

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI
PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA
KATEDRA MATEMATICKÉ ANALÝZY A APLIKACÍ MATEMATIKY

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Využití matematických modelů ve strojírenském podniku
se zaměřením na tepelné elektrárny a skládkové
hospodářství



Vedoucí práce:
Mgr. Eva Bohanesová, Ph.D.
Rok odevzdání: 2013

Diplomant:
Bc. Pavla Melicheríková
AME, II. ročník

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracovala samostatně pod vedením Mgr. Evy Bohanesové, Ph.D. a všechny použité zdroje jsem uvedla.

.....

Anotace

Důsledky rozhodnutí managementu, zda vytvořit či nevytvořit zásobu náhradních dílů, se odráží v nákladech společnosti. Proto se tato diplomová práce zabývá tvorbou modelu pro posouzení výhodnosti skladování zásob. Jejím výstupem je mimo jiné programové zpracování modelu. Na základě jeho výsledků je zformulováno teoretické doporučení. Výsledky matematického modelu mohou posloužit managementu společnosti jako podklad pro kvalitní rozhodnutí.

Poděkování

Děkuji paní Mgr. Evě Bohanesové, Ph.D. za vzorné vedení a cenné rady, jež mi pomohly při zpracování diplomové práce. Poděkování patří také panu Mgr. et Mgr. Janu Stoklasovi za odborné konzultace, které mě dovedly k vytvoření finální podoby modelu. Za cenné rady z oblasti statistiky děkuji panu prof. RNDr. Ing. Lubomíru Kubáčkovi, DrSc., Dr. h. c. a paní doc. RNDr. Evě Fišerové, Ph.D. Na závěr děkuji zástupci společnosti NOEN, a. s., který mi umožnil zpracovat diplomovou práci pro tuto společnost.

Obsah

Úvod	10
1 Představení společnosti NOEN	12
2 Tepelná elektrárna	14
2.1 Komplexní obnova tepelné elektrárny vs. zauhlování a jeho členění	14
3 Teoretická východiska	16
3.1 Matematické modely	16
3.2 Náhodná čísla a metoda Monte Carlo	19
3.2.1 Pseudonáhodná čísla	19
3.2.2 Metoda Monte Carlo	21
3.3 Potřebné základní poznatky ze statistiky	23
3.3.1 Rovnoměrné rozdělení	23
3.3.2 Trojúhelníkové rozdělení pravděpodobnosti	24
3.3.3 Základní charakteristiky popisné statistiky	24
3.3.4 Ostatní počítané charakteristiky	25
4 Model pro posouzení výhodnosti skladování zásob ve společnosti NOEN	27
4.1 Ověření vlastností náhodných čísel generovaných pomocí C#	27
4.1.1 Test dobré shody	28
4.1.2 Test bodů zvratu	30
4.1.3 Test založený na znaménkách diferencí	31
4.1.4 Mediánový test	33
4.1.5 Shrnutí testů	35
4.2 Základní principy modelu	35
4.2.1 Principy výpočtu pomocí Monte Carlo simulace	36
4.2.2 Princip analytického výpočtu nákladů	41
4.2.3 Princip výpočtu průměrných hodnot	42
4.2.4 Přiřazení vah jednotlivým expertům	44
4.3 Praktické použití a aplikace modelu	45
4.3.1 Výsledky modelu na konkrétních datech	46
4.3.2 Ověření významnosti rozdílů mezi jednotlivými způsoby výpočtu	58
4.3.3 Doporučení plynoucí z výsledků modelu	62
Závěr	67
Literatura	69

Přílohy	73
Příloha 1 - Obrázek zauhlování tepelné elektrárny	74
Příloha 2 - Popis dílčích provozních souborů zauhlování	75
Příloha 3 - Označení jednotlivých náhradních dílů	94
Příloha 4 - Odhady experta 1	96
Příloha 5 - Odhady experta 2	98
Příloha 6 - Histogramy rozhodovacích nákladů pro experta 1	100
Příloha 7 - Histogramy rozhodovacích nákladů pro experta 2	102
Příloha 8 - Histogramy průměrných rozhodovacích nákladů	104
Příloha 9 - CD	107

Seznam obrázků

1	Ukázka správně vložených dat s popisy	37
2	Rozhodovací náklady pro Variantu 1 dle experta 1	50
3	Rozhodovací náklady pro Variantu 2 dle experta 1	51
4	Rozhodovací náklady pro Variantu 3 dle experta 1	52
5	Rozhodovací náklady pro Variantu 4 dle experta 1	53
6	Průměrné rozhodovací náklady pro Variantu 1	54
7	Průměrné rozhodovací náklady pro Variantu 2	55
8	Průměrné rozhodovací náklady pro Variantu 3	57
9	Průměrné rozhodovací náklady pro Variantu 4	57
10	Normální kvantilový graf	59
11	Zauhlování tepelné elektrárny	74
12	Schéma zauhlování tepelné elektrárny	77

Seznam tabulek

1	Členění obchodního balíčku Zauhlování	15
2	Úrokové míry na spořicíích účtech	47
3	Varianta 1 – zaokrouhlování nahoru a úprava ostře zadaných odhadů poptávky	48
4	Varianta 2 – zaokrouhlování nahoru a převážení ostrých odhadů poptávky nad ostatními	48
5	Varianta 3 – matematické zaokrouhlování a úprava ostře zadaných odhadů poptávky	49
6	Varianta 4 – matematické zaokrouhlování a převážení ostrých odhadů poptávky nad ostatními	49
7	Charakteristiky histogramu pro Variantu 1 dle experta 1	50
8	Charakteristiky histogramu pro Variantu 2 dle experta 1	51
9	Charakteristiky histogramu pro Variantu 3 dle experta 1	52
10	Charakteristiky histogramu pro Variantu 4 dle experta 1	53
11	Charakteristiky histogramu průměrných hodnot pro Variantu 1	55
12	Charakteristiky histogramu průměrných hodnot pro Variantu 2	56
13	Charakteristiky histogramu průměrných hodnot pro Variantu 3	56
14	Charakteristiky histogramu průměrných hodnot pro Variantu 4	58
15	Výsledky testů shody středních hodnot pro prvního experta	60
16	Výsledky testů shody středních hodnot pro druhého experta	61
17	Výsledky testů shody středních hodnot pro průměrné hodnoty za oba experty	61
18	Statisticky odlišné výsledky průměrných hodnot	65
19	Označení jednotlivých náhradních dílů	94
20	Odhady experta 1	96
21	Odhady experta 2	98

Seznam zdrojových kódů

1	χ^2 test dobré shody	29
2	Test bodů zvratu	31
3	Test extrémálních hodnot	32
4	Mediánový test	33

Úvod

Trendem současné doby v podnikové sféře je plynulá produkce bez nutnosti držet zásoby. Zásoby může mít podnik různé, nejčastěji jsou jimi výrobní materiál, polotovary či hotové již vyrobené produkty. Speciálním druhem zásob jsou náhradní díly. Náhradní díly slouží k udržení plynulosti produkčního procesu pro případ, kdy nastane neočekávaná událost. Jako neočekávaná událost se označuje porucha.

Pro výrobce je vždy nepříjemné, jestliže se náhle pokazí určitá část jeho produkčního zařízení, a tím dojde k zastavení celé produkce. Proto se snaží důsledky poruchy na svou produkci i na celý podnik minimalizovat. Jedním ze způsobů, jak lze snížit riziko poruchy určitého zařízení, je zajištění pravidelné kontroly a údržby tohoto zařízení.

Dalším způsobem, kterým se výrobce snaží zmírnit dopady poruchy zařízení na svou produkci, a tím pádem i na své tržby, je podpis pro výrobce příznivé smlouvy s dodavatelem daného zařízení. Pro velká zařízení, kterým je např. zauhlování tepelné elektrárny, na něž je zaměřena tato práce, se výrobce standardně zavazuje smlouvou provozovat zařízení nejprve v tzv. záručním provozu.

Záruční provoz začíná pro výrobce poté, co uvede dané zařízení do chodu. V jeho průběhu dochází k optimálnímu nastavení zařízení a postupnému nájezdu tohoto zařízení na plánovaný plný výkon daný smlouvou. Je to období, během něhož by měl výrobce v předem dohodnuté době odstranit všechny poruchy a nedostatky, které se na zařízení objeví.

Pohledem výrobce na záruční provoz zařízení se bude zabývat tato práce. Zaměřuje se zejména na vytvoření modelu pro konkrétní společnost působící mimo jiné v oblasti elektráren a skládkového hospodářství, jež je v práci představena. Model poslouží jako podpora rozhodování managementu společnosti, zda by

se společnosti v období záručního provozu určitého zařízení vyplatilo vytvořit zásobu náhradních dílů. Zásoby náhradních dílů by totiž pro výrobce znamenaly snížení, v některých případech dokonce až eliminaci, rizika platby pokuty za zpoždění opravy.

Hotový model, který bude naprogramován, bude předán zástupci uvedené společnosti k užívání. Výsledky této práce budou pracovníci společnosti tedy využívat po delší dobu. Na jejich základě budou moci kvalitněji rozhodovat, a tím společnosti poklesne riziko ze špatného rozhodnutí.

Cíl práce

Cílem práce je navrhnout model, který pomůže managementu určité společnosti vyčíslit dodatečné náklady, jež by jí vznikly vytvořením zásoby náhradních dílů. Bude také zformulováno obecné pravidlo pro doporučení rozhodovateli, zda je tvorba těchto zásob pro společnost výhodná.

Celý model bude naprogramován tak, aby byl funkční při současném softwarovém vybavení zaměstnanců společnosti. Tím bude pracovníkům společnosti umožněno jeho další využití.

Aplikací tohoto modelu na projekt zahřívání tepelné elektrárny bude ukázána jeho funkčnost. Bude také formulováno doporučení. Na základě tohoto doporučení pak může management společnosti o pořízení zásoby náhradních dílů rozhodnout.

1 Představení společnosti NOEN

Akciová společnost NOEN byla založena v roce 1997. Její základní kapitál je rozdělen do 3 000 akcií o jmenovité hodnotě 10 000 Kč. Za společnost mají právo jednat a podepisovat všichni členové představenstva, avšak může tak činit každý z nich samostatně. [26]

Předmět podnikání společnosti, který je zapsán v Obchodním rejstříku zahrnuje tři činnosti:

- provádění staveb, jejich změn a odstraňování;
- projektová činnost ve výstavbě;
- výroba, obchod a služby neuvedené v přílohách 1 až 3 živnostenského zákona. [26]

NOEN, a. s. působí v České republice na čtyřech pracovištích. Sídlo vedení společnosti je v Praze, kde se nachází také projekční, technické, obchodní, personální a marketingové oddělení. Uničovská pobočka zahrnuje projekční i konstrukční kancelář dobývací techniky pro povrchovou těžbu a skládkové stroje. Dále v Uničově lze nalézt obchodní i realizační oddělení firmy. Projekční i konstrukční kancelář dálkové a technologické dopravy sídlí v Chrudimi. Nejmladší pobočka společnosti NOEN se nachází v Břilině a zajišťuje projekci. [18, 20]

Zaměstnanci společnosti NOEN při své práci používají specializovaný software. Mimo obecně používaného AutoCADu, který slouží pro tvorbu 2D dokumentace, projektanti používají také Inventor, v němž vznikají 3D modely. Neméně důležité jsou programy pro statické výpočty a projekci elektrozařízení. Pracovníci používají také řadu výpočetních programů, jež sami vyvinuli.[19] Bez tohoto nákladného programového vybavení by nebyla společnost na současném trhu konkurenceschopná.

Společnost působí na českém, ale také zahraničním B2B trhu. Specializuje se

zejména na tři oblasti, kterými jsou:

- povrchová těžba;
- elektrárny a skládkové hospodářství;
- poradenství. [22]

V této závěrečné práci se zaměřím zejména na druhou oblast, jež se nazývá *Elektrárny a skládkové hospodářství*.

Pod tento název se řadí tyto činnosti:

- systémy zauhlování (= doprava a technologická úprava uhlí z místa jeho skládky až do kotle tepelné elektrárny; obrázek části zauhlování viz *Příloha 1*);
- vápencová a sádrovcová hospodářství;
- skládkové stroje (obsluhují skládky sypkých materiálů, např. uhlí);
- technologická pásová doprava (= pásová doprava, během které je materiál technologicky upraven);
- zařízení pro manipulaci s materiálem.[18, 22]

V kapitole 2 bude rozebrána první odrážka, tj. systém zauhlování tepelné elektrárny, o němž je diplomová práce, kterou právě čtete.

2 Tepelná elektrárna

Tato kapitola i *Příloha 2* byly napsány na základě informací, které mi byly zástupci společnosti NOEN poskytnuty. Mimo ústně sdělených informací se jedná o Technickou zprávu z Detail Designu [23]. Dále jsem čerpala ze Zprávy z praxe ve společnosti NOEN [20], ze Zprávy z praxe II ve společnosti NOEN [19] a z internetových stránek společnosti NOEN, a. s [22]. Některé informace jsem také přebrala ze své bakalářské práce [18].

Uvažovaná tepelná elektrárna je jedním z největších dodavatelů elektřiny v České republice. Její provozovatel se rozhodl provést její komplexní obnovu, která prodlouží životnost této pozemní stavby minimálně o dalších 25 let. Komplexní obnova povede k zvýšení efektivnosti výroby elektrické energie. Zahrnuje přestavbu a modernizaci několika bloků této elektrárny, při níž dojde k zvýšení jejich výkonů. Po dobu rekonstrukce bude výkon těchto bloků pouze utlumen.

Investor požaduje v nejvyšší možné míře využít stávající technologická zařízení, tj. modernizovat je s cílem zvýšit jejich dopravní výkon a prodloužit životnost na dalších 25 až 30 let.

2.1 Komplexní obnova tepelné elektrárny vs. zauhlování a jeho členění

Zauhlování je pouze jedna z několika částí, tedy tzv. obchodních či provozních balíčků, na které se komplexní obnova tepelné elektrárny dělí. Řeší jej zejména dva dílčí provozní soubory, a to Vnější zauhlování včetně skládky a Zauhlování bloků. Tyto dva soubory se zabývají dopravou paliva z místa přejímky do kotelny, případně dopravou paliva na jeho skládku a následně ze skládky do kotelny.

Výsledky této práce budou aplikovány na technologickou část zauhlování. Cílem

celého projektu zauhlování je provedení komplexní obnovy dopravních cest systému zauhlování. Vedle obnovy přímé dopravní cesty (z výložného místa do kotelních zásobníků jednotlivých bloků elektrárny) bude provedena i rekonstrukce dopravy paliva na jeho skládku a ze skládky zpět na hlavní dopravní cestu, která vede na kotelnu. Trasa dopravy paliva je řešena jako dvojlínková.

Součástí zauhlování je i zařízení pro kvalitativní a kvantitativní přejímku dodávaného uhlí (tj. pásové obchodní váhy, magnetické separátory, indikátory kovu, vzorkovače paliva a další) a zařízení pro techniku prostředí, kterými jsou průmyslové vysavače, mlžící jednotky či odsávací zařízení.

