

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

OPTIMALIZACE VÝROBNÍHO PROGRAMU A VÝROBNÍHO PROFILU

OPTIMALISATION OF PRODUCTION SCHEDULE AND PRODUCTION PROFILE

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JAN PETR

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

prof. Ing. BOHUMIL HLAVENKA, CSc.

BRNO 2008

Vložit zadání v elektronické formě 1 strana (scan)

Vložit Licenční smlouvu v elektronické formě 1 strana (scan)

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá problematikou uvedení do souladu mezi výrobním programem a výrobním profilem podniku. Dále jsou zde řešeny otázky stanovení optimálního výrobního programu a hodnocení investičních akcí. Výstupem je jednoduchý a levný program umožňující stanovení optimální kapacity zdrojů podniku.

Klíčová slova

Matematická analýza-modelování-simulace

ABSTRACT

This diploma thesis deals with issues in optimization production schedule and production profile of company. Furthermore this thesis is aimed on the questions of optimal manufacturing programme and assessments invest actions. Output is user friendly and cheap software for solving these problems.

Key words

Mathematical analysis - modelling - simulation

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

PETR, Jan. *Optimalizace výrobního programu a výrobního profilu: Diplomová práce*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 66 s., příloh. 1. Vedoucí práce prof. Ing. Bohumil HLAVENKA, CSc.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Optimalizace výrobního programu a výrobního profilu vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum: 21. 05. 2008

.....
Jan Petr

Poděkování

Děkuji tímto prof. Ing. Bohumilu Hlavenkovi, CSc. za cenné připomínky a rady při vypracování této diplomové práce.

OBSAH

Abstrakt	4
Prohlášení	5
Poděkování	6
Obsah	7
ÚVOD	9
1 ROZBOR SOUČASNÉHO STAVU	10
1.1 Optimalizace	12
2 INVENTARIZACE METOD	13
2.1 Historický vývoj optimalizačních metod	13
2.2 Rozdělení optimalizačních metod	14
3 NÁVRH VARIANT ŘEŠENÍ	16
3.1 Simulace pomocí specializovaného programu	16
3.2 Rozbor technologie, vhodnosti základních prostředků pro danou výrobu	20
3.2.1 Optimalizace pomocí genetických algoritmů	22
3.2.2 Optimalizace pomocí simplexové metody	25
4 PRACOVÁNÍ VYBRANÉ VARIANTY	27
4.1 Výběr varianty řešení	27
4.2 Volba programového prostředí	28
4.3 Vytvoření modelu podniku	28
4.4 Vlastní algoritmus matematické analýzy	31
4.5 Práce s programem Optimizer	34
4.5.1 Optimalizace výrobního programu	35
4.5.2 Optimalizace výrobního profilu	37
4.5.3 Ekonomické zhodnocení	44
4.5.4 Výpočet efektivního časového fondu	45
4.5.5 Porovnání výsledků	46
5 OVĚŘENÍ NA PŘÍKLADU	51
5.1 Zadání příkladu	51
5.2 První krok analýzy	54
5.3 Druhý krok analýzy	57

5.4 Výsledek analýzy	61
6 ZÁVĚR.....	62
Seznam použitých zdrojů	64
Seznam použitých zkratek a symbolů.....	65
Seznam příloh	66

ÚVOD

FORMULACE PROBLÉMU

Spolu s všeobecným růstem produktivity práce, který je spojen se zaváděním moderních technologií do výroby přichází negativní fakt přebytku nabídky nad poptávkou. Vzdálenosti jsou každým dnem menší a tak vznikají konkurenční trhy tam, kde dříve pro dopravní nedostupnost nebyly očekávány. Důsledkem těchto změn je velice tvrdé konkurenční prostředí na všech trzích a také vzhledem k trendu klesající věrnosti zákazníků musí firma, která chce na těchto trzích uspět, nabídnout zákazníkům něco navíc. Tento faktor, který konkurence na trhu nenabízí, se nazývá konkurenční výhoda. Existují dvě cesty jak získat konkurenční výhodu. První možností je výroba diferencovaného produktu, tedy produktu takového, který se výrazně odlišuje od ostatních výrobků na trhu. Druhou možností je dosažení vedoucího postavení v nákladech. Tedy tvorba konkurenční výhody tím, že nabídneme produkt na trhu za cenu nižší, než nabízí konkurence. Cena samotného výrobku je především ovlivněna výrobními náklady. Náklady na veškeré výrobní faktory jsou dány jejich cenou, ať už se jedná o ceny energií, pořizovací ceny strojů či ceny lidských faktorů. Současně nízké výrobní náklady přináší možnost vyššího zisku, jelikož zisk je rozdíl mezi prodejní cenou výrobku a jeho výrobními náklady. Proto jedinou možností, jak uspět v konkurenčním prostředí je neplýtvat výrobními faktory. A aby podnik neplýtvat výrobními faktory je třeba optimalizovat jejich využití.

1 ROZBOR SOUČASNÉHO STAVU

Převážná většina českých malých a středních průmyslových podniků v současnosti nevyrábí pro konkrétního zákazníka, ale funguje na dodavatelské bázi. Vyrábí zboží, požadované obchodníky, či meziprodukty pro výrobu jiného zboží a proto si nemůže určit výrobní množství ani specifikace svých výrobků. A pokud nenabízí produkt výrazně diferencovaný, který je určen přímo pro koncového zákazníka, je jedinou možností jak uspět na trhu vytvoření konkurenční výhody v oblasti cenové. A jak již bylo v úvodu řečeno, nižší ceny můžeme dosáhnout snížením nákladů pomocí optimalizace využití výrobních faktorů. Zjednodušeně řečeno optimalizace využití výrobních prostředků znamená odstranění rezerv.

Každý průmyslový podnik má své rezervy. Na základě důkladné analýzy stávajícího stavu můžeme odhalit tyto rezervy a nedostatky a mnohé z nich také odstranit. Odborníci Baťových závodů jsou přesvědčeni, že v každém podniku je možný růst produktivity minimálně o 20% pouze odstraněním těchto rezerv.

Velký podíl na těchto rezervách má nesoulad mezi požadavky výrobního programu a možnostmi výrobního profilu. Výrobní profil je tvořen mnoha faktory. Například množstvím a produktivitou práce zaměstnanců, množstvím, možnostmi a výkonem strojů, zařízení a manipulačních prostředků, kapacitou skladů a mnoha dalšími faktory. Když vezmeme v úvahu, že každý pracovník a každý stroj má rezervu a to jak v oblasti jeho časového využití, tak v oblasti využití výkonového, získáváme široké spektrum možností jak zlepšit produktivitu podniku.

Všechny tyto rezervy je velice obtížné odstranit a vznikají ze dvou důvodů. Jednak jsou tvořeny záměrně z důvodů pokrytí neplánovaných požadavků (výpadky, poruchy, změny). Tyto rezervy není možné zcela odstranit, jelikož jejich absence by mohla mít v případě nepředpokládané situace katastrofální následky. Druhým důvodem, proč se ve výrobním profilu vyskytují rezervy, je neznalost, složitost a pracnost metod používaných k jejich odstranění.

Existují tři základní cesty, jak optimalizovat využití výrobních faktorů:

1. Optimalizace počtu jednotlivých výrobků, či skupin výrobků, s ohledem na maximální zisk soustavy, maximální výrobnost atd.
2. Optimalizace jednotlivých výrobních operací.
3. Optimalizace výrobních kapacit vzhledem k výrobnímu programu podniku.

První možnost jak optimalizovat výrobu není možné v převážné většině podniků realizovat. Jak již bylo řečeno, převážná část současných má pevně stanovený výrobní program na základě požadavků zákazníka. V lepším případě je u některých výrobků dáno určité rozpětí kusů, ve kterém se musí výroba pohybovat a v tomto úzkém rozpětí výrobního programu je určitá, avšak značně omezená, možnost optimalizace. Proto není ve většině případů možné stanovit optimální množství výrobků například metodou lineárního programování a tím dosáhnout maximalizace možného zisku a také optimalizace využití výrobních faktorů.

Druhá možnost, jak optimalizovat výrobu, je optimalizace vlastní výrobní operace. Pro každý výrobek, který je do výroby zadáván, je vypracován výrobní postup. Výrobním postupem jsou dány jednotlivé operace, jejich souslednost a doba jejich trvání. Ani zde nejsou příliš široké možnosti optimalizace časů výroby, jelikož strojní časy jsou již ve většině případů určeny s ohledem na minimální náklady, maximální výrobnost, požadovanou kvalitu, či životnost nástroje apod.

Poslední variantou optimalizace jsou možné změny ve výrobním profilu podniku s ohledem na stanovený výrobní program. Je tedy nutné zaměřit se na technologické prostředky podniku (stroje, nástroje,...), jejich možnosti a využití. Tato varianta zahrnuje jak zefektivnění využití výrobních prostředků, tak například racionalizaci využití manipulačních prostředků podniku. (1)

1.1 Optimalizace

Jelikož se tato diplomová práce zabývá optimalizací výrob, je vhodné vysvětlit, co se skrývá pod termínem optimalizace. Pro vyjádření termínu optimalizace je možné využít mnoha odborných definic. Například, že optimalizace využití výrobních faktorů je nepřetržitý racionalizační proces, založený na poznávání a hodnocení současného stavu ve všech oblastech podnikové činnosti. Zjednodušeně však lze říci, že optimalizace se zabývá zlepšováním využití faktorů v jakékoliv oblasti lidské činnosti. Aby bylo možné ověřit zda bylo zlepšeno využití výrobních faktorů je třeba srovnávat současný stav se stavem před zavedením vylepšení, či s možným budoucím stavem, který nastane po zavedení změny. Optimalizace výroby přispívá k plnění tzv. hodnotového cíle podniku. Splnění hodnotového cíle podniku znamená dosažení požadovaného hospodářského výsledku. Tedy dosažení žádoucího salda mezi zdroji a výsledky výrobního procesu. Zjednodušeně řečeno, optimalizace přispívá k tvorbě zisku, který je jedním z primárních cílů každého podnikání. (2)

2 INVENTARIZACE METOD

2.1 Historický vývoj optimalizačních metod

Jelikož problematika optimalizace výrobního programu a výrobního profilu spadá mezi lineární úlohy. Problematika nalezení optima při řešení lineárních úloh prošla dlouhým historickým vývojem. Nyní budou rozebrány základní nejdůležitější body tohoto vývoje.

Za první metodu optimalizace lze považovat hledání minima funkce $f(x)$ derivací dle proměnné x (Fermat 1638, Newton 1670). Dalšími průkopníky byli Euler (1755) a LaGrange (1797), kteří se zabývali problematikou nekonečných rozměrů a velkým počtem proměnných.

Dalším mezníkem jsou „před algoritmické“ metody. Tedy metody, které neměly pevně stanovený algoritmus řešení. Do tohoto období lze zařadit Fourierovu metodu řešení problematiky lineární nerovnosti (1826). Další vývoj je již spojen s rozvojem metod lineárního programování, jehož základy byly definovány Kantorovičem ve 30. letech 19. století.

Lze však říci, že před rokem 1940 bylo relativně málo znalostí o metodách výpočtové optimalizace funkcí s mnoha proměnnými. Znalosti se omezovaly na základní kvadratické výpočty a metody či metody největšího spádu pro řešení fyzikálních problémů. Zřejmě největší využití optimalizačních metod bylo v oblasti teoretické chemie, kde se užívala například Newtonova metoda.

Ve 40. a 50. letech minulého století dochází k vývoji směru optimalizace známého jako lineární programování (počátky ve 30. letech). Mimochodem termín programování byl původně používán jako synonymum pro termín optimalizace ve smyslu optimálního plánování. Metodami lineárního programování se řeší soustavy mající více možných řešení a je třeba posoudit výhodnost jednotlivých řešení z hlediska kritériální funkce. Aby soustava skutečně reprezentovala problém lineárního programování, musí být počet proměnných vyšší než počet omezujících podmínek. Mnohé z těchto metod se

nemohly pochlubit zrovna efektivním postupem řešení. Jistou revolucí byl vznik metody Simplex, která se hojně užívá dodnes umožňuje efektivní řešení funkcí s mnoha proměnnými a jednotlivé kroky nejsou početně příliš náročné (Dantzing 1947). V 50. letech poté dochází k rozšíření aplikací této metody do mnoha dalších oborů lidské činnosti, především se využívala na řešení logistických problémů.

V 60. letech dochází k rozvoji metod, řešících problematiku mnoha proměnných. V 70. a 80. letech 20. století s rozvojem výpočetní techniky dochází k rozvoji metod globální optimalizace, tedy k rozvoji deterministických metod (metody větvení a omezení), heuristických a metaheuristických metod (genetické algoritmy, zakázané hledání), stochastických metod (simulované žíhání, stochastické tunelování, metoda Monte-Carlo, paralelní popouštění). Jako příklad moderních metod řešících problematiku lineárních úloh lze jmenovat elipsoidní algoritmus Leonida Khachiana (1979), či algoritmus vnitřního bodu, jehož autorem je Narendra K. Karmakar.

V současnosti jsou optimalizační metody řešící lineární úlohy rozšířeny do mnoha oborů lidské činnosti. Jsou široce aplikovatelné v oblastech dopravy, medicíny, průmyslu či telekomunikací. (3, 4, 5)

2.2 Rozdělení optimalizačních metod

Existuje mnoho možností, jak rozdělit optimalizační metody do různých skupin. Jednou z možností je rozdělení dle existence omezujících podmínek u dané optimalizační metody:

1. Optimalizace bez omezení (6)

a) Newtonovy metody

- Newtonova metoda
- Kvazi-Newtonova metoda
- Boydenovy metody
- Numerické experimenty

b) Metody konjugovaného směru

- Metody konjugovaného gradientu
- Metody udání směru

c) Metody zakázaných kroků

- Prototypový algoritmus
- Levenberg – Marquardtovy metody

2. Optimalizace s omezením (6)

a) Metody lineárního programování

- Metoda Simplex
- Polynomické časové algoritmy
- Ostatní metody lineárního programování
- Degenerační metody

b) Kvadratické programování

- Lagrangeovy metody
- Aktive set metody
- Modifikovaný elipsoidní algoritmus
- Modifikovaná simplexová metoda

c) Nelineární programování

- Lagrange-Newtonova metoda (SQP)
- Nelineární eliminace
- Metody větvení a omezení

d) Nespojitá optimalizace

- Globálně konvergentní prototypový algoritmus

3 NÁVRH VARIANT ŘEŠENÍ

V předcházející kapitole bylo uvedeno velké množství metod sloužících k optimalizaci různorodých problémů. K řešení problematiky sladění výrobního programu s výrobním profilem podniku nejsou však všechny uvedené postupy vhodné. Navíc nestačí pouze samotná optimalizační metoda. Je třeba ji aplikovat na daný problém a případně sestavit matematický model daného problému. Mezi metody užívané při řešení problematiky sladění výrobního profilu s programem můžeme zařadit řešení:

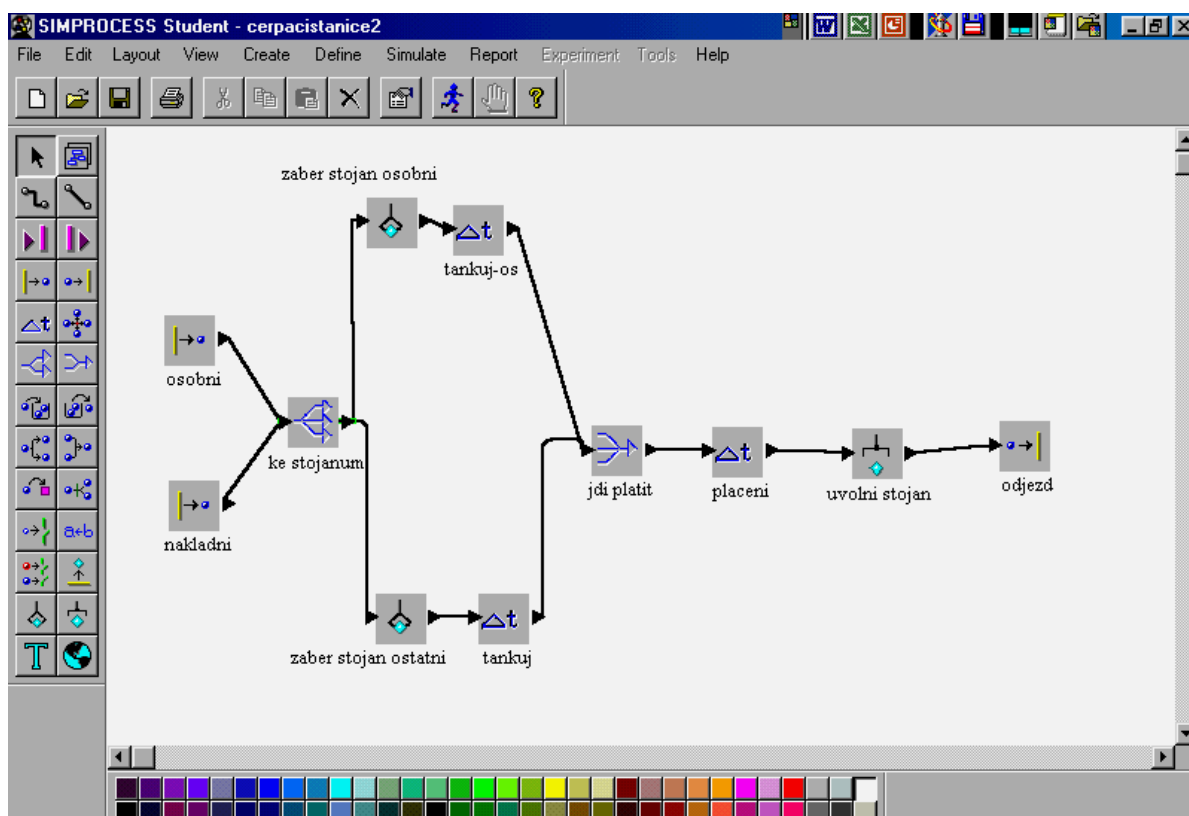
- a) Simulací pomocí vhodného simulačního software
- b) Rozbor vhodnosti technologické základny a řešení jejího využití pomocí metody genetických algoritmů.
- c) Rozbor vhodnosti technologické základny a řešení jejího využití pomocí simplexové metody.

