VYSOKÁ ŠKOLA EKONOMICKÁ V PRAZE

FAKULTA INFORMATIKY A STATISTIKY

Bakalářská práce

2019

Dominika Lejčková

VYSOKÁ ŠKOLA EKONOMICKÁ V PRAZE

FAKULTA INFORMATIKY A STATISTIKY

Název bakalářské práce:

Optimalizace skladových zásob ve výrobním podniku

Autor: **Dominika Lejčková**

Katedra: **Katedra ekonometrie**

Studijní program: **Kvantitativní metody v ekonomice**

Studijní obor: **Matematické metody v ekonomii**

Vedoucí práce: **prof. RNDr. Jan Pelikán, CSc.**

Odevzdáno: **květen 2019, Praha**

Prohlášení:
Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci *Optimalizace skladových zásob ve výrobním podniku* zpracovala samostatně. Veškerou literaturu a další podkladové materiály uvádím v seznamu na straně 41.

V Praze dne .....

.....
Dominika Lejčková

Poděkování:
Touto cestou bych chtěla poděkovat prof. RNDr. Jan Pelikánovi, CSc. za vedení této práce a přispění podnětnými návrhy a cennými radami k jejímu obohacení. Dále bych chtěla poděkovat společnosti za vstřícné poskytnutí dat a informací.

Abstrakt

Název: Optimalizace skladových zásob ve výrobním podniku

Autor: Dominika Lejčková

Katedra: Katedra ekonometrie

Vedoucí práce: prof. RNDr. Jan Pelikán, CSc.

Tato práce se zabývá praktickým využitím celočíselného programování při řešení reálného problému z oblasti řízení zásob. Pro tyto účely jsou k dispozici data skladů vybrané výrobní společnosti. Úkolem je nalezení minima počtu objednávek materiálu při zohlednění specifických požadavků. Součástí práce je náhled do problematiky skladového hospodářství a řízení zásob obecně, popis společnosti a konkrétního problému, formulace matematických modelů, zápis těchto modelů v programovacím jazyce systému MPL for Windows, zkušební výpočty optimalizace, použití modelů pro komplexní optimalizaci zásob a zhodnocení výsledků. Přínosem práce je případná využitelnost modelů při procesu rozhodování.

Klíčová slova: optimalizace, zásoby, model, celočíselné programování

Abstract

Title: Optimization of warehouse inventory in the manufacturing company

Author: Dominika Lejčková

Department: Department of Econometrics

Supervisor: prof. RNDr. Jan Pelikán, CSc.

This thesis deals with a practical use of an integer programming to solve a real problem in the field of warehouse inventory management. For this purpose, warehouse data of one manufacturing company are available. The aim is to find a minimum number of material orders while meeting the specific requirements. This thesis includes an insight into the warehouse management and warehouse inventory management issues in general, description of a company and particular problems, construction of mathematical models and their formulations in the programming language of a system MPL for Windows, testing of models followed by comprehensive optimization of the warehouse inventory and its result evaluation. The main contribution of this work is its possible use in decision-making processes.

Keywords: optimization, warehouse inventory, model, integer programming

Obsah

Úvod **8**

1 Skladové hospodářství a systém řízení zásob **9**

1.1 Skladové hospodářství 9

1.2 Systém řízení zásob 10

1.2.1 Zásoby 10

1.2.2 Přehled modelů řízení zásob 11

2 Základní charakteristiky firmy a systému zásobování **14**

2.1 Sklady společnosti 14

2.2 Dodavatelský řetězec společnosti 14

2.3 Identifikace podkladů o zásobování ve firmě 15

3 Formulace modelů a provedení zkušebního výpočtu optimalizace **17**

3.1 Řešení celočíselného programování 17

3.2 Struktura modelů v MPL for Windows 19

3.3 Popis problému 21

3.4 Formulace modelů 22

3.4.1 Model 1 22

3.4.2 Model 2 26

3.4.3 Návrh možných úprav modelů 30

3.5 Zkušební výpočet optimalizace 32

4 Užití modelů pro komplexní optimalizaci a zhodnocení výsledků **37**

4.1 Model 1 37

4.2 Model 2 38

Závěr **39**

Literatura **41**

Přílohy **42**

Seznam obrázků

3.1 Výdej materiálu M2 32
3.2 Výdej materiálu M6 32
3.3 Výdej plynu P5 34
3.4 Výdej plynu P13 35

Seznam tabulek

3.1 Výstupy zkušebního výpočtu 1 33
3.2 Výstupy zkušebního výpočtu 2 36

4.1 Týdenní zbylé kapacity skladu 1 38
4.2 Denní zbylé kapacity skladu 2 39

Úvod

Rozhodování v oblasti řízení zásob je problematické u většiny společností. Zodpovědností příslušných manažerů je učinit tato rozhodnutí a na základě zkušeností věcně stanovit úrovně a podmínky zásobování. [6] Tato práce nabízí náhled do problematiky řízení zásob a skladového hospodářství, praktické využití poznatků při popisu systému zásobování a skladování vybrané výrobní společnosti následované konstrukcí optimalizačních modelů zohledňujících dané specifické požadavky. Aplikace modelů budou provedeny na reálných datech z roku 2015 poskytnutých jednou větší výrobní společnosti, která si nepřeje být, z důvodu ochrany dat, jmenována. Vzhledem k povaze těchto dat a stanoveným požadavkům budou dané problémy úlohami celočíselného lineárního programování.

První kapitola zahrnuje sekce s literární rešerší, které pokrývají oblasti zásobování a skladování firem obecně. Tyto poznatky budou dále použity v praktické části práce při popisu procesů a zázemí společnosti a řešeného problému.

Druhá kapitola se zaměřuje na společnost jako takovou — popis skladovacích prostor, systému zásobování a dostupných dat. Ačkoli má společnost k dispozici celkem třicet skladů sloužících k uskladnění zásob, v této práci budeme uvažovat pouze dva z nich. Tyto dva sklady byly vybrány záměrně kvůli jejich vysoké využívanosti, ale také nižšímu počtu položek a tedy snažší a přehlednější práci s daty.

Následující část, třetí kapitola, obsahuje průřez řešením reálné úlohy celočíselného programování, od popisu problému po jeho zápis v modelovacím jazyce a provedení zkušebního výpočtu se dvěma druhy zásob. Při úspešném výpočtu za splnění všech podmínek je možné model aplikovat na všechny druhy zásob.

Závěrem je model použit ke komplexní optimalizaci skladových zásob. Výstupy výpočtů jsou uvedeny v přílohách.

1. Skladové hospodářství a systém řízení zásob

1.1 Skladové hospodářství

Skladové hospodářství a jeho řízení je utvářeno z celkové logistické koncepce podniku. Jednou z klíčových priorit je zabezpečení veškerých požadavků spotřeby v určeném rozsahu za daných podmínek. [8] Dle Emmetta [2] by důraz měl být kladen především na efektivní využití času a prostoru. Všechny skladové činnosti by tedy měly být dopředu plánovány.

Skladování

Primárním úkolem skladování, jakožto činnosti skladového hospodářství, je koordinace rozdílně dimenzovaných toků materiálů, polotovarů pro výrobu a zboží pro konečnou spotřebu. [8] Ke skladovacím a třídícím činnostem dochází především u poptávkou řízených dodavatelských řetězců, jenž zajišťují činnosti, které vychází z prvotní odběratelské poptávky. Je zde relace implikace — jestliže jsou zakázky od odběratelů, pak jsou i dodávky od dodavatelů. V případě nabídkou řízených dodavatelských řetězců se naopak jedná o sklady plnící funkci držení zásob zboží určených k zabezpečení tuzemksých aktivit, jako je například produkce, a které jsou přejmenovány na prodejny. [2]

Typy a organizace skladů

Sklad je obecně nedílnou součástí téměř každé větší výrobní společnosti (vyjma závodů a firem s takzvaným logistickým řízením „just in time“). Na jeho funkčnost se pohlíží mimo jiné z hlediska, které považuje sklad za místo vzniku a kumulace informací, které jsou klíčové pro operativní řízení výrobního procesu a tvorbu operativního plánu. [8]

Typ a organizace skladů jsou určeny v prvé řadě jejich účelem, druhem skladovaného zboží, dodavateli a odběrateli, kteří tyto sklady využívají. Snahou je dosažení maximální efektivity — vybudování skladů využívajících v nej-

vyšší možné míře skladovacích prostor. K těmto účelům slouží například moderní skladovací nebo manipulační technika a její informační systém. K maximálnímu využití prostoru je zapotřebí vhodný výběr typu skladu. Obecně se rozeznávají základní dva typy skladů a to typ využívající vertikálního skladování — regály sloužící k uskladnění plochého zboží, příhradové sklady, paletové sklady — a typ podlažního skladování — blokové a řadové. [8]

Vybavení

U výrobků umístěných na paletách je jednou z možných metod uskladnění vršení těchto palet, tedy naskládání do blokových stohů. Tato metoda však zahrnuje nespočet potenciálních problémů — od poškození a pomáčkání výrobků až po špatný fyzický přístup k prostředním paletám. Méně rizikovější a hojněji využívanější alternativou jsou již zmíněné regály, přesněji paletové regály. Při jejich výběru je nutno zohlednit několik aspektů, mezi které například patří typ, konstrukce, kapacita, bezpečnost a stabilitu palet, přístup a typ zboží, požadavky protipožární ochrany a další jiné příslušenství či vybavení. [2]

1.2 Systém řízení zásob

1.2.1 Zásoby

Na základně předchozích pohybů do skladů se věcně stanovují cyklické zásoby, jejichž součástí jsou výsledná rozhodnutí ohledně množství a frekvence objednávek. Jakékoli nerovnosti mezi poptávkou a dodávkou řeší takzvaná pojistná zásoba, jejíž existence se mimo jiné uvažuje při řízení množství skladovaných zásob. Případ konstatní dodací lhůty a velikosti popisuje model EEQ[1] také zvaný jako Harrisův–Wilsonův model, který neuvažuje pojistné zásoby. Při snížení stavu zásob na hladinu průměrné cyklické zásoby se realizuje objednávka s konstatní dodací lhůtou, která doplní skladové zásoby právě ve chvíli dosažení teoretického minima stavu zásob. V opačném případě, při vychýlení dodací lhůty, jsou pojistné zásoby důležitým nástrojem k zabezpečení pokrytí poptávky. Hladina průměrné

[1] Economic Order Quantity

cyklické zásoby se zde zvýší o pojistnou zásobu, kdy při zpožděné dodávce dochází k jejímu čerpání. [2]

Současný stav zásob započítává položky, příjmové doklady, přijaté objednávky a jiné. Dle Emmetta [2] je pro lepší přehled a zamazení spouštěcímu mechanismu objednávky vhodné kalkulovat i s položkami již vztahujícími se k tomuto stavu. Jedná se o úpravu zůstatku přičtením již objednaných zásob, přičtením zásob v procesu dodávky, odečtením zásob již vydaných a odečtením zásob ke zvláštím účelům.