Obchodní balíček nazvaný Zauhlování se dále členění na dílčí provozní soubory (dále jen DPS). Jejich přehled ukazuje tabulka 1.

Tabulka 1: Členění obchodního balíčku Zauhlování

DPS	Název DPS
DPS 01	Vnější zauhlování včetně skládky
DPS 02	Zauhlování bloků
DPS 03	Skládkové stroje
DPS 04	Protipožární zabezpečení
DPS 11	Zařízení pro techniku prostředí
DPS 13	Zdvihací zařízení
DPS 14	Elektrotechnická zařízení
DPS 15	Automatický systém řízení technologických procesů (dále jen ASŘTP)
DPS 16	Technologické ocelové konstrukce
DPS 17	Nátěry
DPS 18	Izolace
DPS 19	Demontáže
DPS 20	Provizoria

Stručný popis jednotlivých DPS je obsahem *Přílohy 2*. Přečtení deskripce poslouží k lepší orientaci v systému zauhlování tepelné elektrárny a k pochopení, jak vlastně takové zauhlování vypadá, z čeho se skládá a co se v rámci jeho komplexní obnovy provádí. V současné době po odsouhlasení realizační dokumentace probíhá realizace projektu zauhlování tepelné elektrárny. *Příloha 2* proto popisuje plánovaný budoucí stav po jejím dokončení.

3 Teoretická východiska

Teoretická část této práce čtenáře nejprve seznámí se základními poznatky z modelů zásob. Druhá podkapitola je zaměřena na pseudonáhodná čísla a jejich využití v simulaci Monte Carlo. Na závěr budou ještě doplněna rozdělení pravděpodobnosti a charakteristiky, které budou v praktické části této práce využity. U většiny myšlenek přejatých z literatury naleznete také můj komentář či poznámku o jejich praktické aplikaci. Některé teoretické poznatky jsou uvedeny také v praktické části této práce. Je to z důvodu lepšího porozumění dále provedeným výpočtům, testům statistických hypotéz či úpravám výrazů.

3.1 Matematické modely

Matematické modely jsou jedním z nástrojů operačního výzkumu. Umožňují nám popsat reálný problém matematickými prostředky a dále s ním pracovat. Výraz *model* označuje zjednodušený a formalizovaný obraz reality, který však musí odrážet její významné prvky a zachovávat vazby mezi nimi. Pomocí matematické ekonomie jsme schopni popsat různé systémy. Já se v této práci zaměřím na model zásob, který dále prakticky uplatním.

Tvorba modelu pro řešení problému zahrnuje tyto fáze:

- určení problému, jímž se bude řešitel zabývat, a sběr dat;
- formulování matematického modelu reprezentujícího daný problém;
- vytvoření počítačového algoritmu k získání řešení modelu;
- validace modelu a jeho úprava, je-li to třeba;
- příprava modelu pro jeho implementaci podle přání zadavatele;
- implementace modelu. [11]

Po implementaci modelu by mělo ještě následovat průběžné monitorování výsledků modelu. Tyto výsledky by se měly průběžně také vyhodnocovat. V případě nesrovnalostí je třeba model opět upravit.

Pro tvorbu modelu zásob je nejdůležitější znalost velikosti poptávky za určité období. Může nastat:

- Poptávka je absolutně deterministická, což znamená, že jsme ji schopni určit jako konstantu.
- Poptávka je determinovaná pravděpodobností, tj. jsme schopni ji určit nějakým rozdělením pravděpodobnosti.
- Poptávka je zcela nedeterministická, tzn. nevíme o ní nic. Avšak v praxi je tento případ téměř nemožný, protože každý podnikatelský subjekt má alespoň určitou rámcovou představu o poptávce po jeho produktech, které mohou být hmotné (např. výrobky) anebo nehmotné (např. služby). [10]

V praktické části této práce bude prezentován model s poptávkou determinovanou pravděpodobností. Avšak rozdělení pravděpodobnosti poptávky není jednoznačně známé. Učiním tedy jeho předpoklad. Tento předpoklad má zásadní význam pro výpočty v uvedeném modelu. Nezískala jsem však informace, které by vypovídaly o tom, že uvažované rozdělení pravděpodobnosti poptávky je nesprávné.

Konstrukci modelu také výrazně ovlivňuje spotřeba daného hmotného statku v čase. Mohou nastat tyto čtyři případy:

- spotřeba je v čase spojitá, a tudíž lze její průběh alespoň teoreticky aproximovat vhodně zvolenou křivkou;
- spotřeba v čase není pravidelná;
- spotřeba je spojitá v množství, které však může nabývat libovolných hodnot;
- spotřeba je nespojitá v množství, jež může nabývat pouze předem stanovených hodnot. [10]

V případě spotřeby náhradních dílů se jedná o spotřebu nepravidelnou. Spotřeba je nespojitá a nabývá diskrétních celočíselných hodnot z určitého intervalu. V modelu mám tento interval určený na základě expertních odhadů. V praxi totiž v oblasti, na niž je model zaměřen, lepší údaje k dispozici nejsou.

Z důvodu proměnlivé poptávky po náhradních dílech v čase nelze uvažovat o využití deterministických modelů zásob. Dostávám se tedy k modelům stochastickým. Tyto modely nepředpokládají, že lze dopředu přesně určit poptávku po daném produktu.

Výši poptávky, která je ve stochastických modelech náhodnou veličinou, ovlivňují zejména tyto dvě skupiny náhodných faktorů:

- náhodné a často prudké změny poptávky;
- náhodné výkyvy v produktech poskytovaných dodavateli. [10]

Ať už poptávku ovlivňuje první anebo druhá skupina náhodných vlivů či obě současně, důsledkem je její stochastický charakter. Tento fakt velice ztěžuje popis poptávky, a to se projevuje také ve výsledném modelu. Proto důležitou součástí této práce bude určování hodnot poptávky jako náhodné veličiny.

Pro modely řízení zásob s náhodnou a proměnlivou spotřebou v čase se dle [10] nabízí dvě základní možnosti, jak určit dobu objednávky. Jsou jimi:

- Stanovení tzv. spodní objednáací úrovně či signálního stavu zásob. Nová objednávka se tedy zařizuje, jakmile poklesne úroveň zásob na tuto hladinu a objednáváme stále stejné množství.
- V pravidelných časových intervalech doobjednáváme takové množství, abychom doplnili sklad do tzv. horní objednáací úrovně, tj. objednáváme rozdíl mezi určitou maximální úrovní zásob a aktuální skutečnou úrovní zásob na skladě. [10]

Pro zásoby typu náhradních dílů, na které se zaměřuji v praktické části této práce, je vhodnější stanovení spodní objednáací úrovně. V praxi totiž chceme minimalizovat náklady související se skladováním a držením zásob při minimalizaci

rizika platby penále za zpoždění opravy zařízení. Z toho plyne, že doplňovat sklad do určité maximální hladiny není vhodné uvažovat, protože náklady spojené se zásobami by byly zbytečně vysoké.

3.2 Náhodná čísla a metoda Monte Carlo

Díky rostoucí síle počítačů a rozvoji simulačních metod odborná veřejnost přijala počítání jako třetí způsob přístupu k přírodním vědám, společně s přístupem teoretickým a experimentálním. Generování náhodných čísel je srdcem některých statistických metod. Náhodné vzorky, které jsou často vyžadovány pro analýzy, se většinou generují pomocí počítače. [9] Jak generování pseudonáhodných čísel, tak metodě Monte Carlo se bude věnovat tato podkapitola. Poslouží také k lepšímu porozumění praktické části této práce.

3.2.1 Pseudonáhodná čísla

Mnoho Monte Carlo aplikací běžně vyžaduje posloupnosti, které se skládají z 10^{15} náhodných čísel. Některé aplikace mohou vyžadovat posloupnosti ještě delší. Výpočty mohou zabrat měsíce času na mnoha počítačích pracujících současně. [9] Počítačový software však nedokáže generovat zcela náhodná čísla. Říkáme, že generuje čísla *pseudonáhodná*. Na současných počítačích jsem otestovala rychlost generování těchto čísel. Vygenerování souboru pseudonáhodných čísel o velikosti 10^{15} by na průměrném studentském počítači trvalo přibližně 1,5 roku.

Pro praktické použití lze uvažovat pouze generátory náhodných čísel, jež mají silné teoretické základy. Vygenerované vzorové soubory čísel by navíc měly být otestovány statistickými testy. Pro praktické využití by pak měly být použity pouze ty generátory, jejichž čísla jsou podle statistických testů náhodná. [9] Ověření náhodnosti čísel použitých pro výpočty v rámci této práce naleznete

v kapitole 4.1.

V mnoha aplikacích jsou třeba pseudonáhodná čísla z jiných rozdělení, než standardně používaného rovnoměrného. Chceme-li získat pseudonáhodná čísla z jiného než rovnoměrného rozdělení bez dalších odchylek, pak je třeba použít exaktní transformaci vygenerovaných čísel. Kvalita čísel z odlišného rozdělení samozřejmě závisí na kvalitě generátoru původních pseudonáhodných čísel. [9] Pro simulaci jsem použila pseudonáhodná čísla odpovídající trojúhelníkovému rozdělení. Odvození vzorce pro inverzní transformaci čísel z rovnoměrného do trojúhelníkového rozdělení naleznete v kapitole 4.2.1.

Použití metody inverzní transformace je však omezené pouze na případy, kdy je možné najít inverzní distribuční funkci analyticky. Není-li to možné, pak lze využít náhrady transformované funkce funkcemi, pro které inverzní funkci najít lze. S úspěchem se používá náhrada beta funkcí, jež slouží k popisu náhodného trvání činnosti, trojúhelníkovým rozdělením. [10] V modelu využívám, jak jsem již uvedla, trojúhelníkového rozdělení. Uvažovala jsem i o beta rozdělení, avšak to je určeno dvěma tvarovými parametry a dvěma parametry polohy. Tyto parametry nejsou předem známe a jejich určením se z důvodu dalších komplikací modelu v této práci nebudu zabývat, ale jistě by bylo zajímavé prozkoumat tuto problematiku hlouběji.

Na generátor pseudonáhodných čísel jsou kladeny specifické požadavky, které vychází z následného použití těchto čísel. Ve vzorku nasimulovaném z rovnoměrného rozdělení na intervalu od 0 do 1 by se neměla vyskytnout žádná jednička ani 0. Generátor by měl být efektivní zejména ve využívání výpočetních zdrojů. Generátor pseudonáhodných čísel by měl být také snadno použitelný. [9] Generátor, jež jsem použila, tyto požadavky splnil. Ve vygenerovaných číslech se nevyskytovaly žádné 1 ani 0. Soubor pseudonáhodných čísel o potřebné velikosti byl vygenerován během pár sekund. A použití generátoru implementovaného v C#

nebylo příliš obtížné.

Občas je třeba, aby vygenerovaná pseudonáhodná čísla, splňovala také další požadavky. Tato pak vytvoří tzv. reprezentativní vzorek. Avšak splnění těchto dalších požadavků je na úkor rozptylu náhodných čísel. Tato pseudonáhodná čísla se označují jako kvazináhodná. [9] Kvazináhodná čísla jsem v rámci výpočtu však nepoužila. Nebylo jich totiž třeba.

Jednou z možností, jak generovat pseudonáhodná čísla odpovídající určitému rozdělení pravděpodobnosti, je použít metody založené na Markovových řetězcích. Algoritmus založený na stacionárním rozdělení Markovových řetězců je iterační metodou, protože sekvence příkazů musí být vykonána dříve, než dojde ke konvergenci řetězce. [9]

Generátory náhodných čísel jsou široce dostupné v rozsáhlé škále softwarových balíčků. Také některé programovací jazyky nabízí vestavěný generátor pseudonáhodných čísel z rovnoměrného rozdělení. Standardy pro tyto jazyky však nespécifikují konkrétní algoritmy, a proto je často obtížné z dokumentace určit, který algoritmus je v nich implementován a samozřejmě také, zda je implementace správná. [9] Při řešení této diplomové práce jsem narazila na obě možnosti. Visual Basic for Application v Microsoft Excel obsahoval blíže nespécifikovaný generátor pseudonáhodných čísel. Naproti tomu C# mi nabídl již konkrétní algoritmus pro generování náhodných čísel. Navíc je možné k němu připojit balíček, který umožňuje použít několik dalších generátorů pseudonáhodných čísel. Avšak generátor, jež používá C# automaticky, ihned prošel testy náhodnosti, které jsem provedla v kapitole 4.1.

3.2.2 Metoda Monte Carlo

V předchozí podkapitole se již několikrát objevil název Monte Carlo. Jak mnozí jistě vědí, Monte Carlo neoznačuje jen jednu ze čtyř městských částí Monaka

a v něm světoznámé kasino. Jako Monte Carlo se označuje také metoda spočívající ve vysokém počtu opakování určitého pokusu či výpočtu alespoň částečně založeného na náhodnosti.

Metoda Monte Carlo je založena na myšlence použití experimentů s náhodnými čísly k ověřování výsledků matematických výrazů. Experimentálními jednotkami jsou tedy náhodná čísla. Výrazy pak mohou být integrály, systémy rovnic nebo komplikovanější matematické modely. [9] S autorem tohoto textu zcela nesouhlasím. Nepřijde mi příliš vhodné správnost exaktního výpočtu např. integrálu kontrolovat za pomoci simulace založené na náhodných číslech. V jiných aplikacích, jako je například odhad roční poptávky na základě odhadu poptávek měsíčních, však vidím užití simulace Monte Carlo jako vhodné.

Výsledky každého statistického experimentu by měly být reprodukovatelné. Na Monte Carlo experimenty máme silnější požadavek: experimentální jednotky musí být snadno reprodukovatelné. [9] V mé aplikaci bere generátor náhodných čísel jako vstupní hodnotu počet tiků, které reprezentují aktuální čas v násobcích 100 nanosekund. Je to z důvodu, aby při každém jeho použití byl vygenerován odlišný soubor pseudonáhodných čísel. Jestliže generátor dostane stejné číslo jako vstup, pak vygeneruje totožný soubor náhodných čísel v libovolném počtu opakování jeho použití.

Metody Monte Carlo jsou metody pracující se soubory náhodných či pseudonáhodných čísel. Proto jejich použitím odhadnuté výsledky mohou být ovlivněny náhodnými chybami. Skutečnost, že se odhady nerovnají jejich očekávaným hodnotám, tj. jsou vychýlené, však není chyba nebo přehmat. Je to pouze důsledek rozptýlení náhodných či pseudonáhodných dat. Variabilita výsledků závislých na náhodných či pseudonáhodných číslech je experimentální chybou stejně jako ve vědeckých pokusech, v nichž je náhoda známým vlivem. [9] Experimentální chyby se dají do určité míry potlačit vysokým počtem opakování pokusu či výpočtu. Proto se výpočet metodou Monte Carlo mnohokrát opakuje. Mnou naprogramo-

vaný model provádí stejné výpočty s náhodnými čísly vždy 100 000krát.