3.1 Simulace pomocí specializovaného programu

Jedná se o nejjednodušší a nejkompexnější možnost, jak optimalizovat výrobní proces. Simulační metody optimalizace jsou založeny na simulování daného procesu prostřednictvím vhodného software. Předchůdce simulačních programů představoval pouze strojový kód, jehož zadávání byla obtížná a náročná práce pro programátora a bylo velice obtížné nalezení chyby. Později se simulační programy vytvářely za pomoci problémově orientovaných jazyků. Bylo nutné program napsat dle syntaxe jazyka a logiky modelu. V 60. letech 20. století se vyvinuly první speciální simulační jazyky jako například SimScript (USA, 1963), Simula (Norsko, 1966), či výukový simulační jazyk pro diskrétní simulaci MOR/DS (USA 1989). Tyto jazyky byly upraveny pro psaní simulačních programů avšak stále bylo nutné dodržovat syntaxi. V 90. letech 20. století se vyvinuly programy s využitím textového a grafického rozhraní. Jedním z prvních byl program Xcell+ z roku 1990, který používal pouze jednoduché grafické rozhraní, složené pouze z textu a jednoduchých tvarů. Jedním z prvních

programů s dokonalejším grafickým rozhraním je program SIMPROCESS, který již pracuje od operačním systémem Windows a umožňuje názorný popis s využitím specifických ikon a umožňuje také hierarchické zobrazení procesů.

(7)



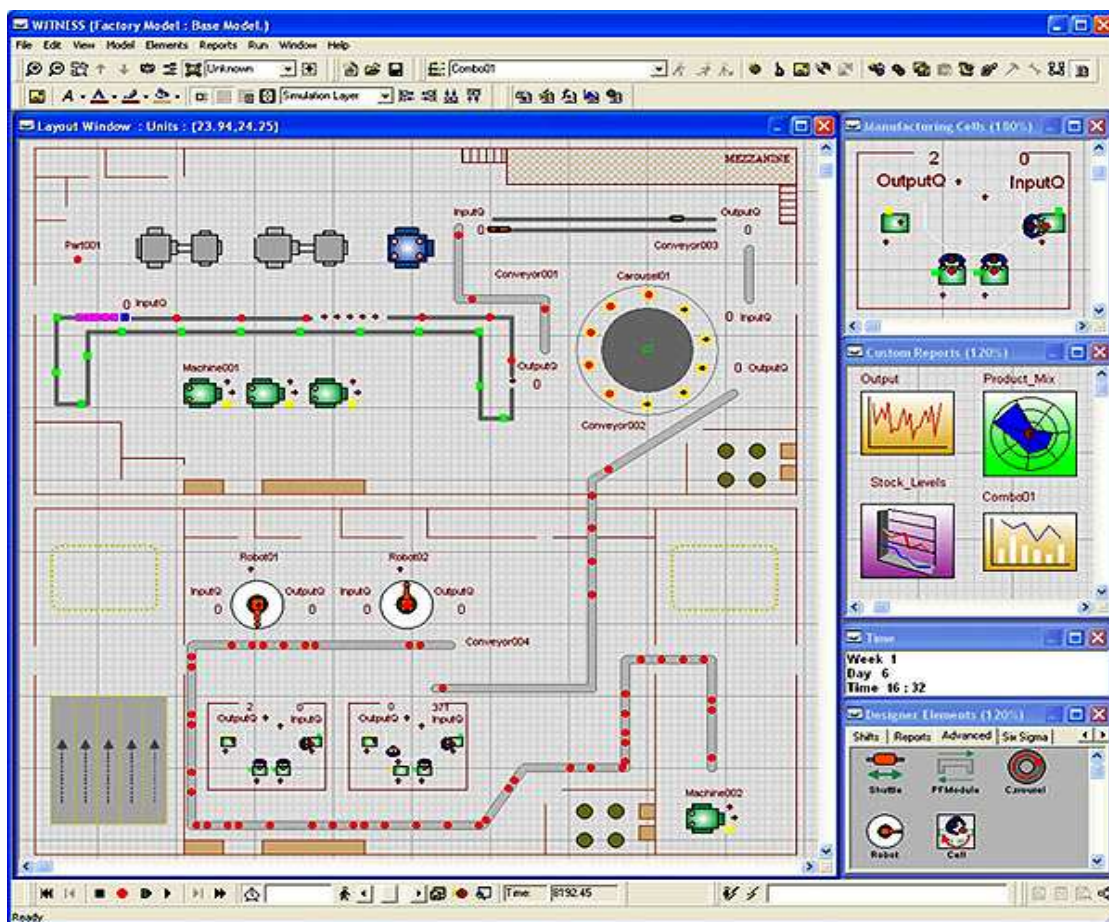
Obr. 3.1: Pracovní plocha programu SIMPROCESS

Tyto programy jsou již uživatelsky mnohem jednodušší, kdy je program tvořen v pozadí, často bez vědomí uživatele. Dnes tyto programy obsahují celou řadu funkcí. Mnohé z nich obsahují například nastavbové moduly pro oblast ekonomiky podniku či skladového hospodářství a slouží jako programy pro kompletní řízení nejen výroby, ale také celého podniku. Nespornou výhodou je možnost ověření více způsobů řešení určitého problému a výstup v podobě pravděpodobného výsledku blízkého praxi.

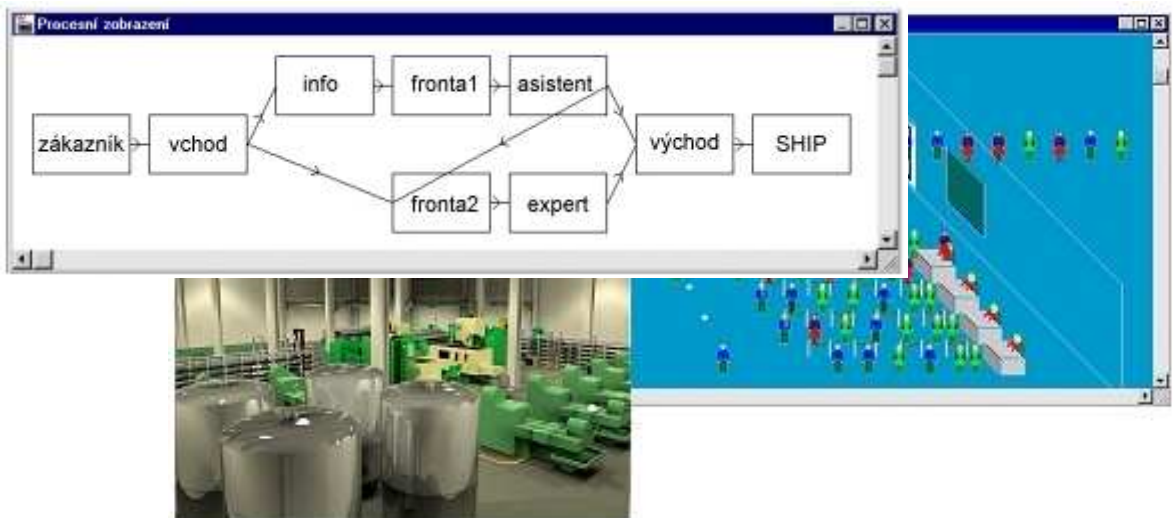
Mezi nevýhody těchto programů je možné zařadit obtížnější ovládání, pramenící z jejich širokých možností použití, kdy zpravidla nejsou využity všechny funkce daného programu. Obvykle je nutné absolvovat školení na daný typ simulačního software. Nejpodstatnější nevýhodou je však vysoká cena

těchto programů. Již základní verze bez nastavbových modulů se pohybují v řádech deseti až statisíců korun.

Moderním zástupcem těchto programů je například program Witness od britské společnosti Lanner Group. Jedná se o přední světový software pro simulaci a optimalizaci výrobních a obslužných procesů. Dokáže modelovat pracovní prostředí a simulovat důsledky rozhodnutí. Systém při simulaci modelu dynamicky zobrazuje pohyb materiálu či zákazníků systémem, stavy jednotlivých prvků, prováděné operace a aktuální využití zdrojů. Zároveň jsou zaznamenávány všechny události, které v systému nastaly. Tak je možné sledovat dynamiku procesu a získat všechny údaje potřebné k vyhodnocení výkonnosti daného systému dle zvolených kritérií. Slouží tedy nejen k optimalizaci a řízení výroby, ale také například k projektování nových výrobních systémů. Jeho nastavby mohou řešit oblasti logistiky či ekonomiky. Jediným problémem, který je společný pro všechny simulační programy je pořizovací cena, která není pro mnohé malé a střední podniky akceptovatelná. (8)

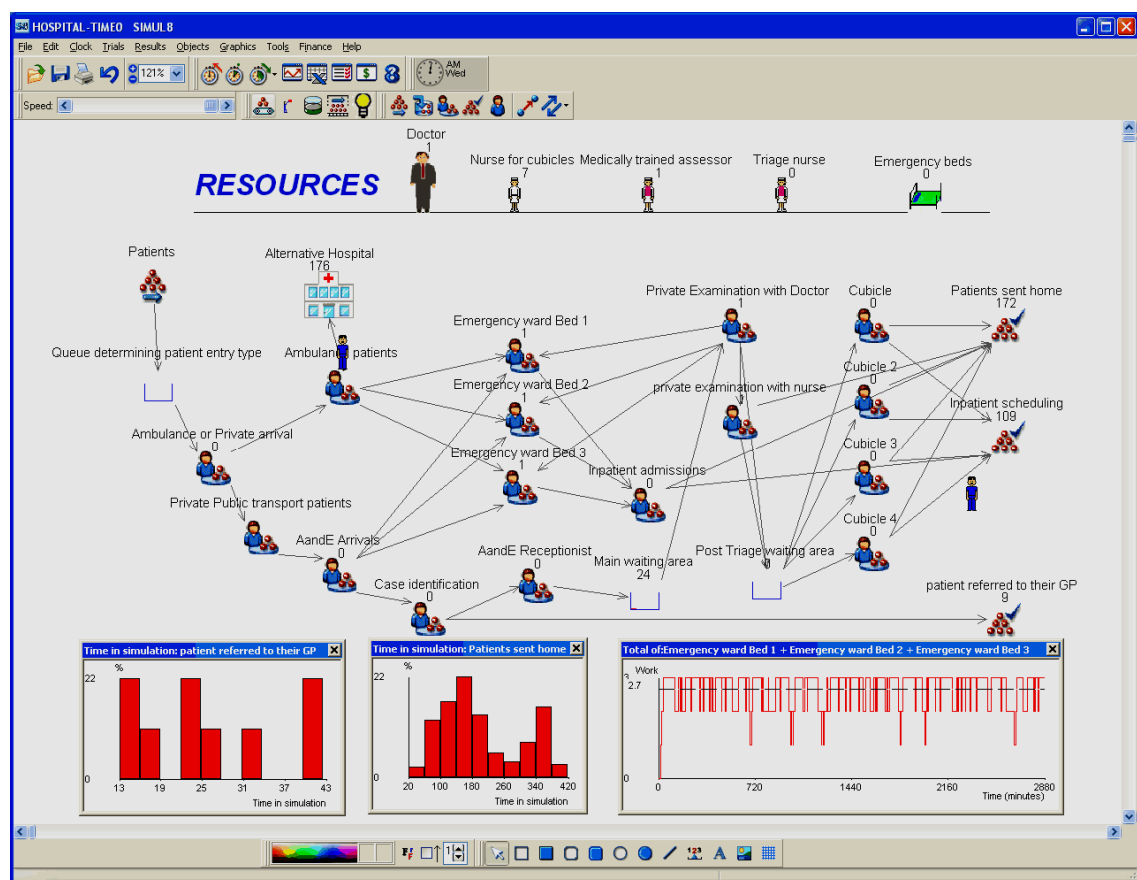


Obr. 3.2: Pracovní plocha programu WITNESS



Obr. 3.3: Program WITNESS umožňuje procesní zobrazení, 2D a 3D zobrazení

Mezi další často užívané software patří například SimFactory, Quest, SIMAN/CINEMA, AutoMod, Xcell+, SIMPROCESS či Simul8 a mnoho dalších.



Obr. 3.4: Simulační model v programu Simul8

3.2 Rozbor technologie, vhodnosti základních prostředků pro danou výrobu

Starší metoda řešení dané problematiky, ve které je možné vidět maticový základ řešení. Jako základ této metody slouží dvě šachovnicové tabulky, kde jsou v obou případech v řádcích uvedeny manipulační a výrobní prostředky podniku a ve sloupcích jsou uvedeny možnosti jednotlivých prostředků, jako například výkon, řezná rychlost, rozsah otáček, upínací délka atd. V jedné z tabulek je uvedena stávající kapacita těchto prostředků, vyjádřená v jednotkách času a ve druhé tabulce kapacita požadovaná výrobním profilem. Při srovnání tabulek mohou vzniknout tři různá řešení:

1. Časový fond a možnosti prostředků požadované a skutečné se rovnají. Vše je tedy v pořádku a není třeba nic měnit.

2. Možnosti prostředků se rovnají avšak nerovná se časový fond požadovaný výrobním programem a nabízený výrobním profilem. Podnik má tedy buď nedostatečné, nebo naopak zbývající výrobní kapacity, ale všechny vlastněné výrobní prostředky odpovídají požadavkům výrobního profilu.

3. Rovnost neplatí ani v případě časového fondu ani v případě prostředků. Podnik tedy nevlastní prostředky, které jsou potřeba pro daný výrobní program, nebo naopak vlastní některé naprosto nevyužité výrobní prostředky.

Tab. 3.1: Rozbor vhodnosti základních prostředků

Manipulační prostředek	Směr manipulace					Frekvence			Trasa			Umístění			
	svislý nahoru	svislý dolů	stoupající	klesající	vodorovný	nepřetržitá plynulá	přeruš. plynulá	příležitostná	pevná dráha	stanovená trať	neurčená dráha	nad prac. výšku	v prac. výšce	na podlaze	nad podlahou
Podvěsné dopravníky			x	x	x	x			x			x			
Zdvihadla	x	x						x	x						x

Pokud již jsou k dispozici všechny potřebné prostředky, je třeba určit jejich kapacitu. Jak již bylo uvedeno při zakázkové výrobě je kapacita výrobního profilu určována výrobním programem. Metoda pracuje s modelem podniku jehož základem je matice, kde v řádcích jsou uvedeny zdroje podniku (manipulační a výrobní prostředky podniku) a ve sloupcích jsou odbytové možnosti podniku (výrobní profil – výrobkové portfolio). (1, 9)

		ODBYTOVÉ MOŽNOSTI									
ZDROJE	a_{11}	a_{12}	.	.	.	a_{1j}	.	.	.	a_{1n}	
	a_{21}	a_{22}	.	.	.	a_{2j}	.	.	.	a_{2n}	
	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
	a_{i1}	a_{i2}	.	.	.	a_{ij}	.	.	.	a_{in}	
	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
	a_{m1}	a_{m2}	.	.	.	a_{mj}	.	.	.	a_{mn}	

Obr. 3.5: Matice jako model podniku

Tento model je možné sestavit nejen pro daný podnik, ale také závod, provoz či dílnu podniku. Pokud je model sestavován pro velký počet výrobních zařízení je vhodné sloučit tato zařízení do skupin, například dle technologie (např. soustruhy, frézky, brusky apod.). Stejně tak v případě příliš širokého výrobního programu je možné rozdělit výrobkové portfolio do skupin a do matice uvádět jednotlivé skupiny formou představitelů. (1)

Určení počtu ks představitele:

$$x_p = \sum_{v=1}^{v=l} \frac{n_v * t_v}{t_p} \quad (3.1)$$

kde: x_p – přepočet ks představitele [ks]

n_v – počet v-tého výrobku v dané skupině představitele [ks]

t_v – pracnost v-tého výrobku [Nhod]

t_p – pracnost představitele [Nhod]

l – počet výrobků dané výrobní skupiny [ks]

Z jednotlivých řádků se vytvoří m nerovností, které udávají kapacity zdrojů, vyjádřené v jednotkách času a ze sloupců se vytvoří n nerovností, které vyjadřují výrobní množství požadované zákazníkem. Tyto nerovnice potom slouží při optimalizaci jako omezující podmínky.

