sledovaná na rozlišovací úrovni celé linky je dána agregací pravděpodobností poruch jednotlivých uzlů stroje.

## 2.4 Prvky modelu

Vytvořený model pro diskrétní simulace se skládá z prvků, které se dělí do několika kategorií znázorněných na Obr. 4:

- **entity (EN)** neboli objekty s charakteristickými **atributy (AT)**,
- **stavy (S)** systému, které se popisují pomocí proměnných,
- **události (E)**, které mění stavy systému,
- během simulace v modelu probíhají **aktivity (A)**,
- pro dokončení aktivit jsou potřeba určité **zdroje (R)**,
- v rámci systému se objevují **časové prodlevy (D)**,
- a systém jako celek se řídí definovanou **logikou (L)** [3].



Obr. 4 Obecné schéma vztahů mezi prvky modelu dle [3].

### 2.4.1 Entity modelu

Entity modelu jsou prvky, které se dostávají do procesu zvně, prochází procesem, odehrávají se na nich aktivity a spotřebovávají se přitom zdroje. Pomocí entit lze reprezentovat jak fyzické materiály, díly a produkty výroby, tak i například objednávky



zákazníka, emaily, informace aj. V rámci modelu jsou entity popsány pomocí atributů, jako například jméno, třída, barva, tvar, identifikační číslo, původ, priorita, termín zpracování, cena aj. Hodnoty těchto atributů jsou pro většinu entit odlišné. Tyto atributy využívá logika systému pro řízení ostatních prvků [3].

#### **2.4.2 Stav systému**

Soustava proměnných systému poskytuje okamžitý popis jeho stavu. V průběhu simulace se jednotlivé proměnné mění na základě vstupů, výstupů, realizovaných procesů a stavu řídicích veličin. Stavem systému můžeme rozumět i stavy prvků v něm, např. proměnná o stavu výrobního stroje může nabývat více hodnot – čekání na entitu, čekání na zdroj, zpracování, čekání na uvolnění výstupu aj. [3].

#### **2.4.3 Aktivity systému**

Aktivity systému odpovídají procesům, které mají definovanou dobu trvání. Aktivity tvoří posloupnost procesů s entitami a jejich přetváření na výstupy. Jedná se například o operace, jako transfer materiálu, dělení, hrubování, uskladnění, obrobení, zabalení a expedice. Obecně se dělí na aktivity s přidanou hodnotou a bez přidané hodnoty. Aktivity s přidanou hodnotou mění atributy entity a přibližují je tak k finální podobě. Aktivity nepřidávající hodnotu jsou sice nezbytné pro celkový průběh, ale nemění požadované atributy. Doba trvání aktivit může být definovaná třemi různými způsoby:

- 1) pevným časovým intervalem,
- 2) pravděpodobnostní funkcí,
- 3) hodnotou funkce na základě atributů [3].

#### **2.4.4 Zdroje systému**

Zdroji systému se rozumí nástroje a výkonné prvky systému, které jsou potřeba pro vykonání aktivit. Příkladem jsou nástroje, nářadí, přípravky, obsluha, dopravní prostředky, stroje aj. Zdroje se přidělují aktivitám na základě nějakého předpisu (například definice směn pracovníků). Chování celého systému ovlivňují zdroje pomocí několika parametrů jako kapacita, rychlost a spolehlivost.

Zmíněné parametry lze sledovat pomocí odvozených metrik:

- využití zdrojů – procentuálně vyjádřený poměr využití kapacity k celkově dostupné kapacitě zdroje,
- rychlost zdroje – lze popsat pomocí taktu, v jakém zdroj může realizovat aktivitu,
- spolehlivost – procentuálně vyjádřený poměr střední doby mezi poruchami (MTBF) a součtem MTBF a střední dobou na opravu (MTTR) [3].

Kapacita ovlivňuje možnosti vytížení aktivit a tím celkový výkon systému.

Dále držení a použití zdrojů ve výrobním procesu generuje náklady, které lze popsat, kvantifikovat a sledovat v průběhu simulace [3].

#### **2.4.5 Prodlevy systému**

Prodlevami systému se rozumí čekání, která nejsou pevně definovaná aktivitami. Tyto prodlevy vznikají na základě logiky systému a interakcemi mezi prvky systému. Příkladem jsou prodlevy způsobené nevybalancováním operací ve výrobní sekvenci [3].

#### **2.4.6 Systémová logika**

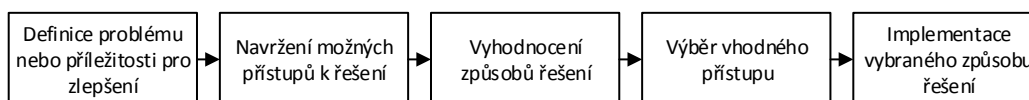
Logika systému řídí čas, místo a způsob vykonání aktivit. Logika systému popisuje přidělení zdrojů, sekvenci zpracování entit, pohyb entit systémem, priority aktivit a rozvrh dostupných zdrojů. Pro popis logiky systému je často potřeba popsat:

- tok materiálu,
- rozvrh dostupnosti pracovních zdrojů,
- výrobní plán výrobků,
- priority aktivit,
- standardní operace a postupy [3].

Logika systému se v rámci modelu popisuje pomocí programovacího jazyka, který využívá terminologii shodnou s oborem, ve kterém se používají – pracovník, součást, stroj, dopravník aj. Programovací jazyky simulačních programů se mohou lišit možnostmi a komplexností. Mohou se zakládat na pokročilých programovacích jazycích jako C nebo VB anebo na jazycích zjednodušených pro rychlé modelování [3].

## 2.5 Postup řešení úloh pomoci simulací

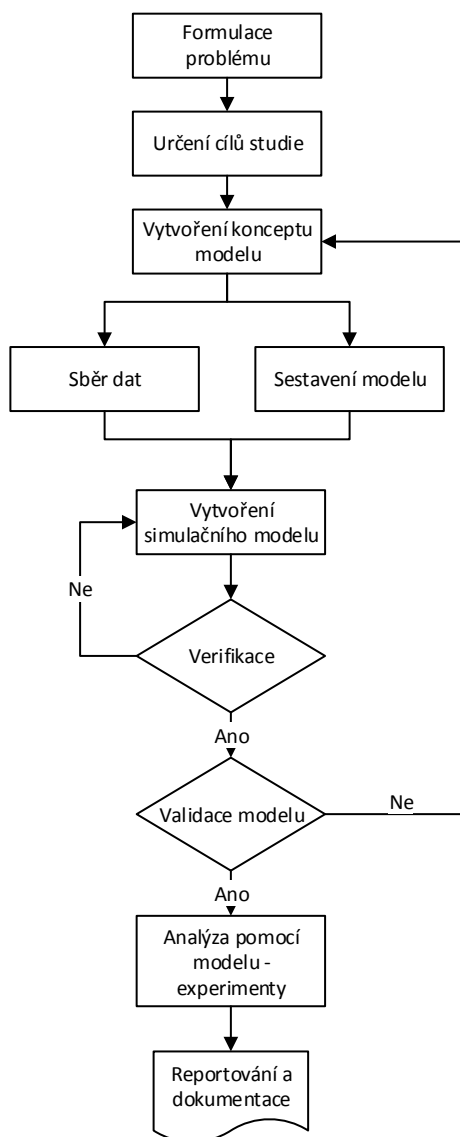
Postup předcházející řešení komplexních problémů je uveden na Obr. 5. Jde o běžný inženýrský přístup k řešení problémů pomocí simulací. Je použitelný pro úlohy vytváření nových systémů, řešení problémů v existujícím systému a zlepšení výkonu systému [3].



Obr. 5 Systematický postup při řešení simulačních úloh [3].

## 2.6 Postup při vytváření modelu

Vytváření modelu pro simulaci je proces, při kterém je důležité dodržet nebo alespoň zvážit popsané kroky dle Obr. 6. **Formulace** by měla obsahovat širší pohled na současný stav a zkoumaný problém, návaznosti a okrajové podmínky situace. Na formulaci navazuje **definice cílů** a očekávaných výstupů z modelu. Pokračuje se vytvořením **konceptu modelu**, tedy určení rozlišovací úrovně a složitosti modelu. Po takto připraveném úvodu se pokračuje **sběrem dat** pro model a **sestavením modelu** [3].



Obr. 6 Postup při vytváření modelové studie (zpracování na základě [3]).

Syntézou je pak **simulační model**, u kterého se musí **verifikovat**, že funguje a nejsou v něm problémy s řídicí logikou. Následuje **validace**, tedy porovnání výstupů z modelu se skutečností. Pokud je přesnost modelu nedostatečná, musí se **přehodnotit koncept modelu**, aktualizovat logika, doplnit potřebné údaje, naprogramovat a opět ověřit [3].

Po úspěšné verifikaci je možné provádět **experimenty** s modelem, upravovat a zvažovat varianty, získávat výstupy a vyhodnocovat. Ve výsledku se takto získané údaje zdokumentují a reportují dále, například pro realizaci zlepšení atp. [3].

### 3 GLOBÁLNÍ ANALÝZA

Koncern HELLA KGaA Hueck & Co. Byl založen v roce 1899 a zaměřuje se na výrobu světelné techniky, elektronických součástí a pro automobilový průmysl. S tržbami ve fiskálním roce 2012-2013 ve výši 5 mld. € se řadí mezi 50 největších dodavatelů v automotive sféře. Koncern globálně zaměstnává přes 29 000 pracovníků po celém světě.

V oblasti vývoje a výroby v České republice, působí HELLA v Mohelnici. V areálu sídlí tři společnosti:

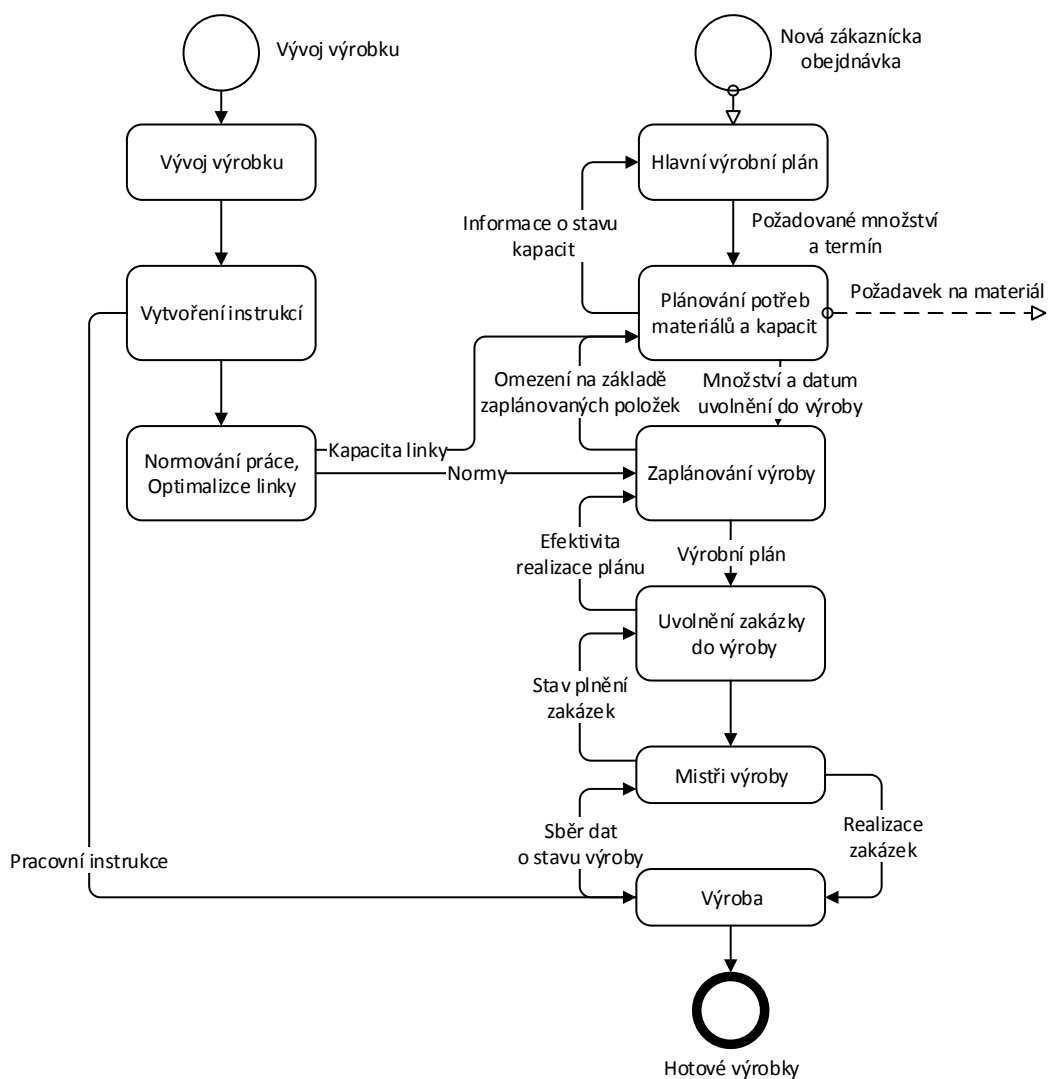
- HELLA AUTOTECHNIK NOVA s.r.o. (HAN) – výrobní závod,
- HELLA AUTOTECHNIK s.r.o. (HAT) – vývoj výrobků, testování a měření,
- HELLA corporate Center Central & Eastern Europe s.r.o. (HCC CEE) – podpora IT, nákupu, financí, HR aj.

Dohromady tyto společnosti zaměstnávají 1408 pracovníků a dále rostou.

#### 3.1 Výrobní proces

Výrobu v podniku lze rozdělit na prvovýrobu a montáž. V rámci prvovýroby zpracovává termoplasty a duroplasty. Používají se technologie vstřikování plastů a následného pokovování nebo lakování.

Montážní výroba používá jednoduchou mechanizaci pro ruční montáž, ale také automatizované linky nebo jejich části a robotická pracoviště. Zde se vyrábí podsestavy a finální výrobky – světlomety automobilů a jejich moduly. Dále se v práci bude uvažovat pouze montážní výroba.



Obr. 7 Informační tok při plánování výroby (zpracování na základě [4]).

### 3.2 Organizace a plánování

Organizace plánování a zjednodušené schéma zavedení produkce nového výrobku je uvedené na Obr. 7. Zavedením nového výrobku se může rozumět transfer z jiného závodu, anebo vývoj a technologická příprava v rámci závodu.

Po tom, co se ujasní výsledek vývoje, způsob výroby a finální podoba linky, vytváří se instrukce a zaškoluje se personál. Při spuštění nové série se provede normování práce, ověří se instrukce a fungování linky. Údaje o kapacitě linky, normy, instrukce pak pokračují k plánovačům. Ten následně na základě požadavků o uvolnění výrobě vytváří výrobní plán obvykle na týden dopředu.

## **4 LOKÁLNÍ ANALÝZA**

Při řešení diplomové práce je cílem ukázat možnosti využití simulací v plánování výroby. Byla zvolena linka, zásobující více dalších linek podsestavami. Linka je obvykle v provozu bez ohledu na to, po kterých výrobcích je aktuálně poptávka. To je i důvod, proč u této linky je možné uvažovat o variantách konstantní výroby ve stejných dávkách, nebo výroby na sklad a omezení některých směn.