Použití metod Monte Carlo je velmi široké. Ve statistice se používají pro odhady intervalů spolehlivosti nebo pro testování rozdělení testové statistiky. Ve finančnictví je lze použít například k ocenění forwardového obchodu. [9]Všechny oblasti uplatnění metod Monte Carlo jistě nebyly ještě nalezeny. Budoucnost nám ukáže další zajímavé aplikace.

3.3 Potřebné základní poznatky ze statistiky

3.3.1 Rovnoměrné rozdělení

V mnoha případech se pro zavedení náhodné složky do simulací používá náhodných čísel vygenerovaných z rovnoměrného rozdělení na intervalu $(0, 1)$. Distribuční funkce F tohoto rozdělení je dle [6, s. 170] ve tvaru 1. Funkce hustoty f je dle [6, s. 170] ve tvaru 2. Rovnoměrné rozdělení se označuje $R(0,1)$.

$$F(x) = \begin{cases} 0 & \text{pro } x \leq 0 \\ x & \text{pro } 0 < x < 1 \\ 1 & \text{jinak} \end{cases} \quad (1)$$

$$f(x) = \begin{cases} 1 & \text{pro } 0 < x < 1 \\ 0 & \text{jinak} \end{cases} \quad (2)$$

Pravděpodobnost výskytu proměnných v intervalu $(0,1)$ je pro všechny tyto proměnné stejná. [10] Pseudonáhodná čísla z rovnoměrného rozdělení lze získat např. použitím kongruenčních generátorů, které jsou postaveny na myšlence, že dvě čísla jsou shodná, jestliže po jejich celočíselném dělení daným číslem, u obou zůstane stejný zbytek. Pro lepší výsledky se však v praxi používá kombinace více typů generátorů. [9] Já však v modelu použiji generátor, který využívá jiný způsob generování pseudonáhodných čísel.

3.3.2 Trojúhelníkové rozdělení pravděpodobnosti

Trojúhelníkové rozdělení pravděpodobnosti se definuje na intervalu $[a, b]$, přičemž a označuje spodní mez a b je horní mez. Toto rozdělení je určeno tvarovým parametrem c , jež představuje modus, neboli nejčetnější hodnotu, tohoto rozdělení. [6] Distribuční funkce F trojúhelníkového rozdělení je dle [6, s. 187] ve tvaru 3. Funkce hustoty f je dle [6, s. 187] ve tvaru 4. Trojúhelníkové rozdělení se označuje $Tri(a, b, c)$.

$$F(x) = \begin{cases} 0 & \text{pro } x < a \\ \frac{(x-a)^2}{(b-a)(c-a)} & \text{pro } a \leq x \leq c \\ 1 - \frac{(b-x)^2}{(b-a)(b-c)} & \text{pro } c \leq x \leq b \\ 1 & \text{jinak} \end{cases} \quad (3)$$

$$f(x) = \begin{cases} \frac{2(x-a)}{(b-a)(c-a)} & \text{pro } a \leq x \leq c \\ 1 - \frac{2(b-x)}{(b-a)(b-c)} & \text{pro } c \leq x \leq b \\ 0 & \text{jinak} \end{cases} \quad (4)$$

(5)

Jako standardní symetrické trojúhelníkové rozdělení se označuje trojúhelníkové rozdělení s parametry $a = 0$, $b = 1$ a $c = 1/2$, tj. $Tri(0, 1, 1/2)$. Toto rozdělení lze získat součtem dvou nezávislých rovnoměrných rozdělení. [6] Avšak součtem dvou nezávislých trojúhelníkových rozdělení nezískám žádné známé rozdělení, jak ukáží v kapitole 4.2.4.

3.3.3 Základní charakteristiky popisné statistiky

V této krátké podkapitole uvedu vzorce pro několik základních charakteristik popisné statistiky. Předpokládejme náhodný výběr, tj. soubor stejně rozdělených nezávislých veličin, prvků x_i , $i=1, \dots, n$, z libovolného rozdělení. *Výběrový průměr* \bar{x} se vypočte podle vzorce 6 převzatého z [21, s. 192]. *Výběrový rozptyl* s^2 se vypočte podle vzorce 7 převzatého z [21, s. 193]. *Výběrová směrodatná odchylka*

s se vypočte podle vzorce 8 převzatého z [21, s. 193].

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (6)$$

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1} \quad (7)$$

$$s = \sqrt{s^2} \quad (8)$$

Pro výpočet *mediánu* \tilde{x} se používají dva vzorce v závislosti na tom, je-li počet prvků n ve výběru sudý nebo lichý. V případě lichého počtu prvků $n = 2m - 1$ se medián vypočte podle vzorce 9 převzatého z [2, s. 14]. V případě sudého počtu prvků $n = 2m$ se medián vypočte podle vzorce 10 převzatého z [2, s. 14].

$$\tilde{x} = x_{(m)} \quad (9)$$

$$\tilde{x} = \frac{1}{2} [x_{(m)} + x_{(m+1)}] \quad (10)$$

3.3.4 Ostatní počítané charakteristiky

V poslední podkapitole teoretické části popíšeme reziduální součet čtverců a střední čtvercovou chybu. Tyto hodnoty jsou totiž také součástí výstupu modelu, který bude rozebrán v další kapitole. Je tedy jistě vhodné uvést zde, jakým způsobem se počítají. Předpokládejme opět náhodný výběr, tj. soubor stejně rozdělených nezávislých veličin, prvků x_i , $i=1, \dots, n$, z libovolného rozdělení.

Reziduální součet čtverců S_e představuje součet druhých mocnin odchylek skutečných hodnot x_i , $i=1, \dots, n$, od hodnot \hat{x}_i , $i=1, \dots, n$, určitým způsobem vyrovnaných. Program, který bude dále představen, počítá reziduální součet čtverců jako součet druhých mocnin odchylek skutečných hodnot x_i , $i=1, \dots, n$, od jejich průměru \bar{x} . Symbolicky lze uvedený vztah zapsat vzorcem 11, který lze nalézt například v [1, s. 99].

$$S_e = \sum_{i=1}^n (x_i - \hat{x}_i)^2 = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (11)$$

Střední čtvercová chyba udává, jak se v průměru liší skutečná hodnota x_i , $i=1, \dots, n$, od hodnoty vyrovnané, tj. od hodnoty \hat{x}_i , $i=1, \dots, n$. [8] Střední čtvercovou chybu lze vyjádřit jako průměrný reziduální součet čtverců S_e na jeden prvek. Symbolicky střední čtvercovou chybu zapisujeme vzorcem 12 a značíme ji MSE, což zkracuje její anglické označení Mean Square Error.

$$MSE = \frac{S_e}{n} \quad (12)$$

4 Model pro posouzení výhodnosti skladování zásob ve společnosti NOEN

V této části své diplomové práce vás seznámím s možným uplatněním matematických modelů v podniku, který jsem popsala v kapitole 1. Model bude zaměřen na záruční a pozáruční provoz zařízení, s nimž jsem vás stručně seznámila v kapitole 2. Podrobnější popis jednotlivých DPS zauhlování tepelné elektrárny naleznete v *Příloze 2*.

Na následujících stranách popíši model, který jsem po prostudování odborné literatury sestavila. Primárně je určen pro posouzení, zda by se vyplatilo společnosti NOEN vytvářet a skladovat zásobu náhradních dílů, jež budou potřeba v průběhu dvouletého záručního a případně též dvouletého pozáručního provozu zauhlování tepelné elektrárny. Tento model je však v některých částech výpočetně náročný, a proto jsem jej naprogramovala v programovacím jazyce C# jako sešit pro Microsoft (dále jen MS) Excel, který zaměstnanci společnosti NOEN používají.

V první podkapitole naleznete ověření náhodnosti pseudonáhodných čísel generovaných s využitím jazyka C# . Následující podkapitola vás seznámí s dvěma způsoby výpočtu naprogramovaného modelu. Jsou jimi Monte Carlo simulace a analytický výpočet založený na nákladech z nedostatečné a přebytečné jednotky zásob. V poslední podkapitole naleznete výsledky modelu po dosazení konkrétních dat, jejich analýzu a formulaci doporučení pro společnost NOEN.

4.1 Ověření vlastností náhodných čísel generovaných pomocí C#

Model, který bude popsán dále, využívá pro odhad poptávky generátor náhodných čísel. V prostředí Visual Basic for Applications (krátce VBA), jež je součástí MS Excel, mi však ve verzi z roku 2007 generovaná náhodná čísla neprošla testy

náhodnosti. Proto jsem v modelu využila náhodná čísla generovaná pomocí programovacího jazyka C# .

C# stejně jako všechny ostatní softwarové nástroje generuje pouze pseudonáhodná čísla, která se stejnou pravděpodobností vybírá z konečné množiny čísel. Kvůli konečné matematice, kterou počítače používají, však tato „náhodná čísla“ nejsou zcela náhodná. Pro praktické použití jsou ale dostatečně dobrá. Současná verze generátoru náhodných čísel použitého v C# je založena na modifikovaném algoritmu pro jejich generování, jehož původní verzi vymyslel Donald E. Knuth. [31]

Vybrané charakteristiky ověřím v této kapitole provedením několika testů. Tyto testy jsem naprogramovala pro ověření souboru dat o maximální velikosti jeden milion prvků. Druhým omezením je výkon počítače, na němž se program spustí. Program pro otestování shody s očekávaným rozdělením a náhodnosti vygenerovaných čísel naleznete na *příloženém CD*.

4.1.1 Test dobré shody

Test dobré shody bývá obvykle označován také jako Pearsonův χ^2 test nebo jako frekvenční test. Umožňuje ověřit, zda testovaná náhodná veličina odpovídá určitému očekávanému rozdělení pravděpodobnosti. [14]

Frekvenční test spočívá v rozdělení oboru očekávaných hodnot na s stejně velkých intervalů. V těchto intervalech se porovnává skutečná četnost f_k , $k=1,2,\dots,s$ s očekávanou četností. Testová statistika se vypočte dle vzorce 13 převzatého z [1, s. 194], kde p_k , $k=1,2,\dots,s$ je pravděpodobnost, že vygenerované číslo r_i , $i=1,2,\dots,n$ patří do k -tého intervalu. [1]

$$\chi^2 = \sum_{k=1}^n \frac{(f_k - np_k)^2}{np_k} \quad (13)$$

Pomocí testu dobré shody jsem pro $n \rightarrow \infty$ otestovala nulovou hypotézu $H_0 : r_i, i=1,2,\dots,n \sim R(0,1)$ oproti alternativě $H_A : r_i, i=1,2,\dots,n \not\sim R(0,1)$. [1] V C# jsem pro 100 000 vygenerovaných náhodných čísel získala testovou statistiku $\chi^2 = 84,07618$ pomocí zdrojového kódu 1. Ze softwaru Matlab jsem zjistila kritickou hodnotu $\chi_9^2(0.95) = 123,2252$, která je vyšší než vypočtená testová statistika. Závěr zní: Hypotézu H_0 nelze zamítnout na hladině významnosti 5 %.

Zdrojový kód 1: χ^2 test dobré shody

```

1 //Interval Array declaration
2 const int s = 100;
3 int[] rCounter;
4 rCounter = new int[s];
5
6 //Interval frequency
7 for (int i = 0; i < n; i++)
8 {
9     rCounter[(int)(Math.Floor(rNumberList[i] * 100))] =
10     rCounter[(int)(Math.Floor(rNumberList[i] * 100))] + 1;
11 }
12
13 //Array for result counting
14 double[] chiTestRes;
15 chiTestRes = new double[s];
16
17 //Interval frequency
18 for (int i = 0; i < n; i++)
19 {
20     rCounter[(int)(Math.Floor(rNumberList[i] * 100))] =
21     rCounter[(int)(Math.Floor(rNumberList[i] * 100))] + 1;
22 }
23
24 //Array for result counting
25 double[] chiTestRes;
26 chiTestRes = new double[s];
27
28 //Counting of result statistic
29 for (int k = 0; k < s; k++)
30 {

```

```

31         chiTestRes[k] = (Math.Pow((rCounter[k] - n*1/s),2))/
32         (n*1/s);
33         results1.chiTestStatistic = results1.chiTestStatistic+
34         chiTestRes[k];
35     }
36
37     // Bool result
38     if (results1.chiTestStatistic < results1.chiQuantile)
39     {
40         results1.result = true;
41     }
42     else
43     {
44         results1.result = false;
45     }
46     return results1;

```

4.1.2 Test bodů zvratu

Test bodů zvratu se také označuje jako test extrémálních bodů. Ověřuje, zda se ve vygenerovaných číslech střídají velké a malé hodnoty v nějaké periodě. Testujeme hypotézu $H_0 : r_i, i=1,2,\dots,n$, tvoří náhodný výběr oproti alternativě $H_A : r_i, i=1,2,\dots,n$, náhodnému výběru neodpovídají. [1]

Číslo $r_i, i=2,\dots,n-1$, se nazývá *dolním bodem zvratu*, jestliže $r_{i-1} > r_i < r_{i+1}$. Číslo $r_i, i=2,\dots,n-1$, se nazývá *horním bodem zvratu*, jestliže $r_{i-1} < r_i > r_{i+1}$. Testovou statistiku pro test bodů zvratu vypočítáme podle vzorce 14 převzatého z [1, s. 236], kde z označuje celkový počet horních a dolních bodů zvratu. [27]

$$U = \frac{|z - \frac{2n-1}{3}|}{\sqrt{\frac{16n-29}{90}}} \quad (14)$$

Veličina U pro $n \rightarrow \infty$ odpovídá asymptoticky normálnímu rozdělení $N(0,1)$. [1] Vypočtenou testovou statistiku tedy budu srovnávat s kvantilem normovaného normálního rozdělení $u(0,975) = 1,96$. Testová statistika vypočtená po-

mocí zdrojového kódu 2 pro 100 000 vygenerovaných náhodných čísel mi vyšla $u = 0.832518211535068$. Protože je menší než uvedený kvantil, závěr zní: Hypotézu H_0 nelze zamítnout na hladině významnosti 5 %.

Zdrojový kód 2: Test bodů zvratu

```
1 //Count of extremal values
2 for (int i = 1; i < (n-2); i++)
3 {
4     int j = i + 1;
5     int l = i - 1;
6     if (rNumberList[j] > rNumberList[i] && rNumberList[i]
7         < rNumberList[l]
8         || rNumberList[j] < rNumberList[i] && rNumberList[i]
9         > rNumberList[l])
10    {
11        results3.rExtremalValuesCounter = results3.
12            rExtremalValuesCounter + 1;
13    }
14 }
15
16 //Test statistic counting
17 results3.extremalValuesStatistic = (Math.Abs(results3.
18     rExtremalValuesCounter - 2*(n-1)/3))/
19     Math.Sqrt((16*n-29)/90);
20
21 // Bool result
22 if (results3.extremalValuesStatistic <
23     results3.normQuantile)
24 {
25     results3.extremalResult = true;
26 }
27 else
28 {
29     results3.extremalResult = false;
30 }
31 return results3;
```

4.1.3 Test založený na znaménkách diferencí

Test vychází z počtu kladných diferencí, tj. počtu náhodných čísel, ve kterých náhodně vygenerovaná posloupnost roste. Opět testujeme hypotézu $H_0 : r_i, i=1, 2, \dots, n$, tvoří náhodný výběr oproti alternativě $H_A : r_i, i=1, 2, \dots, n$, náhodnému výběru neodpovídají. Testovou statistiku vypočteme podle vzorce 15 převzatého

z [27, s. 2], kde $V_i = 1, i=1,2,\dots,n-1 \Leftrightarrow r_{i+1} > r_i$. V ostatních případech $V_i = 0$.