Poptávka

Poptávkový cyklus je všeobecně méně kontrolovatelný nežli cyklus dodávkový. Jeho náhodilost vychází především z charakteru výrobku – zdali se jedná o výrobek určený ke konečnému užití s poptávkou více náhodilou a nejistou, který je pouze expedován ke spotřebiteli, nebo o výrobek putující dále do výrobního procesu k utvoření kompletního produktu, kdy se postupuje a poptává dle hlavního výrobního plánu bez prostoru pro náhodilost a nepředvídatelnost. [2] Například Battini, Gunasekaran, Faccion, Persona a Sgarbossa [1] zmiňují důležitost komunikace mezi poptávajícím a nabízejícím. Jen pouhá informace, ať už včasná zpráva o objemu poptávaného množství nebo přesné termíny odběrů, může dopomoci k efektivnějšímu řízení skladového hospodářství a výroby. Je očividné, že k lepšímu toku informací dochází mezi subjekty druhého typu výrobku, kde jsou stanoveny přesné zakázky, které nemohou být kvůli výrobní návaznosti opožděny.

1.2.2 Přehled modelů řízení zásob

Dle Kořenáře [4] je v oblasti řízení zásob hojně využíváno možnosti aplikace ekonomicko–matematických modelů optimalizace s cílem regulace procesů. Pro tyto účely je nutno primárně determinovat rozhodovací kritéria sloužící ke stanovení běžné, sezónní nebo pojistné zásoby, vycházející ze znalostí či odhadů budoucí výše potřeby. Každé z kritérií obsahuje minimálně jednu řídící proměnnou, která je ovlivňována rozhodnutími řídícího subjektu, zbylé proměnné se označují jako autonomní veličiny působící zcela nezávisle.

Mezi říditelné a tedy regulovatelné proměnné se nejčastěji řadí skladem požadovaný objem zdrojů, který může být doplňován v dávkách, ale také se může jednat o plynulé dodávání v kusech. Jinou mnohdy využívanou říditelnou proměnnou je frekvence či termín vyžádání zdrojů skladem, které určují, zda jde o statické jednorázové nebo o dynamické periodické doplňování zásob a v jakém termínu se toto doplňování uskuteční. [4]

Ve formě vstupních dat vstupují do modelu proměnné neříditelné, tedy neregulovatelné. Jednou z nich jsou již zmiňované náklady jednotkové nebo celkové. Jejich obsahem jsou náklady spojené s procesem doplňování a udržování zásob — náklady pořizovací, objednávací, skladovací nebo náklady z nedostatku zásob. Jinou neregulovatelnou proměnnou je velikost potřeby v daném časovém intervalu, která může mít deterministický nebo stochastický charakter. Poslední neřídítelnou proměnnou je pořizovací lhůta zásob. [4] Z hlediska tvorby zásob je dodací lhůta důležitým faktorem. Při této činnosti se kalkuluje s dodací lhůtou dodávky, která je odlišná od předem dané lhůty dodavatelské. Jedná se o souhrnnou dobu dodávky, od objednání až po finální dostupnost na skladě, která je složena z jednotlivých úkonů uvnitř podniku a vnější činnosti, kterou je již zmíněná dodávka od dodavatele s danou lhůtou dodavatelskou. Tato doba je zahrnuta do plánování řízení zásob ještě před samotnými realizacemi objednávek. [2]

Ze zvoleného rozhodovacího kritéria následně vyplývá povaha celého optimalizačního modelu či systému. Nákladově orientovaný model se soustředí především na minimalizaci funkce celkových nákladů zásob za určité časové období. Během jeho aplikace zpravidla vzniká problém nejasnosti výše určitých nákladových položek v jednotlivých procesech vyžadující následnou analýzu dílčích druhů nákladů a jejich očištění, případně přetřídění. Alternativou, rovněž patřící do nákladově orientovaných modelů, je model maximalizace ziskové funkce s rozhodovacím kritériem funkce reálného nebo očekávaného zisku. Není-li dána nákladová funkce nebo není cílovou strategií její optimalizace, pak se jedná o modely bez nákladové orientace. Mezi ně se kupříkladu řadí model minimalizace rizika vyčerpání zásob (maximalizace míry zajištění potřeby). Kombinací těchto dvou typů jsou modely smíšeného typu, které uvažují jako optimalizační funkci například minimalizaci celkových nákladů, ovšem za podmínek stanovení pojistné zásoby pomocí modelu neuvažujícího nákladové položky nebo přidání autonomní proměnné nezávislé na principu optimalizace. [4]

Klasifikace modelů optimalizace zásob

Klasifikace optimalizačních modelů je prováděna na základě mnoha kritérií. Jedním z těchto kritérií je vybraná metoda řešení. Mimo specifické modely optimalizace zásob zpravidla vycházejících z metody klasické matematické analýzy se využívají i jiné optimalizační modely a to například model hromadné obsluhy nebo matematické programování — lineární, nelineární, dynamické a stochastické. [4]

Charakter potřeby a pořizovací (dodací) lhůta zásob jsou dalším příkladem kritérií klasifikace. V případě daných pořizovacích lhůt a potřeb je sestavován deterministický model optimalizace zásob. Tento model uvažuje potřebu zásob buď jako statickou, nebo jako dynamickou — v čase se měnící předem známým způsobem. V opačném případě, při neznalosti či neurčitosti pořizovacích lhůt a potřeb, je vhodná konstrukce stochastického modelu. Ten je opět rozdělen dle potřeby zásob na stacionární s neměnnou výší potřeby a nestacionární, kde se náhodné veličiny nebo průměrná potřeba v časových intervalech mění známým nebo odhadovaným způsobem. [4]

Posledním častým kritériem je režim doplňování zásob uvažující určité aspekty tvorby zásob — zda se zásoby doplňují průběžně či se jedná o jednorázovou tvorbu nebo zda jsou pěvně dány termíny objednávek. Jednorázově vytvářené zásoby jsou příhodné především u systému s periodickou revizí zásob, kdy jsou přesně stanoveny termíny kontroly kvality a stavu zásob, druhý typ je naopak vhodný při regulaci pomocí signální kritické hladiny zásob. [4]

2. Základní charakteristiky firmy a systému zásobování

Vybraná společnost je součástí nadnárodní skupiny zaměřující se na výrobu a poskytování služeb v oblasti průmyslových a energetických zařízení.

2.1 Sklady společnosti

V současnosti je v rámci skladového hospodářství řízeno a spravováno celkem 30 skladů, kde dochází k třídění a uchovávání zásob. Některé sklady, konkrétně sklady s výrobním materiálem, se nachází v bezprostřední blízkosti výrobního závodu pro efektivní řízení části interní logistiky. Tím je zabezpečeno pohotové dopravení materiálu na výrobní úsek v případě potřeby. Pro účely této práce byly vybrány dva sklady. U prvního z nich je vzhledem k typu skladovaného materiálu snaha o maximální využití skladovacího prostoru, z toho důvodu jsou ke skladování použity klasické paletové regály, které splňují veškeré požadavky vycházející z aspektů při výběru regálů. Tyto regály jsou rozmístěny po skladu takovým způsobem, aby byl zajištěn dostatečný meziprostor pro průjezd vysokozdvižných vozíků a zároveň malá vzdálenost od průmyslových sekčních vrat pro lepší přístupnost během přejímky dodávky od dodavatele. Regálů je v daném skladě souhrnně 16 s celkovou maximální nosností 80 palet — nosnost jedné palety je přibližně 1 000 kg. Druhý sklad využívá pro druh materiálu typ podlažního skladování v kojích. Kóje jsou umístěny podél stěn pro lepší přístupnost manipulačních zařízení. Jejich celková kapacita je přizpůsobena opatřením dle hasičských norem a je omezena na 150 jednotek.

2.2 Dodavatelský řetězec společnosti

Dodavatelský řetězec společnosti je řetězcem řízeným poptávkou. Zakázky od odběratelů jsou vždy dostatečně dopředu plánovány. Na základě těchto zakázek je vytvářen hlavní výrobní plán včetně plánu zásobování. S dodavateli i odběrateli jsou uzavřeny rámcové smlouvy a ujednány dodací lhůty,

které jsou dodržovány. Jelikož se jedná o větší společnost s relativně ustálenou poptávkou — společnost jedná dle rámcových smluv a sjednává zakázky u větších firem, se kterými dlouhodobě úzce spolupracuje — u některých materiálových skladů je vcelku malá pravděpodobnost nevyužití zásob. Z tohoto a jiných důvodů je zde, na základě zkušeností a subjektivního úsudku pracovníků oddělení logistiky, druhotná snaha o minimalizaci objednávek materiálu — tedy dodávek od dodavatelů, které musí být nasledně zrevidovány inženýrem jakosti, naskladněny do příslušných skladovacích vybavení či prostor a jsou spojeny s mnoha dalšími administrativními operacemi.

2.3 Identifikace podkladů o zásobování ve firmě

Aplikace modelu bude prováděna na reálných datech společnosti stažených z ERP[2] systému SAP[3]. Vzhledem k rozsahu dat je v práci uvedena pouze jejich ukázka a to v příloze A a příloze C. Data poskytují informaci o typu materiálu, dni pohybu materiálu ze skladu do výroby a vydaném objemu v kilogramech nebo kusech. Jedná se o denní data v časovém rozmezí od 1. 1. 2015 do 31. 12. 2015, která nejsou modifikována — mimo název typu materiálu, který je zaměněn písmennou zkratkou "M"a pořadovým číslem v daném seznamu prvního skladu a písmennou zkratkou "P"a pořadovým číslem v daném seznamu druhého skladu. Seznamy souhrnně obsahují 72 druhů materiálu ve skladu prvním a 19 druhů ve skladu druhém. V příloze B jsou již data o výdejích prvního skladu v rámci týdnů kumulována — více v sekci 3.3, název typu materiálu je opět zaměněn.

Obsahem prvního zkoumaného skladu je svařovací materiál skladován v paletových regálech. Jak již bylo uvedeno v sekci 2.1, paletových regálů je hromadně 16 s doporučenou maximální nosností 5 000 kg na jeden regál, 1 000 kg na jednu paletu. Celková kapacita tohoto skladu je výsledně stanovena na 80 000 kg. Ve druhém skladu dochází ke skladování a kontrole technických plynů, jejichž životnost je pro zaručení bezpečnosti ustanovena na 1 měsíc od data dodávky. Plyny jsou skladovány v kójích s prostorem k uskladnění omezeným

[2] Enterprise Resource Planning
[3] System–Aplication–Products in data processing

na 150 lahví, tyto prostory jsou dostatečně větrány a splňují jiné další požadavky hasičské normy.

Dodací lhůta materiálů obou skladů je dodavateli předem dohodnuta. U prvního skladu, svařovacího materiálu, je dodací lhůta stanovena aproximativně na dva týdny, po přechododu do sezónního období se tato lhůta prodlužuje na jeden měsíc. Sezónní období je takové období, kdy dodavatelé mají, vzhledem k užití materiálu ve stavebních činnostech, více zákázek a je přibližně stanoveno na dobu od 1. dubna. U druhého skladu, technických plynů, je dodací lhůta stanovana na 2 dny bez sezónnosti.