### **4.1 Definice problému**

Aby bylo možné se rozhodnout o režimech provozu linky je potřeba najít variabilitu výstupů a nákladů. Následně bude možné vybrat optimální režimy linky a sestavit výrobní plán. Pro zkoumání režimů výroby jsou potřeba údaje o obsazení linky pracovníky a takto dosaženém výstupu z linky. Základním zdrojem jsou tedy výkonové normy. Pokud jde o jednoduchou linku lze na základě norem vytvořit několik variant. Složitější linka například s paralelními operacemi vyžaduje více pozornosti a zde lze uplatnit model a diskrétní simulace.

### **4.2 Koncept modelu linky**

Linka je plně automatizovaná. Každá automatická operace probíhá s taktem 11 s/ks., který je dán pevně řídicím programem.

Linka je postavena kolem uzavřeného řetězového dopravníku, po kterém obíhá 22 paletok. Paletky slouží jako přepravní jednotka a jako montážní přípravek v rámci linky. V paletce je zabudovaný RFID čip, který nese záznam o výsledku kontroly kvality (QC) z poslední operace a stavu modulu (složený/rozebraný).

#### **4.2.1 Kusovník výrobku**

Na vybrané lince je možné montovat několik verzí výrobků. Pořadí operací je pro všechny verze stejné, a odlišují se jen některými použitými díly. Možné varianty jsou například: levá a pravá verze modulu, statické nebo dynamické moduly, odlišná čočka pro moduly v souladu s evropskými nebo americkými standardy.

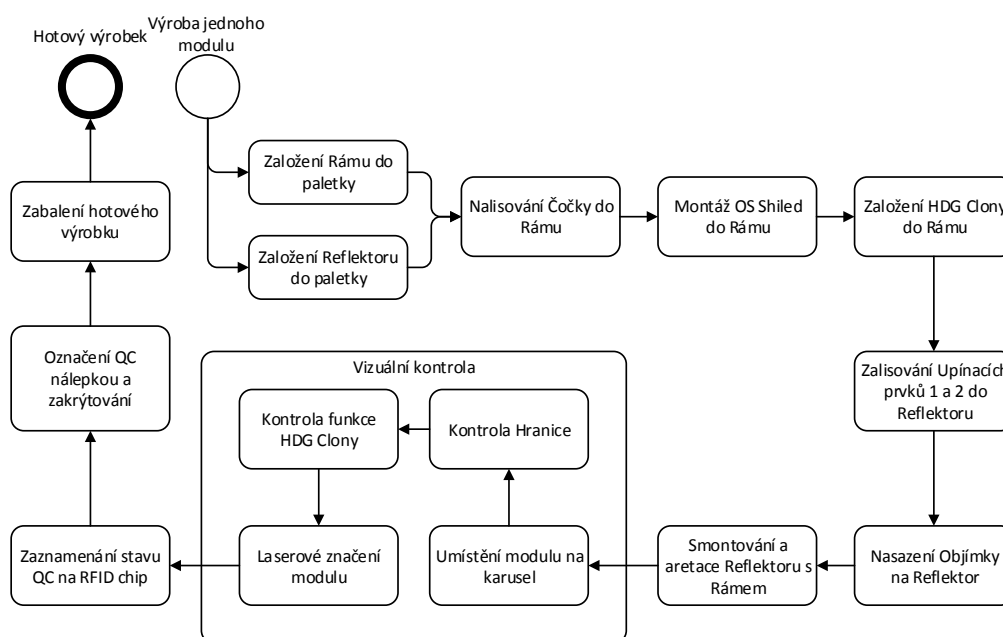
Pro ukázkový simulační model se nebude rozlišovat typ světlometu. Strukturní kusovník modelového výrobku je následující:

1. Rám - 1 ks.
2. Reflektor – 1 ks.
3. Čočka – 1 ks.
4. OS Shield – 1 ks.
5. HDG Clona – 1 ks.
6. Upínka 1 velká – 1 ks.
7. Upínka 2 malá – 1 ks.
8. Objímka – 1 ks.

#### 4.2.2 Výrobní postup a operace

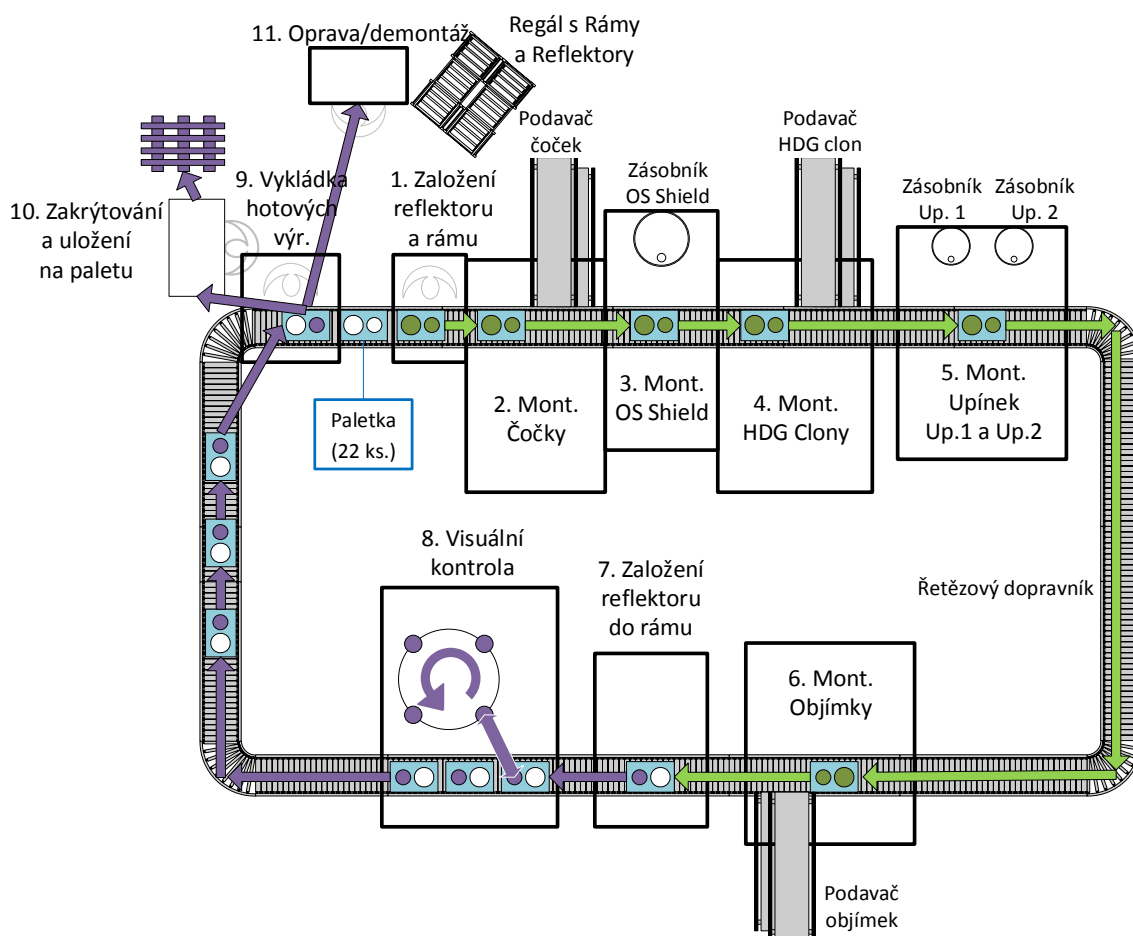
Výrobní postup je popsán na Obr. 8. Schéma linky a rozmístění operací je znázorněné na Obr. 9. Operace lze rozdělit na tři skupiny:

1. Ruční montážní – na Obr. 9 jsou označené jako operace **1, 9, 10 a 11**.
2. Automatické montážní – označené dle schématu **2 až 8**
3. Ruční doplnění materiálu – nejsou očíslované na schématu. Jsou to práce na doplnění podavačů a zásobníků, které patří k operacím č. 2 až 6.



Obr. 8 Diagram operací na lince.





Obr. 9 Schéma montážní linky.

Na ruční **operaci 1** pracovník musí vzít ze zásobníku reflektor a rám a založit je do paletky na oběžném pásu. Paletka je konstruována podle systému poka-yoke – tedy tak, že nedovolí založení dílu na paletku jinak než správně. Následně pracovník tlačítkem potvrdí a paletka se posune dále po řetězovém dopravníku. Před touto operací jsou dva gravitační regály - jeden s kapacitou na 4 krabice rámu (44 ks. v každé) a druhý na 3 krabice reflektorů (96 ks. v každé).

Operace 2 až 8 jsou automatizované a není nutný zásah pracovníka při montáži.

Na **operaci 2** se montují čočky pomocí robotického manipulátoru a pneumatického lisu. Funkci zásobníku plní horní dopravníkový pás o kapacitě 3 blisterů (plastová paletka) s čočkami. Každý blister obsahuje 50 ks. čoček. Celkově je tedy obsah zásobníku 150 ks. čoček. V pracovním prostoru robota je další blister s novými čočkami a také prázdný blister pro čočky, které neprojdou testem. Po vybrání všech čoček je prázdný blister přesunut na spodní pásový dopravník s kapacitou na 3 blistery. Operátor linky nebo manipulant pak

vykládá prázdné blistry z pásu do připravených beden a kontroluje, případně vyprazdňuje blistr s neshodnými díly.

**Operace 3** – montáž OS Shield probíhá pomocí jednoúčelového stroje. Zásobník tvoří válcový vibrační podavač, jehož kapacita je přibližně 800 ks. Pracovník průběžně dosypává díly do zásobníku a odstraňuje neshodné díly ze zásobníku pod strojem.

Založení HDG Clony se provádí v **operaci 4**. Uspořádání je obdobné, jako u zakládání čoček na operaci 2. Podávání materiálu je v blistrech. Vstupní dopravníkový pás má kapacitu na tři blistry. Další blistr je v pracovním prostoru pro zpracování. Výstupní pás pojme tři prázdné blistry, a jeden další blistr zůstává pro neshodné díly. Kapacita blistru je 27 ks. HDG clon, celkem je tedy kapacita zásobníku 81 ks.

**Operace 5** se provádí pomocí SCARA robotu. Zde se do reflektoru montují upínací prvky – zkráceně Up1 a Up2. Každý z dílu má vlastní válcový vibrační podavač. Kapacita zásobníku pro Up1 je přibližně 150 ks. a pro Up2 – přibližně 250 ks. Neshodné dílce se shromažďují v zásobnících pod strojem.

Na **operaci 6** robotický manipulátor nasadí objímku na reflektor. Uspořádání podavačů je stejné jako na operaci 2 a 4. Objímky jsou připravené v blistrech po 40 ks. Tři blistry na horním dopravníkovém pásu, jeden blistr v pracovním prostoru a tři prázdné blistry na spodním podavači. Neshodné objímky se odkládají do žlabu (nikoliv na prázdný blistr, jak tomu bylo u předchozích operací). Kapacita zásobníku je tedy 120 ks.

**Operace 7** už nevyžaduje další díly. Zde se složí rám a reflektor dohromady a zafixují se. Výsledkem je finální modul.

**Operace 8** je kontrola. Jedná se o karusel se čtyřmi pozicemi a robotickým manipulátorem. První pozice slouží pro nakládání a vykládání modulů. Druhá a třetí pozice slouží pro testování optických vlastností modulu. Čtvrtá pozice je stanice pro označení modulu pomocí laseru. Po absolvování celého kola se modul založí na paletku a pokračuje na další operaci.

Na **operaci 9** obsluha linky nalepí na modul štítek se schválením nebo zamítnutím kontroly kvality (QC). Pokud modul prošel bez problémů testy na operaci 8, pokračuje na operaci 10 (zabalení) jinak se zakládá do zásobníku operace 11 na demontáž.

**Operace 10** je ruční, kde pracovník nasadí na modul kryt čočky a uloží do krabice na paletu s hotovými výrobky. Typ balení hotových výrobků se liší podle toho, jestli jsou moduly vyráběné pro spotřebu v rámci závodu, nebo na export.

**Operace 11** je taktéž ruční, kde pracovník určí vadu na modulu, rozebere ho a opět použitelné díly vrátí do procesu.

#### **4.2.3 Dopravník**

Dopravník je spojitý a paletky se nemohou navzájem předbíhat. Počet dostupných paletek v oběhu je 22 ks. Další dvě paletky jsou mimo oběh, a používají se na Operaci 11 pro opravy.

#### **4.2.4 Normy spotřeby času**

Spotřeba času lidské práce na operacích byla stanovena normovači metodou MOST. Takt automatizovaných operací je 11 s/ks. V případě operace 8 – kontrola je čas 44 s/4ks.

Normování provedli normovači pro Operaci 1 - Založení rámu a reflektoru, Operaci 9 – vyložení hotového modulu, a Operaci 10 – zabalení dobrého kusu. Operace 11 – Oprava není normovaná. Normování se provedlo pro více variant výrobků na lince, pro model bude použita pouze Varianta A [5].

### **4.3 Ekonomické parametry linky**

Pro vyhodnocení ekonomiky linky je potřeba stanovit relevantní položky nákladů. Ve fázi projektování výrobní linky lze ovlivnit řadu parametrů použitím automatizace, moderních technických řešení, automatizací atp. Po zkonstruování linky a zavedení výroby se většina parametrů linky stává fixní a lze je měnit jen s vysokými vícenáklady. V další fázi je zařízení nainstalováno ve výrobní hale, je organizované jeho zásobování materiálem, pracovníky a energiemi.

Optimalizace nákladů pomocí plánování výroby je možná bez uvážení fixních nákladů, které jsou pro nalezení minima nepodstatné. Budou tedy vybrány typy nákladů, které lze ovlivnit z pohledu plánování výroby – tedy náklady, které jsou současně přímé, variabilní a závisí na zvolené směně (datu, času směny).

Ekonomiku výroby lze pak ovlivnit hlavně lidskou prací.

V rámci závodu jsou dány následující podmínky:

- Hodinové osobní náklady pracovníků na lince,
- Osobní náklady na pracovníka, který je nucen zůstat doma,
- Navýšení hodinových sazeb na odpoledních, nočních a víkendových směnách.

Při využití výrobních kapacit lze vhodnou volbou pracovníků a pořadí obsluhovaných operací ovlivnit ekonomičnost výrobního procesu. Závislost dosaženého výstupu na počtu pracovníků na lince není lineární (obzvlášť při rozdělení pracovníků na operátory, manipulanty, brigádníky aj.). Proto optimalizovaným parametrem je počet různých pracovníků v lince.

Aktuálně jsou normy stavěné pouze na operátora, jako jedinou proměnnou. Manipulační pracovník ovšem celý průběh výroby výrazně ovlivní. Jeho přítomnost v normách není zahrnuta, tudíž nemůže být zahrnut ani náklad na manipulaci na pracovišti.

Dále budou popsány náklady, které se nebudou započítávat do výpočtu pro optimalizaci, včetně odůvodnění.

#### **4.3.1 Energie**

Spotřeba elektrické energie, stlačeného vzduchu a podobných zdrojů v rámci podniku je rozpočítána pomocí přírážky. V rámci finální kalkulace se celkové náklady na energii dělí podle instalovaného příkonu zařízení. V závodu se využívají i plastikářské lisy, svářečky, robotická hnízda a další zařízení, které mají daleko větší vliv na spotřebu než spuštěná výroba montážní linky.