[27]

$$U = \frac{|\sum_{i=1}^{n-1} V_i - \frac{n-1}{2}|}{\sqrt{\frac{n+1}{12}}} \quad (15)$$

Veličina U za platnosti H_0 a pro $n \rightarrow \infty$ odpovídá normovanému normálnímu rozdělení. Vypočtenou statistiku tedy porovnáme s kvantilem normovaného normálního rozdělení $u(0,975) = 1,96$. Testová statistika pro 100 000 vygenerovaných náhodných čísel mi s využitím zdrojového kódu 3 vyšla $u = 0.208138734668285$. Testovaná statistika je nižší než uvedený kvantil, proto závěr zní: Hypotézu H_0 nelze zamítnout na hladině významnosti 5 %.

Zdrojový kód 3: Test extrémálních hodnot

```
1 //Count of positive differences
2 for (int i = 0; i < (n-2); i++)
3 {
4     int j = i + 1;
5     if (rNumberList[j] > rNumberList[i])
6     {
7         results2.rDiferenceCounter = results2.
8         rDiferenceCounter + 1;
9     }
10 }
11
12 //Test statistic counting
13 results2.diferenceMarkTestStatistic = (Math.
14 Abs(results2.rDiferenceCounter - (n - 1) / 2)) /
15 Math.Sqrt((n + 1) / 12);
16
17 // Bool result;
18 if (results2.diferenceMarkTestStatistic < results2.
19 normQuantile)
20 {
21     results2.difResult = true;
22 }
23 else
24 {
25     results2.difResult = false;
26 }
```


4.1.4 Mediánový test

Medián je prostřední prvek seřazeného statistického souboru s lichým počtem prvků. Má-li soubor sudý počet prvků, pak medián získáme jako aritmetický průměr dvou prostředních prvků. Mediánový test ověřuje, zda jsou prvky souboru rozmístěny stejnou měrou v horní i dolní polovině intervalu. Matematický zápis mediánu je uveden v kapitole 3.3.3.

Mediánový test testuje hypotézu $H_0 : r_i, i=1, 2, \dots, n$, tvoří náhodný výběr oproti alternativě $H_A : r_i, i=1, 2, \dots, n$, náhodnému výběru neodpovídají. Pro provedení tohoto testu je třeba nejprve určit medián. Poté se spočítá v , což je počet hodnot menších než medián. Následně se určí počet skupin m , které sdružují po sobě jdoucí pozorování ležící nad anebo pod mediánem. [27] K výpočtu testové statistiky se použije vzorec 16 převzatý z [27, s. 5].

$$U = \frac{|u - (m + 1)|}{\sqrt{\frac{m(m-1)}{(2m-1)}}} \quad (16)$$

Testová statistika pro $n \rightarrow \infty$ odpovídá normovanému normálnímu rozdělení. S využitím zdrojového kódu 4 jsem pro 100 000 vygenerovaných náhodných čísel určila její hodnotu $u = 0.347852281901672$. Porovnáním s kvantilem normovaného normálního rozdělení $u(0, 975) = 1,96$, který je vyšší, lze tedy formulovat závěr: Hypotézu H_0 nelze zamítnout na hladině významnosti 5 %.

Zdrojový kód 4: Mediánový test

```
1 //Sorting of List
2 List<double> rNumberListOrigin = new List<double>
3 (rNumberList);
4 rNumberList.Sort();
```

```

5
6 //Median counting
7 double median = 0;
8 if (n \% 2 == 0)
9 {
10     double middleElement1 = rNumberList[(n / 2) - 1];
11     double middleElement2 = rNumberList[n / 2];
12     median = (middleElement1 + middleElement2) / 2;
13 }
14 else
15 {
16     median = rNumberList[(n-1)/ 2];
17 }
18 //Median value
19 results4.medianTestMedian = median;
20
21 //Number downFromomMedian counting and groups up or down
22 //from median counting
23 for (int i = 0; i < n; i++)
24 {
25     if (rNumberListOrigin[i] < median)
26     {
27         results4.downFromMedian = results4.downFromMedian + 1;
28     }
29 }
30
31 if (rNumberListOrigin[0] < median)
32 {
33     results4.medianWholeGroups = results4.
34     medianWholeGroups + 1;
35 }
36 for(int i=0;i<(n-1);i++)
37 {
38     int j = i+1;
39     if (rNumberListOrigin[i] > median &&
40     rNumberListOrigin[j] < median)
41     {
42         results4.medianWholeGroups = results4.
43         medianWholeGroups + 2;
44     }
45 }
46 if (rNumberListOrigin[n - 1] > median)
47 {
48     results4.medianWholeGroups = results4.
49     medianWholeGroups + 1;
50 }
51
52 //Result statistic counting
53 results4.medianStatistic =
54     Math.Abs((results4.medianWholeGroups - results4.

```

```

55     downFromMedian-1.0))/
56     Math.Sqrt((results4.downFromMedian*(results4.
57     downFromMedian-1.0))/(2.0*results4.downFromMedian-1));
58
59 // Bool result
60 if (results4.medianStatistic < results4.normQuantile)
61 {
62     results4.medianResult = true;
63 }
64 else
65 {
66     results4.medianResult = false;
67 }
68 return results4;

```

4.1.5 Shrnutí testů

Statistické testy popsané v této kapitole byly všechny splněny. Testovala jsem však soubor pseudonáhodných čísel vytvořený jejich generátorem pomocí programovacího jazyka C# . Na příloženém *CD* naleznete program, který jsem k ověřování hypotéz použila. Po zadání požadované velikosti testovaného souboru si toto množství náhodných čísel vygeneruje a spočítá k nim statistiky popsané na předchozích stranách. Protože nulové hypotézy ověřuje na hladině významnosti 5 %, nemusí při každém pokusu u všech vyjít jejich platnost.

4.2 Základní principy modelu

Model, jež jsem sestavila, pomůže project managerům společnosti NOEN kvalitněji rozhodnout, zda má smysl uvažovat o skladování náhradních dílů. Základní výpočetní principy, na nichž jsem celý model postavila popíši v této části práce. Nejprve vás seznámím s výpočtem metodou Monte Carlo. Dále uvedu mnohým známý nákladový výpočet. Ve třetí části se dozvíte, jak jsou v modelu počítány průměrné parametry rozdělení a nakonec ukáži, proč nelze pracovat s váženým průměrem.

4.2.1 Principy výpočtu pomocí Monte Carlo simulace

Metoda Monte Carlo již byla popsána v kapitole 3.2.2. Obsahem následujících stran bude její praktická aplikace v modelu. Uvedu zde také základní vztahy vztahující se k nákladům na zásoby náhradních dílů, s nimiž v modelu pracuji.

Prvním důležitým principem je použití myšlenky *stochastického modelu zásob*, který jsem však přizpůsobila potřebám použití modelu. Základním předpokladem tohoto modelu je *trojúhelníkové rozdělení pravděpodobnosti* spotřeby náhradních dílů, tj. poptávky po jejich zásobě. Parametry trojúhelníkového rozdělení, jimiž jsou maximální, minimální a očekávaná potřeba náhradních dílů, se získají jako expertní odhady. V odvětví, pro které je použití tohoto modelu určeno, nejsou k dispozici žádné jiné možnosti, jak tato data získat, protože každý projekt, jímž je v tomto případě zauhlování tepelné elektrárny, je originál. Několik expertů z praxe tedy kvalifikovaně odhadne maximální, minimální a očekávanou hodnotu potřeby všech náhradních dílů, tzn. ke každému náhradnímu dílu budeme mít expertní odhady od všech odhadujících expertů. Tato data se zadají do sešitu MS Excel, který jsem naprogramovala v C#. Pro správné výsledky je třeba dodržet tato jednoduchá pravidla:

- pro každý náhradní díl zadat pod sebe odhady od všech expertů vždy ve stejném pořadí expertů, přičemž maximálně je program schopen zpracovat odhady od 5 expertů,
- na první řádek u každého náhradního dílu zadat jednotkovou cenu, jednotkové roční skladovací náklady, příp. také jednotkové náklady z nedostatečné a nadbytečné jednotky zásob pro analytický výpočet založený na nákladech (viz kapitola 4.2.2),
- mezi jednotlivými druhy náhradních dílů vynechat 1 - 3 volné řádky,
- zadat údaje o všech náhradních dílech k posuzovanému projektu.

Příklad správně vložených dat ukazuje obrázek 1. Součástí obrázku jsou také bub-

liny s popisky, jež obsahují v předchozím odstavci popsaná pravidla pro vkládání dat. Tento obrázek je také součástí nápovědy mnou vytvořeného sešitu MS Excel, který naleznete na příloženém *CD*.

Výpočet roční poptávky

Zaokrouhlovat matematicky Ostrý odhad je správný

Po zatřetí této volby bude program zaokrouhlovat odhady poptávky matematicky, nikoliv nahoru.

Po zrušení zatřetí této volby program o 0.000001 sníží minimální a zvýší maximální poptávku v řádcích, u nichž jsou všechny úrovně poptávky totožné. Při zatřetí odhad převáží ostatní experty.

Náhradní díl	Cena za kus	Jednotkové náklady na skladování	Náklady na zásoby		Roční poptávka		
			nedostatečná jednotka	přebytečná jednotka	minimální	očekávaná	maximální
Díl 1, expert 1	1	1			1	2	3
Díl 1, expert 2					1	2	3
Díl 1, expert 3					2	3	4
Díl 2, expert 1	1	1			1	1	2
Díl 2, expert 2					1	2	3
Díl 2, expert 3					2	2	3
Díl 3, expert 1	1	1			1	2	3
Díl 3, expert 2					1	2	3
Díl 3, expert 3					2	2	3
Díl 4, expert 1	1	1			1	2	3
Díl 4, expert 2					1	2	3
Díl 4, expert 3					2	2	3
Díl 5, expert 1	1	1			1	2	3
Díl 5, expert 2					2	2	3
Díl 5, expert 3					1	2	3

Do těchto dvou sloupců je nutno vložit data pouze pro analytický výpočet nákladů.

Cenu za kus a jednotkové náklady na skladování stačí zadat vždy do prvního řádku u každé položky.

Odhady poptávky po jednotlivých dílech od různých expertů je nutno zadat vždy ve stejném pořadí expertů. Každý expert musí odhadnout poptávku po všech dílech. V tabulce jsou jednotliví experti rozlišeni barevně.

Obrázek 1: Ukázka správně vložených dat s popisy

Software v počítači pro každý zadaný odhad vygeneruje pseudonáhodné číslo r . Z tohoto čísla pomocí inverzní transformace a zadaných parametrů trojúhelníkového rozdělení určí poptávku. Způsob výpočtu poptávky d proběhne pomocí vzorce 18 nebo 19, které lze odvodit následujícím způsobem: Vygenerované pseudonáhodné číslo r položíme rovno distribuční funkci $F(x)$ trojúhelníkového rozdělení, jak je vidět ze vzorce 17. Distribuční funkci vyjádřím pomocí parametrů tohoto rozdělení, kde a je minimální poptávka, b je maximální poptávka a c je očekávaná poptávka. Z této rovnice vyjádřím neznámé x . Výsledkem jsou vzorce pro určení odhadu poptávky d , kde $d = x$.

$$r = F(x) \quad (17)$$

$$r = \frac{(x - a)^2}{(b - a)(c - a)} \quad \text{pro } a \leq x \leq c$$

$$r = 1 - \frac{(b - x)^2}{(b - a)(b - c)} \quad \text{pro } c < x \leq b$$

$$d = a + \sqrt{r(b - a)(c - a)} \quad \text{pro } a \leq d \leq c \quad (18)$$

$$d = b - \sqrt{(1 - r)(b - a)(b - c)} \quad \text{pro } c < d \leq b \quad (19)$$

Volbu mezi vzorci 18 a 19 program provede na základě pravděpodobnosti p , která říká, zda bude poptávka menší než její očekávaná hodnota. Tuto pravděpodobnost určí podle vzorce 20 převzatého z [15, s. 321]. Písmenka ve vzorci mají stejný význam jako u vzorců pro výpočet poptávky. Je-li $r < p$, pak se poptávka vypočte podle vzorce 18. V opačném případě se použije vzorec 19. Vypočtenou poptávku software automaticky zaokrouhlí nahoru. Zatrhne-li uživatel zaškrtačací políčko pro matematické zaokrouhlení, pak bude poptávku zaokrouhlovat matematicky, tj. do 5 desetin zaokrouhlí dolů a čísla s 5 desetinami a výše zaokrouhlí nahoru.

$$p = \frac{c - a}{b - a} \quad (20)$$

Výpočet poptávky d s využitím metody Monte Carlo se provede pro všechny položky 100 000krát. V každém Monte Carlo cyklu se pro každý odhad vypočte poptávka a z ní se určí kapitál vázaný v zásobách c_H a náklady na skladování c_S pro vypočtenou poptávku. Tyto veličiny se určí na základě vzorců 21 a 22, kde d je vypočtená poptávka, c_P je jednotková cena náhradního dílu a c_1 jsou roční jednotkové náklady na skladování.

Počítám zde s 1/2 vypočtené poptávky, protože se držím obecně používaného předpokladu. Na počátku záručního provozu bude poptávka vyšší vlivem uve-

dení do provozu a možnosti existence výrobních vad. Poté spotřeba náhradních dílů poklesne, tj. zařízení dosáhne tzv. steady state. V průběhu času dochází k selhávání prvků při užívání zařízení např. z důvodu jejich opotřebení, čili spotřeba náhradních dílů opět vzroste. Proto v modelu předpokládám *konstantní spotřebu* náhradních dílů.