3. Formulace modelů a provedení zkušebního výpočtu optimalizace

3.1 Řešení celočíselného programování

Všechny proměnné námi konstruovaných modelů budou definovány na množině nebo podmnožině celých nezáporných čísel, bude se tedy jednat o ryze celočíselnou úlohou celočíselného lineárního programování. Obecně lze úlohy lineárního programování zapsat jako [3]:

maximalizovat (minimalizovat)

$$z = \mathbf{C^T x},$$

za podmínek

$$\mathbf{Ax} \leq \mathbf{b},$$
$$\mathrm{x} \geq \mathbf{0}.$$

Formulace mohou být dále rozšířeny o další podmínky, v našem případě o podmínky celočíselnosti nebo bivalentnosti proměnných. Výběr typu celočíselných proměnných většinou vyplývá z charakteru nebo zadání řešeného problému. Může se jednat o proměnné vyjadřující nějaký počet či množství nebo o proměnné vyjadřující nějaké rozhodnutí — nazývané jako rozhodovací, bivalentní nebo binární proměnné. Tyto rozhodovací proměnné jsou obecně definovány následovně [5]:

$x \in \{0, 1\}$, kde

$x = 0$ .... cosi se uskuteční,
$x = 1$ .... cosi se neuskuteční.

Pro popis metod si nejprve definujeme pojem 'relaxace modelu', který se bude dále vyskytovat v daných metodách řešení. LP-relaxací modelu je nazýváno

vynechání podmínek celočíselnosti při řešení úloh celočíselného lineárního programování. Pomocí této relaxace se stanovuje horní hranice přípustných řešení u maximalizační úlohy (dolní hranice v případě úlohy minimalizační). Po případném zaokrouhlení (s ohledem na přípustnost) se určí dolní (horní) hranice hodnot účelové funkce přípustných řešení, která je zatím nejlepším dosud nalezeným přípustným celočíselným řešením. Toto řešení ale nemusí být nutně optimální, pro nalezení optima mohou posloužit následující metody. [5]

Metody řešení

Jednou z možných metod řešení je grafické znázornění úlohy. Po LP-relaxaci modelu a stanovení horní a dolní hranice hodnot si do množiny přípustných řešení (obecně konvexního polyedru) vyznačíme všechny body celočíselných řešení. Dále postupujeme dle obecného grafického řešení problému — například v případě dvou proměnných posouváme izoprofitovou přímku v potřebném směru dokud neprotne bod celočíselného řešení. [5]

Jinou metodou je metoda sečných nadrovin vhodná pro smíšené i čistě celočíselné úlohy, avšak ne pro úlohy s bivalentními proměnnými. Principem této metody je tvorba dodatečné podmínky, která způsobí nepřípustnost ('odsekne') dosavadní neceločíselné LP-relaxované řešení, ale zároveň zachová všechna celočíselná přípustná řešení. [5]

Poslední a pro nás nejpodstatnější metodou je metoda větvení hranic (B&B[1]). Tuto metodu používá i níže popsaný software MPL for Windows. Narozdíl od metody sečných nadrovin, metoda větvení a hranic řeší navíc úlohy bivalentního programování, na druhou stranu je jednou z jejích nevýhod značná časová náročnost. Principem této metody je dělení množiny přípustných řešení na disjunktní podmnožiny a následné sledování horní (dolní) hranice hodnot účelové funkce těchto podmnožin. Důležité v tomto případě je vytipování podmnožiny, která nejpravděpodobněji obsahuje optimální řešení a identifikace podmnožiny, kterou naopak není třeba dále zkoumat, protože již jistě neobsahuje optimální řešení. [5]

[1] Branch and Bound

3.2 Struktura modelů v MPL for Windows

Pro výpočet optimalizace byl zvolen systém MPL[2] for Windows, který je ve srovnání například s optimalizačním softwarem LINGO z hlediska uživatelského prostředí a modelovacího jazyka poněkud přívětivější. Ve smyslu možnosti výběru a využitelnosti řešitelů dostupných ve formě DLL knihoven je MPL systémem otevřeným. Výhodou je možnost uživatele zvolit si nejvhodnější typ řešitele pro konkrétní typ řešeného problému. Dílčí sekce modelu v obecném zápisu jsou popsány následovně [3]:

TITLE
(název modelu)
OPTIONS
(nastavení parametru modelu)
INDEX
(definování indexů a dimenze modelu)
DATA
(specifikace vstupních dat)
(DECISION) VARIABLES (INTEGER, BINARY, FREE)
(definování rozhodovacích proměnných)
MACROS
(definování vlastních funkcí a maker)
MODEL
(počátek zápisu modelu)
MAX / MIN
(zápis optimalizačního kritéria)
SUBJECT TO
(zápis omezujících podmínek)
BOUNDS
(zápis dolních a horních mezí)
END

Při zápisu modelu nemusí být vždy využity všechny dílčí části. Jejich výběr závisí na povaze a struktuře řešeného problému. Vztahy modelu mohou být zapsány pomocí rovnic a nerovnic (lineárních či nelineárních), ale také se může

[2] Mathematical Programming Language

jednat o univerzálnější obecný zápis pomocí modelovacího jazyka. [3]

Načítání vstupů z externích souborů a zpětné načítání výstupů do externích souborů je možno provést pomocí specifických funkcí v určitých sekcích zápisu v MPL. V této práci poslouží jako externí soubor sešit aplikace Excel s příponou *.xlsx*.

Pro komunikaci s tímto souborem je nejprve nutno zadat do sekce OPTIONS parametr:

```
ExcelWorkBook:="nazevsouboru.xlsx",
```

dále je možné načtení indexů z pojmenované oblasti externího souboru pomocí funkce v sekci INDEX:

```
i:= ExcelRange("index"),
```

kde název souboru může a nemusí být uveden, pokud je již zadán v oblasti OPTIONS. V sekci DATA je opět možné načtení vstupních dat z pojmenované oblasti zadáním funkce:

```
data[i]:= ExcelRange("data"),
```

Výstupy modelu jsou proměnné nebo hodnota účelové funkce definovány v sekcích (DECISION) VARIABLES (INTEGER, BINARY, FREE) a MAX / MIN. Pro zadání oblasti výstupů je dána funkce:

```
Export to ExcelRange("oblast"),
```

konkrétně pak v případě proměnných:

```
x[i] Export to ExcelRange("promenna")
```

a v případě účelové funkce:

```
MAX funkce Export to ExcelRange("funkce") = sum(i:x[i]).
```

Opět není nutné využít všechny z těchto funkcí, alternativní možností je ruční zadání dat přímo do zápisu modelu v podobě vektorů či matic.

3.3 Popis problému

Nejčastěji jsou za účelem optimalizace zásob konstruovány modely s cílem minimalizace účelové funkce obsahující neregulovatelnou proměnnou náklady. My však budeme chtít vytvořit model bez nákladové orientace, jehož cílem bude minimalizace počtu objednávek (potažmo příjemek) při znalosti velikostí výdejů ze skladů bez zohlednění jednotkových či celkových nákladů. Snahou je vytvoření podpůrného modelu s aproximativními výsledky, které by mohly sloužit jako opora pro následné subjektivní rozhodování příslušných subjektů.

Navzdory skutečnosti, že společnost nevyrábí výrobky postupující dále k odběrateli za účelem vytvoření celkového produktu, je její poptávka vcelku ustálená. Má stálé odběratele, jiné větší výrobní společnosti, a velké zakázky, které je nutno, i vzhledem ke kapacitě pracovních sil rozvržených za pomoci oddělení lidských zdrojů a celkovému objemu zakázek, dostatečně dopředu a co nejpřesněji naplánovat. Díky stálosti odběratelů je hodnotný informační tok mezi odběrateli a společností plně funkční bez komunikačních šumů.

Ačkoli tedy předpokládáme přesný výrobní plán s danými objemy a termíny výdeje ze skladu, v rámci týdne může dojít, i z důvodu nestálé výkonnosti pracovní síly, k vychýlení například o den. Abychom tomuto problému předešli, budeme u modelu prvního skladu uvažovat jako časové jednotky týdny. Data o výdejích budou použita z časového rozmezí od 1. 1. 2015 do 31. 6. 2015 a budou, dle předchozí informace, v rámci týdnů kumulována. Přesnost výsledků bude sice snížena, ale s ní i pravděpodobnost výskytu problému nedostatku kapacity na skladě při zpožděném výdeji.

Na druhý sklad se pokusíme aplikovat model, který jako časové jednotky uvažuje dny. U technických plynů je stanovena kratší dodací lhůta a k jejich čerpání dochází pravidelněji, proto jsou data druhého skladu pro práci se dny vhodnější. V tomto případě budou použita data o výdejích v časovém rozmezí od 1. 2. 2015 do 31. 3. 2015.

Pro zamezení problému nedostatku kapacity nebudeme do současného stavu zásob započítávat položky již vztahující se k danému skladu, jak bylo uvedeno v sekci 1.2, ale pouze zásoby již fyzicky uskladněny.

Pro pohyby zásob je uvažována metoda FIFO[3]. Jinými slovy — materiál, který je jako první naskladněn, bude i jako první vyskladněn.

Pojistné zásoby sice slouží ke kompenzaci při časových nepoměrech, avšak v této práci je do modelu zahrnovat nebudeme.

Ve formě regulovatelných proměnných bude do modelu vstupovat požadovaný objem zdrojů s dávkovým typem doplňování, frekvence vyžádání zdrojů skladem s dynamickým doplňováním zásob a termíny tohoto doplňování. Jako vstupní data vstupují do modelu neříditelné proměnné, v tomto případě se jedná o velikost potřeby deterministického charakteru v daném časovém intervalu a pořizovací lhůtu zásob. Souhrnně se z hlediska klasifikace modelů bude jednat o model deterministický s potřebou měnící se v čase známým způsobem a s průběžným doplňováním.

3.4 Formulace modelů

3.4.1 Model 1

První model bude konstruován na podmínky a omezení prvního skladu, tedy skladu se svařovacím materiálem. Následně bude proveden popis jednotlivých částí modelu a zápis v modelovacím jazyce systému MPL.

Ekonomický model 1

Mějme m druhů svařovacího materiálu $(M_1, M_2, .., M_m)$, kdy $m = 72$, a n týdnů $(T_1, T_2, .., T_n)$, kdy $n = 26$ (leden až červen). Požadované množství na výdej do výroby v_{ij} pro $i = 1, 2, .., m$ a $j = 1, 2, .., n$ musí být pokryto dostupnými zásobami d_{ij} pro $i = 1, 2, .., m$ a $j = 1, 2, .., n$. Množství zásob každého týdne nesmí překročit nosnost paletových regálů $k = 80\ 000$ kg. Pro zajištění dostatečných zásob pro výdej platí pravidlo, že výdej v_{ij} je odčítán od zásob na skladě d_{ij} stejného týdne. První dva týdny $(j = 1, 2)$ jsou týdny sloužící pouze pro objednávky materiálu — i z důvodu přehlednosti a jednotnosti indexů. Všechny ostatní položky — v_{ij} a d_{ij} — jsou započítávány až od týdne

[3] First In First Out

třetího, v prvních dvou týdnech jsou tedy nulové. Objem objednaného materiálu o_{ij} pro $i = 1, 2, .., m$ a $j = 1, 2, .., n$ je připočten k zásobám dle dané dodací lhůty. Pro nesezónní období $a = 13$ týdnů bez prvních dvou objednávkových týdnů platí, že dodací lhůta l_1 je rovna dvoum týdnům, pro sezónní období je dodací lhůta l_2 rovna čtyřem týdnům. V modelu se neuvažují počáteční zásoby na skladě — vychází se ze stavu 0. Jednotkami jsou kilogramy a týdny. Cílem je minimalizace počtu objednávek x_{ij} pro $i = 1, 2, .., m$ a $j = 1, 2, .., n$, kdy x_{ij} může být rovno jedné — j-tý týden se realizuje objednávka materiálu i — nebo nule — j-tý týden se nerealizuje objednávka materiálu i, rozhodovací proměnná je tedy bivalentní.