Nyní již jsou určeny omezující podmínky a je třeba určit kritérium, dle kterého bude optimalizace prováděna, tedy tzv. kritériální funkci. Jako kritérium může být zvolena maximalizace zisku, využití výrobních prostředků (minimalizace nevyužitých kapacit zdrojů), apod. Samotná optimalizace je proveditelná pomocí více metod. Zde jsou uvedeny dvě možné metody, jejich stručný popis a postup řešení. (1)

3.2.1 Optimalizace pomocí genetických algoritmů

Genetické algoritmy se užívají tam, kde by přesné řešení úloh z praxe systematickým prozkoumáváním trvalo v podstatě nekonečně dlouho. Genetické procesy v přírodě odhalil J. Mendel a rozvinul Ch. Darwin. O jejich rozšíření se zasloužili J. Holland a D. Goldberg v 70. letech 20. století na Michiganské univerzitě. Zpočátku se používaly k řešení úloh z oblasti umělé inteligence a teprve v nedávné době lze pozorovat značné rozšíření aplikací genetických algoritmů do řízení firem. V evolučním vývoji nebo šlechtění rostlin či živočichů se prosazují jedinci, kteří mají jisté žádoucí charakteristiky, jež jsou na genetické úrovni determinovány kombinováním rodičovských chromozomů. U zrodu genetických algoritmů stála myšlenka, že při hledání lepších řešení složitých problémů by bylo možno obdobným způsobem kombinovat části existujících řešení.

V terminologii genetických algoritmů se vyskytuje řada pojmů. Základem genetických algoritmů je chromozom, neboli tzv. genotyp a jeho význam, či informace jím přenášená se nazývá fenotyp. Chromozom je složen ze sekvenčně uspořádaných genů, které řídí dědičnost jednoho nebo několika

znaků a jejichž pozice v chromozomu se nazývá locus. Většina implementací genetických algoritmů pracuje s původní reprezentací chromozomu pomocí nul a jedniček, tedy s tzv. binární reprezentací. V tomto případě jsou chromozomy představovány binárními řetězci, např. 01001101101. Tyto binární řetězce představují zakódovaná dekadická čísla, která jsou parametry optimalizované funkce.

Pro manipulace s chromozomy bylo navrženo několik genetických operátorů. Nejčastěji používanými operátory jsou selekce (selection), křížení (crossover) a mutace (mutation). Méně obvyklé jsou operátory migrace nebo smrt.

Při selekci se jedná o výběr chromozomů, které se stanou rodiči. Důležitým hlediskem, jež se přímo či nepřímo uplatňuje při výběru alespoň jednoho z rodičů, je jeho zdatnost, neboli fitness. Jako příklad selekce slouží následující případ, kdy číslo 122 jež je binárně zapsané 01111010 je větší jak číslo 34 (binárně 00100010), proto chromozom 01111010 přejde do další generace. Mezi druhy používaných selekcí patří selekce turnajová, selekce pravděpodobná a ruleta.

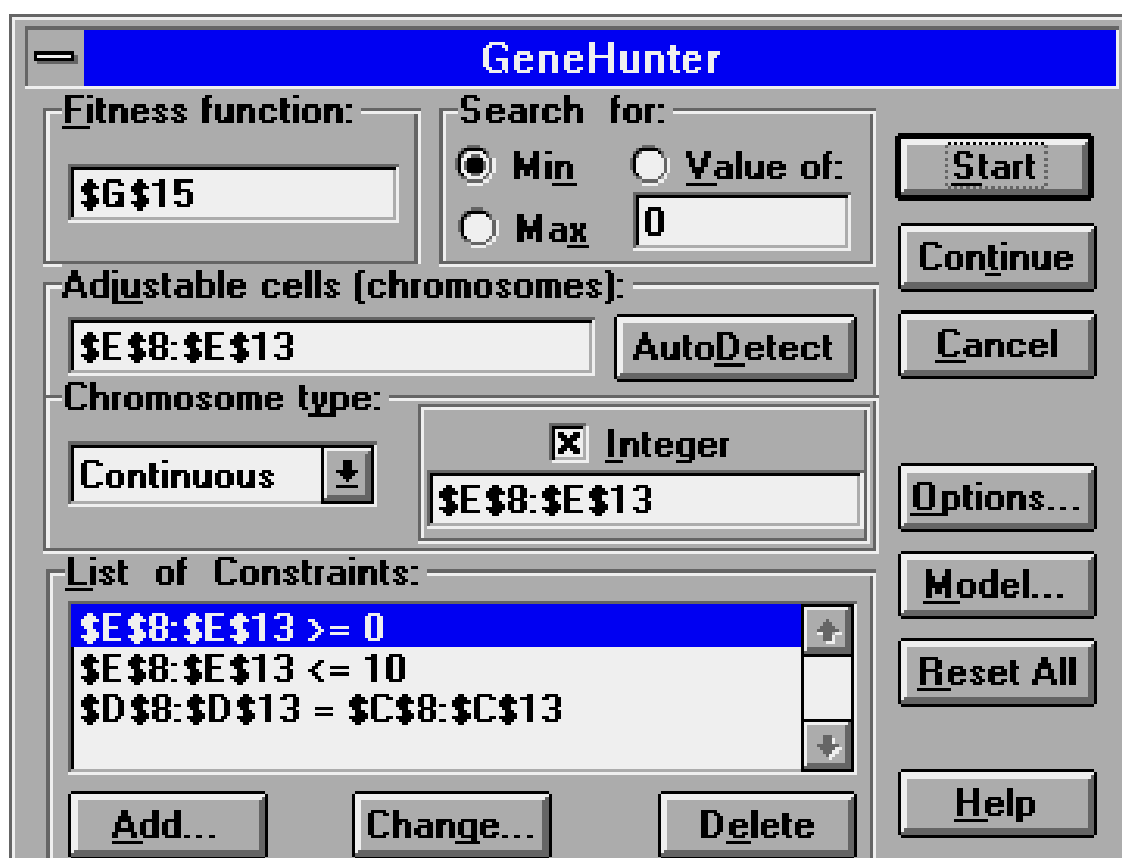
Křížení je jednoduše řečeno výměna dvou částí více rodičovských chromozomů, která způsobuje modifikaci chromozomů, při němž vzniká jeden nebo více potomků. Křížení může být zdokonaleno vybíráním takových bodů křížení, které zajistí odlišnost potomků od rodičů. Mimo jednobodového křížení je možné také křížení vícebodové, při němž se generuje více dělicích bodů. Dále je možné užívat křížení zobecněné, neboli uniformní, které se uskutečňuje pomocí vzoru nul a jedniček, generovaného opakovaným použitím normálního rozdělení. Příkladem křížení jsou rodiče 0011**0010** a **0011**1001 a jejich potomci 00111001 a **00110010**.

Pod pojmem mutace se rozumí modifikace chromozomu, při níž dojde k náhodné změně. Tato změna se v přírodě vyskytuje velice zřídka. Příkladem mutace může být změna chromozomu 00**11**0010 na 00010110.

Vlastní proces optimalizace pomocí genetických algoritmů probíhá tak, že se nejprve generováním vytvoří počáteční populace m chromozomů, a potom se tato populace mění pomocí genetických operátorů tak dlouho, pokud není proces ukončen (např. požadovanou hodnotou, či počtem cyklů).

Počáteční populace je obvykle získána náhodným generováním, ačkoliv již byly pokusy nahradit počáteční populaci nějakým kvalitním řešením, získaným pomocí jiné heuristické techniky a dospět tak rychleji k lepšímu řešení. V tomto případě však hrozí riziko předčasné konvergence do ne dost dobrého lokálního optima. Co se týče velikosti populace, je zřejmé, že příliš malá populace může zavinit špatné pokrytí prostoru řešení a příliš velká populace zase zvyšuje náročnost výpočtu. (10, 4, 12)

Samotná optimalizace prostřednictvím genetických algoritmů se často provádí pomocí vhodného software. Jako příklad je možné uvést program GeneHunter od firmy Ward Systems Group, který plně spolupracuje s tabulkovým procesorem Microsoft Excel. (10)



Obr. 3.6: Dialogové okno programu GeneHunter

Mezi další často užívané software patří například Matlab-Genetic Algorithm od firmy The MathWorks Inc., či Evolver, produkt společnosti Hallogram Publishing Inc.

3.2.2 Optimalizace pomocí simplexové metody

Simplexová metoda je jednou z nejznámějších a nejúspěšnějších (a v podstatě také jednou z mála přeživších) metod lineárního programování. Vznik lineárního programování nelze jednoznačně určit. V roce 1933 publikoval ruský matematik L.V.Kantonovič „Matematické metody při řízení a plánování podniku“, kde použil k řešení metod lineárního programování. V roce 1941 použil Angličan F. Hitchens lineárního programování k řešení dopravních úloh. Jedná se řešení o tzv. lineární extremalizační úlohy, tedy takové, kde všechny funkce v ní obsažené jsou lineární. Obecně je tato úloha zadána jako maximalizace funkce:

$$c^T x = \max. \quad (3.2)$$

při omezeních:

$$Ax = b \quad (3.3)$$

Nalézt všechna základní řešení soustavy a porovnat odpovídající hodnoty odpovídající hodnoty funkce $c^T x$ není pro úlohy lineárního programování větších rozměrů prakticky realizovatelný výpočetní postup. A proto byla v roce 1947 G.D.Dantzingem vyvinuta simplexová metoda řešení úloh lineárního programování.

V první fázi tohoto algoritmu je nalezeno výchozí základní řešení dané úlohy lineárního programování. Může však nastat případ, kdy optimální řešení daného úkolu nemusí vůbec existovat. Pokud již je takové řešení k dispozici, následuje iterační postup, při němž v jednotlivých krocích vypočte vždy nové základní řešení s vyšší, nebo alespoň stejnou hodnotou účelové funkce. Tento postup samozřejmě platí v případě maximalizace, pokud je cílem nalezení optima z hlediska minima, je nutné aby hodnota účelové funkce byla nižší než v případě základního řešení. Po konečném počtu kroků vede tento postup k nalezení základního řešení s nejlepší hodnotou účelové funkce nebo ke zjištění, že takové řešení vůbec neexistuje. Toto řešení, jehož účelová funkce má nejlepší hodnotu, je řešením optimálním.

Vlastní iterační postup se rozděluje do tří kroků :

- a) V soustavě si je opatřena libovolná výchozí jednotková báze, tedy báze složená výhradně z jednotkových vektorů.
- b) Postupně se přechází na sousední báze tak, aby se hodnota proměnné $z = c^T x$ postupně zvyšovala. Dvě báze se nazývají sousedními v tom případě, že se liší pouze v jediném bazickém vektoru (bez ohledu na pořadí těchto vektorů).
- c) Jestliže všechny sousední báze mají nižší (případně stejnou) hodnotu z , než je jeho hodnota v základním řešení, které odpovídá právě dosažené bázi, určuje dosažená báze optimální základní řešení. Optimum bylo tedy nalezeno.

Největší výhodou simplexové metody je, že přechod z jedné báze na druhou není spojen s velkým objemem výpočtů, a že počet prozkoumávaných bází je podstatně nižší než celkový počet bází v soustavě. (5, 11)

Zvláště v případě, že úloha obsahuje mnoho omezujících podmínek a velký počet vstupních údajů, je vhodné použít k jejímu řešení vhodný počítačový program. Na řešení pomocí simplexové metody jsou používány například programy Statgraphics, Microsoft Excel Solver, Simplex Optimization, MultiSimplex a mnoho dalších.

4 PROPRAČOVÁNÍ VYBRANÉ VARIANTY

4.1 Výběr varianty řešení

Každá z uvedených variant řešení má své určité klady a zápory, které je třeba zohlednit při výběru varianty, která bude pro sladění výrobního programu s výrobním profilem použita. Vzhledem k tomu, že problematika optimalizace výroby obsahuje velké množství proměnných a mnoho omezujících podmínek, je vhodné pro řešení využít počítače, které umožní levné a velmi rychlé řešení těchto úkolů.

Zcela nepřesnější model podniku a vlastní výroby je v případě řešení pomocí simulačního programu. Model podniku je sestaven včetně materiálových toků, rozmístění jednotlivých strojů a mnoha dalších faktorů ovlivňujících vlastní výrobní proces. Navíc simulační programy nabízí možnost provázání výpočtu s dalšími obory podnikové činnosti. Jedinou nevýhodou této metody je tedy již zmiňovaná finanční stránka věci. Metoda tedy nevyhovuje požadavku levného a dostupného řešení.

Jako výhodnější se tedy jeví metoda rozboru technologie a určení vhodnosti technologické základny pro danou výrobu. Tato metoda řeší mnohem užší rozsah problémů spojených s výrobou. Zabývá se v podstatě pouze stanovením optimálního výrobního programu a určením potřebných technologií a kapacit těchto technologií pro daný výrobní program. Výhodou je možnost použití stanoveného algoritmu určujícího ideální výrobní program pro řešení různých dalších problémů, například směšovacích problémů apod. Přesnost výpočtu pomocí těchto metod závisí především na kvalitě vytvořeného modelu podniku. Po sestavení modelu daného podniku, či vybrané výroby, se provede optimalizaci některou z optimalizačních metod. V předchozí kapitole byla uvedena metoda optimalizace pomocí genetických algoritmů a pomocí simplexové metody.

Využití metody genetických algoritmů je limitováno podobně jako předchozí metoda nedostupností potřebných programů pro optimalizaci

s využitím této metody. Samozřejmě částky, které stojí potřebné programy zdaleka nedosahují cen moderních simulačních programů, avšak třetí zmiňovanou metodu lze využít bez nutnosti nákupu jakýchkoliv programů. Pro řešení s využitím metody simplex stačí pouze kancelářský balík programů Microsoft Office, konkrétně aplikace Microsoft Excel, který již většina uživatelů počítačů vlastní.

4.2 Volba programového prostředí

Jak již bylo uvedeno, pro tvorbu vlastního programu je využito tabulkového procesoru Microsoft Excel z důvodu dostupnosti pro naprostou většinu uživatelů. Jediný požadavek je nainstalování funkce Solver (nebo také Řešitel v české jazykové mutaci), která umožňuje řešení úloh lineárního programování metodou Simplex. S pomocí této nástavby byl vytvořen program Optimalizer, který lze pro řešení zadané problematiky sladění výrobního programu a výrobního profilu podniku využívat. K vytvoření tohoto programu nebylo třeba znalostí jakéhokoliv programovacího jazyku.

4.3 Vytvoření modelu podniku

Tato metoda pracuje s maticovým modelem podniku, kde v řádcích jsou uvedeny výrobní či manipulační prostředky podniku a v jednotlivých sloupcích jsou odbytové možnosti podniku, tedy výrobní program podniku. Jednotlivé stroje, představující výrobní a manipulační prostředky podniku, je možné při větším počtu sloučit do skupin, například dle technologie, směru pohybu atd. Stejně tak výrobky v případě širokého výrobního programu je vhodné sloučit do skupin a uvádět je v modelu prostřednictvím představitelů jednotlivých skupin. Přepočítání na představitel je uvedeno ve vzorci [3.1]. V jednotlivých polích matice jsou uvedeny požadavky výrobního programu na výrobní profil podniku. Pro popis funkce programu je využit příklad ze skript prof. Kocmana Speciální

technologie obrábění (5, s. 178), kde byl řešen prostřednictvím programu Statgraphics. Je tedy možné srovnat řešení dosažená programem Optimizer s řešením uvedeným v těchto skriptech. Jako ilustrace v následujících krocích budou uváděny výřezy zadání dat z programu Optimizer.