Pro výpočet dále uvedených nákladových veličin budu dále předpokládat, že *dodávka zboží* bude pouze *1x ročně*. Jednou za rok tedy objednáme všechny zásoby, přičemž pro každou jednotku známe roční náklady na skladování c_1 . Za uvedených předpokladů budou platit dále popsané vztahy.

$$c_H = \frac{1}{2}d \cdot c_P \quad (21)$$

$$c_S = \frac{1}{2}d \cdot c_1 \quad (22)$$

Vypočtený kapitál vázaný v zásobách i skladovací náklady se přidají do seznamů těchto hodnot pro jednotlivé experty, přičemž v každé položce daného seznamu se postupně kumulativně sečtou náklady za celý uvažovaný soubor. Následně se sečtením kapitálu vázaného v zásobách c_H a nákladů na skladování c_S vypočtou celkové náklady c_T jak ukazuje vzorec 23. Kapitál vázaný v zásobách software vynásobí úrokovou mírou alternativní investice i , a tak získá náklady ušlé příležitosti c_O , viz vzorec 24. Náklady, které poslouží jako podklad pro rozhodnutí, označím jako rozhodovací náklady c_D a získám je součtem nákladů na skladování c_S a nákladů ušlé příležitosti c_O dle vzorce 25. Tyto hodnoty se následně uloží do seznamů pro konkrétního experta.

$$c_T = c_H + c_S \quad (23)$$

$$c_O = c_T \cdot i \quad (24)$$

$$c_D = c_S + c_O \quad (25)$$

Do listu výsledků následně software vypíše střední hodnoty vypočtených nákladových náhodných veličin, které získá jako aritmetické průměry vypočtených hodnot. U každého výsledku se také objeví zaškrťovací políčko. Po zaškrtnutí požadovaných políček a stisknutí tlačítka Vykreslit histogram + charakteristiky se do sešitu přidají nové listy, na kterých bude vždy vykreslen histogram dané náhodné veličiny a vedle se zobrazí jeho charakteristiky. Před stisknutím uvedeného tlačítka je ještě možné změnit počet sloupců, které budou tvořit histogramy. Implicitně je nastavených 100 sloupců. Vzorce použité pro výpočet střední hodnoty, mediánu, rozptylu, směrodatné odchylky, reziduálního součtu čtverců a MSE naleznete v kapitolách 3.3.3 a 3.3.4.

Vypisovanými charakteristikami jsou:

- počet opakování výpočtu;
- střední hodnota;
- medián;
- rozptyl;
- směrodatná odchylka;
- minimum;
- maximum;
- reziduální součet čtverců;
- střední čtvercová chyba.

Uživatel tedy získá plné informace o výsledcích spočítaných daným přístupem. Na jejich základě pak může kvalifikovaně rozhodnout. Další možností je uložit si tyto výsledky, zvolit výpočet analytickým způsobem a poté výsledky porovnat. Analytický výpočet poptávky popíše následující podkapitola.

4.2.2 Princip analytického výpočtu nákladů

Způsob výpočtu poptávky založený na znalosti nákladů z nedostatečné a přebytečné jednotky zásob je řešen analyticky. Předpokládá, že celková poptávka je diskrétní náhodná veličina, která v tomto případě také odpovídá trojúhelníkovému rozdělení. Pro určení poptávky software využije dodatečných informací, které musí uživatel pro tento výpočet zadat. Na kvalitě vložených vstupních dat závisí kvalita výsledku. Jak píše Gros: „Špatná data znamenají špatné a nepoužitelné výsledky.“ [10, s. 24] Software tedy na základě nákladů z nedostatečné jednotky zásob c_n a nákladů z přebytečné jednotky zásob c_r spočítá nákladové kritérium q podle vzorce 26 převzatého z [12, s. 256], kde případně naleznete jeho odvození.

$$q = \frac{c_n}{c_n + c_r} \quad (26)$$

Poptávka d pro jednotlivé odhady se vypočte obdobným způsobem jako při Monte Carlo výpočtu popsáném v předchozí části, avšak výpočet se provede pouze jedenkrát. Nákladové kritérium nyní nahradí náhodná čísla. Software určí poptávku na základě vzorce 27 nebo 28, které získám úpravou vzorců 18 a 19. Volba mezi vzorci 27 a 28 Ostatní písmenka mají stále stejný význam.

$$d = a + \sqrt{q(b-a)(c-a)} \quad \text{pro } a \leq q \leq c \quad (27)$$

$$d = b - \sqrt{(1-q)(b-a)(b-c)} \quad \text{pro } c < q \leq b \quad (28)$$

Další výpočty probíhají podle stejných vzorců jako v předchozí podkapitole. Pouze do listu výsledků se vypisují sumy jednotlivých druhů nákladů za všechny druhy náhradních dílů jako za jeden celek. Protože hodnoty jsou vypočteny analyticky, není možné vykreslovat histogramy náhodných veličin.

4.2.3 Princip výpočtu průměrných hodnot

Expertní odhady mohou být zadány různě, tzn. hodnoty poptávky pro jednotlivé experty mohou vycházet zcela odlišně. Řešila jsem tedy způsob, jak je zprůměrovat tak, aby výsledný průměr vzal v potaz tuto skutečnost. Výsledkem je *průměrování* odhadů parametrů *přes* jejich *rozptyly*. Průměrné hodnoty parametrů trojúhelníkového rozdělení (minimální poptávka a , maximální poptávka b , očekávaná poptávka c) software tedy vypočítá podle vzorců 30, 31 a 32, kde σ_i^2 značí rozptyl odhadu i -tého experta získaný podle vzorce 29 přejatého z [6, s. 187] a celkový počet expertů je n .

$$\sigma_i^2 = \frac{a_i^2 + b_i^2 + c_i^2 - a_i b_i - a_i c_i - b_i c_i}{18} \quad (29)$$

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{a_i}{\sigma_i^2}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{\sigma_i^2}} \quad (30)$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{b_i}{\sigma_i^2}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{\sigma_i^2}} \quad (31)$$

$$c = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{c_i}{\sigma_i^2}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{\sigma_i^2}} \quad (32)$$

Při uvedeném způsobu průměrování parametrů jsem však narazila na problém: Jestliže některý z expertů odhadne parametry poptávky určené trojúhelníkovým rozdělením jako přesnou konstantní hodnotu, tj. $a = b = c$, pak je rozptyl tohoto odhadu roven 0. Při průměrování však rozptylem dělím, tudíž výsledek není číslo. Prakticky jsem využila dvě možnosti řešení tohoto problému, které nyní popíši.

První vychází z jednoduché úvahy: Je-li váha expertně odhadnutého parametru $w = \frac{1}{0} = \infty$, tj. nekonečně velká, pak převáží všechny ostatní váhy odvozené pomocí rozptylu odhadů ostatních expertů. Jako výslednou průměrnou hodnotu

tedy program vezme tuto ostrou hodnotu.

Druhá možnost, která v případě shody odhadnutých parametrů minimální a maximální poptávky jejich výši upraví odečtením respektive připočtením malého čísla, mi přišla také zajímavá. Parametr a program tedy o 0.000001 sníží a parametr b o stejnou hodnotu zvýší. Díky tomu rozptyl odhadu nebude 0 a výpočet průměrných parametrů proběhne podle vzorců popsaných výše v této kapitole.

Do výpočetního sešitu MS Excel jsem naprogramovala obě možnosti výpočtu. Přepínají se pomocí zaškrťovacího políčka na prvním listu. Protože jsem volbu konstanty provedla pouze podle uvážení, že simulaci Monte Carlo 100 000krát opakuji, vyzkouším v aplikaci tohoto modelu na konkrétních datech, zda se výsledky získané jedním anebo druhým způsobem při průměrování zadaných ostrých hodnot odhadů parametrů navzájem liší. Je však důležité si uvědomit, že výpočet je založen na generování pseudonáhodných čísel. Z tohoto důvodu nepředpokládám, že drobná úprava některých odhadů, výrazně ovlivní výsledky.

Další výpočty již opět probíhají způsobem, který zvolí uživatel. První možností je využití Monte Carla, jak bylo popsáno v kapitole 4.2.1. Ze zprůměrovaných hodnot se tedy vypočte poptávka podle vzorce 18 nebo 19, která se zaokrouhlí nahoru anebo matematicky v závislosti na volbě uživatele, jak již bylo popsáno v kapitole 4.2.1. Výpočty jednotlivých typů nákladů proběhnou pomocí vzorců 21, 22, 23, 24 a 25. Do listu výsledků se opět vypíše střední hodnoty vypočtených nákladových veličin. U každé této hodnoty je také umožněno vykreslit histogram četností výsledků, který se zobrazí společně s charakteristikami popsanými na konci kapitoly 4.2.1.

Druhým možným způsobem výpočtu je použít analytický nákladový výpočet popsaný v kapitole 4.2.2. V tomto případě se poptávka exaktně vypočte podle vzorce 27 nebo 28 a poté se opět zaokrouhlí způsobem popsaným v kapitole 4.2.1. Výpočty jednotlivých typů nákladů proběhnou podle vzorců uvedených

v předchozím odstavci. Do listu výsledků se však vypíše součty jednotlivých druhů nákladů za všechny druhy zásob vložených do sešitu MS Excel jako celek. Vykreslit histogram zde není možné, protože výpočty jsou jednoznačné a nezískám z nich tedy dostatek dat pro grafické znázornění.

4.2.4 Přiřazení vah jednotlivým expertům

Do výpočtu průměrných hodnot za všechny experty jsem původně zakomponovala také přiřazování vah odhadům jednotlivých expertů. Tyto váhy by se stanovovaly na základě jejich praxe v oboru, počtu dobrých odhadů apod. Dostali-li experti stejné váhy, pak se však tyto výsledky značně lišily od výpočtů bez použití vah. V této podkapitole tedy ukáži, že trojúhelníkové rozdělení se lineární transformací nezachová. Tudíž váhy nelze použít.

Charakteristická funkce má dle [32, s. 265, 266] obecně tyto vlastnosti:

- 1) $Y = aX + b, a, b \in \mathbb{R}^1 \Rightarrow \Phi_Y(t) = e^{itb}\Phi_X(at), t \in \mathbb{R}^1$
- 2) X_1, X_2, \dots, X_n nezávislé $\Rightarrow \Phi_{X_1+X_2+\dots+X_n}(t) = \prod_{k=1}^n \Phi_{X_k}(t), t \in \mathbb{R}^1$

Charakteristická funkce trojúhelníkového rozdělení má dle [33] tvar:

$$\Phi_X(t) = -2 \frac{(b-c)e^{iat} - (b-a)e^{ict} + (c-a)e^{ibt}}{(b-a)(c-a)(b-c)t^2}, \quad a \leq c \leq b, \quad t \in \mathbb{R}^1$$

Pro důkaz budu uvažovat dvě navzájem nezávislé náhodné veličiny:

$X \sim Tri(a, b, c), Y \sim Tri(m, n, o)$. Potom

$$\begin{aligned} \Phi_{X+Y} &= \Phi_X \cdot \Phi_Y = \\ &= \frac{4((b-c)e^{ait} + (-a+c)e^{bit} + (a-b)e^{cit})(e^{iot}(m-n) + e^{imt}(n-o) + e^{int}(-m+o))}{(-a+b)(b-c)(-a+c)(m-n)(m-o)(-n+o)t^4} \\ & \quad a \leq c \leq b, \quad m \leq o \leq n, \quad t \in \mathbb{R}^1 \end{aligned} \tag{33}$$

Ze vzorce 33 je vidět, že tento polynomiální výraz již nelze zjednodušit, lze jej pouze roznásobit. Dle [13] se mnohočlen po částech skládá ze splinových funkcí, které se využívají v CAD/CAM modelování pro aproximaci vykreslovaných křivek. Nejspíše se jedná o de Boorovy spliny, které se označují B-splines.

Z uvedeného důkazu plyne, že nelze při použití trojúhelníkového rozdělení pravděpodobnosti použít vážený průměr. Kdybychom chtěli počítat s váhami pro odhady jednotlivých expertů, bylo by třeba použít jiné rozdělení. Jednou z možností je použít například rozdělení normální. Avšak zde vzniká problém. Normální rozdělení je symetrické. Kdežto expert nemusí potřebu náhradních dílů odhadnout symetricky.

4.3 Praktické použití a aplikace modelu

Obsahem této kapitoly je praktická aplikace popsaného modelu na reálná data. Dále zde prověřím vliv práce s ostrými odhady, jak jsem uvedla v kapitole 4.2.3. Na závěr zformuluji jednoduchý návod pro doporučení rozhodnutí.

Naprogramovaný model naleznete na *CD* přiloženém k této diplomové práci. Na *CD* je model včetně zdrojových kódů vytvořených pomocí MS Visual Studio 2010. Ke spuštění naprogramovaného a zkompilevaného sešitu MS Excel je třeba, aby na počítači bylo nainstalováno:

- kompletní MS Office Excel minimálně verze 2007,
- knihovny .NET minimálně verze 4.0.

Validace modelu je dle [11] při tvorbě modelu také důležitá. Bohužel management společnosti NOEN neměl data, jež by byla pro validaci modelu vhodná, v době, kdy dopisuji tuto práci, zpracována. Z tohoto důvodu jsem validaci nemohla provést. K datům, jež jsou použita v dále uvedené aplikaci modelu, budou

skutečné hodnoty známy až po ukončení záručního provozu zahřívání tepelné elektrárny, což by podle harmonogramu mělo být koncem roku 2016.

4.3.1 Výsledky modelu na konkrétních datech

Od zástupce společnosti NOEN jsem obdržela data, jež jsou uvedena v *Příloze 4* a v *Příloze 5*, přičemž původní označení jednotlivých položek obsahuje *Příloha 3*. V tabulkách s odhady poptávky, tj. *Příloha 4* a *Příloha 5* jsou uvedeny také jednotkové ceny a skladovací náklady, které jsou společnosti známy. Pomocí naprogramovaného modelu budu tedy srovnávat pouze data od dvou expertů. Protože jsem však nezískala data o nákladech z nedostatečné a přebytečné jednotky zásob, provedu výpočet pouze metodou Monte Carlo.

Softwarově zpracovaný model mi umožňuje provést 4 varianty výpočtu, které lze volit pomocí zaškrťovacích políček na prvním listu. Tato políčka umožní:

- zaokrouhlovat vypočtenou poptávku matematicky (zaškrtnuté políčko) anebo nahoru (nezaškrtnuté políčko),
- jako průměrnou hodnotu vzít ostrý odhad poptávky (zaškrtnuté políčko) nebo minimální a maximální odhadnutou poptávku mírně upravit (nezaškrtnuté políčko), jak bylo popsáno v kapitole 4.2.3.

Pro výpočet je dále třeba zadat úrokovou míru alternativní investice. Na internetových stránkách pěti českých bank jsem vyhledala úrokové míry, kterými úročí zůstatky na spořicíh účtech svých klientů. Úrokové sazby, jež jsem získala z [4], [5], [7], [17] a [30], jsou uvedeny v tabulce 2.

Vysvětlivky k tabulce:

¹ vklad na 12 měsíců

² výše zůstatku na účtu do 149 999 Kč

³ výše zůstatku na účtu do 999 999 Kč

Tabulka 2: Úrokové míry na spořicíh účtech vybraných českých bankovních institucí

Banka	Název produktu	Úroková sazba v % p. a.
Česká spořitelna	Vkladový účet	0,50 ¹
ČSOB	ČSOB Spořicí účet pro podnikatele	0,40 ²
Fio banka	Fio konto	0,15
mBank	eMAX Bussiness	1,00
Raiffeisen Bank	Pluskonto v Kč	0,30 ³

$$R = i_{max} - i_{min} = 1,00 - 0,15 = 0,85 \quad (34)$$

Jako úrokovou míru alternativní investice budu uvažovat 0,4 % p. a. Úroková míra ČSOB se totiž nejvíce blíží polovině rozpětí R úrokových měř v tabulce 2. Rozpětí jsem vypočítala jsem pomocí vzorce 34.