V případě vybrané linky jsou náklady na energie přímo závislé na objemu výroby. Pro sledování energetických nákladů by bylo možné instalovat wattmetr a plynový průtokoměr na hlavní přívody linky a následně zaznamenávat a zpracovávat reálně naměřené hodnoty. Ze získaných dat pak zpětně zjistit reálnou spotřebu linky a zahrnout ji do kalkulačního vzorce.

#### 4.3.2 Údržba

Náklady na údržbu jsou převážně variabilní a dělí se na variabilní podle času, variabilní podle vyrobených kusů anebo kombinované (např. revize po uplynutí nějaké doby nebo po stanoveném počtu cyklů). Tyto náklady lze započítat variabilně, budou vznikat s další vyrobenou jednotkou, ale nebudou záviset na době, kdy se vyrábělo.

#### 4.3.3 Logistika

Náklady na logistiku v rámci závodu jsou fixní, protože se zajišťují outsourcingem za paušál. Přepočet nákladů na variabilní položku nebude dostatečně přesný. Logistické procesy nejsou aktuálně měřeny ani řízeny. *Optimalizace logistických nákladů pomocí plánování výroby je nepřímá a velmi komplexní úloha. V případě více linek v provozu jsou náklady hlavně ovlivněny organizací zásobování a meziskladů, než plánováním výrobních kapacit jedné linky. Proto v kalkulačním vzorci nebude logistika zahrnuta.*

#### 4.3.4 Skladování

Náklady na skladování materiálu a hotových výrobků jsou fixní, za předpokladu, že i v případě změny vyráběného portfolia bude využita stejná skladová plocha. Sledování změny potřebné skladovací plochy v závislosti na plánování výroby na jedné lince je neúčelné. Odhad případných úspor spojených s organizací práce linek bude možný až na základě znalosti celého výrobního portfolia, všech linek a tomu dedikovaných skladových ploch.

## 5 NÁVRHOVÁ ČÁST

V rámci návrhové části bude nejdříve vytvořen model linky v simulačním programu Witness, podle zjednodušeného zadání. Model umožní provádět experimenty s počtem pracovníků obsluhujících linku.

V druhé části bude zvážena způsob práce se získanými výsledky experimentů, sestaven a popsán algoritmus pro výpočet nákladů na provoz. Předpokládá se využití databázové aplikace pro správu výsledků simulace a výpočet nákladů výroby.

V třetí části bude vyhodnocen modelový příklad plánování výroby jednoho výrobku na jedné lince.

V poslední části budou upřesněny podmínky použití navrženého postupu při plánování.

### 5.1 Stanovení účelu modelu

Účelem modelu je získat data pro srovnání množství vyrobených kusů v závislosti na počtu obsluhujících pracovníků.

Model bude sestaven s uvážením požadavků:

- možnost volit počet pracovníků a jimi obsluhované operace,
- sledovat výstupní množství výrobků,
- možnost provádění experimentů s počtem pracovníků na lince.

### 5.2 Koncept modelu

Cílem konceptu je stanovit rozlišovací úroveň modelu, a prezentovat reálné údaje pomocí modelových prvků dostupných v programu.

Model výrobní linky se zaměří na vnitřní organizaci obsluhy a nebude se zabývat podmínkami zásobování linky ze skladu. Vzhledem k tomu, že vnitropodniková logistika je outsourcovaná a vázaná smlouvou o kvalitě poskytovaných služeb. Může se považovat za bezchybnou - linka bude mít tedy vždy dostatek vstupního materiálu.

V rámci modelu bude uvážena čas výrobních operací, čas na doplnění zásobníků, čas na pohyb pracovníků mezi pracovišti.

Linku budou obsluhovat dva typy pracovníků – operátoři a manipulanti. Operátor je specifický tím, že v rámci linky může vykonávat jak obsluhu operací, tak i manipulaci s materiálem. Manipulant je oprávněn pouze k manipulaci s materiálem.

Do výkonových norem aktuálně v podniku není zahrnuta práce manipulanta, náklady na manipulaci jsou rozpočítávány jako nepřímé. Z modelu lze určit, jak velkou mírou se manipulant podílí na výstupu linky a bude tedy v druhé části návrhu zahrnut do variabilních nákladů.

### **5.2.1 Dostupné objekty v programu Witness**

Simulační program Witness obsahuje předdefinované objekty, které v rámci modelu lze použít. Seznam použitých typů objektů:

- attribute – atribut neboli vlastnost jiného objektu,
- buffer – zásobník s omezenou kapacitou,
- conveyor – dopravník s určitou kapacitou a dopravním časem,
- funtion – funkce, která vrací výstup na základě vstupních hodnot,
- labor – pracovník nebo skupina pracovníků,
- machine – stroje nebo operace různých typů,
- part – díly, které reprezentují skutečné součástky, polotovary, produkty, balení, přípravky, nástroje aj.,
- path – cesty spojující další objekty jako pracoviště, zásobníky atd.,
- variable – globálně dostupné proměnné, použitelné pro čítače, rozhodovací bloky, trasování stavů atp.
- a další objekty [6].

## 5.2.2 Objekty a parametry modelu

Abstrakce reálné linky na model se stanoví v několika krocích:

- 1) Reálné objekty, které lze popsat jedním modelovým objektem.
- 2) Reálné objekty, které je potřeba rozdělit na více stejných modelových objektů.
- 3) Reálné objekty, které se musí nahradit více modelovými objekty a naprogramovanou logikou.
- 4) Virtuální objekty pro propojení modelu a obecného okolí – „světa“.
- 5) Jiné speciální objekty.

### 5.2.2.1 Standardně použité modelové objekty

V první části se jedná o díly sestav, balení, polotovary a přípravky. Dále se definují pracovníci a pracovní skupiny – operátoři, manipulanti. Jednoduché zásobníky vstupního materiálu.

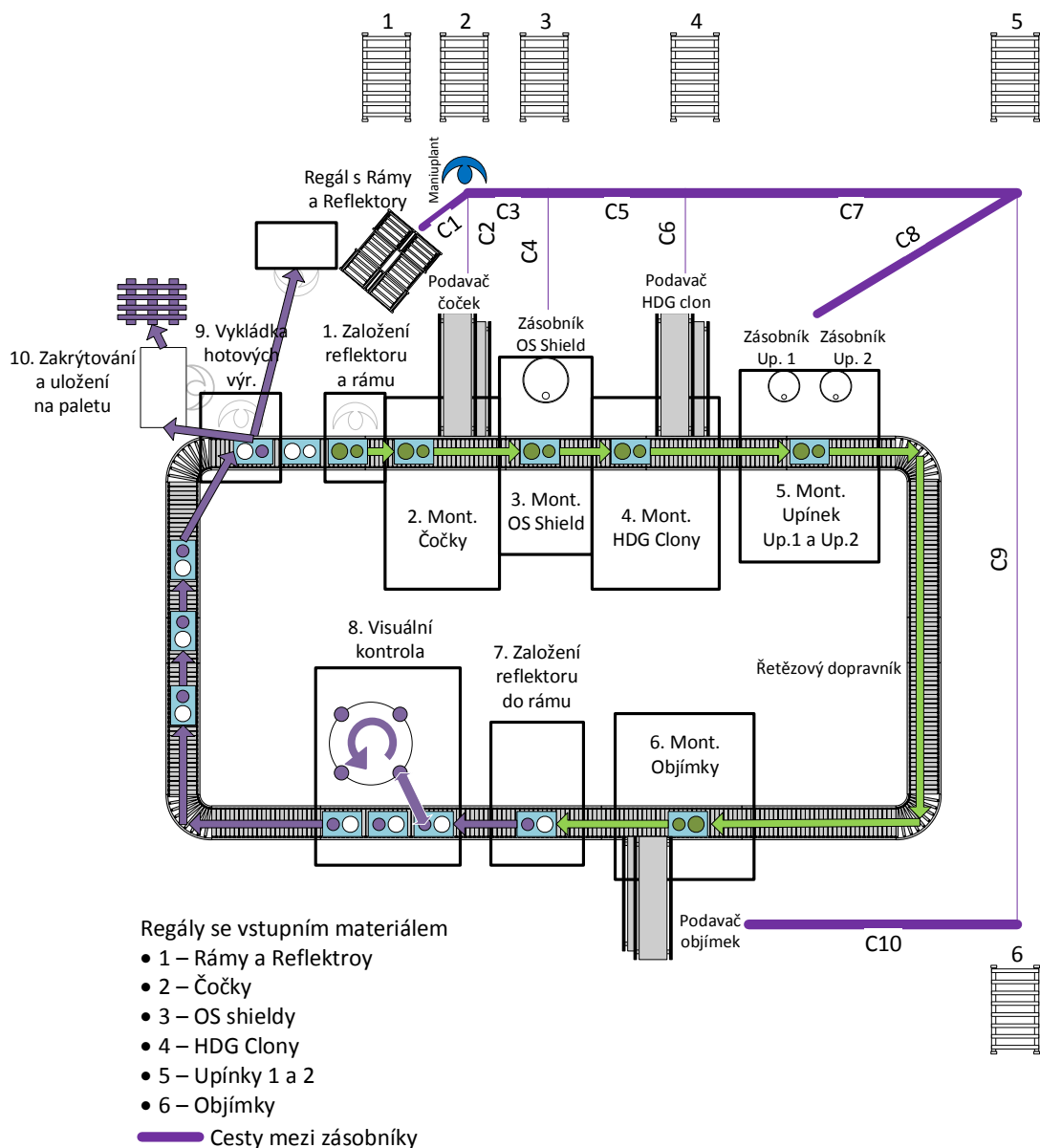
Práci na lince budou zajišťovat pracovníci, kteří se rozdělí na operátory a manipulanty. V modelu se nadefinuje zdroj pracovníků každého druhu a počet dostupných pracovníků. Tento počet se bude v rámci optimalizace měnit. Protože se bude sledovat produktivita linky pouze za jednu směnu, nebude se obsluze definovat směna a dostupnost.

### 5.2.2.2 Skupiny objektů pro modelování

Ve druhé skupině jsou celky, které je nutné pro model rozdělit. Patří sem manuální operace, které vykonává pracovník na lince, uzavřený dopravník paletok.

Síť cest, po které se pohybuje manipulanti, se musí taktéž modelově rozdělit. Primárně je to síť mezi zásobníky před operacemi a pomyslnými sklady vstupního materiálu znázorněná na Obr. 10.

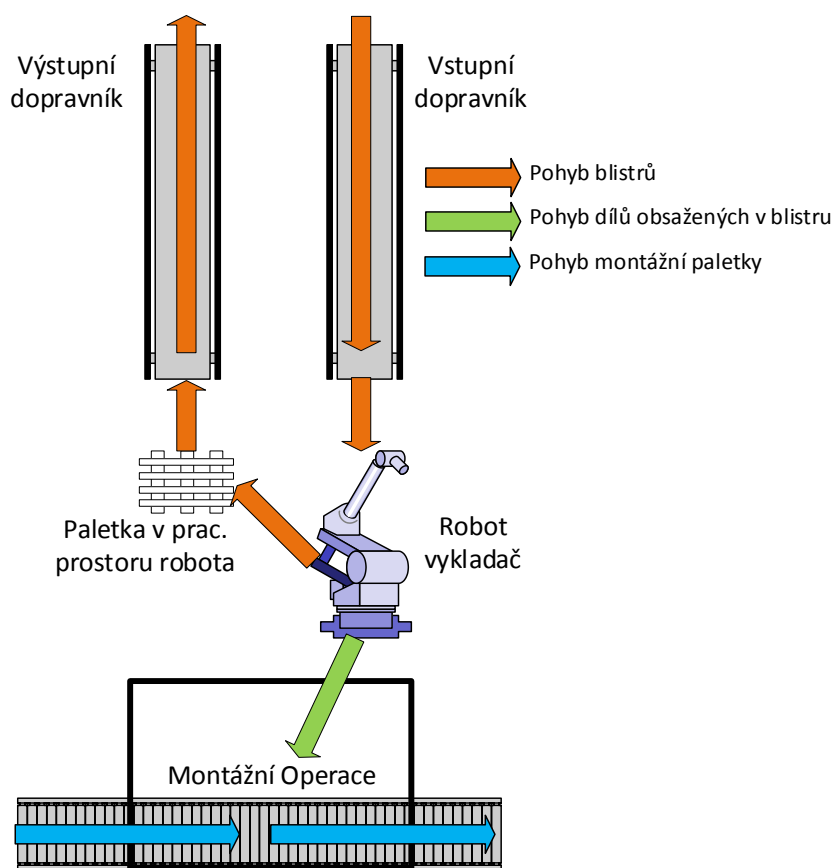




Obr. 10 Schéma uvažovaných cest a vstupních zásobníků s materiálem.

### 5.2.2.3 Skupiny logicky provázaných objektů

Třetí skupinou jsou celky se zvláštní logikou. Na výrobní lince jsou tři operace se zásobníky v podobě dopravníku na blistry. Na dopravník navazuje robot s pracovním prostorem na jeden blistr a postupně z něj vykládá díly pro montážní operaci. Po spotřebování všech dílů je blistr posunut na druhý dopravník, kde čeká, až ho obsluha odebere. Schéma takového uspořádání je na Obr. 11.



Obr. 11 Schéma uspořádání operace s předřazeným dopravníkem a robotem.

Dalším takovým případem je operace kontroly kvality. Reálně se jedná o karusel se 4 pozicemi. Na první operaci robot vyjme z paletky nový výrobek a umístí ho na karusel. Takový výrobek projde třemi operacemi (každá v taktu linky 11 sek.). Až se takto prověřený výrobek dostane na pozici u první operace, robot ho vymění za další nezkontrolovaný. V oběhu jsou tedy 4 výrobky a náběh prázdné linky tedy trvá o 44 sek. déle kvůli této operaci. Pokud se tato operace nasimuluje pouze jednoduchým stanovištěm s jednou pozicí, výsledek ovlivní jen málo.

Jako virtuální se budou vytvářet velké zásobníky vstupních materiálů – tedy blisterů a krabic s rámy, reflektory, čočkami, OS shieldy, HDG clonami, upínkami a objímkami. Doplňené těchto zásobníků bude probíhat neustále zvně a jejich funkce nesmí ovlivnit výsledky simulace.