Parametry modelu:

m	počet druhů svařovacího materiálu ($m = 72$),
n	počet týdnů ($n = 26$),
k	kapacita skladu v kilogramech ($k = 80\ 000$),
l_1	dodací lhůta pro nesezónní období v týdnech ($l_1 = 2$),
l_2	dodací lhůta pro sezónní období v týdnech ($l_2 = 4$),
a	počet týdnů nesezónního období bez prvních dvou objednávkových týdnů ($a = 13$),
v_{ij}	výdej materiálu v kilogramech pro $i = 1, .., m$ a $j = 1, .., n$,
S	velké číslo (v tomto případě jsme zvolili $S = 1\ 000\ 000$).

Proměnné modelu:

x_{ij}	binární proměnná – rovna 1, pokud je i-tý druh objednán v j-tém týdnu,
d_{ij}	objem zásob i-tého druhu na skladě v j-tém týdnu,
o_{ij}	objem objednaného i-tého materiálu v j-tém týdnu.

Matematický model 1

Výše je popsán ekonomický model daného problému. Jeho matematický zápis pak bude vypadat následovně:

$$\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} x_{ij} \rightarrow MIN, \tag{3.1}$$

$$\sum_{i=1}^{m} d_{ij} \leq k \qquad j = 1, 2, .., n, \tag{3.2}$$

$$d_{ij} = 0 \qquad i = 1, 2, .., m,\ j = 1, .., l_1, \tag{3.3}$$

$$d_{ij} = o_{ij-l_1} + d_{ij-1} - v_{ij} \qquad i = 1, 2, .., m,\ j = l_1 + 1, .., a + 2 \cdot l_1, \tag{3.4}$$

$$d_{ij} = d_{ij-1} - v_{ij} \qquad i = 1, 2, .., m,\ j = a + 2 \cdot l_1 + 1, .., a + l_1 + l_2, \tag{3.5}$$

$$d_{ij} = o_{ij-l_2} + d_{ij-1} - v_{ij} \qquad i = 1, 2, .., m,\ j = a + l_1 + l_2 + 1, .., n, \tag{3.6}$$

$$o_{ij} \leq x_{ij} \cdot S \qquad i = 1, 2, .., m,\ j = 1, 2, .., n, \tag{3.7}$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \qquad i = 1, 2, ..m,\ j = 1, 2, .., n, \tag{3.8}$$

$$d_{ij}, o_{ij} \in N^0 \qquad i = 1, 2, ..m,\ j = 1, 2, .., n, \tag{3.9}$$

Popis částí modelu 1

Účelovou funkcí (3.1) je funkce minimalizace počtu objednávek, která je rovna sumaci prvků matice **X**.

V (3.2) je zapsána omezující kapacitní podmínka, kdy celkový objem zásob d_{ij} jednoho týdne je omezen kapacitou skladu k.

V (3.3) je definován objem zásob pro první dva týdny - respektive od prvního týdne po délku dodací lhůty l_1. Tyto dva týdny jsou vyhrazeny pouze pro objednávky materiálu, jak již bylo zmíněno výše v ekonomickém modelu.

(3.4) je podmínka pro výpočet zásob na skladě v období mimo sezónu pro i-tý druh materiálu. V každém týdnu dochází k přičtení naskladněných dodávek objednaných před l_1 týdny, zbylých zásob z předchozího týdne a odečtení množství zásob vydaných daný týden. Tato rovnost platí pro celé nesezónní období a a část již sezónního období, kdy na sklad dochází dodávky s dodací lhůtou l_1.

V (3.5) je v období od $a+2\cdot l_1+1$ do $a+l_1+l_2$ potřebný materiál čerpán ze zásob dostupnných na skladě, avšak bez doplnění. Tuto prodlevu způsobuje přechod mezi sezónním a nesezónním obdobím, kdy se dodací lhůta l_1 navyšuje na l_2.

Po skončení prodlevy je již materiál opět doplňován, nyní však s novou prodlouženou dodací lhůtou l_2 a to v období od $a + l_1 + l_2 + 1$ do n, jak je uvedeno v (3.6).

(3.7) je podmínka určující hodnotu binární proměnné x_{ij}. Stanovíme si dostatečně velké S - kupříkladu 1 000 000 - a vložíme jej do vztahu s proměnnými x_{ij} a o_{ij} - součin x_{ij} a S by měl být větší či roven proměnné o_{ij}. x_{ij} je binární proměnná rovna buď 1 nebo 0, její součin s S je roven 1 000 000 nebo 0. V případě realizace objednávky bude hodnota o_{ij} větší než 0, z toho vyplývá nenulovost pro x_{ij}, které tedy bude rovno jedné. o_{ij} je již zde omezeno kapacitou skladu a minimalizační funkcí pro x_{ij}, není proto důvod pro přidání dalšího omezení.

Podmínka (3.8) definuje x_{ij} jako binární proměnnou. (3.9) určuje celočíselnost a nezápornost proměnných d_{ij} a o_{ij}.

Zápis modelu 1 v MPL

Mějme vytvořený externí soubor *model1.xlsx* s nazvanými oblastmi pro vstupy a výstupy modelu. Zápis popsaného matematického modelu pak bude v modelovacím jazyce systému MPL v následujícím tvaru:

```
TITLE MODEL 1


OPTIONS
ExcelWorkBook = "model1.xlsx";
```

```
INDEX
i := 1..72;
j := 1..26;

DATA
v[i,j] := ExcelRange("vydej");
k := ExcelRange("kapacita");
S = 1000000;

INTEGER VARIABLES
d[i,j] Export to ExcelRange("zasoba");
o[i,j] Export to ExcelRange("objednavka");

BINARY VARIABLES
x[i,j] Export to ExcelRange("binarni");

MODEL
MIN objednavky Export to ExcelRange("ucelova") = sum(i,j:x[i,j]);

SUBJECT TO
kapacity[j]: sum(i:(d[i,j])) <= k;
pocatecnicas[i,j=1..2]: d[i,j] = 0;

zasoba1[i,j=3..17]: d[i,j] = o[i,j-2] + d[i,j-1] - v[i,j];
zasoba2[i,j=18..19]: d[i,j] = d[i,j-1] - v[i,j];
zasoba3[i,j=20..26]: d[i,j] = o[i,j-4] + d[i,j-1] - v[i,j];
prevod[i,j]: o[i,j] <= x[i,j]*S;

END
```

3.4.2 Model 2

Analogicky budeme postupovat u modelu druhého skladu.

Ekonomický model 2

Mějme m druhů technického plynu $(P_1, P_2, .., P_m)$, kdy $m = 19$, a n dnů $(D_1, D_2, .., D_n)$, kdy $n = 44$ (pracovní dny od 1. února do 31. března). Požadované množství na výdej v_{ij} pro $i = 1, 2, .., m$ a $j = 1, 2, .., n$ musí být pokryto dostupnými zásobami p_{ij} pro $i = 1, 2, .., m$ a $j = 1, 2, .., n$. Množství zásob každého týdne nesmí překročit kapacitu skladu k stanovenou na 150 lahví. Dodací lhůta l je v tomto případě neměnná a je stanovena na 2 pracovní dny. Pro zajištění dostatečných zásob pro výdej dále platí pravidlo, že od zásob na skladě p_{ij} je odečten výdej v_{ij} stejného dne. První dva dny $(j = 1, 2)$ jsou stanoveny pouze pro objednávky materiálu — opět z důvodu přehlednosti a jednotnosti indexů. Všechny ostatní položky — v_{ij} a p_{ij} — jsou započítávány až od dne třetího, v prvních dvou dnech jsou tedy nulové. Objem objednaného materiálu o_{ij} pro $i = 1, 2, .., m$ a $j = 1, 2, .., n$ je připočten k zásobám dle dané dodací lhůty. V modelu se neuvažují počáteční zásoby na skladě — vychází se ze stavu 0. Jednotkami jsou kusy a dny. V tomto případě je navíc dána životnost plynů z 1 měsíc – přibližně 20 pracovních dnů. Cílem je minimalizace počtu objednávek x_{ij} pro $i = 1, 2, .., m$ a $j = 1, 2, .., n$, kdy x_{ij} může být rovno jedné — j-tý den se realizuje objednávka materiálu i — nebo nule — j-tý den se nerealizuje objednávka materiálu i, rozhodovací proměnná je tedy bivalentní.

Parametry modelu:

m	počet druhů plynu $(m = 19)$,
n	počet dní $(n = 44)$,
k	kapacita skladu v kusech $(k = 150)$,
l	dodací lhůta ve dnech $(l = 2)$,
p_{ij}	výdej plynu v kusech pro $i = 1, .., m$ a $j = 1, .., n$,
S	velké číslo (v tomto případě zvoleno $S = 1\ 000\ 000$).

Proměnné modelu:

x_{ij}	binární proměnná – rovna 1, pokud je i-tý druh objednán v j-tém dnu,
d_{ij}	objem zásob i-tého druhu na skladě v j-tém dnu,
o_{ij}	objem objednaného i-tého materiálu v j-tém dnu.

Matematický model 2

Matematický zápis dle výše uvedeného ekonomického modelu bude vypadat následovně:

$$\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} x_{ij} \rightarrow MIN, \tag{3.10}$$

$$\sum_{i=1}^{m} p_{ij} \leq k \qquad j = 1, 2, .., n, \tag{3.11}$$

$$p_{ij} = 0 \qquad i = 1, 2, .., m,\ j = 1, .., l, \tag{3.12}$$

$$p_{ij} = o_{ij-l} + d_{ij-1} - v_{ij} \qquad i = 1, 2, .., m,\ j = l + 1, .., n, \tag{3.13}$$

$$p_{ij} \leq \sum_{j=t}^{t+z} v_{ij} \qquad i = 1, 2, .., m,\ t = 1, 2, ..n - z, \tag{3.14}$$

$$o_{ij} \leq x_{ij} \cdot S \qquad i = 1, 2, .., m,\ j = 1, 2, .., n, \tag{3.15}$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \qquad i = 1, 2, ..m,\ j = 1, 2, .., n, \tag{3.16}$$

$$p_{ij}, o_{ij} \in N^0 \qquad i = 1, 2, ..m,\ j = 1, 2, .., n, \tag{3.17}$$

Popis částí modelu 2

(3.10), (3.11) a (3.12) jsou stejnými podmínkami a účelovou funkcí jako (3.1), (3.2) a (3.3) v modelu 1.

V (3.13) je narozdíl od prvního modelu vztah platný pro všechny dny počínajíc dnem třetím.

(3.14) je podmínkou pro zamezení skladování materiálu po delší dobu, než je jeho doba životnosti. Jak již bylo uvedeno v sekci 3.3, předpokládá se pohyb zásob dle metody FIFO. Je-li součet i-tých vydaných lahví plynu za z dní ode dne D_j menší, nežli je stav zásob p_{ij} i-tých lahví plynu v čase j, pak neodšlo k výdeji zásob ve stanovené době životnosti. Pomocný index t značí počátek doby životnosti.