JEDNOTKOVÉ VÝROBNÍ ČASY					
pro jednotlivé stroje a výrobky (min)		A	B	C	D
stroj	Soustruh	4,0	3,5	2,0	5,0
	Frézka	3,0	4,0	4,0	4,0
	Vrtačka	2,5	3,0	2,5	6,0
	Bruska	1,0	2,0	3,0	8,0

Obr. 4.1: Požadavky výrobního programu na výrobní profil

Z jednotlivých řádků matice vytvoříme m nerovností, popisujících kapacity zdrojů:

$$\sum_{j=1}^{j=m} a_{ij} x_j \leq b_i \quad (4.1)$$

kde: a_{ij} – pracnost pro kombinaci výrobek (j) x stroj (i) [min/ks]
 x_j – vyráběný počet kusů j -tého výrobku [ks]
 b_i – omezení kapacity i -tého stroje [min]

Ze sloupců poté získáme n rovnic a nerovností vyplývajících z požadavků výrobního programu:

$$v_j \leq x_j \leq V_j \quad (4.2)$$

kde: v_j – minimální počet ks j -tého výrobku (dle programu) [ks]
 V_j – maximální počet ks j -tého výrobku (dle programu) [ks]
 x_j – vyráběný počet kusů j -tého výrobku [ks]

Dalším krokem při vytvoření modelu podniku je stanovení omezení počtu jednotlivých položek výrobního programu. Tato omezení jsou dána požadavky

zákazníků a může se jednat o přesně stanovený počet, či určité rozmezí počtu výrobků. Změny v této oblasti závisí na obchodním oddělení podniku. Je dobré připomenout, že v současnosti většina výrobních podniků má omezený výrobní program, který je dán požadavky zákazníků a ve většině případů se zdaleka nepřibližuje výrobnímu programu optimálnímu. Proto se k optimu musí podnik přibližovat změnou výrobního profilu, tedy změnou kapacit zdrojů. (1)

POŽADOVANÉ POČTY (ks)	A	B	C	D
MIN	100	100	200	200
MAX	250	150	800	300

Obr. 4.2 : Omezení počtu jednotlivých položek výrobního programu

Omezení v podniku samozřejmě nejsou pouze v oblasti výrobního programu, ale také především v oblasti kapacit výrobních a manipulačních zařízení, tedy v oblasti výrobního profilu. Program Optimalizer umožňuje počítat také s rozšířením kapacit manipulačních a výrobních prostředků podniků. Samotný model může být sestaven pro podnik, závod či dílnu. (1)

KAPACITA STROJŮ (min)	PŮVODNÍ	CELKOVÁ	VYUŽITÁ
Soustruh	3250	3250	3250
Frézka	4900	4900	4500
Vřtačka	4000	4000	3625
Bruska	5000	5000	4150

Obr. 4.3: Omezení kapacity zdrojů

Dále je nutné určit, z jakého hlediska bude vlastní výroba optimalizována. Jako ekonomické kritérium při vlastní optimalizaci potom může být zisk, pracnost, vlastní náklady výroby, maximalizace využití strojů apod. V současnosti je však nejčastěji tímto kritériem zisk, který se snaží podnik maximalizovat. Jak již bylo dříve uvedeno, zisk je definován jako rozdíl vlastních nákladů na výrobu a tržeb z prodeje výrobků (obvykle tržby dány množstvím a velkoobchodní cenou). V modelu je tedy nutné definovat buď přímo zisk na kus u jednotlivých výrobků, či výrobových skupin, nebo náklady na jednici a prodejní cenu jednoho kusu výrobku. (1)

ZISK NA KS (Kč/ks)	5,0	6,5	7,2	8,1
NÁKLADY NA KS (Kč/ks)	10,0	5,0	12,0	8,0
PRODEJNÍ CENA (Kč/ks)	15,0	11,5	19,2	16,1

Obr. 4.4: Náklady a tržby

Pokud je jako rozhodující ekonomické kritérium zvolena maximalizace zisku, bude mít kritériální funkce tvar:

$$\sum_{j=1}^{j=m} Z_j x_j = Z_{\max} \quad (4.3)$$

kde: Z_j – zisk z jednoho kusu j -tého výrobku [Kč]

x_j – vyráběný počet kusů j -tého výrobku [ks]

4.4 Vlastní algoritmus matematické analýzy

Další fází sladění výrobního profilu s výrobním programem po sestavení matematického modelu podniku je analýza a odvození výsledků postupnou změnou jednotlivých vstupních údajů. Celý algoritmus lze rozdělit do tří základních kroků.

První krok zahrnuje výpočet ocenění jednotlivých zdrojů v systému tzv. stínovými cenami. Stínová cena je hodnota změny zisku celé soustavy DZ, která je důsledkem zvýšení kapacity zdroje b_i o jednotku (například 1 Nhod, 100 Nhod atd..). Vlastní jednotkou stínové ceny je potom [Kč/hod], či [Kč/min], dle jednotek v nichž je úloha zadána. Smysl výpočtu stínových cen je v ocenění významu jednotlivých zdrojů (zařízení výrobního profilu) v celém systému a v podstatě tak vyjadřuje rentabilitu jednotkového rozšíření kapacity každého ze zdrojů podniku. Tyto stínové ceny ukazují na úzká místa ve výrobě, tedy na problémové oblasti ve výrobním procesu. Úzké místo vzniká u zdroje s nejvyšší

stínovou cenou, kdy rozšíření jeho kapacity přinese nejvyšší zisk. Stínové ceny tedy mohou být vodítkem, kde je třeba rozšířit kapacitu, a kde ve výrobě je naopak kapacita zbytečně velká. Bohužel tato metoda neurčí jakým způsobem kapacitu zvýšit. Vše závisí na konkrétní situaci podniku. Kapacitu určité pozice lze například zvýšit zakoupením nových strojů, modernizací stávajícího zařízení, zkrácením technologických časů, zvýšením efektivního časového fondu (například rozšířením počtu směn), automatizací, mechanizací atd.

Omezující podmínky

Buňka	Název	Konečná hodnota	Stínová cena
\$F\$35	soustruh VYUŽITÁ	3250	3,6
\$F\$36	frezka VYUŽITÁ	4500	0
\$F\$37	vrtacka VYUŽITÁ	3625	0
\$F\$38	bruska VYUŽITÁ	4150	0

Obr. 4.5: Stínové ceny jednotlivých zdrojů

Další podstatnou věcí, která je nutná k racionalizaci využití výrobních prostředků v závislosti na výrobním programu, je problematika o kolik je třeba zvýšit kapacity jednotlivých zdrojů, než hodnota jejich stínové ceny bude nulová. Je-li stínová cena všech zdrojů nulová, je stávající kapacita optimální upotřebitelnou kapacitou zdrojů v daném výrobním procesu. Nemá tedy již smysl kapacitu dále zvyšovat. Jedinou možností jak dosáhnout vyššího zisku je zvýšit množství výrobků požadovaných zákazníky, tedy rozšířit výrobní program. Toto však již není úkolem řízení výroby, ale obchodního oddělení, které musí zvýšit odbyt zvláště u těch výrobků, které generují největší zisk.

Omezující podmínky

Buňka	Název	Konečná hodnota	Stínová cena
\$F\$35	Soustruh VYUŽITÁ	4625	0
\$F\$36	Frézka VYUŽITÁ	5750	0
\$F\$37	Vrtačka VYUŽITÁ	4875	0
\$F\$38	Bruska VYUŽITÁ	5350	0

Obr. 4.6: Nulové hodnoty stínových cen všech zdrojů

Posledním krokem je potom ekonomické zhodnocení investic potřebných k rozšíření kapacit jednotlivých zdrojů. Jelikož se v těchto případech bude jednat o menší investiční náklady, nesrovnatelné např. s projektováním nových výrobních systémů, mohou být propočty ekonomického zhodnocení jednodušší. Samotné zhodnocení můžeme provést např. prostřednictvím doby návratnosti či výnosnosti investice. Ekonomické zhodnocení je možné provádět pro jednotlivé investice vydané na rozšíření kapacity jednotlivých zdrojů, nebo souhrnně při jednom výpočtovém cyklu zjistit ekonomické zhodnocení všech investičních akcí najednou.

Doba návratnosti vyjadřuje počet měsíců, za které tok příjmů přinese hodnotu rovnající se původním nákladům na investici. Pokud je doba návratnosti kratší než životnost investice, jedná se o investici rentabilní. Vzhledem k tomu, že rozšíření kapacit, je ve většině případů malou investiční akcí, lze dobu návratnosti spočítat velice zjednodušeně:

$$T_s = \frac{N_{PI}}{\Delta Z_i} \quad (4.4)$$

kde: N_{PI} – počáteční investiční náklady na zavedení změny [Kč]

ΔZ_i – změna zisku za daný měsíc po zavedení změny [Kč/měs.]

Další hojně používanou metodou ekonomického zhodnocení je výpočet výnosnosti investice. Výnosnost je ukazatel, který vyjadřuje, jakou částku přinese do podniku jedna investovaná koruna. Po vynásobení stovkou poté procentuální výnosnost investice: (13)

$$V_i = \frac{(\Delta Z_i * T_P) + C_{ZS}}{N_{PI}} \quad (4.5)$$

kde: ΔZ_i – změna zisku za daný měsíc po zavedení změny [Kč/měs.]

T_P – počet měsíců užívání investice [měs.]

C_{ZS} – zůstatková hodnota investice [Kč]

N_{PI} – počáteční investiční náklady na zavedení změny [Kč]

4.5 Práce s programem Optimizer

Program nevyžaduje zvláštní požadavky, pouze je nutné před jeho spuštěním zkontrolovat, zda je v aplikaci Microsoft Excel nainstalována funkce Solver (verze v Českém jazyce je tato funkce nazvána Řešitel). Pokud není nainstalována je třeba si ji doinstalovat. Tato funkce je obsažena v základní verzi aplikace Microsoft Excel, tudíž by její použití nemělo být problémem pro většinu uživatelů.

Pro program Optimizer je vytvořeno automaticky spouštěné výchozí menu, ve kterém je obsažen mimo jiné také podrobný návod k používání programu. Stačí pouze vybrat, kterou z hlavních optimalizačních, či doplňkových funkcí právě uživatel potřebuje. Doplňkové funkce slouží buď k výpočtu údajů potřebných pro pozdější racionalizaci výrobního procesu nebo k ekonomickému zhodnocení dané investice.



Obr. 4.7: Základní menu programu Optimizer

4.5.1 Optimalizace výrobního programu

Tato funkce slouží k výpočtu optimálního výrobního programu podniku při dané výrobní kapacitě. Tento výrobní program však naprostá většina podniků nemá, jelikož optimální výrobní program nemá žádná omezení v oblasti počtu jednotlivých výrobků. Jedinou omezující podmínkou je kapacita zdrojů podniku. Slouží však jako ukazatel, jakým způsobem upravovat výrobní program v rámci omezení daných zákazníky, či v případě nutnosti k rozhodnutí, který výrobek z výrobního programu vypustit.

V programu Optimizer stačí pouze vyplnit tabulky vstupních údajů. V první tabulce vyplníme jednicové časy pro všechny kombinace stroj X výrobek. Pole tabulky, která nejsou využita, zůstanou s nulovou hodnotou a neovlivní samotný výpočet. Druhá tabulka vyjadřuje omezení z hlediska kapacit jednotlivých zdrojů podniku.

Pro samotný výpočet je nutné zadat hodnoty nákladů a prodejních cen na kus u jednotlivých výrobků. Do nákladů je nutné pro jednotlivé výrobky zahrnout také částky, vyplacené kooperujícím firmám.

Dále je nutné vybrat kritérium, dle kterého bude stanovení optimálního programu stanoveno. Výběr kritéria se provede pouze kliknutím na políčko výsledku daného kritéria. V programu jsou uvedena kritéria maximalizace zisku, největšího objemu výroby a nejlepšího možného využití strojů.

Kompletní model podniku je již v programu vytvořen, proto stačí pouze spustit Solver (nachází se v panelu nástrojů). V okně parametrů Solveru lze nastavit omezující podmínky, měněné buňky, či hodnotu kritériální funkce (optimalizace na maximum, minimum, nebo určitou hodnotu). V rozšířeném nastavení (položka Možnosti v okně nastavení parametrů Solveru) je možné nastavit program pro řešení lineárních úloh, nastavení výpočtů s nezápornými čísly atd. Jelikož jsou již vyplněny všechny podmínky nutné pro řešení problému funkcí Solver, stačí pouze zadat příkaz Řešit (v anglické jazykové verzi Excelu Solve). Do příslušných polí v tabulce bude doplněn počet výrobků odpovídající optimálnímu výrobnímu programu za daných podmínek.

OPTIMALIZACE VÝROBNÍHO PROGRAMU																
JEDNOTKOVÉ VÝROBNÍ ČASY to jednotlivé stroje a výrobky (m)		VÝROBKÝ (SKUPINY VÝROBŮ)														
		V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12	V13	V14	V15
STROJE (SKUPINY STROJŮ)	S1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	S2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	S3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	S4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	S5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	S6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	S7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	S8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	S9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	S10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	S11	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	S12	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	S13	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	S14	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	S15	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ZISK NA KS (Kč/ks)		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
NÁKLADY NA KS (Kč/ks)		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
PRODEJNÍ CENA (Kč/ks)		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
POČET VÝROBKŮ		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

KAPACITA STROJŮ (min)	PŮVODNÍ	CELKOVÁ	VYUŽITÁ
S1	0	0	0
S2	0	0	0
S3	0	0	0
S4	0	0	0
S5	0	0	0
S6	0	0	0
S7	0	0	0
S8	0	0	0
S9	0	0	0
S10	0	0	0
S11	0	0	0
S12	0	0	0
S13	0	0	0
S14	0	0	0
S15	0	0	0

ZISK (Kč)	0,00
OBJEM VÝROBY (KS)	0
VOLNÁ KAPACITA (min)	0

POPIS	ZADÁVANÁ HODNOTA
	POPIS - MOŽNO ZMĚNIT
	POPIS - NEMĚNNÝ
	VÝSLEDEK

Obr. 4.8: Model podniku pro optimalizaci výrobního programu

Parametry Řešitele

Nastavit buňku:

Rovno: ☒ Max ☐ Min ☐ Hodnota:

Měněné buňky:

Omezující podmínka:

Obr. 4.9: Parametry funkce Slover pro optimalizaci výrobního programu

Funkce Solver provádí při výpočtu také citlivostní analýzu, jejíž zprávu lze získat při zaškrtnutí příslušné položky ve výsledkovém okně Solveru. Zobrazí se poté jako nový list v aplikaci Microsoft Excel. Současně lze doporučit zaškrtnutí možnosti zobrazení výsledkové zprávy, která se opět zobrazí

v novém listu a dále se již nemění. Takto je možné po úpravách srovnat výsledky původního řešení s výsledky řešení po změně technologie (zkrácení časů operací), změně cen, atd. Jelikož lze v programu Optimalizer počítat s rozšířením výrobních kapacit je možné provést tuto modelovou situaci. Stačí pouze v příslušné tabulce vyplnit rozšíření kapacit jednotlivých zdrojů. Vodítkem při rozšiřování kapacit mohou být stínové ceny znázorněné v citlivostní analýze předchozího výpočtu funkcí Solver. Po provedení nového výpočtu s rozšířenými kapacitami lze s pomocí výsledkových zpráv srovnat výsledky nové analýzy s analýzou před změnou kapacit.



Obr. 4.10: Volba zobrazení výsledků řešení funkce Solver

4.5.2 Optimalizace výrobního profilu

Vzhledem k faktu, že málokterý podnik může stanovit svůj výrobní program, je nutné pro dosažení optima změnit výrobní profil, to znamená změnit kapacity jednotlivých zdrojů. S pomocí funkce optimalizace výrobního profilu, lze určit o kolik je třeba zvýšit, či snížit kapacitu jednotlivých zdrojů. Postup při vyplňování vstupních dat je stejný jako v případě výpočtu optimálního výrobního programu s tím rozdílem, že je nutné doplnit tabulku s omezením počtu jednotlivých výrobků. Zde se vyplňují maximální a minimální množství výrobků poptávané zákazníky. V případě, že není dáno rozpětí v počtu výrobků, ale pevně stanovený počet, vyplní se do příslušných polí maximálního a minimálního počtu stejná hodnota rovnající se poptávanému množství.

Stejně jako u funkce vybereme kritérium, dle kterého bude optimalizace prováděna. Zřejmě nejčastější volbou však bude maximalizace zisku. Po spuštění funkce Solver jsou v okně parametrů doplňující podmínky omezující řešení požadovaným počtem výrobků. Opět jsou všechny parametry již přednastaveny a po spuštění příkazu Řešit jsou do tabulky vyplněny výsledky výpočtu s doplňujícími podmínkami. Pokud funkce nenajde optimální řešení, je možné, že nadefinovaný výrobní program přesahuje možnosti zdrojů podniku. Tedy, že i v případě výroby minimálního požadovaného množství u všech položek výrobního programu, není výrobní kapacita podniku dostačující. Program ve výsledkovém okně volné kapacity vypíše chybějící kapacitu (vyjádřena znaménkem minus). Takovýto případ je však pouze oblastí teorie, jelikož management podniku nesmí dopustit, aby bylo obchodním oddělením nabráno více zakázek, než je podnik schopen vyprodukovat (tedy pokud již není předem naplánováno rozšíření výrobních kapacit podniku).