Po vložení čísel z *Přílohy 4* a z *Přílohy 5* do naprogramovaného modelu podle pravidel popsaných v kapitole 4.2.1 jsem získala výsledky uvedené v tabulkách 3, 4, 5 a 6. Jak je vidět z počtu tabulek, výpočet jsem provedla ve všech čtyřech možnostech, které tento model nabízí. Informace o probíhající výpočtu se zobrazuje ve stavovém řádku sešitu MS Excel.

Označení způsobů výpočtu, kterého se v této práci pro lepší orientaci budu držet:

- Varianta 1 – zaokrouhlování nahoru a úprava ostře zadaných odhadů poptávky (nezatržená obě zaškrťovací políčka);
- Varianta 2 – zaokrouhlování nahoru a převážení ostrých odhadů poptávky nad ostatními (zatržena pouze správnost ostrého odhadu);
- Varianta 3 – matematické zaokrouhlování a úprava ostře zadaných odhadů poptávky (zatrženo pouze matematické zaokrouhlování);
- Varianta 4 – matematické zaokrouhlování a převážení ostrých odhadů poptávky nad ostatními (zatržena obě zaškrťovací políčka).

Tabulka 3: Varianta 1 – zaokrouhlování nahoru a úprava ostře zadaných odhadů poptávky

Vypočtené položky	Průměrně [Kč]	Expert 1 [Kč]	Expert 2 [Kč]
Kapitál vázaný v zásobách	4 087 462	3 927 108	4 005 944
Skladovací náklady	43 794	42 113	44 167
Náklady celkem	4 131 256	3 969 221	4 050 111
Náklady ušlé příležitosti	16 350	15 708	16 024
Náklady pro rozhodnutí	60 144	57 822	60 191

Z tabulky 3 je vidět, že průměrná výše ročního kapitálu vázaného v zásobách by měla činit necelých 4 100 000 Kč. Roční skladovací náklady k zásobám určeným modelem v průměru budou necelých 44 000 Kč. Náklady ušlé příležitosti budou ve výši zhruba 16 000 Kč a rozhodovací náklady se budou pohybovat okolo 60 000 Kč. Uvedená čísla ovšem budou platná pouze ze předpokladu, že společnost bude mít vyšší hladinu zásob, což vyplývá z toho, že odhadnutou poptávku software zaokrouhluje automaticky nahoru.

Tabulka 4: Varianta 2 – zaokrouhlování nahoru a převážení ostrých odhadů poptávky nad ostatními

Vypočtené položky	Průměrně [Kč]	Expert 1 [Kč]	Expert 2 [Kč]
Kapitál vázaný v zásobách	3 937 882	3 926 904	4 006 752
Skladovací náklady	42 675	42 109	44 174
Náklady celkem	3 980 556	3 969 013	4 050 926
Náklady ušlé příležitosti	15 752	15 708	16 027
Náklady pro rozhodnutí	58 426	57 817	60 201

Tabulka 4 obsahuje ve srovnání s tabulkou 3 částky mírně nižší. Výpočty se liší pouze v jiným přístupem k ostrému odhadu poptávky. Největší rozdíl je vidět v průměrném kapitálu vázaném v zásobách, který je nižší o více než 100 000 Kč. Průměrné rozhodovací náklady při tomto přístupu vyšly nižší o necelé 2 000 Kč.

Částky v tabulce 5 jsou přibližně o čtvrtinu nižší, než v tabulkách 3 a 4. Výpočet se od výpočtu částek uvedených v tabulce 3 liší pouze změnou způsobu zaokrouhlování vypočteného odhadu poptávky. Podíváme-li se také na tabulku 6, pak zjistíme, že střední hodnoty veličin v ní uvedených se od čísel v tabulce 5 liší pouze nepatrně.

Tabulka 5: Varianta 3 – matematické zaokrouhlování a úprava ostře zadaných odhadů poptávky

Vypočtené položky	Průměrně [Kč]	Expert 1 [Kč]	Expert 2 [Kč]
Kapitál vázaný v zásobách	2 699 629	2 467 540	2 895 650
Skladovací náklady	30 585	27 717	33 650
Náklady celkem	2 730 215	2 495 258	2 929 300
Náklady ušlé příležitosti	10 799	9 870	11 583
Náklady pro rozhodnutí	41 384	37 587	45 233

Tabulka 6: Varianta 4 – matematické zaokrouhlování a převážení ostrých odhadů poptávky nad ostatními

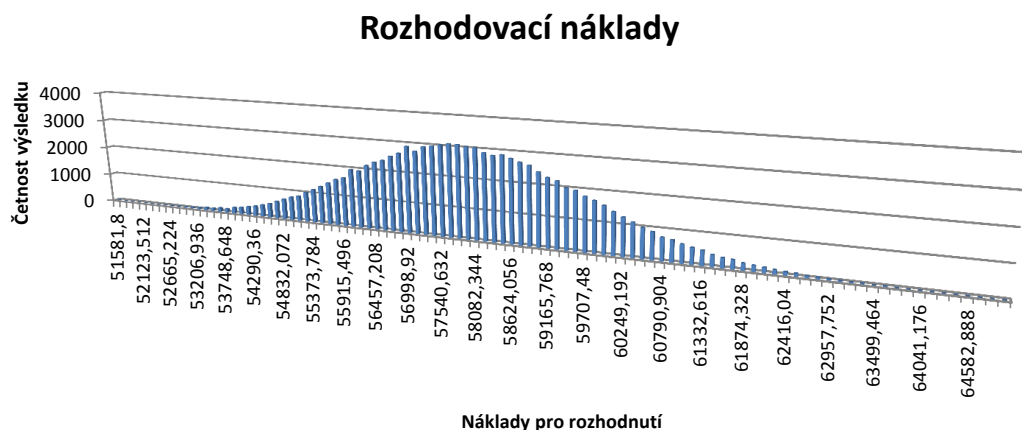
Vypočtené položky	Průměrně [Kč]	Expert 1 [Kč]	Expert 2 [Kč]
Kapitál vázaný v zásobách	2 700 283	2 466 551	2 893 805
Skladovací náklady	30 594	27 708	33 639
Náklady celkem	2 730 877	2 494 259	2 927 444
Náklady ušlé příležitosti	10 801	9 866	11 575
Náklady pro rozhodnutí	41 395	37 574	45 214

Z uvedeného lze prozatím vyvodit tyto závěry:

- Volba způsobu zaokrouhlení má výrazný vliv na získané výsledky.
- Přístup k ostrým odhadům poptávky nemá výrazný vliv na výsledky.

Čísla, jež jsou uvedena v tabulkách 3, 4, 5 a 6 představují pouze střední hodnoty vypočtených nákladových veličin za předpokladu v průměru konstantní spotřeby náhradních dílů a trojúhelníkového rozdělení poptávky po nich se správně expertně odhadnutými parametry. Tyto veličiny lze také reprezentovat graficky. Naprogramovaný sešit MS Excel umožňuje vykreslení grafu všech výsledných vypočtených veličin metodou Monte Carlo.

Graficky zde srovnám pouze náklady pro rozhodnutí, a to mezi všemi čtyřmi variantami, protože jsou pro aplikaci tohoto modelu nejdůležitější. Srovnám nejdříve hodnoty pro *experta 1* a poté *průměrné hodnoty*. Graf hodnot druhého experta má téměř stejný průběh jako pro experta prvního, pouze je mírně posunut vpravo, což je vidět z *Přílohy 6* a *Přílohy 7*.



Obrázek 2: Rozhodovací náklady pro Variantu 1 dle experta 1

Tabulka 7: Charakteristiky histogramu pro Variantu 1 dle experta 1

Charakteristika	Hodnota
Počet opakování výpočtu	100 000
Střední hodnota	57 822
Medián	57 794
Rozptyl	533
Směrodatná odchylka	23
Minimum	51 582
Maximum	65 125
Reziduální součet čtverců	53 334 837
Střední čtvercová chyba	533

Histogram na obrázku 2 má tvar Gaussovy křivky, která se označuje také jako Gaussova zvonová křivka. Náklady vypočtené na základě odhadů experta 1 pomocí Monte Carlo cyklu tedy zhruba odpovídají normálnímu rozdělení pravděpodobnosti, protože daný výpočet program mnohokrát zopakuje.

Histogram na obrázku 2 lze popsat charakteristikami uvedenými v tabulce 7. Směrodatná odchylka této varianty výpočtu vyšla pouze 23 Kč, tj. rozhodovací náklady podle odhadu experta by neměly příliš kolísat kolem střední hodnoty ve výši 57 822 Kč, která je téměř shodná s mediánem. Minimální hodnota grafu je přibližně 51 500 Kč. Maximálně by náklady za platnosti uvedených předpokladů

měly mírně přesáhnout 65 tis. Kč.

Reziduální součet čtverců vyšel přibližně 53 mil, což je způsobeno vysokým počtem opakování výpočtu. Střední čtvercová chyba se od rozptylu liší jmenovatelem, a to pouze o jednotku. Proto se při velkém počtu opakování ztrácí její odlišnost od rozptylu, jestliže jako vyrovnanou hodnotu zvolím průměr. Dále již poslední dvě charakteristiky u grafů uvádět nebudu, protože střední čtvercová chyba vychází rovna rozptylu a reziduální součet čtverců je součástí vzorce pro výpočet rozptylu.



Obrázek 3: Rozhodovací náklady pro Variantu 2 dle experta 1

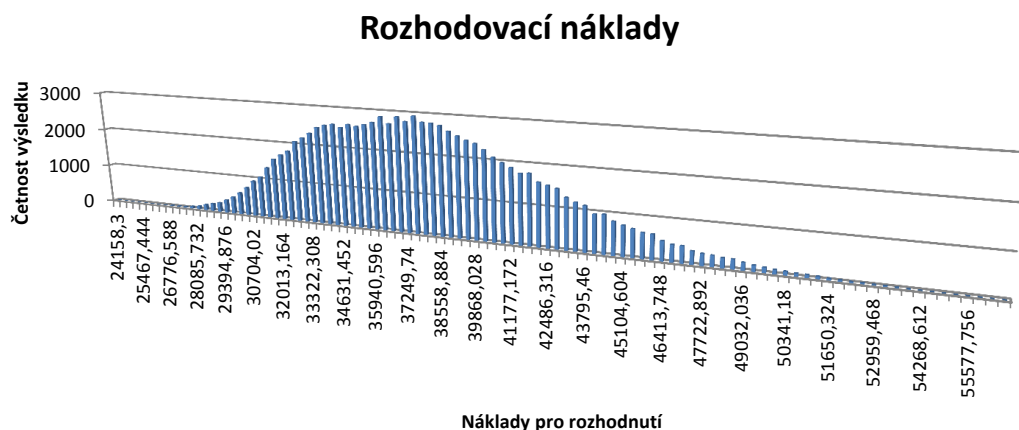
Tabulka 8: Charakteristiky histogramu pro Variantu 2 dle experta 1

Charakteristika	Hodnota
Počet opakování výpočtu	100 000
Střední hodnota	57 817
Medián	57 796
Rozptyl	456
Směrodatná odchylka	21
Minimum	51 705
Maximum	64 567

Histogram na obrázku 3 popisují charakteristiky uvedené v tabulce 8. Podle tvaru histogramu náklady také přibližně odpovídají normálnímu rozdělení. Střední

hodnota je opět téměř rovna mediánu, což značí, že rozdělení není zešikmené. Směrodatná odchylka je v tomto případě o 2 Kč nižší, než v předchozí variantě výpočtu, tj. vypočtené výsledky budou ještě o trochu více nakumulovány kolem střední hodnoty.

Vypočtená minimální hodnota zobrazená v histogramu na obrázku 3 je přibližně 51 700 Kč, což je zhruba o 200 Kč více než při úpravě ostrých odhadů v předchozím případě. Maximálně by náklady měly činit přibližně 64 500 Kč, což je zhruba o 600 Kč méně než u charakteristik histogramu na obrázku 2. Z toho plyne menší rozptyl dat v histogramu na obrázku 3 než v histogramu na obrázku 2.



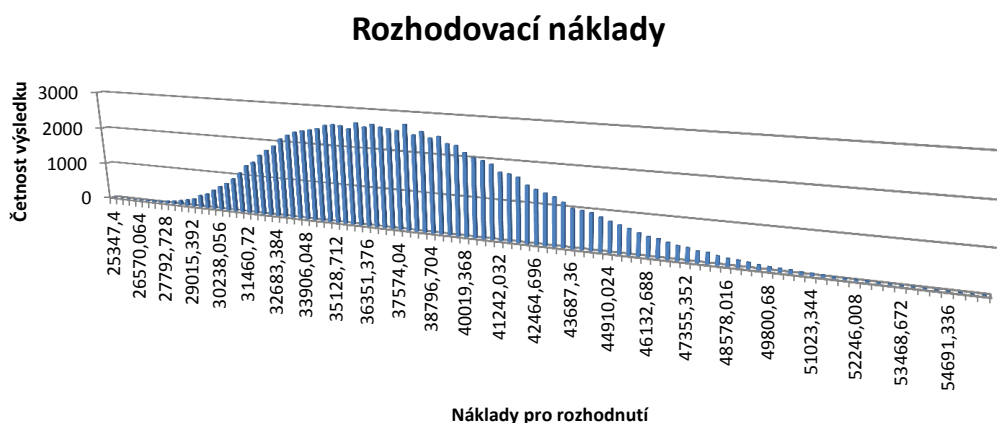
Obrázek 4: Rozhodovací náklady pro Variantu 3 dle experta 1

Tabulka 9: Charakteristiky histogramu pro Variantu 3 dle experta 1

Charakteristika	Hodnota
Počet opakování výpočtu	100 000
Střední hodnota	37 587
Medián	37 279
Rozptyl	3 725
Směrodatná odchylka	61
Minimum	24 158
Maximum	56 887

Histogram na obrázku 4 znázorňuje výsledky výpočtu metodou Monte Carlo při využití matematického zaokrouhlování poptávky a úpravě ostrých expertních

odhadů. Rozdělení vypočtených hodnot opět přibližně odpovídá normálnímu, avšak tentokrát je toto rozdělení mírně zešikmeno zprava. Charakteristiky histogramu uvedené v tabulce 9, kde střední hodnota je přibližně o 300 Kč větší než medián, také vypovídají o mírném zešikmení. Rozptyl je více než 8x větší než při zaokrouhlování vypočtené poptávky nahoru, jak je vidět z tabulek 7 a 8.