### 5.2.3 Koncept atributů, proměnných a funkcí

Další speciální objekty použité v simulaci jsou:

- atributy dílů:
  - Stav přípravku (atribut přípravku) – nese informaci, jestli je přípravek prázdný, nebo se založeným dílem. Použije se na operaci pro vykládku – pokud je prázdný na operaci není potřeba pracovník, pokud ne, tak pro vyložení se přivolá operátor. V modelu definovaný jako *at\_stav\_pripravku*.
  - Typ entity (atribut přípravku a dílu) – nese informaci, jestli se jedná o díl, nebo přípravek. Použije se na operaci pro vykládku. Logika modelu podle toho rozhodne, která část pokračuje na dopravník a která na zabalení. V modelu definovaný jako *at\_typ\_entity*.
- programové proměnné, konstanty a funkce, které se vztahují k modelu a logice:
  - Čas chůze – konstanta, která představuje čas převrácenou hodnotu rychlosti [s/m]. Udává čas potřebný operátorovi na překonání jednotky vzdálenosti v modelu. Počítá se s časem 1 s/m [7]. V modelu definovaný jako *Cas\_chuze*.
  - Počet vyrobených kusů - V případě vytvořeného modelu udává počet vyrobených kusů počítaných na operaci vykládku. V modelu definovaný jako *vyrobena\_ks*.
  - Počet hotových krabic s výrobky - V modelu je proměnná definovaná jako *Vyrobena\_boxu*.
  - Funkce produktivity – na základě hodnoty této funkce na konci simulace se rozhoduje optimalizační modul. Prakticky se bez úprav rovná počtu vyrobených kusů. V modelu definovaná jako *F\_produkvita*.
  - Počítadlo ve zpracování – pro účely operací, kde se používá robotický vykládač a umístění paletky v pracovním prostoru robota jako na Obr. 11. Počítadlo udává spotřebované množství dílů z blistru a při posledním díle dává pokyn na odsun blistru na výstupní dopravník. V modelu je proměnná definovaná jako *Ve\_zpracovani*.

### 5.3 Sběr dat

V následující části budou popsány a hrnuty vstupní údaje pro vytvořený model.

#### 5.3.1 Použité díly a součásti modelu

Shrnutí je uvedené v Tab. 1. Zde byla nutná úprava na rozdíl od kusovníku. U označených dílů číslo odpovídá manipulačnímu množství, nikoliv velikosti balení, ve kterém se materiál dodává.

Tab. 1 Modelové objekty použité pro práci s materiálem – díly, balení, přípravky.

Díly	Balení dílů	ks. v balení
d_cocka	box_cocky	50
d_hdg_clona	box_hdg_clon	27
d_modul	box_modul	30
d_objimka	box_objimek	40
d_OS_shield	box_OS_shield	500 *
d_ram	box_Ramy	44
d_Reflektor	box_Reflektory	96
d_Up1	box_Up1	150 *
d_Up2	box_Up2	250 *
d_pripravek	x	x

#### 5.3.2 Normy spotřeby času

Časová norma na výrobu je stanovena na 14,1 min./100ks. [5]. V čase je zahrnuta i přírážka na manipulaci s krabicemi se vstupujícími díly, odstranění prázdné krabice a otevření nové.

Časová norma na operaci 9 a 10 je stanovena dohromady na 23,7 min./100ks [5]. Tyto dvě operace lze rozdělit na vykládku hotového modulu (operace 9) a pak příprava prázdné krabice s hotovými moduly, zabalení a zavření krabice (Operace 10). Norma je stanovena na 10,1 min./100ks. (6,66 s/ks.) pro operaci 9 a 13,6 min./100ks. (8,16 s/ks.) pro operaci 10.

Náhled norem a pohyby pracovníka jsou uvedené v Příloze 1. Z výkonových norem [5], reálně stanovených na lince, se rozdělí operace na modelové operace podle Tab. 2.

Tab. 2 Rozdělení časů na operace dle výkonové normy [5].

Označení na schématu	Název operace v modelu	Čas dle normy		Operační Čas. Modelu			Zprac. Množ.
				Hod.	Min.	Sek.	
Operace 1	pr_nakladka	6,66	sec/op.	0	0	7	1
Operace 9	pr_vykladka	4,70	sec/op.	0	0	5	1
Operace 10	pr_zakrytovani	5,40	sec/op.	0	0	5	1
Operace 10	pr_box	124,00	sec/op.	0	2	4	30
Manip. s krabicemi rámů	manip_ram	8,28	sec/op.	0	0	8	44
Manip. s krabicemi reflektorů	manip_reflektor	152,46	sec/op.	0	2	32	96

### 5.3.3 Dopravník

Paletky pro montáž prochází úseky dopravníku, zastavují se na operaci a pokračují na další úsek. Mezi operacemi je omezený počet pozic pro paletky. Rozdělení úseků dopravníků je uvedeno v Tab. 3.

Tab. 3 Rozdělení dopravníku na úseky a celkový počet míst na dopravníku.

Úsek dopravníku	počet míst
dopr_1	1
dopr_2	1
dopr_3	1
dopr_4	1
dopr_5	3
dopr_6	4
dopr_7	4
dopr_8	8
dopr_9	3
<b>Dopravník</b>	<b>26</b>
<b>Operace</b>	<b>10</b>
<b>Celkem</b>	<b>36</b>

### 5.3.4 Pracoviště a operace na lince

Obě skupiny budou mít dovolené obsluhovat jen některé operace, viz Tab. 4. Dle normy [5] by se operacemi manip\_ram a manip\_reflektor neměli zabývat operátoři. Nicméně při náběhu linky to lze tolerovat.

Tab. 4 Tabulka operací obsluhovaných operátory a manipulanty.

Název operace v modelu	Operátor	Manipulant	Čas operace [s]
manip_OS_shield	Ne	<b>Ano</b>	10
manip_Up1	Ne	<b>Ano</b>	10
manip_Up2	Ne	<b>Ano</b>	10
manip_cocek	Ne	<b>Ano</b>	10
manip_cocek_scrap	Ne	<b>Ano</b>	10
manip_hdg_clon	Ne	<b>Ano</b>	10
manip_hdg_clon_scrap	Ne	<b>Ano</b>	10
manip_objimek	Ne	<b>Ano</b>	10
manip_objimek_Scrap	Ne	<b>Ano</b>	10
manip_ram	<b>Ano</b>	<b>Ano</b>	8
manip_reflektor	<b>Ano</b>	<b>Ano</b>	152
pr_nakladka	<b>Ano</b>	Ne	7
pr_vykladka	<b>Ano</b>	Ne	5
pr_zakrytovani	<b>Ano</b>	Ne	5
pr_box	<b>Ano</b>	Ne	124

### 5.3.5 Cesty pro pohyb manipulanta

Vzdálenosti jednotlivých úseků a jejich značení v modelu je v Tab. 5.

Tab. 5 Tabulka vzdálenosti v modelu pro pohyb manipulanta.

Značení na schématu	Pojmenování v modelu	Počítaná vzdálenost, [m]	Úzly	
			Začátek	Konec
C1	ces_M_ram_ref	4	Stanoviště manip.	Regál s rámy a reflektory
C2	ces_M_cocek	3	Stanoviště manip.	Podavač čoček
C3	ces_M_skOSs	4	Stanoviště manip.	Sklad OS Shield
C4	ces_skOSs_manOSs	1,5	Sklad OS Shield	Zásobník OS shield
C5	ces_skOSs_skladHDG	4	Sklad OS Shield	Sklad HDG clon
C6	ces_skHDG_manHDG	1,5	Sklad HDG clon	Podavač HDG clon
C7	ces_skHDG_skUp12	3	Sklad HDG clon	Sklad Up1 a Up2
C8	ces_skUp12_manUp12	2	Sklad Up1 a Up2	Zásobník Up1 a Up2
C9	ces_skUp12_skObj	10	Sklad Up1 a Up2	Sklad objímek
C10	ces_skObj_manObj	1,2	Sklad objímek	Podavač objímek

#### 5.4 Verifikace modelu

Verifikací se rozumí testování naprogramované logiky modelu. To se provádí průběžně při vytváření modelu v programu. Ověřuje se přitom správnost modelu jako celku, tak i jednotlivých jeho částí. Grafické vyobrazení hotového modelu je uvedené v Příloze 2.

#### 5.5 Validace modelu

Ověření modelu lze provést srovnáním s normou práce na lince. Porovnání modelu s normou je uvedené v tabulce Tab. 6

Odchytky jsou způsobené zaokrouhlováním časů v simulaci a prodlevami kvůli časovému nesouladu jednotlivých operací. Také muselo být provedeno přerozdělení časů operací mezi modelové pracoviště – výtah z norem a přerozdělení operací je uvedené v Příloze 1. Odchytky od reality se dá předpokládat mnohem větší, kvůli proměnnému výkonu obsluhy linky – odlišné pracovní nasazení v průběhu jedné směny, ale i v závislosti na směně, jako takové – dopolední, odpolední a noční. Pro dosažení lepších výkonů pracovníků se používá i stimulace pomocí odměn za nadstandardní výkony. Pracovník na lince tak bude vykonávat některé operace rychleji a sledovat posloupnosti operací, které jsou pro celkový výkon výhodnější, bude měnit priority, přichystávat a fázovat operace atd. V rámci simulací nelze plně postihnout chování člověka a budou zde vznikat odchytky.

Tab. 6 Tabulka srovnání hodnot dosažených v simulaci s naměřenou normou.

Počet pracovníků		Výstup dle normy		Odchytky modelu od vzoru
Operátorů	Manipulantů	dle normy	dle simulace	
1	1	1334	1287	-3,52%
2	1	2126	2066	-2,82%

## 5.6 Experimenty s modelem

Po úspěšné validaci modelu je možné provádět experimenty. K tomu je v programu Witness dostupný modul optimizer. V modulu se vytvoří nový experiment nebo sada experimentů s cílem sledovat některou hodnotu funkce a provádět optimalizaci pomocí zvolených parametrů. Tento modul je možné použít jak pro rychlé hledání minima nebo maxima funkce, tak i pro generování hodnot pro všechny kombinace parametrů.

### 5.6.1 Návrh experimentů s modelem

V první fázi je třeba sledovat dosažené množství výrobků. To se sleduje pomocí účelové funkce  $F_{\text{produktivita}}$ , která udává počet výrobků, který projde operací  $pr_{\text{zakrytovani}}$ .

Proměnným parametrem modelu při experimentech je počet obsluhujících operátorů a manipulantů. Jedná o malou linku, počet pracovníků na lince je limitován počtem operací vyžadujících přítomnost operátora a prostorem linky. Bude se proto uvažovat pouze s variantami obsazení 1-3 operátory a 1-3 manipulanty.

Získaná tabulka (viz. Tab. 7 na str. 39) pak dále poslouží k výpočtu jednotkových nákladů na výrobek.

### 5.6.2 Modul experimentů Witness

Vytvoření experimentu v programu Witness se provádí v několika krocích. První je vytvoření samotného modelu a účelové funkce. Dále je nutné zvolit startovní podmínky pro experimenty. Vstupní parametry modelu lze nastavit pevně u modelů anebo upravit v inicializačním skriptu – takto například ve vytvořeném modelu se volila hodnota rychlosti chůze pracovníků.

Následuje stanovení intervalu simulace a doby náběhu (warm up). Náběh modelu je nutný proto, aby sledovaná hodnota funkce se porovnávala za ustáleného provozu. U představené linky lze určit tento interval z délky dopravníku (která ovlivní dobu náběhu), taktu a trvání nejdelší vstupní operace. Při taktu linky 11 s. a délce dopravníku 36 pozic a další 3 pozice na kontrolním pracovišti je možné stanovit náběh na 429 s. Trvání samotné simulace pak odpovídá standardů dle normy, kdy je pracovníkovi dáno 7 % času na nepracovní úkony (dokumentaci, konzultace, osobní potřeby aj. [5]). Z 480 min. pracovního času tedy zůstane na práci 448,598 min. v simulaci je časovou jednotkou sekunda, proto to lze převést na 26916 s. Hodnota výstupu bude měřená v intervalu od 429 s. do 27345 s.

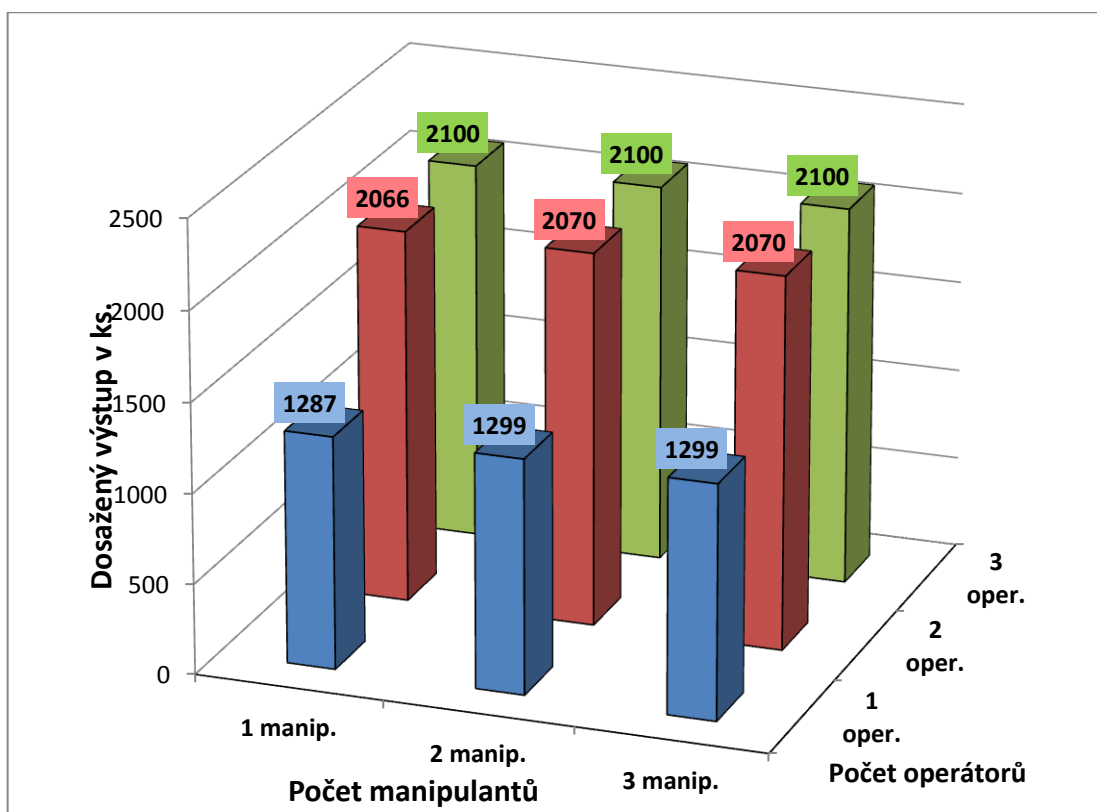


### 5.6.3 Získané výstupy experimentů

Výsledky simulace jsou pak generovány v podobě tabulek a grafů. Tab. 7 představuje množinu všech simulovaných variant a dosažených výstupů. Graficky jsou tyto hodnoty znázorněné na Obr. 12

Tab. 7 Výsledek vygenerovaný programem Witness  
– přehled nasimulovaných variant.

Evaluation	Manipulant .Quantity	Operator .Quantity	F_produkvita
0	1	1	1287
1	1	2	2066
2	1	3	2100
3	2	1	1299
4	2	2	2070
5	2	3	2100
6	3	1	1299
7	3	2	2070
8	3	3	2100



Obr. 12 Dosažený výstup z linky v závislosti na počtu operátorů a manipulantů.

Výstupem experimentu je i přehled vytíženosti pracovníků během směny a statistika vytížení strojů/pracovišť, který není rozhodující pro výběr směnových režimů. Ukazuje však úroveň využití kapacit pracovišť a pracovníků a tím i možnosti dosažení dalších vyšších výstupů. Pro srovnání jsou uvedené výsledky variant, pro které se vytvářely normy – tedy při obsazení jedním operátorem a jedním manipulantem (Varianta A) a při obsazení dvěma operátory a jedním manipulantem (Varianta B).