OPTIMALIZACE VÝROBNÍHO PROFILU

JEDNOTKOVÉ VÝROBNÍ ČASY

ro jednotlivé stroje a výrobky (min)

VÝROBKY (SKUPINY VÝROBŮ)

V1V2V3V4V5V6V7V8V9V10V11V12V13V14V15

STROJE (SKUPINY STROJŮ)

S1S2S3S4S5S6S7S8S9S10S11S12S13S14S15

ZISK NA KS (Kč/ks)

0,00,00,00,00,00,00,00,00,00,00,00,00,00,00,00

NÁKLADY NA KS (Kč/ks)

0,00,00,00,00,00,00,00,00,00,00,00,00,00,00,00

PRODEJNÍ CENA (Kč/ks)

0,00,00,00,00,00,00,00,00,00,00,00,00,00,00,00

POČET VÝROBKŮ

0000000000000000

POŽADOVANÉ POČTY (ks)

V1V2V3V4V5V6V7V8V9V10V11V12V13V14V15

MIN

0000000000000000

MAX

0000000000000000

KAPACITA STROJŮ (min)

PŮVODNÍCELKOVÁVYUŽITÁ

S1S2S3S4S5S6S7S8S9S10S11S12S13S14S15

ZISK (Kč)

0,00

OBJEM VÝROBY (KS)

0

VOLNÁ KAPACITA (min)

0

POPIS

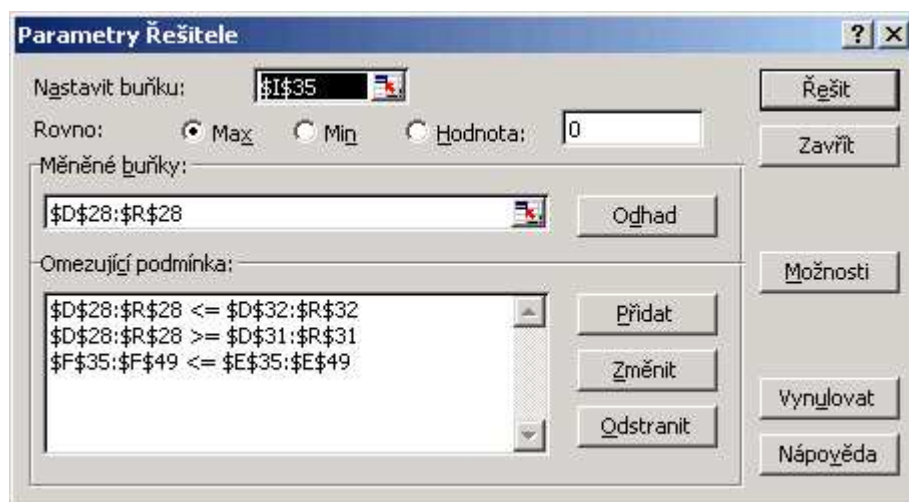
ZADÁVANÁ HODNOTA

POPIS - MOŽNO ZMĚNIT

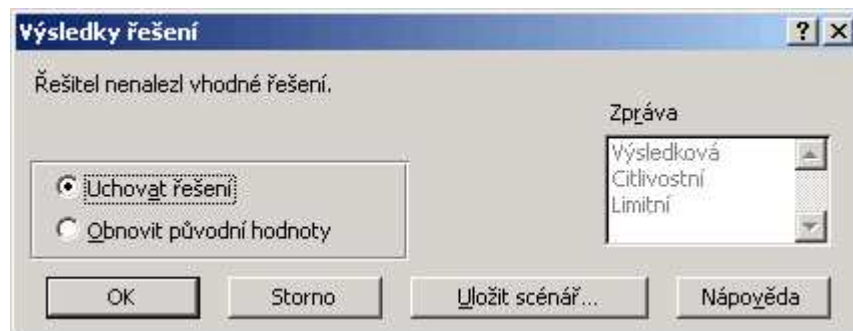
POPIS - NEMĚNNÝ

VÝSLEDEK

Obr. 4.11: Model podniku pro optimalizaci výrobního profilu



Obr. 4.12: Parametry funkce Slover pro optimalizaci výrobního profilu



Obr. 4.13: Funkcí Solver nebylo nalezeno vhodné řešení

ROZŠÍŘENÍ KAPACITY (min)	PŘIDANÁ	VOLNÁ
Soustruh	0	-375
Frézka	0	900
Vrtačka	0	250
Bruska	0	900
S5	0	0
S6	0	0
S7	0	0
S8	0	0
S9	0	0
S10	0	0
S11	0	0
S12	0	0
S13	0	0
S14	0	0
S15	0	0

Obr. 4.14: Nedostatečná kapacita zdroje (Soustruh)

V případě řešení optimálního výrobního profilu je velice důležitá možnost výpočtu s rozšířením kapacit. Již při optimalizačním výpočtu s původní kapacitou byla provedena citlivostní analýza pomocí duální Simplexové metody, při níž byly stanoveny stínové ceny jednotlivých zdrojů. Tyto stínové ceny udávají, o kolik se zvýší celkový zisk podniku při rozšíření kapacity jednotlivých zdrojů o jednotku (zde stanovena jako jednotka pro podrobnější řešení 1 Nmin, či 1 Nhod - dle jednotek vstupních dat). Jsou tedy vodítkem, kde a o kolik zvyšovat výrobní kapacity zdrojů. Samotné zvyšování kapacity je prováděno od zdrojů s nejvyšší stínovou cenou. Zvyšování kapacity má smysl až do takové míry, kdy je stínová cena všech zdrojů nulová. Poté již zvyšování kapacity nepřináší zvýšení zisku podniku.

Microsoft Excel 10.0 Citlivostní zpráva

List: [Optimalizace s omezením.xls]OPTIMALIZACE PROFILU

Zpráva vytvořena: 5.4.2008 13:51:35

Měněné buňky

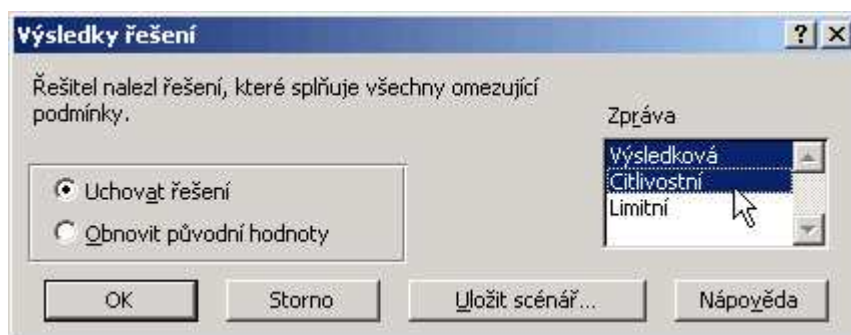
Buňka	Název	Konečná hodnota	Snížené náklady	Cílový koeficient	Povolený nárůst	Povolený pokles	
\$D\$28	POČET VYROBKŮ a	100	-9,4		5	9,4	1E+30
\$E\$28	POČET VYROBKŮ b	100	-6,1		6,5	6,1	1E+30
\$F\$28	POČET VYROBKŮ c	750	0		7,2	1E+30	3,48571429
\$G\$28	POČET VYROBKŮ d	200	-9,9		8,1	9,9	1E+30

Omezující podmínky

Buňka	Název	Konečná hodnota	Stínová cena	Omezující podmínka Pravá strana	Povolený nárůst	Povolený pokles
\$F\$35	soustruh VYUŽITÁ	3250	3,6	3250	100	1100
\$F\$36	frezka VYUŽITÁ	4500	0	4900	1E+30	400
\$F\$37	vrtacka VYUŽITÁ	3625	0	4000	1E+30	375
\$F\$38	bruska VYUŽITÁ	4150	0	5000	1E+30	850

Obr. 4.15: Citlivostní zpráva se stanovením stínových cen zdrojů (výběr)

Výsledky vlastní optimalizace jsou zobrazeny, přímo v tabulce modelující podnik, nebo ve výsledkové zprávě, pokud uživatel zvolí možnost jejího zobrazení. Vlastní volba zobrazení výsledkové zprávy se provádí v okně výsledků řešení funkce řešitel (spolu s volbou zobrazení citlivostní analýzy).



Obr. 4.16: Volba zobrazení výsledkové a citlivostní zprávy

Microsoft Excel 10.0 Výsledková zpráva

List: [Optimalizace s omezením.xls]OPTIMALIZACE PROFILU

Zpráva vytvořena: 7.4.2008 21:06:54

Nastavovaná buňka (Max)

Buňka	Název	Původní hodnota	Konečná hodnota
\$I\$35	Soustruh ZISK (KČ)	0,00	8170,00

Měněné buňky

Buňka	Název	Původní hodnota	Konečná hodnota
\$D\$28	POČET VYROBKŮ A	0	100
\$E\$28	POČET VYROBKŮ B	0	100
\$F\$28	POČET VYROBKŮ C	0	750
\$G\$28	POČET VYROBKŮ D	0	200

Omezující podmínky

Buňka	Název	Hodnota buňky	Vzorec	Stav	Odchylka
\$F\$35	Soustruh VYUŽITÁ	3250	\$F\$35<=\$E\$35	Platí	0
\$F\$36	Frézka VYUŽITÁ	4500	\$F\$36<=\$E\$36	Neplatí	400
\$F\$37	Vrtačka VYUŽITÁ	3625	\$F\$37<=\$E\$37	Neplatí	375
\$F\$38	Bruska VYUŽITÁ	4150	\$F\$38<=\$E\$38	Neplatí	850
\$D\$28	POČET VYROBKŮ A	100	\$D\$28>=\$D\$31	Platí	0
\$E\$28	POČET VYROBKŮ B	100	\$E\$28>=\$E\$31	Platí	0
\$F\$28	POČET VYROBKŮ C	750	\$F\$28>=\$F\$31	Neplatí	550
\$G\$28	POČET VYROBKŮ D	200	\$G\$28>=\$G\$31	Platí	0
\$D\$28	POČET VYROBKŮ A	100	\$D\$28<=\$D\$32	Neplatí	150
\$E\$28	POČET VYROBKŮ B	100	\$E\$28<=\$E\$32	Neplatí	50
\$F\$28	POČET VYROBKŮ C	750	\$F\$28<=\$F\$32	Neplatí	50
\$G\$28	POČET VYROBKŮ D	200	\$G\$28<=\$G\$32	Neplatí	100

Obr. 4.17: Výsledková zpráva (výběr)

ZISK NA KS (Kč/ks)	5,0	6,5	7,2	8,1
NÁKLADY NA KS (Kč/ks)	10,0	5,0	12,0	8,0
PRODEJNÍ CENA (Kč/ks)	15,0	11,5	19,2	16,1
POČET VÝROBKŮ	100	100	750	200
POŽADOVANÉ POČTY (ks)	A	B	C	D
MIN	100	100	200	200
MAX	250	150	800	300

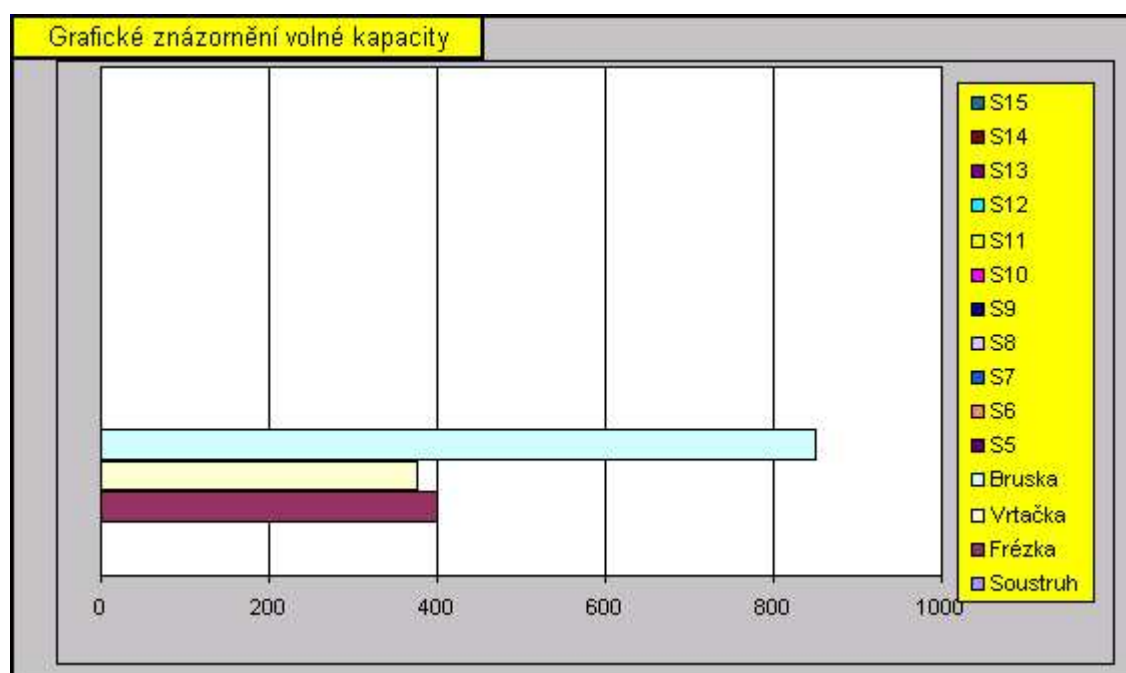
Obr. 4.18: Tabulka výsledků a omezení programu v modelu podniku

Pro výpočet s rozšířenými kapacitami podniku je třeba uvést do příslušné tabulky o kolik bude kapacita jednotlivých zdrojů rozšiřována. Jako vodítko může sloužit buď stínová cena nebo graf využití jednotlivých zdrojů. Kapacitu rozšiřujeme dle hodnoty stínové ceny u jednotlivých zdrojů. Program automaticky počítá zbývající volnou kapacitu jednotlivých zdrojů a skutečně využitou kapacitu. Takto lze snadno stanovit, kolik je třeba přidat u jednotlivých položek výrobního profilu podniku. Graf využití strojů nám ukazuje volnou nevyužitou kapacitu u jednotlivých strojů (skupin strojů). Pokud není u některé položky volná kapacita a současně podnik nevyrábí maximální počty výrobků požadované zákazníky, přinese rozšíření kapacity u této položky zvýšení celkového zisku soustavy. Tato metoda určení rozšíření výrobní kapacity podniku dle grafu je však velice hrubá a její využití nelze doporučit.

Omezující podmínky

Buňka	Název	Konečná hodnota	Stínová cena
\$F\$35	Soustruh VYUŽITÁ	4625	0
\$F\$36	Frézka VYUŽITÁ	5750	0
\$F\$37	Vrtačka VYUŽITÁ	4875	0
\$F\$38	Bruska VYUŽITÁ	5350	0

Obr. 4.19: Nulové stínové ceny všech zdrojů podniku



Obr. 4.20: Graf volných kapacit zdrojů podniku

KAPACITA STROJŮ (min)	PŮVODNÍ	CELKOVÁ	VYUŽITÁ
Soustruh	3250	4625	4625
Frézka	4900	5750	5750
Vrtačka	4000	4875	4875
Bruska	5000	5350	5350

Obr. 4.21: Kapacita zdrojů podniku a její využití

ROZŠÍŘENÍ KAPACITY (min)	PŘIDANÁ	VOLNÁ
Soustruh	1375	0
Frézka	850	0
Vrtačka	875	0
Bruska	350	0

Obr. 4.22: Rozšíření kapacity zdrojů a volná kapacita

Situace znázorněná na předchozích třech obrázcích ilustruje výrobní profil podniku optimalizovaný dle výrobního programu. Důležité je posouzení, zda-li je investice vydaná na rozšíření kapacity zdrojů rentabilní. Tedy zda-li

přinese takové zvýšení zisku, aby bylo možné vydělat si na náklady spojené s touto investicí. Z praxe je známo, že mnoho podniků rozšíří své kapacity aniž by byla tato investice rentabilní, jelikož si nemohou dovolit odmítnout zákazníka. Program Optimalizer obsahuje jednoduché funkce pro ekonomické zhodnocení investičních akcí.

4.5.3 Ekonomické zhodnocení

Jelikož se ve většině případů jedná o menší investiční akce, které budou spláceny v průběhu několika měsíců, je funkce programu Optimalizer pro ekonomické zhodnocení investice velice zjednodušená. Neobsahuje problematiku inflace, čisté současné hodnoty a mnoha dalších ekonomickými faktorů. Pro přesnější zhodnocení je třeba využít jiných programů sloužících pro tyto výpočty. Funkce programu Optimalizer umožňuje zhodnocení z hlediska doby splácení návratnosti investice.

EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ INVESTICE		
Metoda doby splácení		
Počáteční investiční náklady (Kč)	0	Počáteční investiční náklady na rozšíření výrobní kapacity podniku.
Rozdíl zisku po zavedení investice (Kč/měs)	1	Rozdíl zisku počítaný jako rozdíl tržeb a nákladů (také náklady se mohou
Doba splácení v měsících (měs)	0	Počet měsíců, za které tok příjmů přinese hodnotu rovnající se původní
Doba splácení v letech (roky)	0	Počet let, za které tok příjmů přinese hodnotu rovnající se původní n:
Metoda výnosnosti		
Počáteční investiční náklady (Kč)	1	Počáteční investiční náklady na rozšíření výrobní kapacity podniku.
Rozdíl zisku po zavedení investice (Kč/měs)	0	Rozdíl zisku počítaný jako rozdíl tržeb a nákladů (také náklady se mohou
Počet měsíců užívání investice (měs)	0	Počet měsíců, po které je užíváno zařízení pro rozšíření výrobní kapacit
Ústatková hodnota investice po užívání (Kč)	0	Rozdíl zisku počítaný jako rozdíl tržeb a nákladů (také náklady se mohou
Výnosnost (Kč)	0	Vyjadřuje, kolik Kč (haléřů) přinese jedna investovaná koruna.
Výnosnost (%)	0	Vyjadřuje, kolik přinese jedna investovaná koruna v procentech.

Obr. 4.23: Okno funkce pro ekonomické zhodnocení investice - upraveno

4.5.4 Výpočet efektivního časového fondu

Poslední funkcí programu Optimalizer je výpočet efektivního časového fondu, jelikož znalost této hodnoty je nutná pro stanovení omezujících podmínek výrobního profilu při jeho optimalizaci. Efektivní časový fond stroje vyjadřuje jeho kapacitu vyjádřenou v jednotkách času.

Efektivní časový fond – čas pracoviště, využitelný pro výrobu. Vyjadřuje tedy dobu činnosti zařízení v určitém časovém období (obvykle 1. rok):

$$F_{EF} = d * h * p * \left(\frac{1-z}{100}\right) \quad (4.6)$$

kde: d – počet pracovních dnů v roce [dny]
 h – počet pracovních hodin na směnu [hod.]
 r – směnnost [směny]
 z - % nevyhnutelných časových ztrát [%]

Procento nevyhnutelných časových ztrát je závislé na typu výroby, používané technologii, stáří a technickém stavu stroje a mnoha dalších faktorech výrobního procesu. Obvyklá hodnota procenta nevyhnutelných časových ztrát je kolem 5 %.

V některých zdrojích je do výpočtu efektivního časového fondu zahrnut počet vzájemně zaměnitelných pracovišť, který se započítá vynásobením celého vzorce tímto počtem vzájemně zaměnitelných pracovišť.

Rozdíl u této funkce programu Optimalizer je v tom, že efektivní časový fond není počítán pro pevné plánovací období (rok, měsíc, či týden), ale pro libovolné plánovací období, které zadá uživatel počtem dnů.

EFEKTIVNÍ ČASOVÝ FOND

Efektivní (využitelný) časový fond		
Počet dnů plánovacího období (dny)	0	Počet pracovních dnů na které bude výroba plánována
Počet směn (směny)	0	Počet směn v pracovním dni (důle typu provozu 1 - 3)
Počet pracovních hodin na směnu (hod)	0	Počet pracovních hodin v každé směně (obvykle 8 hodin)
Počet vzájemně zaměnitelných pracovišť	0	Počet technologických pracovišť, která lze mezi sebou libov
Procento nevyhnutelných časových ztrát (%)	0	Procento ztrát, které vznikají v důsledku poruch, oprav či úč
Efektivní časový fond (min)	0,00	Využitelný časový fond stroje pro plánovací období
Efektivní časový fond (hod)	0,00	

Obr. 4.24: Okno funkce pro výpočet efektivního časového fondu - upraveno

4.5.5 Porovnání výsledků

Jak již bylo uvedeno, vzorový příklad vypočtený programem Optimalizer je převzat z učebnice prof. Kocmana Speciální technologie obrábění (5), kde byl řešen programem Statgraphics. Takto je možné porovnat výsledky zjištěné oběma programy. Zadání příkladu je uvedeno v tab. 4.1.

Tab. 4.1: Zadání příkladu

	Potřeba času pro zhotovení operace u výrobku [min]				Disponibilní fond stroje [min]
	A	B	C	D	
Soustruh	4,0	3,5	2,0	5,0	3250
Frézka	3,0	4,0	4,0	4,0	4900
Vrtačka	2,5	3,0	2,5	6,0	4000
Bruska	1,0	2,0	3,0	8,0	5000
Min. vyrobít [ks]	100	100	200	200	
Max. vyrobít [ks]	250	150	800	300	
Zisk na kus [Kč]	5,0	6,5	7,2	8,1	

Úkolem je zjistit, kolik výrobků jednotlivých druhů je třeba vyrábět, aby bylo dosaženo maximálního zisku, jaký bude v tomto případě zisk a jaká bude

nevyužitá kapacita u jednotlivých strojů. Na následujících obrázcích je zachyceno řešení programy Statgraphics a Optimizer. Výsledková zpráva programu Optimizer byla upravena a na obrázku je pouze část výsledkových hodnot. Pro porovnání je uvedena také část limitní zprávy programu Optimizer, kde je možné srovnat vypočtené stínové ceny s výpočtem programu Statgraphics, který také provádí analýzu pomocí duální úlohy ke zjištění stínových cen jednotlivých zdrojů.

JEDNOTKOVÉ VÝROBNÍ ČASY pro jednotlivé stroje a výrobky (min)					
STROJE (SKUPINY STROJŮ)		A	B	C	D
	Soustruh	4,0	3,5	2,0	5,0
	Frézka	3,0	4,0	4,0	4,0
	Vrtačka	2,5	3,0	2,5	6,0
	Bruska	1,0	2,0	3,0	8,0
	S5	0,0	0,0	0,0	0,0
	S6	0,0	0,0	0,0	0,0
	S7	0,0	0,0	0,0	0,0
	S8	0,0	0,0	0,0	0,0
	S9	0,0	0,0	0,0	0,0
	S10	0,0	0,0	0,0	0,0
	S11	0,0	0,0	0,0	0,0
	S12	0,0	0,0	0,0	0,0
	S13	0,0	0,0	0,0	0,0
	S14	0,0	0,0	0,0	0,0
	S15	0,0	0,0	0,0	0,0
ZISK NA KS (Kč/ks)		5,0	6,5	7,2	8,1
NÁKLADY NA KS (Kč/ks)		10,0	5,0	12,0	8,0
PRODEJNÍ CENA (Kč/ks)		15,0	11,5	19,2	16,1
POČET VÝROBKŮ		0	0	0	0
POŽADOVANÉ POČTY (ks)		A	B	C	D
MIN		100	100	200	200
MAX		250	150	800	300
KAPACITA STROJŮ (min)		PŮVODNÍ	CELKOVÁ	VYUŽITÁ	
Soustruh		3250	3250	0	
Frézka		4900	4900	0	
Vrtačka		4000	4000	0	
Bruska		5000	5000	0	

Obr. 4.25: Zadání úkolu v programu Optimizer

Microsoft Excel 10.0 Výsledková zpráva**List: [Optimalizace s omezením.xls]OPTIMALIZACE PROFILU****Zpráva vytvořena: 7.4.2008 21:06:54**

Nastavovaná buňka (Max)

Buňka	Název	Původní hodnota	Konečná hodnota
\$I\$35	Soustruh ZISK (KČ)	0,00	8170,00

Měněné buňky

Buňka	Název	Původní hodnota	Konečná hodnota
\$D\$28	POČET VÝROBKŮ A	0	100
\$E\$28	POČET VÝROBKŮ B	0	100
\$F\$28	POČET VÝROBKŮ C	0	750
\$G\$28	POČET VÝROBKŮ D	0	200

Omezující podmínky

Buňka	Název	Hodnota buňky	Stav	Odchylka
\$F\$35	Soustruh VYUŽITÁ	3250	Platí	0
\$F\$36	Frézka VYUŽITÁ	4500	Neplatí	400
\$F\$37	Vrtáčka VYUŽITÁ	3625	Neplatí	375
\$F\$38	Bruska VYUŽITÁ	4150	Neplatí	850

Microsoft Excel 10.0 Citlivostní zpráva**List: [Optimalizace s omezením.xls]OPTIMALIZACE PROFILU****Zpráva vytvořena: 5.4.2008 13:51:35**

Omezující podmínky

Buňka	Název	Konečná hodnota	Stínová cena
\$F\$35	soustruh VYUŽITÁ	3250	3,6
\$F\$36	frezka VYUŽITÁ	4500	0
\$F\$37	vrtacka VYUŽITÁ	3625	0
\$F\$38	bruska VYUŽITÁ	4150	0

Obr. 4.26: Výsledková a citlivostní zpráva programu Optimizer (výběr)

Full-Screen Simplex Procedure									
MAX: s.t.	5,0	X1+6,5	X2+7,2	X3+8,1	X4+0,0	X5+0,0	X6+0,0	X7	
1	3,5	2,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	<	3250
2	4,0	4,0	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	<	4900
3	3,0	2,5	6,0	0,0	0,0	0,0	0,0	<	4000
4	2,0	3,0	8,0	0,0	0,0	0,0	0,0	<	5000
5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	>	100
6	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	>	100
7	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	>	200
8	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	>	200
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	<	250
10	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	<	150
11	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	<	800
12	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	<	300

Obr. 4.27: Zadání úlohy v programu Statgraphics (5)

Final solution reached after 7 pivots.
Maximum value of objective function=8170

variable	value
X1	100,000000
X2	100,000000
X3	750,000000
X4	200,000000
slack	value
S1	0,000000
S2	400,000000
S3	375,000000
S4	850,000000
S9	150,000000
S10	50,000000
S11	50,000000
S12	100,000000
plus	value
S5	0,000000
S6	0,000000
S7	500,000000
S8	0,000000
constraint	shadow price
S1	3,600000
S2	0,000000
S3	0,000000
S4	0,000000
S5	9,400000
S6	6,100000
S7	0,000000
S8	9,900000
S9	0,000000
S10	0,000000
S11	0,000000
S12	0,000000

Obr. 4.28: Výsledné řešení úlohy v programu Statgraphics (5)

Při porovnání výsledků vypočtených oběma příklady vidíme, že jak program Optimalizer, tak výpočetní software Statgraphics došly ke stejnému řešení, že nejvyšší zisk 8170 Kč bude při výrobě 100 ks výrobku A, 100 ks výrobku B, 750 ks výrobku C a 200 ks výrobku D. Volné kapacity byly v obou případech 0 min pro soustruh, 400 min pro frézku, 375 min pro vrtačku a 850 min. v případě brusky. Shodné byly i výsledné hodnoty stínových cen (3,6

Kč/Nmin u soustruhu, u zbývajících strojů nulové). Programem Optimalizer bylo poté spočítáno, kolik je třeba přidat kapacit, aby stínové ceny všech zdrojů byly nulové, tedy aby byl stanoven optimální výrobní profil:

Celková kapacita jednotlivých zdrojů:

Soustruh – 4625 min (přidáno 1375 min)

Frézka – 5750 min (přidáno 850 min)

Vrtačka – 4875 min (přidáno 875 min)

Bruska – 5350 min (přidáno 350 min)

Počty jednotlivých výrobků (či skupin výrobků) výrobků:

Výrobek A – 250 ks

Výrobek B – 150 ks

Výrobek C – 800 ks

Výrobek D – 300 ks

Zisk soustavy: 10415 Kč

Problémem závisejícím na konkrétní situaci podniku je, o kolik a jakým způsobem rozšířit kapacitu jednotlivých zdrojů, aby bylo toto rozšíření rentabilní a náklady na rozšíření nebyly neúměrné růstu zisku soustavy. Program Optimalizer poslouží výpočtem ideálního výrobního programu, pro jakoukoliv zadanou kapacitu výrobního profilu podniku, výpočtem zisku soustavy a stanovením o kolik kapacitu jednotlivých zdrojů rozšířit pro stanovení optimálního profilu. Všechna tato data zadávaná v jednotlivých krocích můžeme najednou porovnat, jelikož výsledky těchto kroků zůstávají v uložených výsledkových a citlivostních zprávách, které jsou přístupné v samostatných listech.

5 OVĚŘENÍ NA PŘÍKLADU

5.1 Zadání příkladu

Data příkladu byla poskytnuta firmou Kovos, spol. s r.o., která se zabývá výrobou tzv. drátěného programu (koše, vozíky, prodejní stojany, nasazovací rámy na palety apod.). Jelikož byla data přebírána z výrobních postupů a kalkulací vypracovaných dle norem daných firmou byly nutné mírné úpravy jak vstupních dat, tak výpočtového programu Optimalizer.



Obr. 5.1: Sídlo společnosti Kovos, spol. s r.o.

Pro výpočet nebyla převzata data z kompletní produkce firmy, ale pouze část produkce podobných výrobků na shodných strojích, kterou lze uvažovat jako oddělenou. Současně jsou určeny pro jednoho zákazníka. Problémem je,

že firma není schopna splnit veškeré požadavky zákazníka a je tak donucena přenechat část výroby konkurenčním podnikům. Požadavkem bylo odhalit úzké místo ve výrobě a navrhnout rozšíření jeho kapacity. Volné kapacity, které zůstanou i po rozšíření úzkého místa na ostatních zdrojích budou využity na podporu jiné výroby. Převzatá vstupní data byla rozdělena do skupin dle jednotlivých užívaných strojů či pracovišť. Jelikož bylo na některých strojích prováděno u výrobků více operací, byly tyto časy sečteny, aby bylo možné zjistit skutečné využití daného stroje či pracoviště pro jednotlivé výrobky. V uvedených časech jsou již započteny přídatky časů směnového a dávkového. U zadaných kapacit strojů a pracovišť jsou započítány případné ztráty, které jsou ve firmě obvyklé. Samotné výrobní postupy nebudou na přání představitelů firmy Kovos uváděny.



Obr. 5.2: Výrobní hala společnosti Kovos, spol. s r.o.

Program Optimalizer prošel pouze jednoduchou úpravou, jelikož jednotkové výrobní časy pro jednotlivé výrobky byly zadávány v sekundách a ne

minutách, jak bylo původně v programu Optimalizer definováno. Velikost tabulek vstupních údajů nebylo nutno vzhledem k roztřídění operací dle jednotlivých strojů či pracovišť a malému počtu výrobků rozšiřovat.

Upravená data, převzatá z výrobních postupů jednotlivých výrobků, jsou uvedena v následující tabulce 5.1.

Tab. 5.1: Roztříděná vstupní data

Výrobní časy (s)		Výrobky		
		Síto	Rošt 1	Rošt 2
Stroje, pracoviště	Nůžky 1 - krácení	11,5	6,2	24,5
	Odjehlení	106,5	0,0	71,5
	Ohraňovací lis	53,0	36,0	96,0
	Bodování BP 80	341,0	296,0	84,0
	Nůžky 2 - ostříh	105,0	160,0	0,0
	Očištění	25,0	97,0	0,0
	Bodování BP 40	210,0	210,0	260,0
	Svařování TIG	0,0	300,0	84,0
	Balení + Kontrola	52,0	48,0	50,4
Požadované počty výrobků (ks)				
	Minimální	400,0	1100,0	2000,0
	Maximální	1000,0	1100,0	3000,0

Zákazníkem jsou stanoveny přesné požadavky na počty jednotlivých výrobků, a tato množství jsou v programu Optimalizer zadána jako výrobní maximum. Jako minimum jsou potom zadány počty výrobků skutečně vyráběné v současnosti firmou Kovos. Rozdíl v počtech je množství, které je vyráběno konkurenčními podniky.