Podmínky (3.15), (3.16) a (3.17) jsou obdobami podmínek v modelu 1.

Zápis modelu v MPL

Mějme opět vytvořený externí soubor *model2.xlsx* s nazvanými oblastmi pro vstupy a výstupy modelu. Zápis popsaného matematického modelu pak bude v modelovacím jazyce systému MPL v následujícím tvaru:

```
TITLE MODEL 2

OPTIONS
ExcelWorkBook = "model2.xlsx";

INDEX
i := 1..19;
j := 1..44;

DATA
v[i,j] := ExcelRange("vydej");
k := ExcelRange("kapacita");
S = 1000000;

INETEGER VARIABLES
p[i,j] Export to ExcelRange("zasoba");
o[i,j] Export to ExcelRange("objednavky");

BINARY VARIABLES
x[i,j] Export to ExcelRange("binarni");

MODEL
MIN objednavky Export to ExcelRange("ucelova") = sum(i,j:x[i,j]);

SUBJECT TO
kapacity[j]: sum(i:(p[i,j])) <= k;
```

```
pocatecnicas[i,j=1..2]: p[i,j] = 0;


zasoba1[i,j=3..44]: p[i,j] = o[i,j-2] + p[i,j-1] - v[i,j];
zivotnost[i,j=3..24]: p[i,j] <= v[i,j+1] + v[i,j+2] + v[i,j+3] +
v[i,j+4] + v[i,j+5] + v[i,j+6] + v[i,j+7] + v[i,j+8] + v[i,j+9]
+ v[i,j+10] + v[i,j+11] + v[i,j+12] + v[i,j+13] + v[i,j+14] +
v[i,j+15] + v[i,j+16] + v[i,j+17] + v[i,j+18] + v[i,j+19] +
v[i,j+20];


prevod[i,j]: o[i,j] <= x[i,j]*S;


END
```

3.4.3 Návrh možných úprav modelů

Pokud bychom chtěli v námi zkonstruovaných modelech zohlednit možné nadměrné skladovací náklady, jedním z kroků může být například snížení kapacit jednotlivých skladů.

Snížení kapacit by bylo vhodné i tehdy, pokud bychom chtěli zamezit špatné manipulaci, orientaci a složitému přeskládávání v paletových regálech prvního skladu.

V případě dodávky materiálu pouze v sadách odlišných velikostí pro každý druh by se do modelu přidal vektor velikostí sad a matice celočíselných nezáporných proměnných, která by značila skutečnou velikost objednávky (počet objednaných sad). Jejich součinu by se pak rovnala matice již definovaných proměnných objednávek o_{ij}.

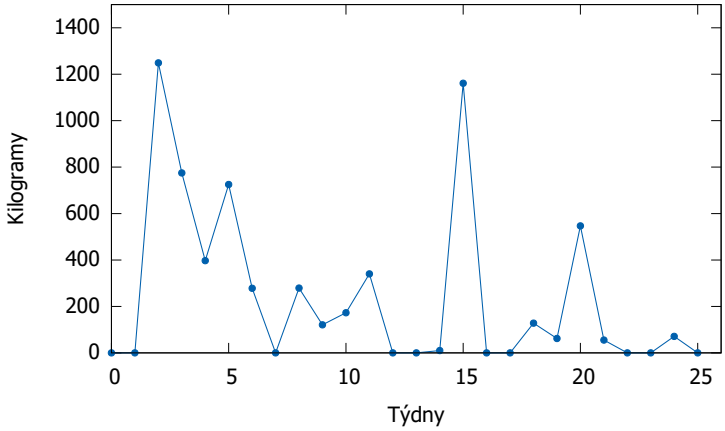
Song [7] tvrdí, že momentální situace na trhu značně ovlivňuje strategii společností v oblasti řízení zásob. Konkurence je čím dál tím větší a odběratelé si tím pádem mohou vybírat své dodavatele. Důležitou roli zde hraje rychlost uspokojení poptávky. Pokud bychom chtěli tuto myšlenku přenést na dostupná data, mohli bychom zkonstruovat model s odlišným cílem, než je minimalizace objednávek, a to s cílem maximalizace množství dostupných zásob na skladě.

Tím by se v podstatě vytvořila již zmiňovaná pojistná zásoba pro případné vychýlení. Nutností by zde bylo zachování určitých vah. Například častěji a ve větší míře čerpaným zásobám by byla přiřazena váha vyšší a tedy i jejich podíl na kapacitách, po odečtení zásob určených k plánovanému výdeji, by byl větší.

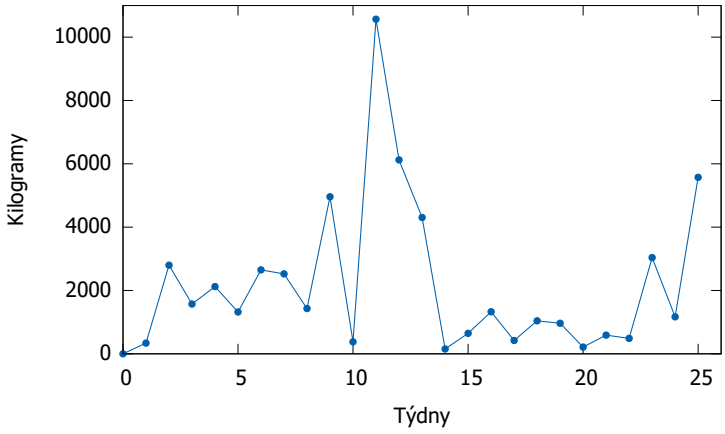
3.5 Zkušební výpočet optimalizace

Zkušební výpočet 1

Pro zkušební výpočet optimalizace pomocí modelu 1 byly náhodně vybrány 2 druhy materiálu prvního skladu a to materiály M2 a M6. Pro představu jejich výdejového toku ze skladu v daném období (leden–červen) jsou na obrázku 3.1 a 3.2 tyto výdeje vykresleny do grafů. Pro lepší viditelnost průběhu byly zvoleny jiné rozsahy vertikálních os. Je zřejmé, že potřeba těchto dvou materiálů je odlišná až opačná, pravděpodobně se tedy jedná o materiály odlišných zakázek nebo o materiály v rámci jednotlivých zakázek na sebe navazující.



Obrázek 3.1: Výdej materiálu M2



Obrázek 3.2: Výdej materiálu M6

Materiál M2 a M6 patří mezi častěji vydávané materiály ze skladu. Jelikož je celková kapacita 80 000 kg stanovena na 73 druhů materiálu, pro účely zkušebního výpočtu snížíme kapacitu k na 4 000 kg. Zbylé konstanty modelu zůstávají stejné.

Po provedení optimalizačního výpočtu jsou výstupem hodnoty uvedeny v tabulce 3.1, kde jsou zobrazeny hodnoty velikostí zásob jednotlivých druhů na skladě (sloupce Zás. M2 a Zás. M6), zda byla v daném týdnu realizována objednávka materiálu (sloupce Real. M2 a Real. M6) a pokud ano, tak jaká byla velikost této objednávky (sloupce Obj. M2 a Obj. M6).

Týden	Zás. M2	Zás. M6	Obj. M2	Obj. M6	Real. M2	Real. M6
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	5096	0	1
4	0	0	1856	0	1	0
5	0	3847	0	0	0	0
6	928	3072	0	0	0	0
7	928	2675	0	0	0	0
8	928	1950	0	0	0	0
9	928	1672	0	0	0	0
10	868	1672	0	0	0	0
11	868	1393	0	1696	0	1
12	868	1272	0	0	0	0
13	868	2795	0	0	0	0
14	868	2455	0	0	0	0
15	868	2455	0	0	0	0
16	868	2455	2160	0	1	0
17	868	2445	0	0	0	0
18	868	1284	0	0	0	0
19	868	1284	0	0	0	0
20	1704	1284	0	0	0	0
21	1470	1156	0	0	0	0
22	1470	1094	0	0	0	0
23	735	547	0	0	0	0
24	735	492	0	0	0	0
25	735	492	0	0	0	0
26	735	492	0	0	0	0

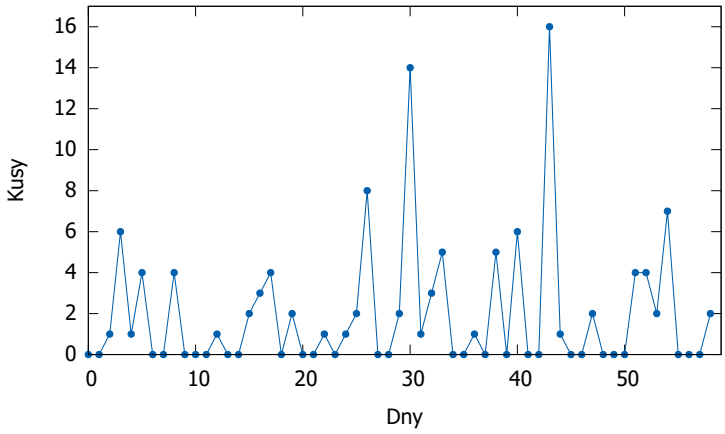
Tabulka 3.1: Výstupy zkušebního výpočtu 1

Je zřejmé, že výsledná hodnota účelové funkce je 4, tedy v daném období bude optimální (minimální) počet objednávek čtyři objednávky. Můžeme také pozorovat přestup na sezónní období, kdy v 16. týdnu byla realizována objednávka materiálu M2, ale stav zásob tohoto materiálu se navýšil až ve 20. týdnu. Dle výsledků je možné konstatovat, že daný model je vhodný pro použití při komplexní optimalizaci všech zásob prvního skladu.

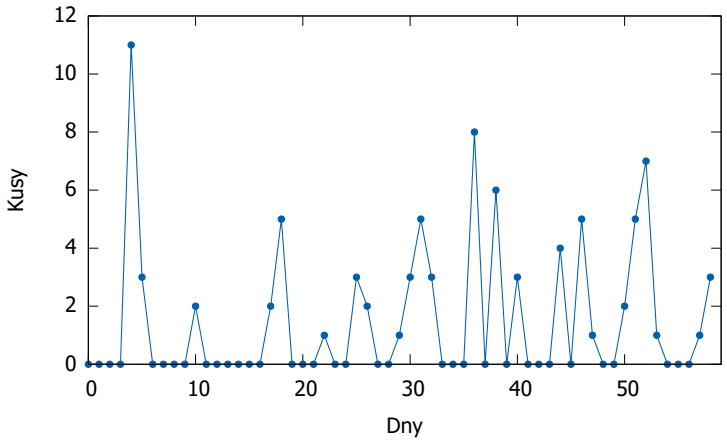
Zkušební výpočet 2

Pro druhý sklad, tedy matematický model 2, byly náhodně vabrány 2 druhy plynů, a to plyn P5 a plyn P13. Půběh výdejů v daném období je opět zobrazen v grafech s odlišnými rozsahy os na obrázcích 3.3 a 3.4. Tyto výdeje dvou náhodných druhů jsou očividně více náhodilejší, nežli tomu bylo u prvního skladu.