Sledované parametry jsou:

- Pro pracovníka:
  - stav, jestli je pracovník vytížený nebo ne – v procentech (Busy, Idle),
  - počet započatých, rozpracovaných a dokončených pracovních cyklů,
  - celkový počet cyklů,
  - procento času, kdy byl pracovník během simulace nedostupný (podle definované směny).
- Pro stroj:
  - nečinný, pracující, blokový (plný pracovní prostor a není možné ho uvolnit), čerpání, vyprazdňování (při simulacích procesů s kapalinami),
  - procento času z výrobního cyklu, kdy čeká na obsluhu,
  - procento času, kdy se stroj seřizuje a čeká na seřizovače,
  - procento času, kdy je stroj porouchaný a čeká na opraváře.

Vybraná data vytížení pracovníků uvažovaných variant jsou uvedena v Tab. 8. V první variantě je zřejmé, že operátor je plně vytížený. Manipulant, který současně obsluhuje linku je vytížený jen na 20 %. Dle Tab. 7 bylo v téhle variantě vyrobeno 1287 ks.

V druhé variantě operátoři už nejsou vytížení na 100 %. V porovnání mezi sebou, je rozdělení jejich pracovních časů podobné (86,74 % a 74,22 %). Manipulant je v druhé variantě vytížen více – 31,60 % (nárůst 59,6 % oproti předchozí variantě). Nárůst jeho vytížení odpovídá nárůstu produkce o 60,5% na 2066 ks.

Tab. 8 Porovnání vytížení pracovníků při dvou variantách výroby.

	Vytížený	Nečinný	Započatých výr. cyklů
<b>Varianta 1</b>			
Operator	100,00%	0,00%	3820
Manipulant	19,87%	80,13%	206
<b>Varianta 2</b>			
Operator(1)	86,74%	13,26%	2530
Operator(2)	74,22%	25,78%	3634
Manipulant	31,60%	68,40%	321

Vytížení vybraných operací je uvedené v Tab. 9. Pro srovnání výkonů jsou uvedené i dvě manipulační operace. Nárůst jejich vytížení odpovídá nárůstu produkce na lince při větším počtu operátorů.

Tab. 9 Přehled vytížení operací na lince při dvou variantách výroby.

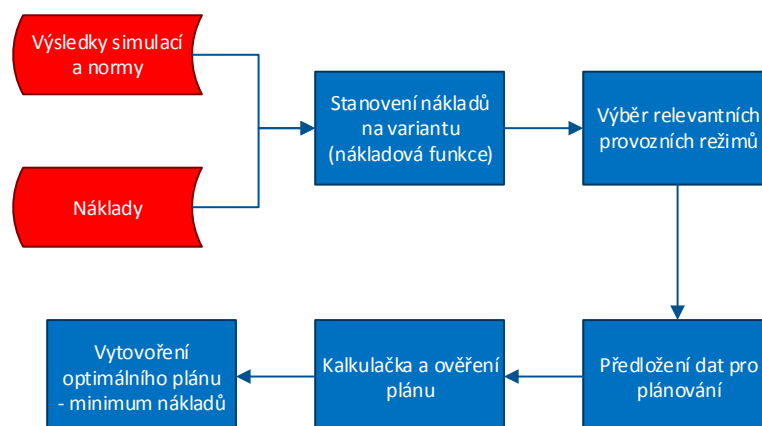
Název operace	Nečinný	Pracuje	Blokovaný	Čekání na obsluhu	Výrobních cyklů
<b>Varianta 1</b>					
manip_ram	0,00%	0,86%	99,14%	0,00%	30
manip_reflektor	0,00%	7,91%	92,09%	0,00%	14
pr_nakladka	0,00%	32,69%	0,00%	67,31%	1287
pr_vykladka	0,00%	23,36%	0,00%	76,64%	1287
pr_zakrytovani	23,36%	23,35%	0,00%	53,29%	1287
pr_box	78,78%	19,35%	0,00%	1,87%	42
<b>Varianta 2</b>					
manip_ram	0,00%	1,37%	98,63%	0,00%	46
manip_reflektor	0,00%	12,60%	87,40%	0,00%	23
pr_nakladka	18,54%	52,67%	22,56%	6,23%	2066
pr_vykladka	0,00%	37,63%	28,52%	33,85%	2065
pr_zakrytovani	33,02%	37,62%	26,33%	3,03%	2066
pr_box	68,60%	30,87%	0,00%	0,53%	67

Při obsluze výrobních pracovišť v první variantě, operátor postupně vykonává činnosti na každé z nich po směru toku materiálu. Proto žádná z nich není blokována následující operací a projevuje se zde převážně čekání na obsluhu. V druhé variantě je vidět načasování a nevyváženost operací. Vytížení pracovišť je větší, ale nastávají situace, kdy se navazující operace (vykládka, zakrýtování a zabalení) blokují. V druhé variantě je úzké místo zakrýtování a následné zabalení. Tyto dvě operace se postupně blokují.

### 5.7 Zpracování výsledků simulací

Cílem této části je stanovit způsob ukládání, zpracování a vyhodnocení výsledků simulací a normování. Dále sestavit algoritmus pro výpočet nákladů na výrobní scénář, případně postup pro stanovení optimálního zaplánování na základě získaných hodnot.

Cílem je obsadit dostupné směny ve zvoleném období při minimalizaci nákladů na výrobu, tzn. výběr vhodných směnových režimů pro splnění zadaného plánu. Náhled na postup je uveden na Obr. 13.



Obr. 13 Postup pro vytvoření optimálního plánu.

#### 5.7.1 Získané výsledky

Výsledkem společné práce na normování a simulacích lze získat menší množství reálně změřených dat (normování) a na jejich základě vypracovat další možné varianty pomocí experimentů s modelem linky. Shrnutí získaných údajů lze prezentovat v podobě formuláře na Tab. 10.

Tab. 10 Ukázka formuláře pro výsledky normování a/nebo simulace.

<b>Název Linky</b>	<i>Linka Intemo BiXe</i>
<b>Výrobek</b>	<i>179.664-01/11/31</i>
<b>Popis scénáře</b>	<i>Scénář dle modelu – 2 operátoři, 1 manipulant</i>
<b>Dosažený výstup</b>	<i>2066</i>
<b>Počet pracovníků:</b>	
<b>Operátor</b>	<i>2</i>
<b>Manipulant</b>	<i>1</i>
<b>Seřizovač</b>	<i>1</i>
<b>Brigádník</b>	<i>0</i>

### 5.7.2 Další vstupní parametry

Jako informační vstupy slouží tabulka interních hodinových sazeb pracovníků. Údaje v Tab. 11 jsou vypočítané jako celostátní průměr hrubé mzdy dle statistiky v [8]. Údaje nepostihují interní náklady na zaměstnance a budou se měnit podle povahy výroby a organizace podniku.

Tab. 11 Hodinové sazby pracovníků dle statistiky [8].

Název pozice	Hodinová sazba	Popis činnosti (obecný)
Operátor	117	Úkolem je obsluha pracovišť, výkon přípravných, obslužných a montážních operací. Vyžaduje školení ke konkrétním operacím na pracovištích.
Manipulant	105	Úkolem je přenášení materiálu mezi pracovišti a zásobníky, a chystání hotových výrobků k odvozu na sklad.
Seřizovač	147	Zajišťuje chod technologií. Seřizuje pracoviště při změně sortimentu, poruchách anebo odstraňuje problémy s nekvalitní výrobou.
Brigádník	95	Pomocný agenturní pracovník.

Dalším vstupem jsou příplatky za práci na noční směně nebo o víkendech a svátcích. V Tab. 12 jsou uvedeny součinitele navýšení mzdových sazeb. Pokud se jedná o příplatek 10 %, je vyplacena sazba 110 %, tedy 1,1 násobek. Hodnoty v tabulce uvedené minimální hodnoty dle zákoníku práce [9]. V kolektivní smlouvě podniku se zaměstnanci mohou být tyto příplatky nastaveny ještě výš.

Tab. 12 Součinitele navýšení mzdových sazeb v průběhu týdne.

Den	Dopolední	Odpolední	Noční
<i>Pondělí</i>	1	1	1,1
<i>Úterý</i>	1	1	1,1
<i>Středa</i>	1	1	1,1
<i>Čtvrtek</i>	1	1	1,1
<i>Pátek</i>	1	1	1,1
<i>Sobota</i>	1,1	1,1	1,2
<i>Neděle</i>	1,1	1,1	1,2

V podniku se obvykle počítá s minimálním personálním obsazením linky. Pokud v některý den nebude možné využít práci zaměstnance, přísluší mu náhrada nejméně 60 % průměrného výdělku [10]. Na základě toho lze stanovit i náklady na nevyužitou směnu linky. Obvykle ale je možné využít pracovníka na jiné lince. Za předpokladu, že se bude počítat se stálým minimálním obsazením linky jedním operátorem a manipulantem, lze stanovit teoretické náklad na nevyužití směny:

$$(8h \times 117Kč/h + 8h \times 105Kč/h) \times 60\% = 1065,6 Kč/směnu$$

### 5.8 Výběr relevantních režimů linky

Ze získaných variant výroby v Tab. 7 (str. 39) by měly být vybrány varianty, které dokážou za daných podmínek snížit celkové náklady na výrobu na lince. K tomu je potřeba:

- dopočítat náklady na každou variantu, podle zaměstnanců na výrobě,
- stanovit náklady na nevyužitou směnu, podle stálých stavů zaměstnanců.

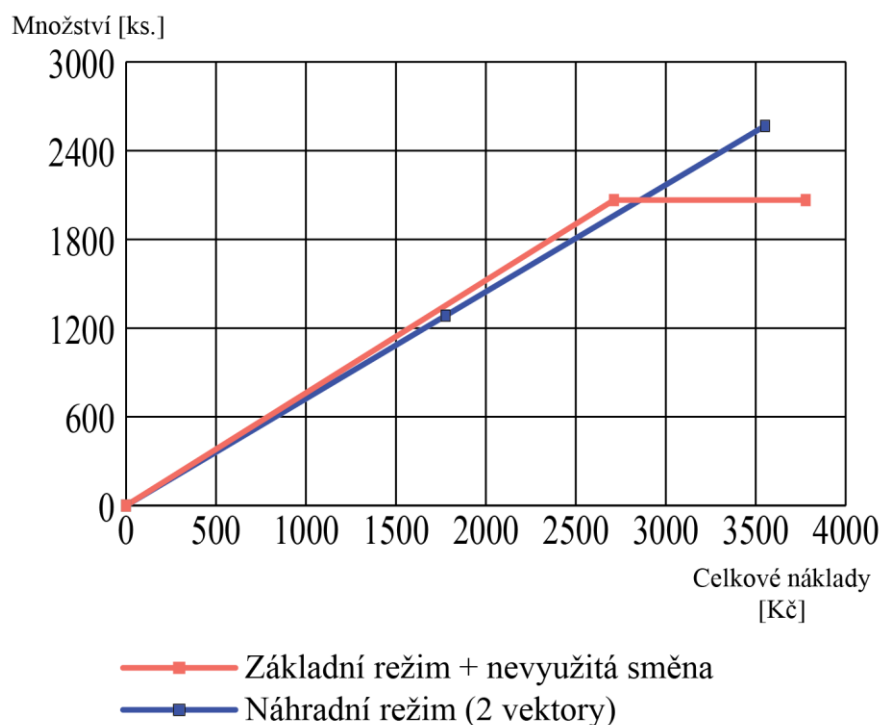
Varianty dané simulací lze matematicky prezentovat jako dvojrozměrný vektor v souřadném systému náklady-výstupní množství. Pro obvyklou variantu výroby jsou obě složky kladné, např. první varianta z Tab. 15 (str. 54) by to byl vektor (1776;1287). Pro neobsazenou směnu, je nákladová kladná složka a množství nulová, např. (1065,5;0). Seznam vybraných režimů tvoří množinu dostupných vektorů, z kterých lze poskládat výrobní plán. Ten se vytváří například na týden dopředu – tedy 21 dostupných směn.

Hledání optima při zadaném počtu směn je úloha o nalezení variace vektorů, aby platilo:

- Součet hodnot výstupů je větší, než poptávané množství,
- Celkové dosažené náklady jsou minimální přičemž, na optimální plán má vliv:
  - náklad na nevyužitou směnu,
  - den a směna a jim odpovídající součinitel navýšení (dle Tab. 12).

Pro rozhodování o režimu výroby se bude počítat se základní sazbou pracovního dne (součinitel navýšení je roven 1) a náklad na nevyužitou směnu 1065,6 Kč.

Jako základní provozní režim linky by měl být zvolen ten s nejnižšími jednotkovými náklady. Další výrobní režim je takový, který má jednotkové náklady nižší než kombinace hlavního režimu a jedné nevyužité směny (viz. Obr. 14).



Obr. 14 Srovnání základního režimu a náhradní varianty.

Takovým způsobem by se měly porovnat všechny varianty mezi sebou a nalézt posloupnost navazujících režimů. V Tab. 13 je žlutě vyznačený základní provozní režim linky. Náhradní varianta dokáže pokrýt základní nějakým počtem směn, tudíž by se měly srovnávat jednotkové náklady pro náhradní počet směn (minimálně dvě). Náhradní varianta musí splňovat podmínku:

$$\frac{ZV_{cn}(NPS-1)+NVS_{cn}}{ZV_{výst.}} \leq NV_{jn} \quad (5.1)$$

kde:

- $ZV_{cn}$  [ks.] – Náklady na směnu základní varianty,
- $ZV_{výst.}$  [ks.] – Dosažený výstup základní varianty,
- $NVS_{cn}$  [Kč] – Náklady na nevyužitou směnu,
- $NV_{jn}$  [Kč/ks.] – jednotkové náklady náhradní varianty,
- $NPS$  [-] – počet směn, kterými dokáže náhradní varianta překonat výstup základní varianty.

Tab. 13 Seznam seřazených variant pro výběr režimů.

Číslo režimu *	Počet operátorů	Počet manip.	Výstup	Náklady na směnu	Jedn. Náklady
0	2	1	2066	2712	1,313
1	1	1	1287	1776	1,380
8	1	3	2100	3456	1,646
2	2	2	2070	3552	1,716
3	3	1	2100	3648	1,737
4	1	2	1299	2616	2,014
5	2	3	2070	4392	2,122
6	3	2	2100	4488	2,137
7	3	3	2100	5328	2,537
Nevyužitá směna	1	1	0	1065,6	x

\* číslo režimu odpovídá číslování z experimentu v Tab. 7

V následující matici v Tab. 14 je uveden příklad srovnání variant z Tab. 13 mezi sebou. V první matici, číslo řádku odpovídá číslu základní varianty pro porovnání, číslo sloupce pak číslu uvažované náhradní varianty. V průniku se udává, kolik je potřeba náhradních směn pro konkrétní dvojici.

V druhé matici je pak výsledek, jestli daná kombinace splňuje podmínku, že pro náhradu jsou potřeba alespoň dvě náhradní varianty (dva vektory), a současně podmínku nižších nákladů.

Postup pro výběr scénářů z matice je následující.