JEDNOTKOVÉ VÝROBNÍ ČASY pro jednotlivé stroje a výrobky (s)				
STROJE (SKUPINY STROJŮ)		Ner. síto	Rošt 1	Rošt 2
	Nůžky 1 - krácení	11,5	6,2	24,5
	Odjehlení	106,5	0,0	71,5
	Ohranovací lis	53,0	36,0	96,0
	Bodovačka BP 80	341,0	296,0	84,0
	Nůžky 2 - ostříh	105,0	160,0	0,0
	Očištění	25,0	97,0	0,0
	Bodovačka BP 40	210,0	210,0	260,0
	Svařování TIG	0,0	300,0	84,0
	Balení + Kontrola	52,0	48,0	50,4
	S10	0,0	0,0	0,0
	S11	0,0	0,0	0,0
	S12	0,0	0,0	0,0
	S13	0,0	0,0	0,0
	S14	0,0	0,0	0,0
	S15	0,0	0,0	0,0
ZISK NA KS (Kč/ks)		50,0	30,0	20,0
NÁKLADY NA KS (Kč/ks)		400,0	230,0	190,0
PRODEJNÍ CENA (Kč/ks)		450,0	260,0	210,0
POČET VÝROBKŮ		0	0	0
POŽADOVANÉ POČTY (ks)		Ner. síto	Rošt 1	Rošt 2
MIN		400	1100	2000
MAX		1000	1100	3000
KAPACITA STROJŮ (s)		PŮVODNÍ	CELKOVÁ	VYUŽITÁ
Nůžky 1 - krácení		630000	630000	0
Odjehlení		630000	630000	0
Ohranovací lis		630000	630000	0
Bodovačka BP 80		630000	630000	0
Nůžky 2 - ostříh		630000	630000	0
Očištění		630000	630000	0
Bodovačka BP 40		1260000	1260000	0
Svařování TIG		1260000	1260000	0
Balení + Kontrola		630000	630000	0

Obr. 5.3: Zadání vstupních dat v programu Optimizer

5.2 První krok analýzy

Hned první analýzou za pomoci programu Optimizer bylo odhaleno, který ze zdrojů má příliš nízkou výrobní kapacitu a tvoří tedy úzké místo. Předpokládalo se (nebo spíše bylo známo), že nedostatečnou kapacitu měla

řadová bodovačka, sloužící na výrobu drátěných sítí (ve výrobním postupu označená BP80). Nedostatečná kapacita tohoto stroje způsobovala problémy ve všech výrobních řadách. Otázkou však je, o kolik rozšířit kapacitu zdroje, aby nebylo nutné přenechávat část zakázky konkurenci. Vypočítané množství výrobků samozřejmě udává počet výrobků vyráběný v současnosti. Tedy ze zadání minimální počet požadovaný zákazníkem.

Microsoft Excel 10.0 Výsledková zpráva

List: [Kovos.xls]OPTIMALIZACE PROFILU

Zpráva vytvořena: 25.4.2008 15:19:26

Nastavovaná buňka (Max)

Buňka	Název	Původní hodnota	Konečná hodnota
\$I\$35	Nůžky 1 - krácení ZISK (KČ)	0,00	93000,00

Měněné buňky

Buňka	Název	Původní hodnota	Konečná hodnota
\$D\$28	POČET VÝROBKŮ Ner. síto	0	400
\$E\$28	POČET VÝROBKŮ Rošt 1	0	1100
\$F\$28	POČET VÝROBKŮ Rošt 2	0	2000

Omezující podmínky

Buňka	Název	Hodnota buňky	Vzorec	Stav	Odchylka
\$F\$35	Nůžky 1 - krácení VYUŽITÁ	60420	\$F\$35<=\$E\$35	Neplatí	569580
\$F\$36	Odjehlení VYUŽITÁ	185600	\$F\$36<=\$E\$36	Neplatí	444400
\$F\$37	Ohranovací lis VYUŽITÁ	252800	\$F\$37<=\$E\$37	Neplatí	377200
\$F\$38	Bodovačka BP 80 VYUŽITÁ	630000	\$F\$38<=\$E\$38	Platí	0
\$F\$39	Nůžky 2 - ostříh VYUŽITÁ	218000	\$F\$39<=\$E\$39	Neplatí	412000
\$F\$40	Očištění VYUŽITÁ	116700	\$F\$40<=\$E\$40	Neplatí	513300
\$F\$41	Bodovačka BP 40 VYUŽITÁ	835000	\$F\$41<=\$E\$41	Neplatí	425000
\$F\$42	Svařování TIG VYUŽITÁ	498000	\$F\$42<=\$E\$42	Neplatí	762000
\$F\$43	Balení + Kontrola VYUŽITÁ	174400	\$F\$43<=\$E\$43	Neplatí	455600

Obr. 5.4: Výsledková zpráva po prvním kroku analýzy

ROZŠÍŘENÍ KAPACITY (min)	PŘIDANÁ	VOLNÁ
Nůžky 1 - krácení	0	569580
Odjehlení	0	444400
Ohranovací lis	0	377200
Bodovačka BP 80	0	0
Nůžky 2 - ostříh	0	412000
Očištění	0	513300
Bodovačka BP 40	0	425000
Svařování TIG	0	762000
Balení + Kontrola	0	455600

Obr. 5.5: Tabulka využití kapacity zdrojů po prvním kroku analýzy

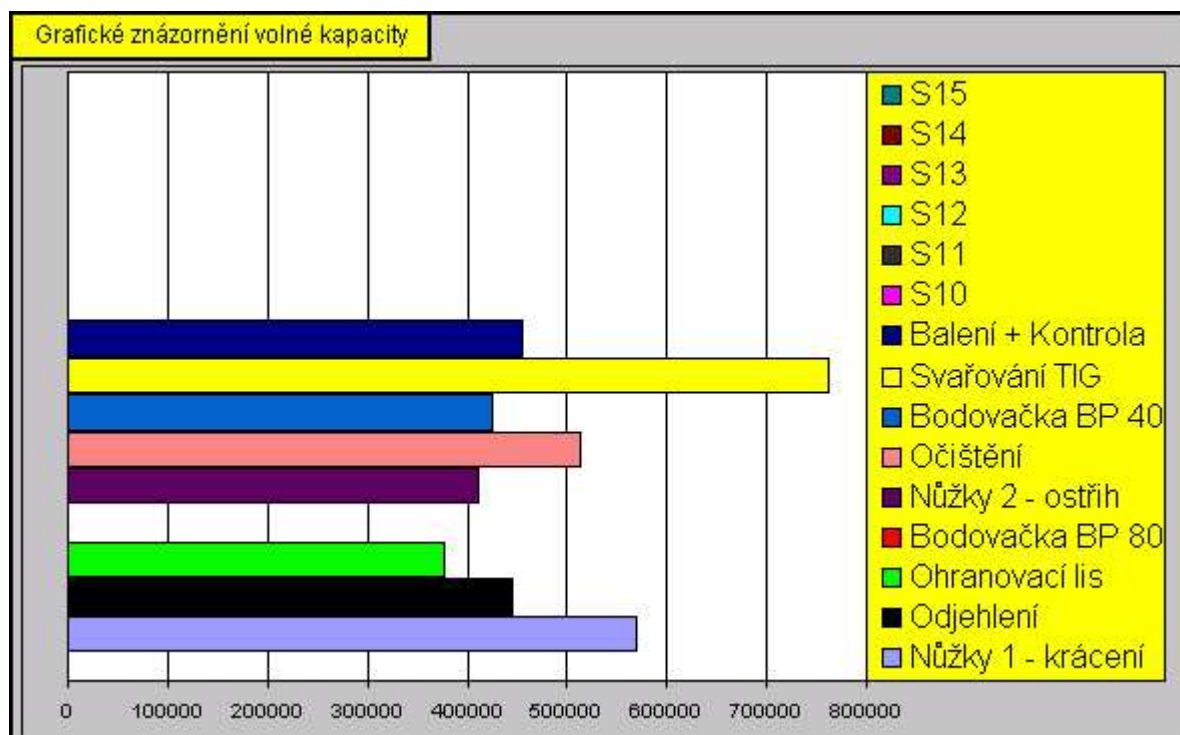
Microsoft Excel 10.0 Citlivostní zpráva
 List: [Kovos.xls]OPTIMALIZACE PROFILU
 Zpráva vytvořena: 25.4.2008 15:19:27
 Měněné buňky

Buňka	Název	Konečná hodnota	Snížené náklady	Cílový koeficient	Povolený pokles
\$D\$28	POČET VÝROBKŮ Ner. sít	400	-31	50	1E+30
\$E\$28	POČET VÝROBKŮ Rošt 1	1100	-40	30	1E+30
\$F\$28	POČET VÝROBKŮ Rošt 2	2000	0	20	7,6832845

Omezující podmínky

Buňka	Název	Konečná hodnota	Stínová cena	Omezující podmínka Pravá strana	Povolený pokles
\$F\$35	Nůžky 1 - krácení VYUŽITÁ	60420	0	630000	569580
\$F\$36	Odjehlení VYUŽITÁ	185600	0	630000	444400
\$F\$37	Ohranovací lis VYUŽITÁ	252800	0	630000	377200
\$F\$38	Bodovačka BP 80 VYUŽITÁ	630000	0,2380952	630000	0
\$F\$39	Nůžky 2 - ostříh VYUŽITÁ	218000	0	630000	412000
\$F\$40	Očištění VYUŽITÁ	116700	0	630000	513300
\$F\$41	Bodovačka BP 40 VYUŽITÁ	835000	0	1260000	425000
\$F\$42	Svařování TIG VYUŽITÁ	498000	0	1260000	762000
\$F\$43	Balení + Kontrola VYUŽITÁ	174400	0	630000	455600

Obr. 5.6: Citlivostní zpráva po prvním kroku analýzy



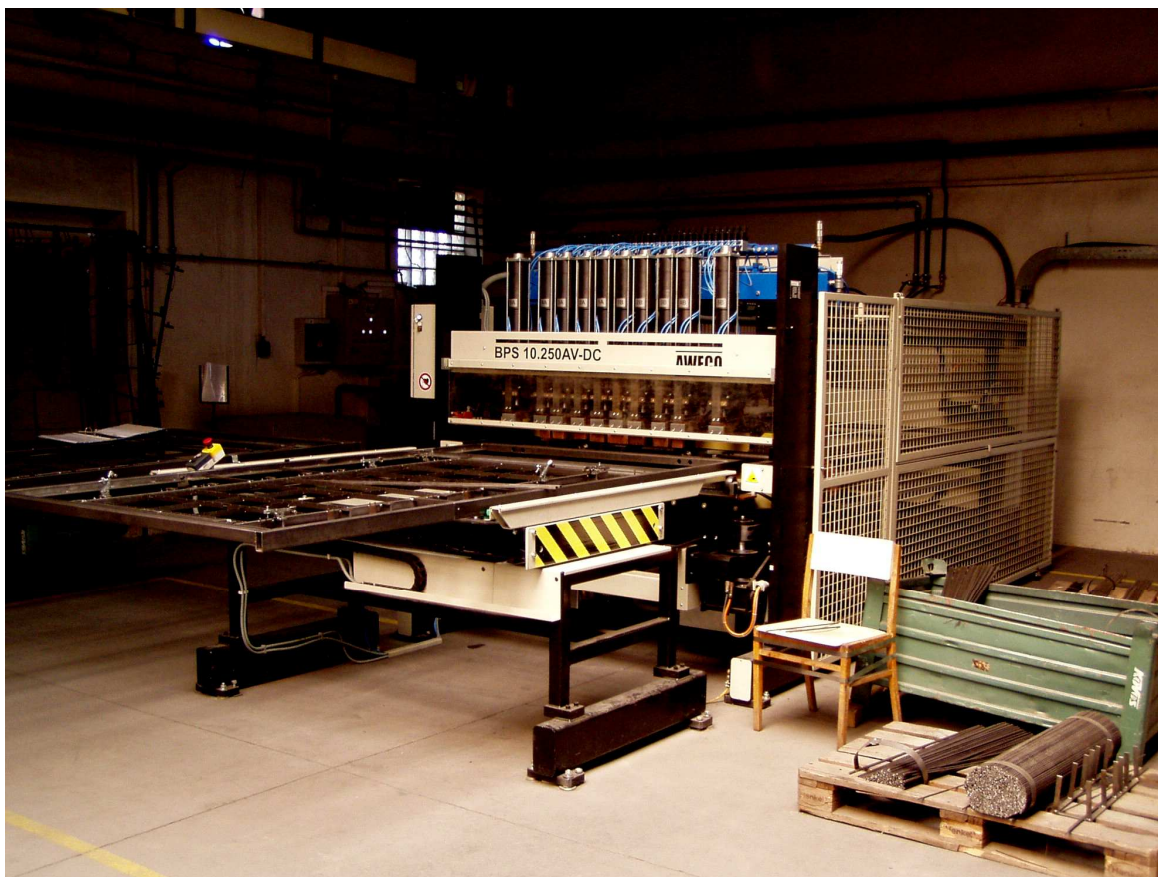
Obr. 5.7: Graf volné kapacity zdrojů po prvním kroku analýzy

Z citlivostní zprávy, tabulky využití kapacity zdrojů a grafu volných kapacit je patrné, že přesně jak bylo předpokládáno byla kapacita řadové bodovačky BP80 nedostatečná. Též její stínová cena nebyla nulová. Zvýšení kapacity tohoto zdroje tedy přinese růst zisku celé soustavy. Zisk soustavy se bude zvyšovat až do doby, dokud nebude stínová cena všech zdrojů nulová, tedy dokud nebude dosaženo optima. Bylo tedy nutné jakýmkoliv způsobem zvýšit kapacitu řadové bodovačky. A jelikož převážná většina výrobků produkovaných firmou obsahuje drátěné sítě, bylo rozhodnuto o nákupu nového stroje, což vede ke zdvojnásobení kapacity tohoto pracoviště. Pokud bude i nadále kapacita těchto řadových bodovaček nedostatečná, bude za pomoci programu Optimalizer stanoveno optimální výrobní množství jednotlivých výrobků. Pokud bude kapacita dostačující bude programem Optimalizer stanoveno potřebné množství kapacit pro tuto výrobu a zbývající volná kapacita bude využita pro jinou výrobu. K jednomu z těchto závěrů je možné dospět po druhém kroku analýzy.

5.3 Druhý krok analýzy

V prvním kroku analýzy bylo odhaleno úzké místo ve výrobě. Bylo již předem přijato rozhodnutí o koupi nového výrobního zařízení pro rozšíření kapacity pracoviště tvořícího toto úzké místo. Vzhledem k tomu, že je nové výrobní zařízení podobného typu jako stávající, jsou jednotkové výrobní časy na novém a starém stroji shodné. A proto lze počítat s rozšířením stávající kapacity na dvojnásobek a ve druhém kroku bude počítáno se zdvojnásobenou kapacitou řadové bodovačky BP80, což je nutné zadat před vlastní analýzou do příslušné tabulky programu Optimalizer. Výsledkem bude, buď stanovení optimálního výrobního programu při daném profilu, pokud bude nová kapacita nadále nedostačující, či stanovení volné kapacity, která bude využita pro jinou výrobu, pokud bude rozšířená kapacita pro výrobu dostačující.

Na následujících obrázcích jsou znázorněny výsledky po druhém kroku analýzy za pomoci programu Optimalizer.



Obr. 5.8: Nová řadová bodovačka

ROZŠÍŘENÍ KAPACITY (min)	PŘIDANÁ	VOLNÁ
Nůžky 1 - krácení	0	630000
Odjehlení	0	630000
Ohranovací lis	0	630000
Bodovačka BP 80	630000	1260000
Nůžky 2 - ostříh	0	630000
Očištění	0	630000
Bodovačka BP 40	0	1260000
Svařování TIG	0	1260000
Balení + Kontrola	0	630000

Obr. 5.9: Zadání rozšířené kapacity v programu Optimizer

Microsoft Excel 10.0 Výsledková zpráva**List: [Kovos.xls]OPTIMALIZACE PROFILU****Zpráva vytvořena: 25.4.2008 15:19:37**

Nastavovaná buňka (Max)

Buňka	Název	Původní hodnota	Konečná hodnota
\$I\$35	ZISK (KČ)	93000,00	143000,00

Měněné buňky

Buňka	Název	Původní hodnota	Konečná hodnota
\$D\$28	POČET VÝROBKŮ Ner. síto	400	1000
\$E\$28	POČET VÝROBKŮ Rošt 1	1100	1100
\$F\$28	POČET VÝROBKŮ Rošt 2	2000	3000