Čerpání těchto plynů je sice častější, ale zato méně objemné. Proto si kapacitu ze 150 kusů snížíme pro účely zkušebního výpočtu na 10 kusů. Zbylé konstanty modelu opět zůstávají stejné.



Obrázek 3.3: Výdej plynu P5



Obrázek 3.4: Výdej plynu P13

Po spuštění optimalizačního výpočtu byly do excelovského souboru přeneseny výstupy, které jsou zapsány v tabulce 3.2 — stav zásob na skladě (sloupce Zás. P5 a Zás. P13), zda se daný týden realizuje objednávka (sloupce Real. P5 a Real. P13) a pokud ano, pak jaká bude její velikost (sloupce Obj. P5 a Obj. P13).

Z dat modelu je opět možné pozorovat, že hodnota účelové funkce je rovna 4 — budou realizovány 4 objednávky plynů. Plyny byly ze skladu vydány do konce doby životnosti — 20 dnů od dodání plnynů na sklad je stav zásob nulový. Všechny podmínky a omezení modelu byly dodrženy. Dle výsledků můžeme konstatovat, že daný model je vhodný pro použití při komplexní optimalizaci všech zásob druhého skladu.

Den	Zás. P5	Zás. P13	Obj. P5	Obj. P13	Real. P5	Real. P13
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	4	0	1	0
3	0	0	0	0	0	0
4	4	0	0	14	0	1
5	3	0	0	0	0	0
6	3	7	0	0	0	0
7	3	4	0	0	0	0
8	2	4	0	0	0	0
9	2	4	0	0	0	0
10	2	3	0	0	0	0
11	2	3	0	0	0	0
12	2	2	0	0	0	0
13	2	2	0	0	0	0
14	2	2	0	0	0	0
15	2	1	0	0	0	0
16	2	0	0	0	0	0
17	2	0	0	0	0	0
18	2	0	0	0	0	0
19	2	0	0	10	0	1
20	1	0	0	0	0	0
21	1	9	0	0	0	0
22	0	9	0	0	0	0
23	0	9	0	0	0	0
24	0	8	0	0	0	0
25	0	3	0	0	0	0
26	0	2	0	0	0	0
27	0	2	0	0	0	0
28	0	2	0	0	0	0
29	0	2	0	0	0	0
30	0	0	0	11	0	1
31	0	0	0	0	0	0
32	0	9	0	0	0	0
33	0	9	0	0	0	0
34	0	8	0	0	0	0
35	0	8	0	0	0	0
36	0	7	0	0	0	0
37	0	6	0	0	0	0
38	0	6	0	0	0	0
39	0	4	0	0	0	0
40	0	1	0	0	0	0
41	0	1	0	0	0	0
42	0	1	0	0	0	0
43	0	1	0	0	0	0
44	0	0	0	0	0	0

Tabulka 3.2: Výstupy zkušebního výpočtu 2

4. Užití modelů pro komplexní optimalizaci a zhodnocení výsledků

4.1 Model 1

Po spuštění optimalizačního výpočtu byly přeneseny do excelovského souboru výstupy uvedeny v příloze D. Tyto výstupy obsahují velikosti objednávek a velikosti dostupných zásob na skladě. Hodnoty realizací objednávek v příloze uvedeny nejsou — víme, že pokud je velikost objednávky větší než 0, pak byla objednávka zrealizována a hodnota proměnné je tedy rovna 1, pro jejich přehled tedy postačí data velikostí objednávek materiálu.

Výsledná hodnota účelové funkce je 60, tedy za dané období (26 týdnů) by optimálně (minimálně) mělo být zrealizováno 60 objednávek svařovacího materiálu. Je zřejmé, že některé druhy materiálu by tedy vůbec být objednány neměly (druhů je celkem 72). To je způsobeno výběrem období pro aplikaci modelu, jejich objednávka by byla zapotřebí až v druhé části roku. U zbylých druhů materiálu by objednávka měla být dle výpočtů provedena vždy pouze jednou — hodnota účelové funkce je tedy opravdu minimální, i kdybychom zvýšili kapacitu skladu, tak v daném období již nelze zrealizovat méně objednávek. Pokud bychom nelpěli na počtu jedné objednávky na druh materiálu, byl by zde prostor pro již zmíněné pomyslné snížení kapacity skladu s cílem nižších skladovacích nákladů.

Níže v tabulce 4.1 jsou vypsány hodnoty zbylých kapacit skladu v jednotlivých týdnech počínaje týdnem třetím. Všechny hodnoty jsou kladné — kapacitní omezení bylo splněno. Ke konci období nabývají nenaplněné kapacity vyšších hodnot, což je opět způsobeno výběrem období — model byl aplikován pouze na data v rozsahu 26 týdnů, výdeje následujícího období v něm zahrnuty nejsou, tudíž nebyly zapotřebí dodatečné objednávky materiálu a volné kapacity skladu se ke konci období zvýšily. V 6. týdnu je zbylá kapacita velice nízká, pokud bychom tedy celkovou kapacitu snížili o více než 233 kg, muselo by dojít ke změně dní realizace objednávek.

3	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**
58666	16639	5607	223	3833	2008	5088	8787	10513	14905	19415	2813

15	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**	**25**	**26**
9149	14998	19394	26448	37722	42228	45356	50492	53068	61429	63867	68028

Tabulka 4.1: Týdenní zbylé kapacity skladu 1

V příloze D můžeme pozorovat přechod mezi sezónním a nesezónním obdobím, kdy objednávka materiálu M7 byla provedena 14. týden a zásoba se navýšila už v 16. týdnu, oproti tomu materiál M9 byl objednán 19. týden a jeho stav byl navýšen až 23. týden.

Dle výsledků proběhl optimalizační výpočet úspěšně. Počet objednávek je minimalizován při splnění všech omezení a požadavků.

4.2 Model 2

Výsledky výpočtů druhého modelu, tedy modelu aplikovaného na data skladu s plyny, jsou uvedeny v příloze E. Tabulky obsahují, stejně jako u modelu 1, velikosti objednávek a zásob plynů.

Účelová funkce je zde rovna 25, tedy optimální (minimální) počet objednávek plynu je 25. Výdej některých plynů je v tomto období nulový, z toho důvodu nebyla nutná jejich objednávka. U zbylých plynů je hodnota objednávek rovna buď 1 nebo 2.

V tabulce 4.2 jsou zobrazeny zbylé kapacity plynu po odečtení veškerých zásob na skladě daný den. Hodnoty jsou kladné, byla dodržena kapacitní podmínka. Nejnižší volnou kapacitu můžeme pozorovat na přelomu února a března, tedy 26. den. Poté opět narůstá vlivem nezahrnutí budoucích výdejů do modelu. Dle velikostí zásob plynů na skladě uvedených v příloze E volnou kapacitu nejvíce snižuje plyn P5, který je v největším množství a nejčastěji odebíraným plynem.

3	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**
129	75	77	32	44	50	52	55	55	53	55	61	73	82	85	88	88	87	94	106	109

24	**25**	**26**	**27**	**28**	**29**	**30**	**31**	**32**	**33**	**34**	**35**	**36**	**37**	**38**	**39**	**40**	**41**	**42**	**43**	**44**
53	20	7	12	25	25	39	39	53	69	77	77	83	89	91	102	126	131	138	139	150

Tabulka 4.2: Denní zbylé kapacity skladu 2

Doba životnosti plynů byla také dodržena. Například u plynu P5 byla na sklad dodána ve 4. dni zásoba o velikosti 55. 22. den byla realizována objednávka 59 kusů, které při dodací lhůtě 2 týdny navýšily stav zásob ve 24. dni, kdy je hodnota zásob přesně 59 kusů — předchozí zásoby musely být vyčerpány a to přesně za dobu 20 dní.

Dle výsledků můžeme usoudit, že při výpočtu byla splněna veškerá kritéria a požadavky, tento výpočet tedy proběhl úspěšně.

Závěr

Cílem této práce bylo nahlédnutí do problematiky zásob a skladového hospodářství, následné užití poznatků při rozboru systému zásobování a skladování vybrané výrobní společnosti a v poslední řadě konstrukce a aplikace modelu s netradičním záměrem minimalizace počtu objednávek zásob.

Vzhledem k povaze dat a omezení byly modely konstruovány jako úlohy ryze celočíselného programování. Výstupy modelů jsou optimální (minimální) hodnoty účelových funkcí a jednotlivá množství skladovaných či objednaných zásob. Výsledkem je nejen minimální počet objednávek, ale také kapacitní zastoupení jednotlivých druhů materiálu.

Velice nízký počet objednávek materiálu prvního skladu značí nadměrné kapacity tohoto skladu. Jak již bylo zmíněno, vhodné by bylo jejich snížení za účelem zohlednění skladovacích nákladů nebo umožnění lepší manipulace s paletami.

Výsledné hodnoty mohou posloužit jako podklad pro další subjektivní rozhodování pracovníků společnosti při řízení zásob. Případně se zde naskýtá možnost rozšíření či úpravy modelu o další určité specifické požadavky — jako je například změna dodacích podmínek na objednávky pouze v sadách.

Literatura

[1] Battini D., Gunasekaran A., Faccion M., Persona A., Sgarbossa F.. Consigment stock model in an integrated supply chain. *International Journal of Production Research.* 2010, vol. 48, No. 2 ISNN 477-500.

[2] Emmett Stuart. *Řízení zásob.* Přeložila Markéta Henychová. 1. vydání. Brno: Computer Press a.s. 2008. ISBN 978-80-251-1828-3.

[3] Jablonský Josef. *Programy pro matematické modelování.* 1. vydání. Praha: Vysoká škola ekonomická v Praze. 2011., ISBN 978-80-245-1810-7.

[4] Kořenář Václav. *Stochastické procesy.* 1. vydání. Praha: Vysoká škola ekonomická v Praze. 2002. ISBN 80-245-0311-5.

[5] Plevný Miroslav, Lukáš Ladislav *Operační výzkum.* 1. vydání. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni. 2000. ISBN 80-7082-641-X.

[6] Sandeep Jain, Raghavan N. R. Srinivasa, A queuing approach for inventory planning with batch ordering in multi-echelon supply chains. *Central European Journal of Operations Research.* 2008, ISNN 1613-9178.

[7] Song Jin-Sheng, On the Order Fill Rate in a Multi-Item, Base-Stock Inventory System. *Operations Research.* 1998, vol. 46, 831–845.

[8] Vokálová Jaroslava. *Modelování v řízení 30.* 1. vydání. Praha: Vydavatelství ČVUT. 2004. ISBN 80-01-02875-5.