- Nejdříve se zvolí základní varianta – s nejnižšími jednotkovými náklady (v ukázce číslo režimu 0),
- V řádku druhé matice, který odpovídá základní variantě, se zvolí sloupec, který splňuje podmínku („A“). Horní číslo v sloupci odpovídá náhradnímu režimu (v ukázce je to číslo režimu 1),
- Pak stejným postupem se hledá náhradní varianta pro režim 1 – v ukázce již v řádku s číslem režimu 1 nejsou dostupné náhrady.



Tab. 14 Rozhodovací matice pro výběr relevantního režimu výroby.

Číslo režimu	Počet potřebných zástupných směn									Podmínka jednotkových nákladů									
	Zák. \Nákr.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	0	1	2	1	1	2	1	1	1	1	N	A	N	N	N	N	N	N	N
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	N	N	N	N	N	N	N	N	N
2	2	2	2	1	1	2	1	1	1	1	A	N	N	N	N	N	N	N	N
3	2	2	2	2	1	2	2	1	1	1	A	A	A	N	A	A	N	N	N
4	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	N	A	N	N	N	N	N	N	N
5	2	2	2	1	1	2	1	1	1	1	A	A	N	N	A	N	N	N	N
6	2	2	2	2	1	2	2	1	1	1	A	A	A	N	A	A	N	N	N
7	2	2	2	2	1	2	2	1	1	1	A	A	A	N	A	A	N	N	N
8	2	2	2	2	1	2	2	1	1	1	A	A	A	N	A	A	N	N	N

### 5.9 Možnosti zpracování výsledků

Výsledky experimentu jsou získány v podobě jednoduché tabulky údajů (viz Tab. 7 na str. 39), která se rozšíří o podrobnosti podle Tab. 10. Dále je potřeba počítat i s dalšími zmíněnými vstupy. Zpracování informací pro přepočítání a plánování je možné více způsoby:

- 1) tabulkový editor typu MS Excel,
- 2) souborová databáze, např. MS Access,
- 3) databáze na databázovém serveru a speciální uživatelské rozhraní. Například databáze MS SQL Server nebo Oracle Database v kombinaci s rozhraním v MS Access, MS Excel, webové stránce intranetu nebo jiné podobě

První varianta (tabulkový editor) má výhodu, že všechny údaje jsou na jednom místě a lze sledovat a upravovat kompletní přepočítání, případně libovolně upravovat vstupní hodnoty. To je zejména vhodné pro první nástin zpracování výsledků a ujasnění si logiky výpočtu. Nevýhod pro praktické použití ve firemním prostředí je řada:

- přístup do jediného souboru neumožňuje práci více lidí současně,
- pokud se bude jeden soubor kopírovat mezi další uživatele, je nutné hlídat aktuální verzi souboru,
- vstupní údaje lze libovolně měnit,

- údaje jsou přímo viditelné – pokud se jedná o reálné sazby pracovníků výroby, může na ně nahlížet neoprávněný uživatel – plánovač. Prakticky plánovač potřebuje pro své rozhodování pouze agregovanou hodnotu nákladů,
- uživatel může nechtěně upravit a znehodnotit algoritmus - soubor je potřeba pravidelně zálohovat nebo jinak předcházet jeho znehodnocení,
- omezení při zpracování velkého objemu výsledků experimentů - nepřehlednost,
- zobrazení pro finálního uživatele nemusí být dobře čitelné.

Druhou variantou je použití souborové databáze a uživatelského rozhraní, jako MS Access. Tím lze ošetřit jen některé zmíněné nevýhody tabulkového editoru. Lze poměrně dobře oddělit algoritmus od finálního zobrazení. Tím se usnadní orientace pro uživatele. Taktéž je zde možná lepší údržba algoritmu. Je možné použití databázových funkcí pro výběr a filtrování dat. Neřeší to ale přístup více uživatelů najednou a bezpečnost interních dat.

Pro praktické zavedení v podniku by byla nejvhodnější třetí varianta – použít databázový server a tím oddělit datovou strukturu a algoritmy od uživatelského rozhraní. Je možné tak zajistit přístup oprávněných uživatelů na čtení, úpravu, přidávání dat, změnu algoritmů a jiné funkce. Umožní to také současný přístup více uživatelů do systému.

Další výhodou by byla možnost vytvářet libovolné uživatelské rozhraní pro různé uživatele. Například vytvořit zvláštní rozhraní pro správu a přidávání výsledků experimentů, rozhraní pro plánovače na prohlížení a výběr variant a pokusy se zaplánováním výroby, rozhraní pro manažery na správu vnitřních parametrů - sazeb pracovníků, navýšení sazeb směn, úpravu algoritmu výpočtu nákladů na variantu.

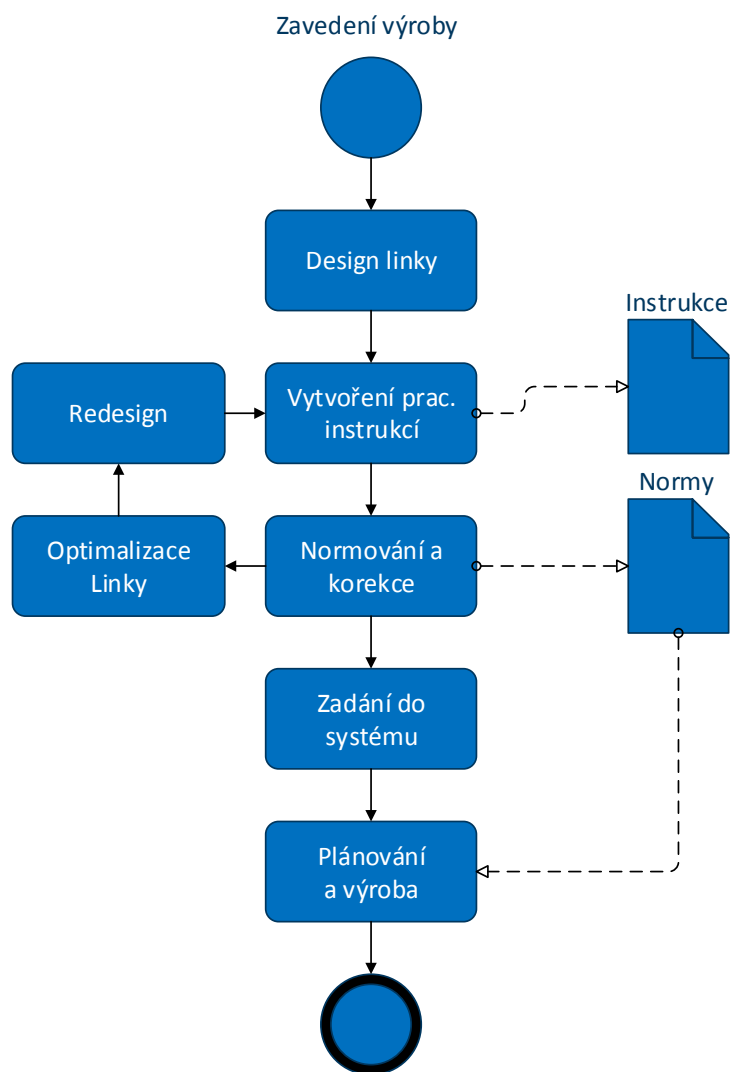
V rámci této práce bude použito druhé varianty – souborová databáze MS Access – hlavně z následujících důvodů:

- sjednocený pohled na celou strukturu výpočtu,
- vytvořené schéma tabulek a vazeb bude téměř shodné, s případnou ostrou verzí databázového serveru,
- databázový soubor umožňuje rozdělit datovou a uživatelskou rovinu. Datové zdroje pak lze importovat do dedikované databáze,

- je možné vytvořit koncept uživatelských rozhraní použitelných v implementované firemní aplikaci,
- v návrhové části není potřeba řešit oprávnění uživatelů.

### **5.9.1 Proces zavedení výroby**

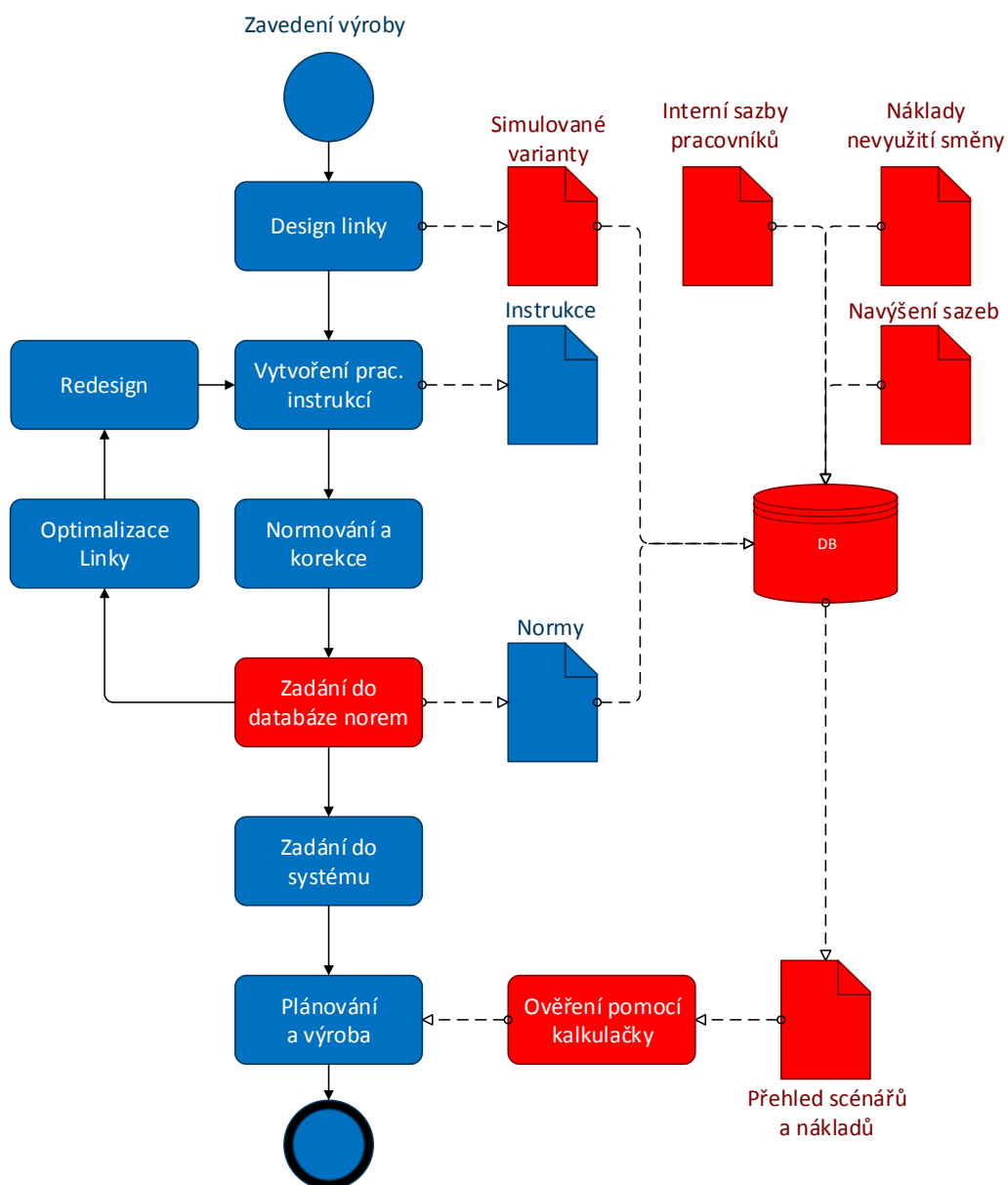
Návaznost procesů designu, normování, optimalizace a plánování je popsán na Obr. 15. V okamžiku, kdy se zavádí nový výrobek, tak se vytváří výrobní postup a rozdělení na operace. Pak lze navrhnout základní layout dle materiálového toku. Následně se zkonstruuje linka, vytvoří se výrobní instrukce a rozmístění pracovníků na lince. Uspořádání na lince se znormuje a lze pak plánovat a vyrábět. Pokud linka nedosahuje požadovaných výstupů, proběhne optimalizace, realizují se změny layoutu, vytvoří se nové instrukce a znormují se nové operace. Plánovač bude mít dispozici novou normu, z které vidí potřebu pracovníků pro dosažení nějakých výkonů a tím se řídí.



Obr. 15 Schéma procesu zavedení nové výroby

Aby mohl plánovač ověřit efektivitu svého plánu a zvážit, jestli je možná jiná varianta potřebuje znát i variabilitu nákladů. Pak se podle toho může rozhodnout, a zaplánovat třeba směny jinak.

Proces zavedení výrobků by bylo potřeba upravený tak, aby plánovač mohl dostat ve správné podobě potřebné údaje o možnostech každé linky. Rozšířený proces je zobrazený na Obr. 16. Podoba vstupních údajů byla popsána v kapitole 5.7.



Obr. 16 Rozšířený proces zavedení nového výrobku

### 5.9.2 Koncept programu

Hlavním úkolem navrhovaného programu je jednotná údržba vstupních údajů a generování reportu pro plánovače, na jehož základě bude plánovač následně kontrolovat výrobní plán.

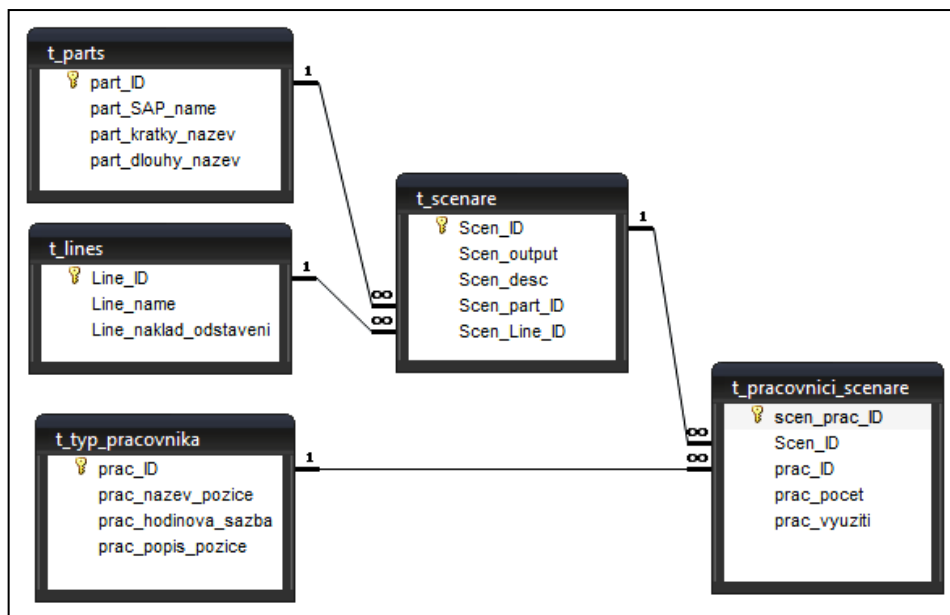
V navrhovaném systému by se pohybovali uživatelé dle přidělených rolí s pevně danými úkolem:

- ředitel výroby nebo jiná osoba odpovědná za ekonomické údaje
  - Správa číselníku linek,
  - Správa možných pracovních pozic a hodinových sazeb pracovníků,
  - Správa příplatků (navýšení hodinových sazeb),
  - Náklady na nevyužitou směnu na lince.
- procesní inženýr
  - Správa číselníku vyráběných dílů,
  - Vytváření nových scénářů výroby (simulace a první návrhy),
  - Náhled na ekonomiku vytvořeného scénáře.
- normovač
  - Správa číselníku vyráběných dílů,
  - Správa scénářů výroby (přidávání, úprava a odebrání),
  - Upřesnění dosažených výstupů podle scénáře (po znormování),
  - Schválení scénáře výroby pro použití v plánování,
  - Náhled na ekonomiku scénářů.
- plánovač
  - Prohlížení schválených scénářů výroby,
  - Exportování přehledu scénářů pro určitou linku a výrobek za účelem ověření plánu.