Obrázek 5: Rozhodovací náklady pro Variantu 4 dle experta 1

Tabulka 10: Charakteristiky histogramu pro Variantu 4 dle experta 1

Charakteristika	Hodnota
Počet opakování výpočtu	100 000
Střední hodnota	37 574
Medián	37 241
Rozptyl	3 364
Směrodatná odchylka	58
Minimum	25 347
Maximum	55 914

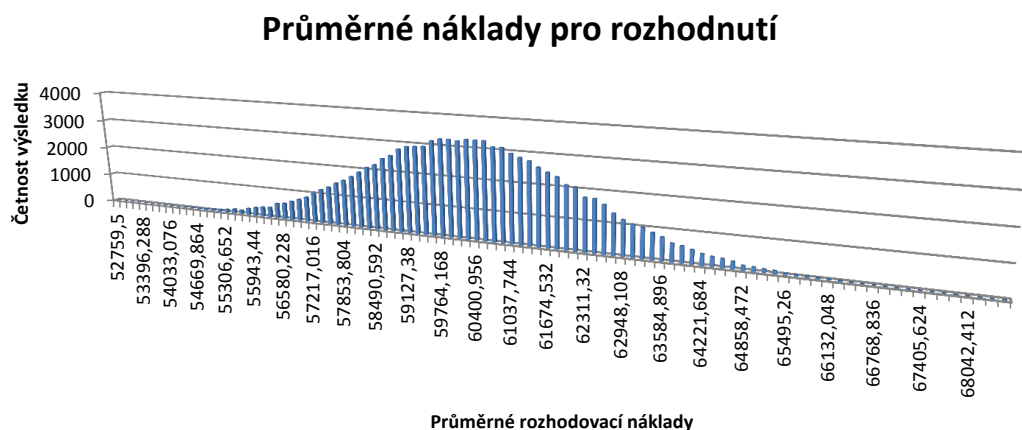
Histogram na obrázku 5 popsaný charakteristikami v tabulce 10, stejně jako předchozí histogram, přibližně odpovídá normálnímu rozdělení mírně zešikmenému zprava. Oba histogramy mají navzájem přibližně shodnou střední hodnotu a medián. Histogram na obrázku 5 je však oproti histogramu předchozímu posunut, a to v minimu doprava přibližně o 1 200 Kč a v maximumu doleva přibližně o 1 000 Kč. Důsledkem je nižší rozptyl uvedený v tabulce 10 oproti rozptylu

histogramu na obrázku 4.

Histogramy pro matematické zaokrouhlování poptávky, tj. obrázky 4 a 5, se od histogramů pro zaokrouhlování nahoru zobrazených na obrázcích 2 a 3 liší zejména v těchto bodech:

- mírně odlišný tvar;
- umístění celého histogramu, charakterizovaného minimem, maximem, mediánem a střední hodnotou, na ose nákladů pro rozhodnutí (viz *Příloha 6*);
- výrazně odlišný rozptyl.

Z grafické reprezentace výsledků rozhodovacích nákladů pro jednotlivé experty jako náhodných veličin vyplývá stejně jako z výsledků reprezentovaných pouze středními hodnotami v tabulkách 3, 4, 5 a 6, že vliv přístupu k ostře zadaným expertním odhadům poptávky není příliš výrazný. Naopak způsob zaokrouhlování výrazně ovlivní výsledky. V následující podkapitole tyto závěry statisticky ověřím.



Obrázek 6: Průměrné rozhodovací náklady pro Variantu 1

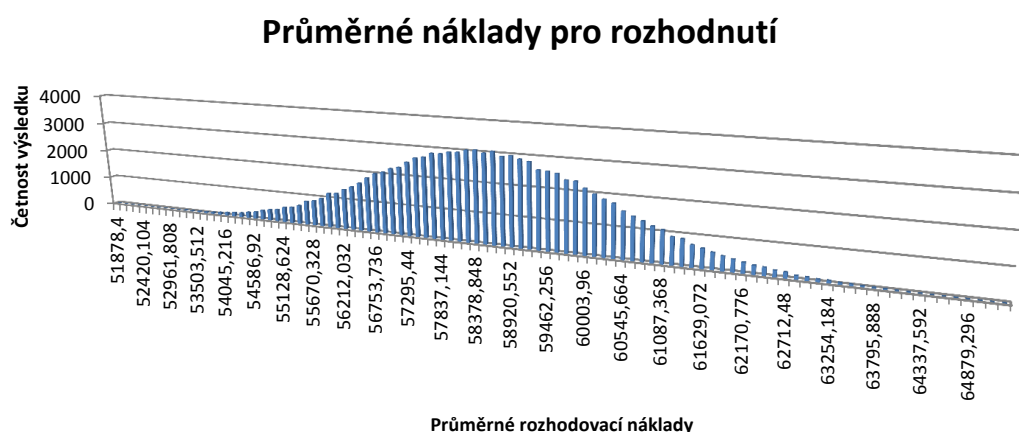
Histogramy průměrných rozhodovacích nákladů na obrázcích 6, 7, 8 a 9 také přibližně odpovídají normálnímu rozdělení. Toto bude však v kapitole 4.3.2 ještě

ověřeno. Tyto histogramy byly vytvořeny z dat vzniklých zprůměrováním expertních odhadů poptávky a následným výpočtem metodou Monte Carlo.

Tabulka 11: Charakteristiky histogramu průměrných hodnot pro Variantu 1

Charakteristika	Hodnota
Počet opakování výpočtu	100 000
Střední hodnota	60 144
Medián	60 137
Rozptyl	728
Směrodatná odchylka	27
Minimum	52 760
Maximum	68 679

Histogram na obrázku 6 charakterizuje tabulka 11. Je z ní vidět, že střední hodnota je téměř shodná jako medián, což odpovídá histogramu, který není zešíkmen. Při srovnání s histogramem na obrázku 2 je vidět, že vrchol histogramu průměrných rozhodovacích nákladů je mírně posunut vpravo (viz *Příloha 8*). Tento histogram má také vyšší rozptyl, tzn. vypočítané hodnoty nákladů jsou méně nahuštěny okolo jejich střední hodnoty.



Obrázek 7: Průměrné rozhodovací náklady pro Variantu 2

Histogram na obrázku 7 popsany tabulkou 12 má zhruba stejný průběh jako

histogram předchozí. Charakteristiky v tabulce 12 mají mírně nižší hodnoty než charakteristiky v tabulce 11. Nejvýraznější je tento rozdíl u rozptylu, který je v tabulce 12 zhruba o 200 jednotek nižší než u histogramu na obrázku 6. To však stále nevyvrací můj předchozí závěr, že přístup k ostrým expertním odhadům poptávky nemá výrazný vliv na výsledné náklady.

Tabulka 12: Charakteristiky histogramu průměrných hodnot pro Variantu 2

Charakteristika	Hodnota
Počet opakování výpočtu	100 000
Střední hodnota	58 426
Medián	58 413
Rozptyl	498
Směrodatná odchylka	22
Minimum	51 878
Maximum	65 421

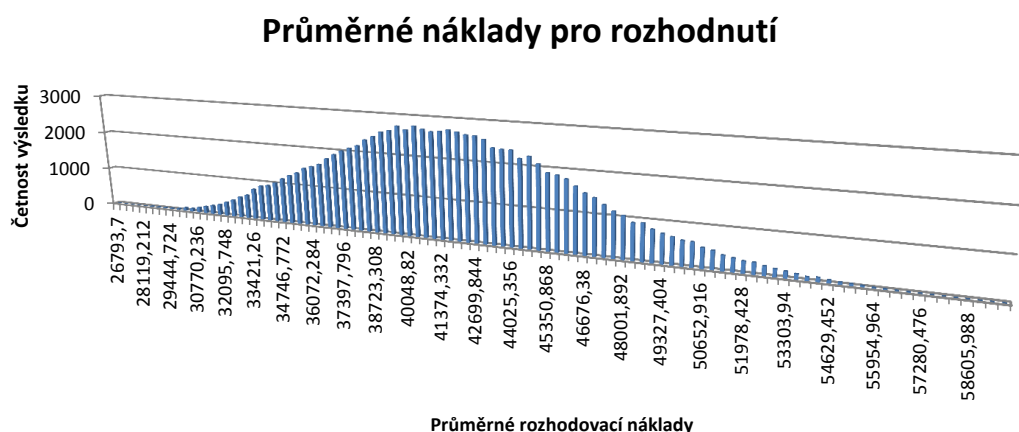
Rozptyl histogramu na obrázku 6 je zhruba 700 a histogram na obrázku 7 má rozptyl přibližně 500. Ve srovnání s histogramy následujícími na obrázcích 8 a 9 jsou tyto rozptyly přibližně pěti až sedminásobně menší. Průměrné rozhodovací náklady zobrazené v histogramech na obrázcích 6 a 7 by tedy měly být na základě menšího rozptylu lepší, tj. přesnější.

Tabulka 13: Charakteristiky histogramu průměrných hodnot pro Variantu 3

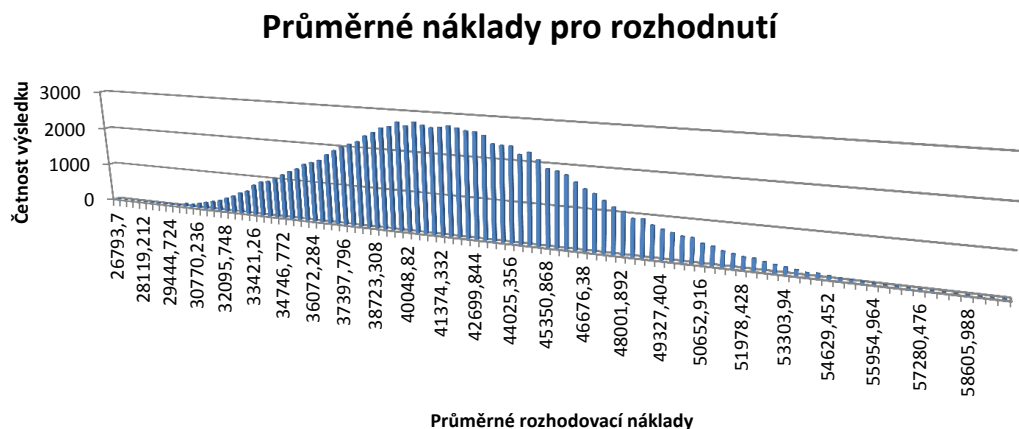
Charakteristika	Hodnota
Počet opakování výpočtu	100 000
Střední hodnota	41 384
Medián	41 244
Rozptyl	3 440
Směrodatná odchylka	59
Minimum	26 794
Maximum	59 932

Po histogramech skládajících se z hodnot zaokrouhlovaných nahoru přejdeme k histogramům s hodnotami zaokrouhlovanými matematicky. Histogram na o-

brázku 8, jehož charakteristiky obsahuje tabulka 13 n, a straně 56 je mírně zešíkmen zprava, o čemž vypovídá střední hodnota, jež je o 140 Kč menší než medián. Oproti předchozím dvěma histogramům je histogram na obrázku 8 více zploštěn, což se odráží i ve větším rozptylu.



Obrázek 8: Průměrné rozhodovací náklady pro Variantu 3



Obrázek 9: Průměrné rozhodovací náklady pro Variantu 4

Poslední histogram, který zde popíši, ukazuje obrázek 9. Jeho charakteristiky zachycuje tabulka 14. Z ní plyne stejně jako v předchozím případě, že histogram je zešíkmen napravo díky rozdílu mezi střední hodnotou a mediánem, který v tom-

Tabulka 14: Charakteristiky histogramu průměrných hodnot pro Variantu 4

Charakteristika	Hodnota
Počet opakování výpočtu	100 000
Střední hodnota	41 395
Medián	41 214
Rozptyl	3 487
Směrodatná odchylka	59
Minimum	26 966
Maximum	60 067

to případě činí zhruba 180 Kč. Střední hodnota a medián pro oba dva poslední histogramy nabývají velmi podobných hodnot. Histogram na obrázku 9 je stejně jako předchozí více zploštěn ve srovnání s obrázky 6 a 7. Při srovnání s těmito dvěma histogramy jsou střední hodnota a rozptyl posledních dvou grafů přibližně o 17 - 18 tis. nižší.

Srovnáme-li histogramy pro poptávku zaokrouhlovanou nahoru (obrázky 2, 3, 6 a 7) s histogramy pro poptávku zaokrouhlovanou matematicky (obrázky 4, 5, 8 a 9), lze konkretizovat závěr:

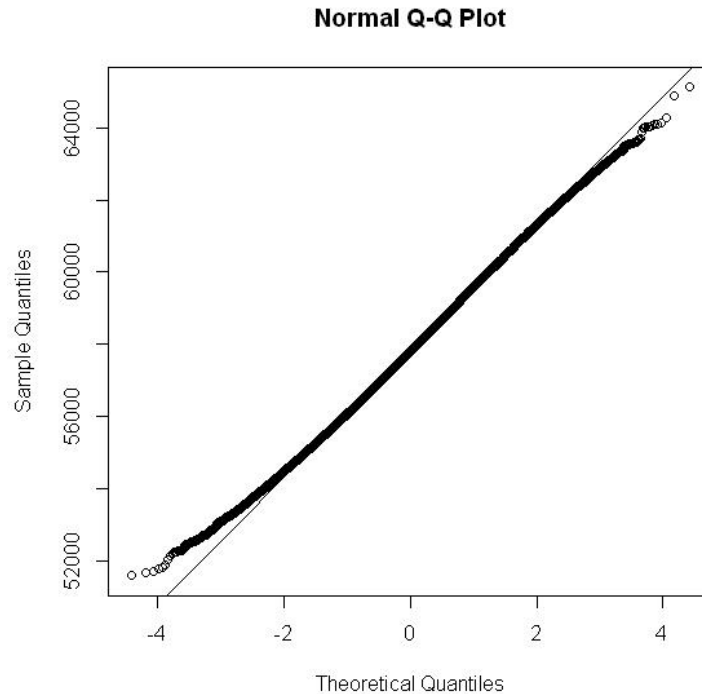
- Matematický způsob zaokrouhlování v důsledku způsobí zešikmení histogramu napravo a zvýší rozptyl vypočtených nákladových veličin.

4.3.2 Ověření významnosti rozdílů mezi jednotlivými způsoby výpočtu

V podkapitole 4.3.1 byly rozebrány rozdíly ve výsledcích mezi čtyřmi způsoby výpočtu. Tato kapitola ověří, zda jsou rozdíly mezi jednotlivými výsledky statisticky významné. Ověření provedu na hladině významnosti $\alpha = 5\%$.

Při výpočtu výsledků v předchozí kapitole jsem si uložila vypočtené rozhodovací náklady do textového souboru. Naleznete je na přiloženém *CD* ve složce Data. S pomocí softwaru R nejprve ověřím, zda data odpovídají normálnímu rozdělení. Poté otestuji shodu středních hodnot těchto souborů dat. Srovnání provedu pro

data od prvního i druhého experta a pro data, která jsou průměrnými odhady za oba experty.



Obrázek 10: Normální kvantilový graf (Q-Q Plot)

Protože *normalitu* testuji na souborech dat o velikosti 100 000 prvků, pak ji i při malé odchylce zamítnu. Pomocí Anderson-Darlingova testu, Pearsonova testu dobré shody i Jarque-Bera testu implementovaných v softwaru R jsem zamítla normalitu na hladině významnosti 5 %. Proto jsem pro její zhodnocení použila také grafický test pomocí kvantilového grafu. Obrázek 10 ukazuje, jak se nejmenší a největší data z testovaného souboru vzdalují od normality. Všechny testované soubory mají velmi podobný průběh Q-Q Plotu, jako je na obrázku 10. Neodpovídají tedy zcela normálnímu rozdělení, ale okolo střední hodnoty dle Q-Q Plotu normální rozdělení mají. Pro test shody středních hodnot však budu dále předpokládat, že testovaná data normálnímu rozdělení odpovídají, protože by k němu podle centrální limitní věty pro počet opakování výpočtu zvyšující se donekonečna měla konvergovat.