Přílohy

Příloha A: Ukázka denních výdejů svařovacího materiálu

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13
01.01.2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
02.01.2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03.01.2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
04.01.2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
05.01.2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
06.01.2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
07.01.2015	0	0	0	0	0	41.3	0	0	0	0	0	0	0
08.01.2015	0	0	0	0	0	187	0	0	0	0	0	0	0
09.01.2015	0	0	0	0	0	110	0	0	0	0	0	0	0
10.01.2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11.01.2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12.01.2015	0	0	0	0	0	71.2	0	0	0	0	0	0	0
13.01.2015	0	1249	0	0	0	0	0	80	0	0	0	0	0
14.01.2015	0	0	0	0	0	0	0	485	0	0	0	0	0
15.01.2015	0	0	0	0	0	1884	0	0.3	0	0	0	0	0
16.01.2015	0	0	0	0	0	846	0	0	0	0	0	0	0
17.01.2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18.01.2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19.01.2015	0	0	0	0	0	1332	0	0	0	0	0	0	0
20.01.2015	928	715	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21.01.2015	0	0	0	0	0	149	0	0	0	0	0	0	0
22.01.2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23.01.2015	0	60.4	0	0	0	92	0	165	680	0	0	0	0
24.01.2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25.01.2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26.01.2015	0	0	0	0	0	480	0	0	0	0	0	0	0
27.01.2015	0	306	0	0	0	72	0	0	0	0	0	0	0
28.01.2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29.01.2015	0	0	0	0	0	1570	0	0	0	0	0	0	0
30.01.2015	0	91	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31.01.2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01.02.2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
02.02.2015	0	0	0	0	0	192	0	0	0	0	0	0	0
03.02.2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
04.02.2015	0	2.5	0	0	0	262	0	0	0	0	0	0	0
05.02.2015	0	20	0	0	0	484	0	0	0	0	0	0	0
06.02.2015	0	703	0	0	1204	382	0	0	0	0	0	0	0
07.02.2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
08.02.2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
09.02.2015	0	0	0	0	0	877	0	0	0	0	0	0	0
10.02.2015	0	0	0	2.02	0	106	0	0	0	0	0	0	0
11.02.2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12.02.2015	0	0	0	0	0	1615	0	234	0	0	0	0	0

Tabulka A.1: Ukázka denních výdejů svařovacího materiálu (materiál M1 – M13)

Příloha B: Týdenní výdeje svařovacího materiálu leden – červen

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	338	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	1249	0	0	0	2801	0	566	0	0	0	0	0	0	0	0	64	0
4	928	775	0	0	0	1572	0	165	680	0	0	0	0	0	0	0	0	44
5	0	397	0	0	0	2122	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	301	0
6	0	725	0	0	1204	1320	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	66	0
7	0	278	0	2	0	2650	0	878	0	0	0	0	0	0	0	0	0	95
8	60	0	163	0	2729	2523	0	717	0	0	0	0	0	193	0	78	192	0
9	0	279	0	0	0	1431	0	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	121	0	0	0	4958	0	167	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	173	0	0	0	379	0	640	0	0	0	0	0	0	0	0	128	0
12	0	340	0	0	0	10568	0	730	0	0	0	400	0	0	0	0	187	0
13	0	0	0	0	0	6123	0	195	0	0	0	0	0	0	0	52	72	0
14	0	0	0	70	0	4305	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	10	0	130	0	151	0	1987	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	1161	0	0	0	648	32	399	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	1326	0	6238	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	1324	0	0	0	0	421	0	601	0	0	0	0	0	0	0	0	75	81
19	234	128	0	0	0	1041	0	0	934	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	62	0	0	0	964	0	1552	0	0	0	0	34	0	128	0	432	39
21	735	547	0	0	511	213	240	0	80	0	240	480	0	906	0	54	0	0
22	0	55	0	1227	0	590	0	789	0	0	0	0	0	0	0	206	118	988
23	0	0	12	0	0	486	0	56	0	0	0	0	0	0	0	0	0	864
24	0	0	0	5	0	3040	0	2	0	0	0	0	0	0	128	35	64	32

Tabulka B.1: Týdenní výdeje materiálu M1-M18

	M19	M20	M21	M22	M23	M24	M25	M26	M27	M28	M29	M30	M31	M32	M33	M34	M35	M36
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	230	0	302	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34
4	0	0	138	0	0	0	0	1048	0	0	228	668	0	808	1744	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3150	0	0
7	0	0	0	138	0	0	0	245	0	1174	0	0	0	0	0	0	0	0
8	288	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	218	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	102	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	75	149	0	1856	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	135	0	434	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	442	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	538	226	0	0	0	0	0	0	0	54	54	910	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	68	0	0	86	0	0	0	102	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21
22	880	0	264	106	0	0	0	63	0	72	113	134	316	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	666	0	0	0	0	0	0	0
24	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabulka B.2: Týdenní výdeje materiálu M19-M36

	M37	M38	M39	M40	M41	M42	M43	M44	M45	M46	M47	M48	M49	M50	M51	M52	M53	M54
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	4030	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	87	52	138	0	0	0
4	0	0	38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	164	27	0	0	0	38
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	150	0	0	0	0	0
6	0	436	0	122	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40	0	0	0	0
7	0	122	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	234	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	234	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	646	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	74	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	283	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	4018	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	41	102	350	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	222	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	532	0	0	0	0
20	0	0	0	192	0	0	0	0	0	0	0	0	15	0	58	0	0	12
21	0	0	0	226	38	0	0	0	0	0	0	0	110	2579	0	0	32	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	62	0	0	34	0	58
23	0	0	0	54	0	0	0	0	0	0	0	0	300	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	242	0	0	0	0	0	0	0	0	0	146	0	0

Tabulka B.3: Týdenní výdeje materiálu M37-M54

	M55	M56	M57	M58	M59	M60	M61	M62	M63	M64	M65	M66	M67	M68	M69	M70	M71	M72
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	584
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	879	879	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1914
6	0	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	272	0	0	0	0	0	0	584
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	584
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	671	0	0	0	0	624	0	0	322
11	76	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	559	1525
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1746
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	230	389	0	0	0	0	0	1403
16	46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	230	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3710
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	134	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	809	0
20	0	0	0	0	0	124	0	0	0	0	0	0	0	0	132	0	0	1136
21	0	0	0	0	0	124	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	293
22	31	0	0	0	235	0	71	0	0	1146	126	0	0	0	0	0	0	677
23	0	0	0	0	0	0	0	316	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	435

Tabulka B.4: Týdenní výdeje materiálu M55-M72

Příloha C: Denní výdeje plynů únor – březen

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19
01.02.2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
02.02.2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03.02.2015	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
04.02.2015	1	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
05.02.2015	0	7	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	11	0	0	0	0	4	0
06.02.2015	0	3	1	0	4	0	0	0	0	0	1	0	3	0	0	0	0	0	0
07.02.2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
08.02.2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
09.02.2015	1	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
10.02.2015	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
11.02.2015	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
12.02.2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13.02.2015	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14.02.2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15.02.2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16.02.2015	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17.02.2015	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1
18.02.2015	0	1	2	0	4	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	2	0
19.02.2015	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	5	0	0	0	0	0	0
20.02.2015	0	0	0	0	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21.02.2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22.02.2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23.02.2015	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
24.02.2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25.02.2015	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	2	0
26.02.2015	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0
27.02.2015	1	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	1
28.02.2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01.03.2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
02.03.2015	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
03.03.2015	0	2	0	0	14	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	2	0	0
04.03.2015	0	5	0	0	1	0	0	0	1	0	2	0	5	0	0	0	0	0	0
05.03.2015	0	1	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0
06.03.2015	0	0	1	0	5	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
07.03.2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
08.03.2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
09.03.2015	0	5	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0
10.03.2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11.03.2015	0	2	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	1
12.03.2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13.03.2015	0	2	2	0	6	0	0	0	0	0	1	0	3	0	0	0	0	2	0
14.03.2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15.03.2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16.03.2015	0	0	0	0	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17.03.2015	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0
18.03.2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19.03.2015	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0
20.03.2015	0	1	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0
21.03.2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22.03.2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23.03.2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
24.03.2015	0	2	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0
25.03.2015	0	3	1	0	4	0	0	0	1	0	5	0	7	0	0	0	0	2	1
26.03.2015	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0
27.03.2015	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28.03.2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29.03.2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30.03.2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
31.03.2015	0	1	1	0	2	0	0	1	0	0	1	0	3	1	0	0	0	0	1

Tabulka C.1: Denní výdej plynů únor – březen

Příloha D: Výstupy výpočtu — model 1

	O1	O2	O3	O4	O5	O6	O7	O8	O9	O10	O11	O12	O13	O14	O15	O16	O17	O18
1	0	0	0	0	0	0	0	15698	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	22256	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1699	0
3	0	13894	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	3281	0	0	0	0	0	0	0	1694	0	0	0	0	0	0	0	0	2143
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	4444	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	1434	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	175	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1099	0	425	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	27714	0	0	0	0	0	880	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	272	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	256	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4618	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabulka D.1: Objednávky materiálu M1-M18

	O19	O20	O21	O22	O23	O24	O25	O26	O27	O28	O29	O30	O31	O32	O33	O34	O35	O36
1	0	0	0	2470	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	63
3	0	605	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	402	0	0	0	0	1356	0	0	1163	1712	0	808	1744	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	398	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3150	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1300	0	0	0	0	0	0	0	0
8	1813	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	534	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	876	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabulka D.2: Objednávky materiálu M19-M36

	O37	O38	O39	O40	O41	O42	O43	O44	O45	O46	O47	O48	O49	O50	O51	O52	O53	O54
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1212	0	196	0	0	0
2	8048	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3814	0	0	0	0
4	0	0	38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	108
5	0	0	0	951	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	1223	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	234	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	41	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	38	242	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	32	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	180	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabulka D.3: Objednávky materiálu M37-M54

	O55	O56	O57	O58	O59	O60	O61	O62	O63	O64	O65	O66	O67	O68	O69	O70	O71	O72
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	879	879	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14913
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	83	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	858	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1817	0	0	0	0	756	0	0	0
11	287	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1368	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	389	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	248	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	235	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	316	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabulka D.4: Objednávky materiálu M55-M72

	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13	D14	D15	D16	D17	D18
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	15698	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	21918	0	15698	0	0	0	0	0	0	0	0	1699	0
5	0	12645	0	0	0	19117	0	15132	0	0	0	0	0	0	0	0	1635	0
6	2353	11870	0	0	0	17545	0	14967	1014	0	0	0	0	0	0	0	1635	2099
7	2353	11473	0	0	0	15423	0	14967	1014	0	0	0	0	0	0	0	1334	2099
8	2353	10748	0	0	3240	14103	0	14967	1014	0	0	0	0	0	0	0	1268	2099
9	2353	10470	0	1432	3240	11453	0	14089	1014	0	0	0	0	0	0	0	1268	2004
10	2293	10470	12	1432	511	8930	0	13372	1014	0	0	0	0	906	0	347	1076	2004
11	2293	10191	12	1432	511	7499	0	13356	1014	0	0	0	0	906	0	347	1076	2004
12	2293	10070	12	1432	511	2541	0	13189	1014	0	0	0	0	906	0	347	1076	2004
13	2293	9897	12	1432	511	2162	0	12549	1014	0	0	0	0	906	0	347	948	2004
14	2293	9557	12	1432	511	19308	0	11819	1014	0	0	480	0	906	0	347	761	2004
15	2293	9557	12	1432	511	13185	0	11624	1014	0	0	480	0	906	0	295	689	2004
16	2293	9557	12	1362	511	8880	272	11624	1014	0	0	480	0	906	0	295	689	2004
17	2293	9547	12	1232	511	8729	272	9637	1014	0	0	480	34	906	0	295	689	2004
18	2293	8386	12	1232	511	8081	240	9238	1014	0	0	480	34	906	0	295	689	2004
19	2293	8386	12	1232	511	6755	240	3000	1014	0	0	480	34	906	0	295	689	2004
20	969	8386	12	1232	511	6334	240	2399	1014	0	0	480	34	906	0	295	614	1923
21	735	8258	12	1232	511	5293	240	2399	80	0	0	480	34	906	256	295	614	1923
22	735	8196	12	1232	511	4329	240	847	80	0	0	480	0	906	128	295	182	1884
23	0	7649	12	1232	0	4116	0	847	0	0	4378	0	0	0	128	241	182	1884
24	0	7594	12	5	0	3526	0	58	0	0	4378	0	0	0	128	35	64	896
25	0	7594	0	5	0	3040	0	2	0	0	4378	0	0	0	128	35	64	32
26	0	7594	0	0	0	0	0	0	0	0	4378	0	0	0	0	0	0	0