### 5.9.2.1 Datové schéma systému

Základní datové schéma programu je uvedené na Obr. 17. Číselník `t_parts` obsahuje seznam výrobků nebo skupin. Je zde prostor pro označení dílu podle SAP, krátký název pro uživatele a dlouhý název nebo popis. Číselník `t_lines` obsahuje seznam linek a číselnou hodnotu nákladu na nevyužití směny linky. Číselník `t_typ_pracovnika` obsahuje seznam pracovních pozic, které se vyskytují při výpočtu, včetně interní hodinové sazby pracovníků, název pozice a orientační popis pozice.

Tabulka `t_scenare` obsahuje vytvořené scénáře výroby konkrétního výrobku na vybrané lince. Nese informaci o počtu vyrobených kusů podle scénáře, popis scénáře pro odlišení nebo upřesnění změn. Tabulka `t_pracovnici_scenare` pak rozšiřuje údaje ke scénáři. Obsahuje informace o typu pracovníka využitého v scénáři, počet těchto pracovníků a hodnotu, kolik časového fondu pracovníka je potřeba pro scénář. Například, pokud se zvažuje, že manipulát bude současně pracovat na více linkách, lze zadat hodnotu 40 %. Tím se označí, že pracovník polovinu svého času věnuje vybranému scénáři a 60 % času může věnovat jiné lince.



Obr. 17 Základní datové schéma programu.

Náklady na scénář se následně spočítají jako suma nákladů na jednotlivé pracovníky použité v scénáři, s uvážením jejich využití. Příkladem může být výstup dle Tab. 15.

Tab. 15 Příklad exportu z databáze scénářů pro vybranou linku.

Linka	Part name	Popis scénáře	Vyrobena za směnu	Náklady na ks.	Nákl. na směnu	Nákl. na nevyužitou směnu
Linka moduly	Modul varianta a 1	Scénář dle simulace - 1 operátor + 1 manipulant	1287	1,378	1776	1066
Linka moduly	Modul varianta a 1	Scénář dle simulace - 2 operátoři + 1 manipulant	2066	1,313	2712	1066

### 5.9.3 Úloha plánovače

Plánovač ze systému získá údaje v podobě Tab. 15 (pro více různých výrobků) a Tab. 16 jako vzor pro rozvržení směny. Na jejich základě může ověřit již vytvořený plán anebo vytvořit nový plán (na týden) s cílem minimalizace nákladů.

Tab. 16 Přehled směn týdne a navýšení

Den	Směna	Navýšení
Pondělí	Dopolední	1
Pondělí	Odpolední	1
Pondělí	Noční	1,1
Úterý	Dopolední	1
Úterý	Odpolední	1
Úterý	Noční	1,1
Středa	Dopolední	1
Středa	Odpolední	1
Středa	Noční	1,1
Čtvrtek	Dopolední	1
Čtvrtek	Odpolední	1
Čtvrtek	Noční	1,1
Pátek	Dopolední	1
Pátek	Odpolední	1
Pátek	Noční	1,1
Sobota	Dopolední	1,1
Sobota	Odpolední	1,1
Sobota	Noční	1,2
Neděle	Dopolední	1,1
Neděle	Odpolední	1,1
Neděle	Noční	1,2



Pro ověření aktuálního plánu stačí vynásobit zaplánované množství jednotkovými náklady z tabulky scénářů a následně započítat součinitel navýšení podle příslušného dne a směny.

#### **5.9.4 Výpočet optimálního plánu**

Pro výpočet optimálního plánu je potřeba znát scénáře výroby různých výrobků, konkrétních termínů a aktuálních omezení výroby. Sestavení algoritmu, který by zvažoval a automaticky plánoval na základě všech dostupných údajů je náročné a musel by do něj opětovně zasahovat člověk, jako kontrolní prvek. Lze vytvořit o něco jednodušší postup pro zaplánování jednoho týdne jedním výrobkem. Může sloužit pro kontrolu a zkoumání, jak se mění režimy s počtem objednaných kusů výrobků.

##### **5.9.4.1 Kontrolní kalkulačka pro plánování**

V tabulkovém editoru Excel byla vytvořena kalkulačka, která sjednocuje získané výstupy ze systému a umožňuje uživateli zaplánovat jeden týden. Kalkulačka je součástí Přílohy 3.

Kalkulačka se skládá ze čtyř částí:

##### **1) Seznam dní v týdnu**

- uvedené dny týdne a směny, s rozlišovacím znakem (ID směny, ID dne a číslo směny),
- pro každou směnu je uveden součinitel navýšení,
- sloupec pro zaplánované množství (vyhledává se z plánu v tabulce 2),
- slovně den týdne a název směny,
- náklady na nevyužití směny.

##### **2) Seznam směn seřazených podle navýšení**

Obsahuje výpočtové sloupce se vzorci. Zápis se provádí pouze do kolonky „Varianta výroby (klíč)“ – který se odkazuje na seznam scénářů v tabulce 4,

- osobní náklady na směnu.

##### **3) Požadovaná výroba**

- v této části lze zadat počet výrobků a označení výrobku pro odlišení,

- v průběhu plánování se dopočítávají celkové náklady na zaplánovaný týden, jednotkové náklady na výrobek,
- v řádku nákladů na nevyužitou směnu se udržuje výchozí hodnota nákladů na nevyužitou směnu. Slouží jako poznámka a pro výpočet se používají hodnoty z tabulky 1).

#### 4) Seznam scénářů směn

- v této tabulce se ukládají hodnoty o dostupných režimech výroby,
- sloupec „Klíč“ slouží jako identifikátor scénáře výroby. Uživatel zadává číslo klíče do tabulky 2), když vytváří plán.

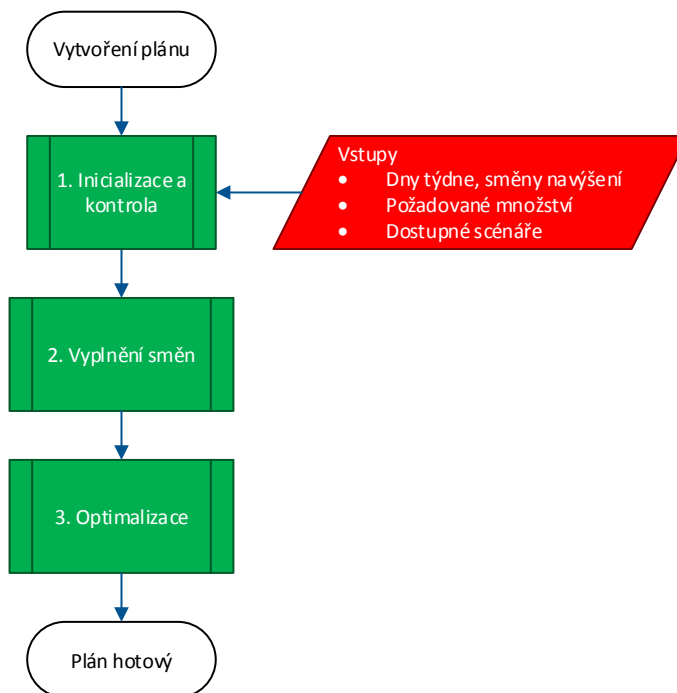
#### 5.9.4.2 Algoritmus pro vytvoření vlastního plánu

Popsaný algoritmus bude sloužit jako postup k zaplánování jednoho týdne s rozlišením na celé směny. Prezentace algoritmu odpovídá prezentaci v případě, že by se tento postup měl provádět automatickým skriptem nebo programem.

Cílem algoritmu je zaplnění směn výroby tak, aby náklady na celý výrobní týden byly co nejmenší.

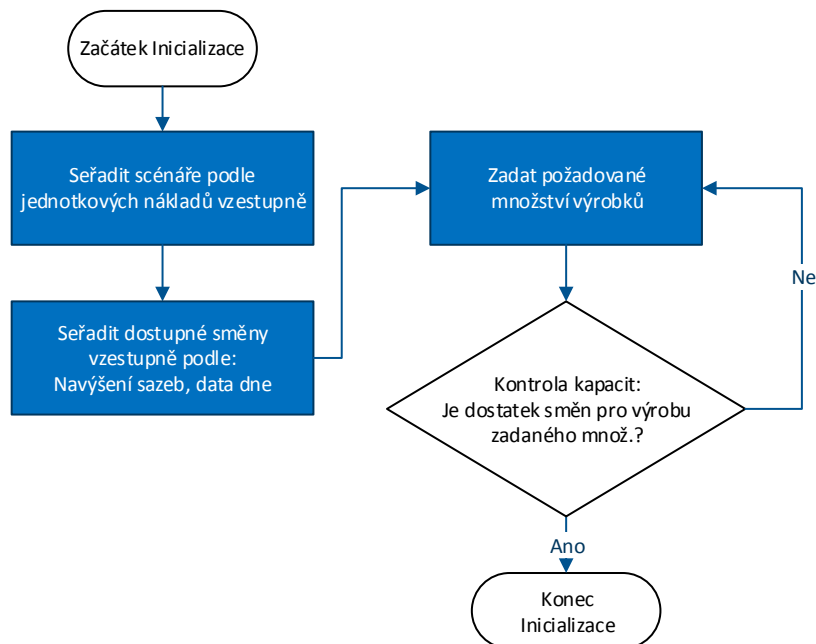
Cílem optimalizace bude minimalizovat celkové náklady na výrobu v plánovaném období. Protože se jedná o jeden výrobek, bude to odpovídat i minimalizaci jednotkových nákladů.

Celkový postup se skládá z několika částí ukázaných na Obr. 18. V příloze 4 je uvedena tabulka, který zachycuje stavy plánu hned po inicializaci a následně po jednotlivých cyklech optimalizace.



Obr. 18 Fáze plánovacího algoritmu.

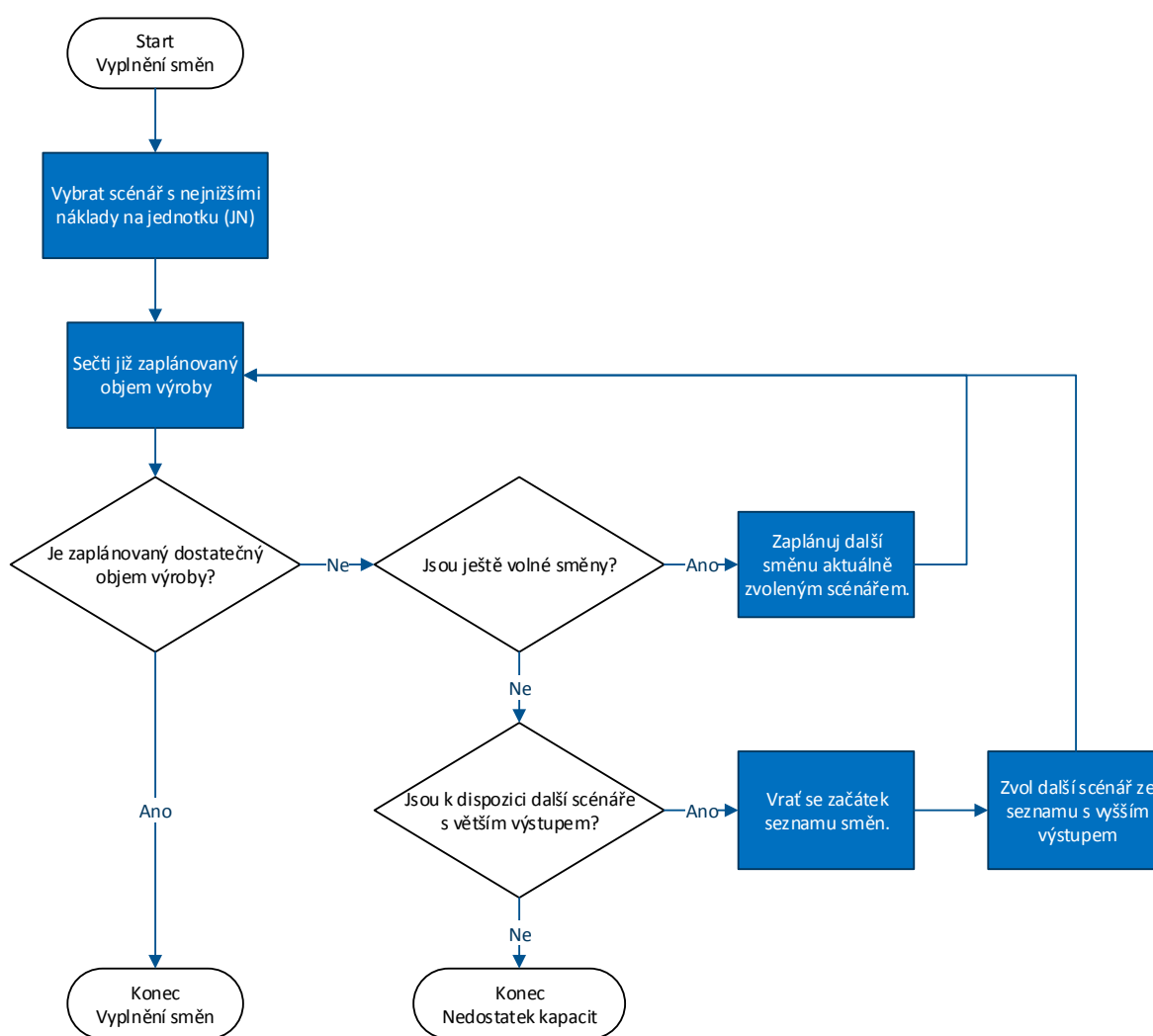
První fáze slouží pro kontrolu, že je zadán, jaký časový úsek se bude plánovat, pro jaký výrobek a jestli daný časový interval bude kapacitně stačit. V tomto kroku se porovná maximální možná produkce s požadovanou.



Obr. 19 Inicializace tvorby plánu.