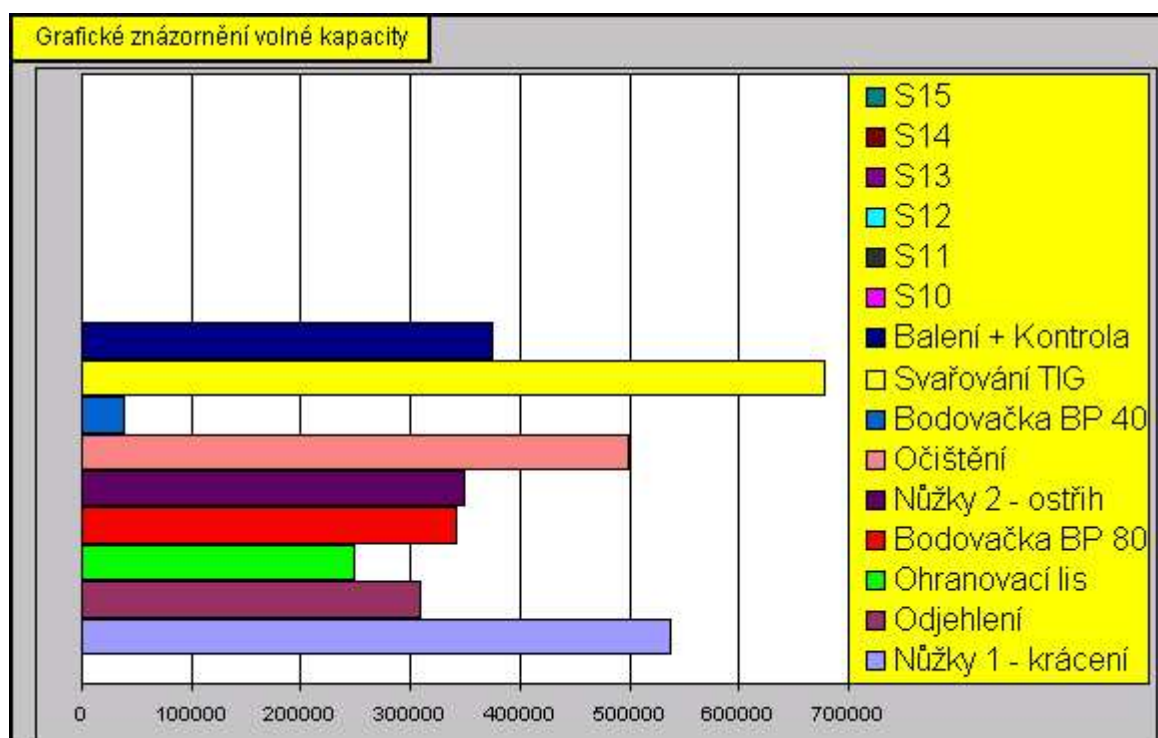
Omezující podmínky

Buňka	Název	Hodnota buňky	Vzorec	Stav	Odchyłka
\$F\$35	Nůžky 1 - krácení VYUŽITÁ	91820	\$F\$35<=\$E\$35	Neplatí	538180
\$F\$36	Odjehlení VYUŽITÁ	321000	\$F\$36<=\$E\$36	Neplatí	309000
\$F\$37	Ohranovací lis VYUŽITÁ	380600	\$F\$37<=\$E\$37	Neplatí	249400
\$F\$38	Bodovačka BP 80 VYUŽITÁ	918600	\$F\$38<=\$E\$38	Neplatí	341400
\$F\$39	Nůžky 2 - ostříh VYUŽITÁ	281000	\$F\$39<=\$E\$39	Neplatí	349000
\$F\$40	Očištění VYUŽITÁ	131700	\$F\$40<=\$E\$40	Neplatí	498300
\$F\$41	Bodovačka BP 40 VYUŽITÁ	1221000	\$F\$41<=\$E\$41	Neplatí	39000
\$F\$42	Svařování TIG VYUŽITÁ	582000	\$F\$42<=\$E\$42	Neplatí	678000
\$F\$43	Balení + Kontrola VYUŽITÁ	256000	\$F\$43<=\$E\$43	Neplatí	374000
\$D\$28	POČET VÝROBKŮ Ner. síto	1000	\$D\$28>=\$D\$31	Neplatí	600
\$E\$28	POČET VÝROBKŮ Rošt 1	1100	\$E\$28>=\$E\$31	Platí	0
\$F\$28	POČET VÝROBKŮ Rošt 2	3000	\$F\$28>=\$F\$31	Neplatí	1000
\$D\$28	POČET VÝROBKŮ Ner. síto	1000	\$D\$28<=\$D\$32	Platí	0
\$E\$28	POČET VÝROBKŮ Rošt 1	1100	\$E\$28<=\$E\$32	Platí	0
\$F\$28	POČET VÝROBKŮ Rošt 2	3000	\$F\$28<=\$F\$32	Platí	0

Obr. 5.10: Výsledková zpráva po druhém kroku analýzy

KAPACITA STROJŮ (s)	PŮVODNÍ	CELKOVÁ	VYUŽITÁ	VOLNÁ
Nůžky 1 - krácení	630000	630000	91820	538180
Odjehlení	630000	630000	321000	309000
Ohranovací lis	630000	630000	380600	249400
Bodovačka BP 80	630000	1260000	918600	341400
Nůžky 2 - ostříh	630000	630000	281000	349000
Očištění	630000	630000	131700	498300
Bodovačka BP 40	1260000	1260000	1221000	39000
Svařování TIG	1260000	1260000	582000	678000
Balení + Kontrola	630000	630000	256000	374000

Obr. 5.11: Tabulka využití kapacity zdrojů po druhém kroku analýzy



Obr. 5.12: Graf volných kapacit po druhém kroku analýzy

Microsoft Excel 10.0 Citlivostní zpráva
 List: [Kovos.xls]OPTIMALIZACE PROFILU
 Zpráva vytvořena: 25.4.2008 15:19:37
 Měněné buňky

Buňka	Název	Konečná hodnota	Snížené náklady	Cílový koeficient	Povolený pokles
\$D\$28	POČET VÝROBKŮ Ner. síto	1000	50	50	50
\$E\$28	POČET VÝROBKŮ Rošt 1	1100	30	30	1E+30
\$F\$28	POČET VÝROBKŮ Rošt 2	3000	20	20	20

Omezující podmínky

Buňka	Název	Konečná hodnota	Stínová cena	Omezující podmínka Pravá strana	Povolený pokles
\$F\$35	Nůžky 1 - krácení VYUŽITÁ	91820	0	630000	538180
\$F\$36	Odjehlení VYUŽITÁ	321000	0	630000	309000
\$F\$37	Ohranovací lis VYUŽITÁ	380600	0	630000	249400
\$F\$38	Bodovačka BP 80 VYUŽITÁ	918600	0	1260000	341400
\$F\$39	Nůžky 2 - ostříh VYUŽITÁ	281000	0	630000	349000
\$F\$40	Očištění VYUŽITÁ	131700	0	630000	498300
\$F\$41	Bodovačka BP 40 VYUŽITÁ	1221000	0	1260000	39000
\$F\$42	Svařování TIG VYUŽITÁ	582000	0	1260000	678000
\$F\$43	Balení + Kontrola VYUŽITÁ	256000	0	630000	374000

Obr. 5.13: Citlivostní zpráva po druhém kroku analýzy

Z citlivostní zprávy, tabulky využití kapacity zdrojů a grafu volných kapacit je patrné, že po zakoupení nového stroje je rozšířená kapacita pracoviště pro výrobu drátěných sítí dostatečná. Dokonce není ani zcela využita nová kapacita zdroje a je tedy možné část kapacity použít pro jinou výrobu.

5.4 Výsledek analýzy

Z tabulky využití kapacity zdrojů a z citlivostní zprávy je možné vyčíst volné kapacity, které je možno využít na výrobu jiných produktů. Konkrétně u pracoviště s rozšířenou kapacitou je nevyužitá kapacita 341400 sekund na měsíc (údaj s vyšší vypovídací hodnotou je 5690 minut či 94,8 hodiny měsíčně). V citlivostní zprávě je vidět, že stínová cena všech zdrojů je nulová.

Z grafu volné kapacity je patrné, že pokud by bylo zvýšeno poptávané množství jednotlivých výrobků zákazníkem, hrozilo by nebezpečí vzniku úzkého místa u bodovačky BP 40, kde volná kapacita je již pouze 650 minut měsíčně. Těchto bodovaček však firma Kovos vlastní větší počet a nejsou všechny plně využity. Rozšíření kapacity na tomto pracovišti by tedy nebylo příliš obtížné.

Růst měsíčního zisku po zavedení změny lze lehce zjistit srovnáním výsledků prvního a druhého kroku analýzy. V tomto konkrétním případě je růst zisku na vybraných výrobních řadách 50000 Kč měsíčně. Hlubší ekonomickou analýzu investice nelze provést, jelikož není znám růst zisku celé společnosti po zavedení investice. Výhodou je, že obsluhu obou strojů zvládne jeden pracovník, tudíž investice nepřináší další zvýšení nákladů na mzdy zaměstnanců. Cena řadové bodovačky byla 1970000 Kč. Pokud by bylo k ekonomickému zhodnocení použito pouze zvýšení zisku z této výroby, byla by doba splácení stoje 39 měsíců, tedy zhruba 3,3 roku. Avšak ve skutečnosti je výrobní kapacita nevyužitá pro tuto výrobu použita na produkci dalších řad výrobků. Započítání zvýšení zisku u zbývajících výrobních řad využívajících nové bodovačky, by dobu splácení investice zkrátilo.

6 ZÁVĚR

Tématem diplomové práce, bylo téma optimalizace výrobního profilu a výrobního programu. Hlavním úkolem byla tvorba software, sloužícího na jedné straně ke stanovení optimálního výrobního programu a na straně druhé k výpočtu potřebných výrobních kapacit pro stanovený výrobní program. Jedním z požadavků, kladených na vlastní software, bylo sloučení těchto dvou funkcí, aby byl možný výpočet potřebné kapacity při výrobním programu, který není definován přesnými počty, ale určitými rozsahy počtu kusů. Software tedy musí zvládat výpočet optimálního programu a potřebné kapacity zdrojů v jednom kroku. Posledními požadavky na samotný software byla uživatelská jednoduchost (user friendly) a cenová dostupnost.

V první části této diplomové práce bylo pojednáno o problematice optimalizace a vlivu optimalizace na efektivitu výrobního procesu. Byl vyhraněny tři základní směry optimalizace a současně probrán historický vývoj optimalizačních procesů.

Druhá část diplomové práce obsahovala návrh jednotlivých možných způsobů řešení dané problematiky. Všechny navrhované způsoby jsou moderní a v současnosti hojně používané. Při výběru konečné užití varianty byl brán ohled na všechny požadavky, definované v předchozích odstavcích.

Jedním z navrhovaných způsobů byla optimalizace s pomocí specializovaných simulačních programů. Po rozboru historického vývoje, výhod a nevýhod těchto programů bylo toto řešení zavrhnuto z důvodu vysoké finanční náročnosti těchto programů. Jejich nespornou výhodou však zůstává tvorba komplexního a přesného řešení s mnoha možnými parametry a propojení s ostatními oblastmi řízení výroby.

Dalším navrhovaným způsobem byla metoda maticového rozboru vhodnosti technologické základny pro danou výrobu. Jedná se o sestavení jednoduchého maticového modelu podniku a určení potřebných a vlastněných výrobních kapacit. Jakýmkoliv optimalizačním výpočtem je poté možné stanovit optimální výrobní program a potřebnou kapacitu. Nevýhodou tohoto postupu je poněkud úzká oblast výsledků, které se zabývají pouze jednou problematikou a

to stanovením výrobní kapacity bez ohledu na další oblasti řízení výroby. Dále je tato metoda spojena s velkým množstvím výpočtů a její užití si žádá využití výpočetní techniky. Jako optimalizační postupy byly navrženy optimalizace pomocí genetických algoritmů a optimalizace metodou Simplex. Konečným výběrem prošla jako vítěz optimalizace pomocí metody Simplex, jelikož pro její aplikaci lze využít obvyklé programové vybavení kancelářských počítačů a není třeba dokupovat specializované programy.

Třetí částí této diplomové práce je vypracování a popis software Optimizer. Pro tvorbu modelu a samotný optimalizační výpočet byla použita aplikace Microsoft Excel a její výpočtová funkce Solver (v české jazykové mutaci Řešitel).

Maticový model podniku byl vytvořen s ohledem na přehlednost a jednoduchost užívání programu. Do příslušných pozic jednoduché tabulky se vypíší požadovaná data a prvotní výpočty jsou již automaticky provedeny dle zadaných rovnic. Dalším krokem je volba rozhodujícího kritéria, dle kterého bude výpočet prováděn. Program má přednastavena kritéria maximalizace zisku, maximalizace objemu výroby a maximalizace využití strojů (tedy minimalizace volné nevyužité výrobní kapacity v jednotkách času). Pro samotný výpočet využijeme funkci Solver. Podmínky výpočtu jsou již v programu Optimizer přednastaveny. Opakováním tohoto postupu a úpravou vstupních dat dle výsledků z předchozích výpočtů je potom možné stanovit optimální výrobní program, či výrobní kapacity v jednotkách času pro jednotlivé stroje.

Výsledky získané programem Optimizer byly srovnány s výsledky vypočtené programem Statgraphics, který sice není určen na probíranou problematiku, avšak je možné s jeho pomocí řešit optimalizační úlohy.

Závěrečnou částí práce byla aplikace programu Optimizer na řešení skutečné úlohy pro stanovení úzkého místa ve výrobě strojírenského podniku a po rozšíření kapacity úzkého místa, stanovení využití rozšířené kapacity dané pozice. Všechny výsledky analýzy jsou shrnuty v diplomové práci.

Pomocí příkladů byla zjištěna správná funkce vytvořeného software, který díky své jednoduchosti a finanční nenáročnosti spolehlivě splňuje všechny požadavky.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1]. HLAVENKA, B., DOUBEK, P. Matematická analýza, základ sladění výrobního programu a výrobního profilu. In *XVII. International congress CHISA 2006*. Pizeň: ZČU Pizeň, 2006. ISBN 80 – 7042 – 484 – 8.
- [2]. JUROVÁ, M. *Řízení výroby*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2001. 205 s. ISBN 80 – 214 – 2031 – 6.
- [3]. BERTSIMAS, D. *Introduction to Linear Optimization*. Atény: Athena Publisher, 1997. 608 s. ISBN 18 – 865 – 2919 – 1.
- [4]. KRÁL, J. *Optimalizace dynamických výrobních dávek při omezených zdrojích: Diplomová práce*. Brno: ÚAI FSI VUT, 2002. 63 s. Vedoucí práce RNDr. Jiří Dvořák, CSc.
- [5]. KOČMAN, K. *Speciální technologie obrábění*. 3. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2004. 227 s. ISBN 80 – 214 – 2562 – 8.
- [6]. FLETCHER R. *Practical Methods of Optimization*. Chichester: Wiley, 2000. 450 s. ISBN 978 – 0 – 471 – 49463 – 8.
- [7]. DLOUHÝ, M. *Simulační modely a programové vybavení*. [online]. Praha: Vysoká škola ekonomická, listopad 2004. [cit. 13. květen 2008], poslední aktualizace 04. listopad 2004. Dostupné na World Wide Web: <<http://nb.vse.cz/keko/simulace/08%20Simulacni%20jazyky.ppt>>.
- [8]. HUMUSOFT s.r.o. *Witness 2008*. [online], leden 2008, [cit. 13. květen 2008], poslední aktualizace 06. květen 2008. Dostupné na World Wide Web: <<http://humusoft.cz/witness/indexcz.htm>>.
- [9]. HLAVENKA, B. *Manipulace s materiálem*. 1. vyd. Brno: Rektorát Vysokého učení technického v Brně, 1986, 152 s.
- [10]. DOSTÁL, P., RAIS, K., SOJKA, Z. *Pokročilé metody manažerského rozhodování*. Praha: Grada Publishing, a.s., 2005. 168 s. ISBN 80 – 247 – 1338 – 1.
- [11]. MAŇAS M. *Optimalizační metody*. Praha: Nakladatelství technické literatury, a.p., 1979. 260 s.
- [12]. BRÁZDIL, L. *Integrace metod rozvrhování a optimalizace výrobních dávek: Diplomová práce*. Brno: ÚAI FSI VUT, 2003. 53 s. Vedoucí práce RNDr. Jiří Dvořák, CSc. .
- [13]. SYNEK, M. a kol. *Manažerská ekonomika*. Praha: Grada Publishing, a.s., 2007. 464 s. ISBN 978 – 80 – 247 – 1992 – 4.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

a_{ij}	[min/ks]	pracnost pro kombinaci výrobek (j) x stroj (i)
b_i	[min]	omezení kapacity i-tého stroje
C_{ZS}	[Kč]	zůstatková hodnota investice
d	[dny]	počet pracovních dnů v roce
F_{EF}	[hod.]	efektivní časový fond
h	[hod.]	počet pracovních hodin na směnu
l	[ks]	počet výrobků dané výrobové skupiny
N_{PI}	[Kč]	počáteční investiční náklady na zavedení změny
n_v	[ks]	počet v-tého výrobku
V_j	[ks]	maximální počet ks j-tého výrobku
x_j	[ks]	vyráběný počet kusů j-tého výrobku
x_j	[ks]	vyráběný počet kusů j-tého výrobku
Z_{max}	[Kč]	maximální zisk soustavy
Z_j	[Kč]	zisk z jednoho kusu j-tého výrobku
T_P	[měs.]	počet měsíců užívání investice
t_p	[Nhod]	pracnost představitele
T_S	[měs.]	doba splácení
t_v	[Nhod]	pracnost v-tého výrobku
V_i	[Kč]	výnosnost investice
v_j	[ks]	minimální počet ks j-tého výrobku
x_j	[ks]	vyráběný počet kusů j-tého výrobku
X_P	[ks]	počet kusů představitele
DZ_j	[Kč/měs.]	změna zisku za měsíc po zavedení změny
z	[%]	% nevyhnutelných časových ztrát
r	[směny]	směnnost

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 CD s programem Optimalizer