Tabulka D.1: Zásoby materiálu M1-M18 na skladě

	D19	D20	D21	D22	D23	D24	D25	D26	D27	D28	D29	D30	D31	D32	D33	D34	D35	D36
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	2470	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	2470	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	63
5	0	375	0	2168	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29
6	0	375	264	2168	0	0	0	308	0	0	935	1044	0	0	0	0	0	29
7	0	375	264	2168	0	0	323	308	0	0	935	1044	0	0	0	0	0	29
8	0	375	264	2168	0	0	323	308	0	0	935	1044	0	0	0	0	0	29
9	0	375	264	2030	0	0	323	63	0	126	935	1044	0	0	0	0	0	29
10	1525	375	264	2030	0	0	323	63	0	126	935	1044	316	0	0	0	0	29
11	1525	375	264	2030	0	0	323	63	0	126	935	1044	316	0	0	0	0	29
12	1525	375	264	2030	0	0	221	63	0	126	935	1044	316	0	0	0	0	29
13	1450	226	264	174	0	0	221	63	0	126	935	1044	316	0	0	0	0	29
14	1450	226	264	174	0	0	86	63	442	126	935	1044	316	0	0	0	0	29
15	1450	226	264	174	0	0	86	63	442	126	935	1044	316	0	0	0	0	29
16	1450	226	264	174	0	0	86	63	442	126	935	1044	316	0	0	0	0	29
17	1450	226	264	174	0	0	86	63	0	126	935	1044	316	0	0	0	0	29
18	1450	226	264	174	0	0	86	63	0	126	935	1044	316	0	0	0	0	21
19	1450	226	264	174	0	0	86	63	0	126	935	1044	316	0	0	0	0	21
20	912	0	264	174	0	0	86	63	0	72	881	134	316	0	0	0	0	21
21	912	0	264	174	0	0	86	63	0	72	881	134	316	0	0	0	0	21
22	912	0	264	106	0	0	0	63	0	72	779	134	316	0	0	0	0	21
23	912	0	264	106	0	0	0	63	0	72	779	134	316	0	0	0	0	0
24	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	666	0	0	0	0	0	0	0
25	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabulka D.2: Zásoby materiálu M19-M36 na skladě

	D37	D38	D39	D40	D41	D42	D43	D44	D45	D46	D47	D48	D49	D50	D51	D52	D53	D54
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1212	0	196	0	0	0
4	4018	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1212	0	196	0	0	0
5	4018	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1125	3762	58	0	0	0
6	4018	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	961	3735	58	0	0	70
7	4018	0	0	951	0	0	0	0	0	0	0	0	811	3735	58	0	0	70
8	4018	787	0	829	0	0	0	0	0	0	0	0	811	3695	58	0	0	70
9	4018	665	0	829	0	0	0	0	0	0	0	0	811	3461	58	0	0	70
10	4018	665	0	829	0	0	0	0	0	0	0	0	811	3461	58	0	0	70
11	4018	665	0	829	0	0	0	0	0	0	0	0	811	3461	58	0	0	70
12	4018	665	0	829	0	0	0	0	0	0	0	0	811	3461	58	0	0	70
13	4018	19	0	829	0	0	0	0	0	0	0	41	811	3461	58	0	0	70
14	4018	19	0	755	0	0	0	0	0	0	0	41	811	3461	58	0	0	70
15	4018	19	0	472	0	0	0	0	0	0	0	41	811	3461	58	0	0	70
16	4018	19	0	472	0	0	0	0	0	0	0	41	811	3461	58	0	0	70
17	4018	19	0	472	38	242	0	0	0	0	0	41	811	3461	58	0	32	70
18	0	0	0	472	38	242	0	0	0	0	0	0	709	3111	58	0	32	70
19	0	0	0	472	38	242	0	0	0	0	0	0	709	3111	58	0	32	70
20	0	0	0	472	38	242	0	0	0	0	0	0	487	3111	58	0	32	70
21	0	0	0	472	38	242	0	0	0	0	0	0	487	2579	58	180	32	70
22	0	0	0	280	38	242	0	0	0	0	0	0	472	2579	0	180	32	58
23	0	0	0	54	0	242	0	0	0	0	0	0	362	0	0	180	0	58
24	0	0	0	54	0	242	0	0	0	0	0	0	300	0	0	146	0	0
25	0	0	0	0	0	242	0	0	0	0	0	0	0	0	0	146	0	0
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabulka D.3: Zásoby materiálu M37-M54 na skladě

	D55	D56	D57	D58	D59	D60	D61	D62	D63	D64	D65	D66	D67	D68	D69	D70	D71	D72
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	879	879	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	879	879	0	0	0	14329
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14329
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14329
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12415
8	0	0	0	0	0	0	71	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12415
9	0	0	0	0	0	0	71	0	0	0	586	0	0	0	0	0	0	11831
10	0	0	0	0	0	0	71	0	0	0	586	0	0	0	0	0	0	11247
11	0	0	0	0	0	0	71	0	0	0	586	0	0	0	0	0	0	11247
12	0	0	0	0	0	0	71	0	0	1146	586	0	0	0	132	0	0	10925
13	211	0	0	0	0	0	71	0	0	1146	586	0	0	0	132	0	809	9400
14	211	0	0	0	0	0	71	0	0	1146	586	0	0	0	132	0	809	9400
15	211	0	0	0	0	0	71	0	0	1146	586	389	0	0	132	0	809	9400
16	211	0	0	0	0	0	71	0	0	1146	586	389	0	0	132	0	809	7654
17	211	0	0	0	0	0	71	0	0	1146	356	0	0	0	132	0	809	6251
18	165	0	0	0	0	0	71	0	0	1146	126	0	0	0	132	0	809	6251
19	165	0	0	0	0	0	71	0	0	1146	126	0	0	0	132	0	809	2541
20	165	0	0	0	0	0	71	0	0	1146	126	0	0	0	132	0	809	2541
21	31	0	0	0	0	248	71	0	0	1146	126	0	0	0	132	0	0	2541
22	31	0	0	0	0	124	71	0	0	1146	126	0	0	0	0	0	0	1405
23	31	0	0	0	235	0	71	0	0	1146	126	0	0	0	0	0	0	1112
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	435
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	435
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabulka D.4: Zásoby materiálu M55-M72 na skladě

Příloha E: Výstupy výpočtu — model 2

	O1	O2	O3	O4	O5	O6	O7	O8	O9	O10	O11	O12	O13	O14	O15	O16	O17	O18	O19
1	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	9	3
2	0	0	0	0	56	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	41	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	7	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	7	0	59	0	0	0	0	0	11	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	46	0	0	0	0	0	0
24	0	18	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabulka E.1: Objednávky plynů

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	9	3
4	4	0	0	0	55	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	9	2
5	3	0	6	0	49	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	9	2
6	3	18	5	0	48	0	0	0	0	0	3	0	30	4	0	0	0	5	2
7	3	15	4	0	44	0	0	0	0	0	2	0	27	4	0	0	0	5	2
8	2	15	4	0	40	0	0	0	0	0	2	0	27	3	0	0	0	5	2
9	2	15	3	0	40	0	0	0	0	0	2	0	27	2	0	0	0	5	2
10	2	14	3	0	40	0	0	0	0	0	2	0	25	2	0	0	0	5	2
11	2	14	3	0	40	0	0	0	0	0	2	0	25	2	0	0	0	5	2
12	2	13	3	0	39	0	0	0	2	0	2	0	25	2	0	0	2	5	2
13	2	13	3	0	37	0	0	0	2	0	2	0	25	2	0	0	2	5	2
14	2	13	3	0	34	0	0	0	2	0	2	0	25	2	0	0	2	3	1
15	2	12	1	0	30	0	0	0	2	0	2	0	23	1	0	0	2	1	1
16	2	10	1	0	30	0	0	0	2	0	0	0	18	1	0	0	2	1	1
17	2	10	1	0	28	0	0	0	1	0	0	0	18	1	0	0	2	1	1
18	2	10	1	0	27	0	0	0	1	0	0	0	17	1	0	0	2	0	1
19	2	10	1	0	27	0	0	0	1	0	0	0	17	1	0	0	2	0	1
20	1	10	0	0	26	0	0	0	1	0	0	0	17	0	0	0	2	5	1
21	1	8	0	0	24	0	0	0	1	0	0	0	14	0	0	0	2	5	1
22	0	8	0	0	16	0	0	0	1	0	0	0	12	0	0	0	2	5	0
23	0	8	0	0	14	0	0	0	1	0	0	0	11	0	0	0	2	5	0
24	0	6	7	0	59	0	0	0	1	0	11	0	8	0	0	0	0	5	0
25	0	1	7	0	58	0	0	0	1	0	9	0	49	0	0	0	0	5	0
26	0	18	7	0	55	1	1	0	1	0	9	0	46	0	0	0	0	5	0
27	0	18	6	0	50	1	0	0	1	0	9	0	46	0	0	0	0	4	3
28	0	13	6	0	49	1	0	0	1	0	9	0	38	0	0	1	0	4	3
29	0	13	6	0	49	1	0	0	1	0	9	0	38	0	0	1	0	4	3
30	0	11	6	0	44	1	0	0	1	0	9	0	32	0	0	1	0	4	2
31	0	11	6	0	44	1	0	0	1	0	9	0	32	0	0	1	0	4	2
32	0	9	4	0	38	1	0	1	1	0	8	0	29	1	0	1	0	2	2
33	0	9	4	0	22	1	0	1	1	0	8	0	29	1	0	1	0	2	2
34	0	8	3	0	21	0	0	1	1	0	8	0	25	1	0	1	0	2	2
35	0	8	3	0	21	0	0	1	1	0	8	0	25	1	0	1	0	2	2
36	0	7	3	0	21	0	0	1	1	0	8	0	20	1	0	1	0	2	2
37	0	6	2	0	19	0	0	1	1	0	8	0	19	1	0	0	0	2	2
38	0	6	2	0	19	0	0	1	1	0	8	0	17	1	0	0	0	2	2
39	0	4	2	0	15	0	0	1	1	0	8	0	12	1	0	0	0	2	2
40	0	1	1	0	11	0	0	1	0	0	3	0	5	1	0	0	0	0	1
41	0	1	1	0	9	0	0	1	0	0	1	0	4	1	0	0	0	0	1
42	0	1	1	0	2	0	0	1	0	0	1	0	4	1	0	0	0	0	1
43	0	1	1	0	2	0	0	1	0	0	1	0	3	1	0	0	0	0	1
44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabulka E.2: Zásoby plynů na skladě