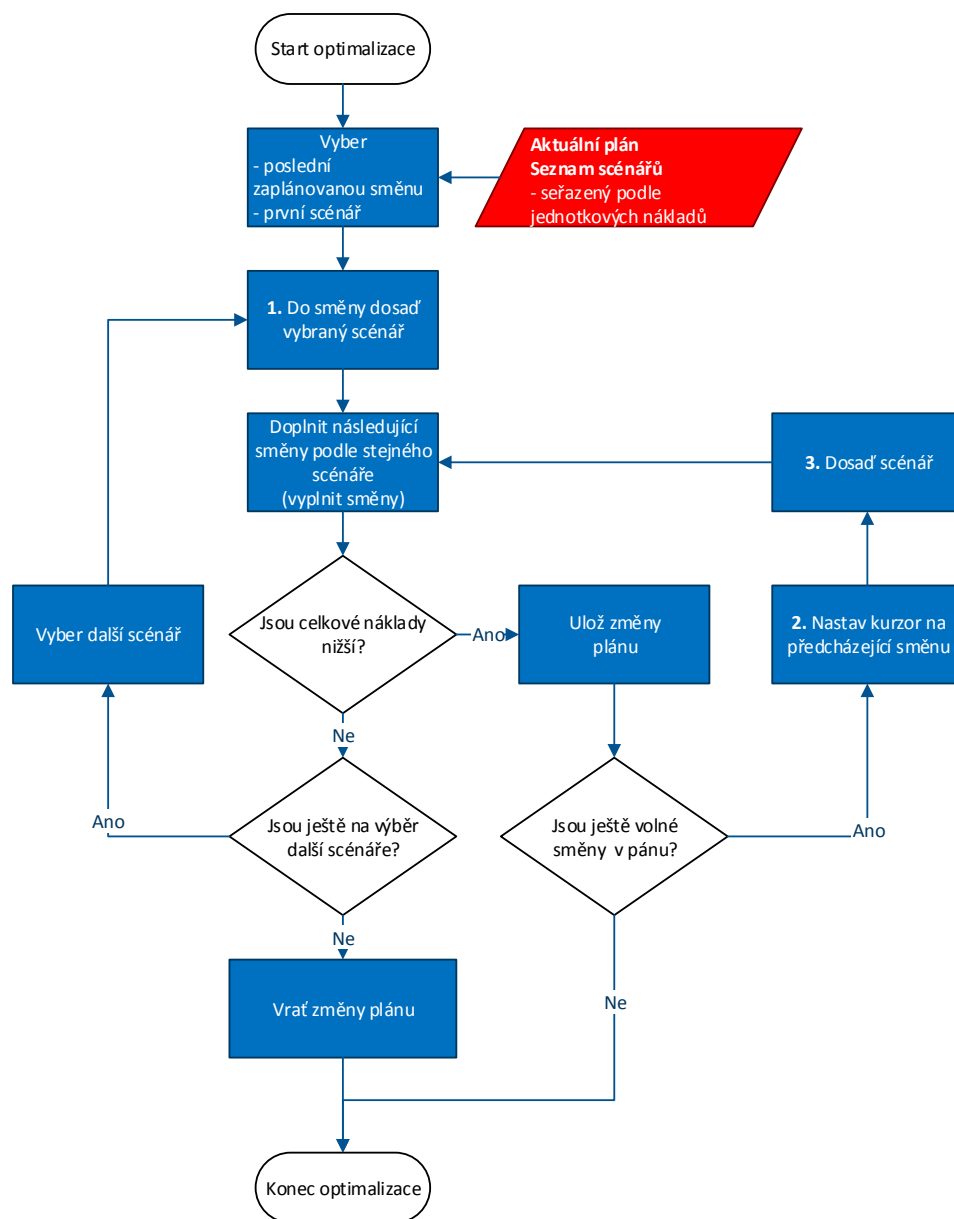
Další fáze je vyplnění směn – popsané na Obr. 20. Do seznamu směn, seřazeném vzestupně podle součinitele navýšení sazeb, se postupně doplňují nejméně nákladné scénáře, dokud není zaplánované dostatečné množství výrobků. Pokud nejméně nákladný scénář nestačí na pokrytí výroby, volí se následující scénář. V příloze 4 je v prvním sloupci výsledek takového doplnění scénáře.

Pokud se uvažují náklady na nevyužitou směnu, následuje fáze optimalizace. V opačném případě stačí zaplnění směn nejméně nákladným typem scénáře.



Obr. 20 Fáze vyplnění směn scénáři.

Fáze optimalizace by měla řešit otázku nevyužitých směn. Optimalizuje se od poslední zaplánované směny (v Tab. 17 se začíná optimalizovat směny počínaje směnou s ID 15). Na místo scénáře č. 1 na směně 15 se použije scénář č. 2. Pokud náklady na výrobu klesnou, může se opakovat nový cyklus. V třetím sloupci (2. Opt. cyklus) se doplní scénáře č. 2. V tomto okamžiku by se podle plánu nevyrobilo požadované množství, proto je potřeba přidat další směnu se scénářem č. 2 na pozici ID směny 16. Takový postup se opakuje, dokud se nevyčerpají všechny scénáře



Obr. 21 Algoritmus optimalizace plánu.

Tab. 17 Vyňatek z Přílohy 4 - změna plánu v průběhu optimalizace.

ID směny		ID scénáře			
		Výchozí plán	1.Opt cyklus	2.Opt cyklus	3.Opt cyklus
1	Pondělí Dopolední	1	1	1	1
2	Pondělí Odpolední	1	1	1	1
...		...	...	...	...
6	Úterý Noční	1	1	1	1
9	Středa Noční	1	1	1	2
12	Čtvrtek Noční	1	1	2	2
15	Pátek Noční	1	2	2	2
16	Sobota Dopolední			2	2
17	Sobota Odpolední				2
19	Neděle Dopolední				
20	Neděle Odpolední				
18	Sobota Noční				
21	Neděle Noční				

### 5.9.5 Omezení použití algoritmu

Výstupem takového zaplánování je přehled o tom, ve které dny je vhodnější výrobek vyrábět, případně v jakém pořadí scénáře použít. Omezení algoritmu, tak jak je představený, jsou následující:

- Algoritmus lze realizovat na zaplánování s určitým konečným datem. Při výpočtu nákladů se porovnává počet zbývajících směn a náklad na nevyužitou směnu, a na základě toho se rozhoduje o optimalizaci.
- Algoritmus počítá s výrobou jednoho výrobku za směnu v jediném režimu. Pokud by se měla zlepšit rozlišovací úroveň na hodiny nebo minuty na směně, bude nutné započítat náklad na změnu výroby a čas prostoje mezi výrobními zakázkami.

Úpravou představené kalkulačky lze vytvořit i tabulku pro kontrolu už vytvořeného skutečného plánu, ve kterém se může objevovat i výroba více různých výrobků v různých režimech.

## ZHODNOCENÍ PŘÍNOSU NÁVRHU ŘEŠENÍ

V rámci návrhu byl popsán postup pro vyhodnocení možností jediné linky a hledání jejího optima pro jeden výrobek. Pro praktické využití bude mít přínos zpracování celé výrobní skupiny linek. Pro první odhad a zpracování není nutné modelování každé linky v softwaru a srovnání všech variant, stačí shrnout a vyhodnotit již znormované režimy výroby. Na základě toho lze také přehodnotit rozdělení pracovníků mezi směny a zhodnotit pružnost výroby. Teoretický přínos je v zprůhlednění výrobních možností závodu. Prakticky na základě těchto propočtů lze uvažovat o dopadech snížení stavů zaměstnanců, nebo možnosti jejich přemístění mezi směny.

Způsob práce se získanými daty normování a simulací pomocí SQL databázového serveru by měl řadu výhod. Pro pracovníky normování a plánování by byl velký přínos v sjednocení dat. Aktuálně se v podniku normy sdílí na datovém úložišti v podobě souborů. Jejich použití při plánování vyžaduje čas na hledání anebo aktualizace a dodržení konzistence dat. Pro inženýry pracující na optimalizaci linek by přístup do takového systému měl přínos v tom, že výsledky optimalizace by bylo možné rychle interpretovat pomocí nákladů. Dosud při optimalizaci inženýři se orientují podle kapacit, a cílem je dosahování vyšších výstupů. V kombinaci s popsáním algoritmem výběru režimů výroby by bylo možné vytvářet další varianty cíleně – tedy tak, aby nová varianta dokázala doplňovat a optimalizovat ty stávající. To se projeví u možností výroby komplexnějších linek.

Plánovací kalkulačka vytvořená v rámci této práce je užitečná pro uvědomění si, jak plánovat. Důležitou částí je tedy osvojení algoritmus optimalizace. Použití kalkulačky je vhodné pro jednoduché linky s malou variabilitou výrobků a velkými objemy výroby.

## **ZÁVĚR**

Cílem diplomové práce bylo navrhnout podporu plánování montážní linky. Toho se dosáhlo návrhem rozšíření procesu plánování o novou rovinu dat. Propojení plánování a simulací spočívá v rozšíření datové základny o ekonomické parametry výroby. Zde byly vybrány položky nákladů, které může plánovač ovlivnit správným zaplánováním. Proběhl návrh postupu, jakým převést data získaná normováním a simulacemi na hodnoty čitelné pro optimalizaci plánu výroby.

Následně byla sestavena kalkulačka pro zaplánování jednoho týdne. Kalkulačka spolu s algoritmem umožňuje kontrolu již vytvořených plánů anebo sestavení optimálního plánu z pohledu nákladů na lidskou práci.



**SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ**

- [1] VIRT, Karel. Kapacitní plánování ve výrobě: Hit posledních let. *System Online* [online]. 2008 [cit. 2014-05-21]. Dostupné z: <http://www.systemonline.cz/rizeni-vyroby/kapacitni-planovani-ve-vyrobe.htm>
- [2] HELLA KGAA HUECK & CO. *HELLA* [online]. 2014 [cit. 2014-05-23]. Dostupné z: <http://www.hella.com/hella-cz/index.html?rdeLocale=cs>
- [3] EL-HAIK, Basem a Raid AL-AOMAR. *Simulation-based lean six-sigma and design for six-sigma*. Hoboken, N.J.: Wiley-Interscience, 2006, 404 s. ISBN 978-047-1694-908.
- [4] PINEDO, Michael L. *Scheduling: theory, algorithms, and systems*. 3rd ed. New York: Springer, 2008, 671 s. ISBN 978-0-387-78934-7.
- [5] OPLUŠTIL, Stanislav. HELLA. *Výkonová norma: Modul INTEMO*. Mohelnice, 2013.
- [6] LANNER. *Witness 12* [software]. [Přístup 11. Listopadu 2013].
- [7] CHADIMA, Libor. Osobní rozhovor. Mohelnice, 2013.
- [8] Aktuální výsledky šetření: Mzdová sféra ČR - rok 2013. *ISPV informační systém o průměrném výdělku* [online]. 2014 [cit. 2014-05-22]. Dostupné z: <http://www.ispv.cz/cz/Vysledky-setreni/Aktualni.aspx>
- [9] Česká republika. Zákon č. 262/2006 Sb. ze dne 21. dubna 2006. In: *Zákoník práce*. 2006. Dostupné z: [http://www.mpsv.cz/ppropo.php?ID=z262\\_2006\\_6#par116](http://www.mpsv.cz/ppropo.php?ID=z262_2006_6#par116)
- [10] Česká republika. Zákon č. 262/2006 Sb. ze dne 21. dubna 2006. In: *Zákoník práce*. 2006. Dostupné z: [http://www.mpsv.cz/ppropo.php?ID=z262\\_2006\\_8#par209](http://www.mpsv.cz/ppropo.php?ID=z262_2006_8#par209)

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

<b>Zkratka</b>	<b>Jednotka</b>	<b>Popis</b>
<b>DB</b>	[-]	Databáze
<b>MTBF</b>	[-]	Mean time before failure – střední doba mezi poruchami
<b>MTTR</b>	[-]	Mean time to repair – střední doba na opravu
<b>QC</b>	[-]	Quality Check, Kontrola kvality

<b>Symbol</b>	<b>Jednotka</b>	<b>Popis</b>
<b>NPS</b>	[-]	Počet směn, kterými dokáže náhradní varianta překonat výstup základní varianty
<b>NV<sub>jn</sub></b>	[Kč/ks.]	Jednotkové náklady náhradní varianty
<b>NV<sub>cn</sub></b>	[Kč]	Náklady na nevyužitou směnu
<b>ZV<sub>cn</sub></b>	[ks.]	Náklady na směnu základní varianty
<b>ZV<sub>výst.</sub></b>	[ks.]	Dosažený výstup základní varianty

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obr. 1 Modelování systému [3]. .....	11
Obr. 2 Vybrané typy modelů dle [3]. .....	12
Obr. 3 Elementy pro tvorbu diskrétních simulací [3]. .....	13
Obr. 4 Obecné schéma vztahů mezi prvky modelu dle [3]. .....	14
Obr. 5 Systematický postup při řešení simulačních úloh [3]. .....	17
Obr. 6 Postup při vytváření modelové studie (zpracování na základě [3]). .....	18
Obr. 7 Informační tok při plánování výroby (zpracování na základě [4]). .....	20
Obr. 8 Diagram operací na lince. ....	22
Obr. 9 Schéma montážní linky. ....	23
Obr. 10 Schéma uvažovaných cest a vstupních zásobníků s materiálem. ....	31
Obr. 11 Schéma uspořádání operace s předřazeným dopravníkem a robotem. ....	32
Obr. 12 Dosažený výstupu z linky v závislosti na počtu operátorů a manipulantů. ....	39
Obr. 13 Postup pro vytvoření optimálního plánu. ....	42
Obr. 14 Srovnání základního režimu a náhradní varianty. ....	45
Obr. 15 Schéma procesu zavedení nové výroby .....	50
Obr. 16 Rozšířený proces zavedení nového výrobku .....	51
Obr. 17 Základní datové schéma programu. ....	53
Obr. 18 Fáze plánovacího algoritmu. ....	57
Obr. 19 Inicializace tvorby plánu. ....	57
Obr. 20 Fáze vyplnění směn scénáři. ....	58
Obr. 21 Algoritmus optimalizace plánu. ....	59

**SEZNAM TABULEK**

Tab. 1 Modelové objekty použité pro práci s materiálem – díly, balení, přípravky.....	34
Tab. 2 Rozdělení časů na operace dle výkonové normy [5]. .....	35
Tab. 3 Rozdělení dopravníku na úseky a celkový počet míst na dopravníku.....	35
Tab. 4 Tabulka operací obsluhovaných operátory a manipulanty.....	36
Tab. 5 Tabulka vzdálenosti v modelu pro pohyb manipulanta.....	36
Tab. 6 Tabulka srovnání hodnot dosažených v simulaci s naměřenou normou. ....	37
Tab. 7 Výsledek vygenerovaný programem Witness – přehled nasimulovaných variant..	39
Tab. 8 Porovnání vytížení pracovníků při dvou variantách výroby. ....	41
Tab. 9 Přehled vytížení operací na lince při dvou variantách výroby. ....	41
Tab. 10 Ukázka formuláře pro výsledky normování a/nebo simulace. ....	42
Tab. 11 Hodinové sazby pracovníků dle statistiky [8]. ....	43
Tab. 12 Součinitele navýšení mzdových sazeb v průběhu týdne. ....	43
Tab. 13 Seznam seřazených variant pro výběr režimů. ....	46
Tab. 14 Rozhodovací matice pro výběr relevantního režimu výroby.....	47
Tab. 15 Příklad exportu z databáze scénářů pro vybranou linku.....	54
Tab. 16 Přehled směn týdne a navýšení.....	54
Tab. 17 Vyňatek z Přílohy 4 - změna plánu v průběhů optimalizace. ....	60

**SEZNAM PŘÍLOH**

- Příloha 1      Výtah z norem a přiřazení modelových operací skutečným akcím pracovníka  
Příloha 2      Snímek modelu linky z programu Witness 12  
Příloha 3      Kalkulačka plánovače (soubor)  
Příloha 4      Náhled postupných změn v plánu při optimalizaci (soubor)