Netestují shodu rozptylů, proto k testu shody středních hodnot použijí v softwaru R Welschův test. Pro tento test není shoda rozptylů nutná. *Welschův test* testuje $H_0 : \mu_1 = \mu_2$ oproti alternativě $H_A : \mu_1 \neq \mu_2$ pro dva nezávislé náhodné výběry z normálního rozdělení pravděpodobnosti.

Výsledky testu shody středních hodnot pro prvního experta zobrazuje tabulka 15. Výsledky pro druhého experta jsou uvedeny v tabulce 16. Výsledky Welchova testu pro průměrné hodnoty jsou v tabulce 17. Čísla v tabulkách 15, 16 a 17 představují p -hodnoty jednotlivých testů, tj. nejmenší hladiny, na kterých ještě testovanou hypotézu H_0 zamítáme za předpokladu, že tato hypotéza platí. Nulovou hypotézu zamítáme v případě, že p -hodnota je menší než stanovená hladina významnosti α , tj. 5 %. Čísla variant odpovídají jejich označení zavedenému na straně 48.

Tabulka 15: Výsledky testů shody středních hodnot pro prvního experta

Varianta	1	2	3	4
1	X	0.5531	< 2.2e-16	<2.2e-16
2	0.5531	X	< 2.2e-16	2.2e-16
3	< 2.2e-16	< 2.2e-16	X	< 0.4867
4	< 2.2e-16	< 2.2e-16	0.4867	X

Z tabulky 15 je vidět, že většina kombinací středních hodnot čtyř popsaných způsobů výpočtu z odhadů prvního experta je statisticky významně odlišná na hladině významnosti 5 %. Hypotézu o shodě středních hodnot nelze zamítnout ve prospěch alternativy pouze ve 2 případech, a to při testu Varianta 1 – Varianta 2 a při testu Varianta 3 – Varianta 4. Ve výpočtu dle Varianty 1 nebo dle Varianty 2 je zaokrouhlována vypočtená poptávka nahoru. Naopak ve výpočtu dle Varianty 3 nebo dle Varianty 4 program poptávku zaokrouhluje matematicky.

Tabulka 16, jež obsahuje výsledky srovnání výpočtů pro odhady druhého experta, vypadá velmi podobně jako předchozí, tj. jako tabulka 15. Odlišnost je

Tabulka 16: Výsledky testů shody středních hodnot pro druhého experta

Varianta	1	2	3	4
1	X	0.2156	< 2.2e-16	<2.2e-16
2	0.2156	X	< 2.2e-16	< 2.2e-16
3	< 2.2e-16	< 2.2e-16	X	0.3343
4	< 2.2e-16	< 2.2e-16	0.3343	X

pouze ve výši p -hodnoty pro kombinace variant, u nichž shodu středních hodnot nezamítáme ve prospěch alternativy na hladině významnosti 5 %. P -hodnoty pro experta 2 jsou nižší než pro experta 1. Shoda středních hodnot pro experta 2 je tedy méně důvěryhodná než pro experta 1.

Na výpočet odhadů poptávky pro jednotlivé experty by neměl mít vliv způsob přístupu k ostrým odhadům, což vyplývá z kapitol 4.2.1 a 4.2.3. Přístup k ostře zadaným odhadům poptávky by tedy neměl ovlivnit ani výsledné rozhodovací náklady pro jednotlivé experty. Z tabulek 15 a 16 je vidět, že tato skutečnost opravdu platí. Jednotlivé výsledky při stejném způsobu zaokrouhlování se mírně liší, protože je výpočet založen na použití generovaných pseudonáhodných čísel. Přístup k ostrým odhadům poptávky může ovlivnit pouze výsledné průměrné hodnoty.

Tabulka 17: Výsledky testů shody středních hodnot pro průměrné hodnoty za oba experty

Varianta	1	2	3	4
1	X	< 2.2e-16	< 2.2e-16	<2.2e-16
2	< 2.2e-16	X	< 2.2e-16	< 2.2e-16
3	< 2.2e-16	< 2.2e-16	X	0.5859
4	< 2.2e-16	< 2.2e-16	0.5859	X

Statistické srovnání výsledků výpočtu pomocí zprůměrovaných parametrů ukazuje tabulka 17. Lze z ní zjistit, že statisticky nevýznamný rozdíl na hladině významnosti 5 % je pouze mezi Variantou 3 a Variantou 4. V obou těchto vari-

antách je vypočtená poptávka zaokrouhlována matematicky. Rozdíl mezi Variantou 1 a Variantou 2 pro průměrné hodnoty již na rozdíl od výpočtů pro jednotlivé experty vyšel statisticky významný na hladině významnosti 5 %.

Celkově za předpokladu platnosti normality při výpočtu nákladových veličin dle odhadů parametrů jednotlivými experty způsob přístupu k ostrých odhadům poptávky nemá statisticky významný vliv na získané výsledky na hladině významnosti 5 %. Statisticky významný vliv na výsledky má však na hladině významnosti 5 % způsob zaokrouhlování vypočtené poptávky po náhradním dílu. Toto platí pouze pro výsledky pro jednotlivé experty.

Při výpočtu s využitím průměrných parametrů trojúhelníkového rozdělení poptávky nemá statisticky významný vliv na hladině významnosti 5 % volba přístupu k ostrým odhadům poptávky pouze při matematickém zaokrouhlování vypočtené poptávky po náhradním dílu. Ostatní volby již statisticky významně ovlivní výsledky na hladině významnosti 5 %. Uvedené je vidět z tabulky 17.

4.3.3 Doporučení plynoucí z výsledků modelu

Poslední kapitola této práce čtenáře seznámí s teoretickým postupem, jak z výsledků modelu formulovat doporučení pro management. Nejprve vysvětlí teoretická pravidla pro formulaci doporučení. Poté budou pravidla aplikována na výsledky modelu uvedené v kapitole 4.3.1.

Celé doporučení je postaveno na rozhodovacím pravidlu *čisté současné hodnoty*, pro kterou se používá označení NPV z anglického Net Present Value. Princip čisté současné hodnoty spočívá v součtu investičních nákladů k aktuálnímu datu spolu s očekávanými příjmy z této investice odúročnými na hodnotu platnou k tomuto datu. Je-li čistá současná hodnota kladná, pak je investice pro podnik výhodná. Popis pravidla čisté současné hodnoty včetně vzorců lze najít např.

v [28].

Ve vytvořeném modelu však žádné očekávané příjmy, které se u NPV často předpokládají konstantní, nevyskytují. Proto je třeba tento přístup mírně modifikovat. Místo příjmů lze pro doporučení použít součin průměrného počtu dní zpoždění oprav za rok a denní pokuty za zpoždění opravy, kterou společností působící v odvětví, na které je zaměřena tato práce, znají. Její výše bývá určena samotnou smlouvou o dílo jako konstantní částka za den zpoždění opravy. Její hodnota tedy představuje v době vzniku závazku k jejímu placení současnou hodnotu. Dobu vzniku závazku však nelze předem určit. Není tedy smysluplné uvažovat o úročení či odúročení její výše k jinému časovému okamžiku. Navíc se jedná o období kratší než jeden rok. Případná změna hodnoty by tedy byla malá.

V doporučení lze tedy srovnávat rozhodovací náklady oproti průměrné pokutě za zpoždění opravy. Rozhodovací náklady se skládají z nákladů na skladování a z částky, kterou bychom získali uložením finančních prostředků na spořicí účet namísto jejich investováním do roční zásoby náhradních dílů. Tuto částku lze také označit jako náklady ušlé příležitosti. Všechny částky v tomto odstavci uvažují roční.

Naprogramovaný sešit aplikace MS Excel vypočte rozhodovací náklady způsobem popsáním v kapitole 4.2.1. Tyto náklady představují dodatečné náklady, které by společnosti vznikly, kdyby se rozhodla vytvářet zásoby. V praxi by tyto náklady mohly být ještě o něco vyšší, protože rozhodovací náklady nezahrnují náklady správní. Správní náklady jsem v tomto modelu zanedbala, protože se zajišťováním oprav a případnou platbou pokut dle současného systému, jež společnost NOEN využívá, jsou také spojeny určité náklady a zavedením skladování by došlo zejména k jejich přesunu. Jejich případné navýšení nejsem schopna vyčíslit z důvodu nedostatku podkladů.

Reálně mohou při srovnání rozhodovacích nákladů a průměrné roční pokuty za

zpoždění oprav nastat tři situace:

- Rozhodovací náklady jsou vyšší než průměrná pokuta.
- Rozhodovací náklady jsou stejné jako průměrná pokuta.
- Rozhodovací náklady jsou nižší než průměrná pokuta.

Vyjdou-li výsledky modelu tak, že nastane první možnost, tj. rozhodovací náklady budou vyšší než průměrná pokuta za zpoždění oprav, pak je tvorba zásob pro podnik jednoznačně nevýhodná. Budou-li výsledky modelu odpovídat druhé možnosti, pak lze o vytvoření zásoby náhradních dílů uvažovat. Avšak vzhledem k zanedbání správních nákladů, nebude tato varianta pro společnost výhodná také. Zůstává tedy pouze třetí možnost, a to rozhodovací náklady vyjdou nižší než průměrná pokuta. V tomto případě lze společnosti doporučit podrobné prozkoumání výhodnosti a administrativní náročnosti tvorby zásob. Pro společnost by tato varianta mohla být výhodná, protože téměř odstraní riziko pokuty za zpoždění oprav během záručního provozu.

Zatím jsem používala pouze pojem rozhodovací náklady. Výsledkem výpočtu je však celá náhodná veličina, která se dle grafů v kapitole 4.3.1 podobá grafu hustoty normálního rozdělení. Do listu výsledků se vypisují střední hodnoty vypočtených veličin. Střední hodnota reprezentuje hodnotu, kolem které se budou v průměru pohybovat skutečné hodnoty nákladů při opakování skladování stejného množství zásob po mnoho let za stejných podmínek. Střední hodnota je tedy vhodnou charakteristikou pro reprezentaci vypočtených nákladů.

Dále je možné při rozhodování, a tedy i pro doporučení, vzít v úvahu vztah rozhodovatele k riziku. Rozhodovatel obecně může mít k riziku:

- kladný vztah;
- neutrální vztah;
- averzi.

Při kladném vztahu rozhodovatele k riziku je vhodné, aby byla hodnota průměrné pokuty srovnána s minimem rozhodovacích nákladů. Rozhodovatel s averzí k riziku by se měl rozhodovat na základě srovnání výše průměrné pokuty s maximem rozhodovacích nákladů. Minimální a maximální hodnotu rozhodovacích nákladů naleznete u každého vykresleného histogramu v naprogramovaném sešitu pro MS Excel. Výše popsaný způsob srovnání průměrné pokuty se střední hodnotou rozhodovacích nákladů odpovídá neutrálnímu vztahu rozhodovatele k riziku.

Nyní již přejdu k výsledkům vypočteným v kapitole 4.3.1. Výsledné rozhodovací náklady v Kč jsou pro různé varianty výpočtu shrnuty v tabulce 18. Tabulka obsahuje pouze průměrné hodnoty, které jsou statisticky významně odlišné na hladině významnosti 5 %. Vycházím z ověření jejich významnosti, které jsem provedla v kapitole 4.3.2. Průměrné hodnoty jsem zvolila, protože učiním předpoklad, že ani k jednomu expertovi nemá rozhodovatel větší důvěru než k expertům ostatním.

Tabulka 18: Statisticky odlišné výsledky průměrných hodnot na hladině významnosti 5 %

Charakteristika	Varianta 1	Varianta 2	Varianta 3
střední hodnota	60 144	58 426	41 384
minimum	52 760	51 878	26 794
maximum	68 679	65 421	59 932

Označení variant v tabulce 18 odpovídá tomu, jež jsem zavedla v kapitole 4.3.1 na straně 48. Z tabulky je vidět, že máme troje statisticky významně odlišné výsledky na hladině významnosti 5 %. Managementu, který bude rozhodovat, je vhodné ukázat celou tuto tabulku spolu s vysvětlením, jak se jednotlivé varianty výpočtu liší.

Svůj vztah k riziku rozhodovatel ve výběru rozhodovacích nákladů z této tabulky vyjádří výběrem řádku, podle něhož se bude řídit. Střední hodnoty tu jsou pro rozhodovatele neutrálního vůči riziku. Minimum zvolí rozhodovatel s averzí vůči

riziku. Maximum tedy zůstává na rozhodovatele se sklonem k riziku.

Pro projekt zauhlování tepelné elektrárny, pro který jsem provedla výpočet, je výše pokuty stanovena na 10 000 Kč za den zpoždění. Pro určení průměrného ročního zpoždění oprav však společnost NOEN nemá vhodné údaje z podobného projektu či projektů. Z tohoto důvodu nejsem tedy schopna formulovat konkrétní doporučení.

Rozhodovatel by však před vlastním rozhodnutím měl znát finanční situaci společnosti. Má-li společnost dostatečné rezervy například v podobě nerozděleného zisku, pak by si mohla tvorbu zásoby dovolit, a tím eliminovat riziko pokuty. Výši rezerv lze zjistit z rozvahy, jež je součástí každoroční účetní závěrky společnosti.

Podle posledních tří účetních závěrek, tj. za roky 2009 až 2011, získaných z [3], [24], a [25] obsahují vlastní zdroje financování společnosti pouze čtyři položky a cizí zdroje neobsahují žádné rezervy. Vlastní zdroje se skládají ze základního kapitálu společnosti, rozdílů z přecenění majetku a závazků, zákonného rezervního fondu a výsledku hospodaření za běžné účetní období, kterým je zisk přibližně 50 mil Kč v roce 2009 a v dalších dvou letech více než 100 mil Kč. Společnost zde tedy nemá „uschovány“ žádné rezervy mimo té povinné dle obchodního zákoníku, avšak dosahuje vysokého zisku. Rozhodnutí, zda vytvořit či nevytvořit zásobu náhradních dílů, je vždy na managementu, který však dostane k dispozici výsledky získané pomocí vytvořeného modelu.

Závěr

Tato diplomová práce vás seznámila s modelem, jehož výstupem jsou vypočtené nákladové veličiny. Program, jež jsem pro výpočet modelu vytvořila, nabízí dvě základní možnosti výpočtu. První je založena na metodě Monte Carlo, a druhá je tvořena analytickým výpočtem, jež spočívá ve znalosti nákladů z nedostatečné a z přebytečné jednotky zásob.

Popsaná metoda Monte Carlo pracuje s trojúhelníkovým rozdělením poptávky po každém druhu náhradního dílu. Výsledné nákladové veličiny program spočítá, jak pro jednotlivé experty, kteří odhadli parametry rozdělení poptávky, tak také agregované do jednoho čísla pomocí průměru váženého přes rozptyly. Bohužel za předpokladu trojúhelníkového rozdělení poptávky nelze použít váhy, kterými by rozhodovatel ohodnotil jednotlivé experty. K tomu by bylo nutné využít rozdělení pravděpodobnosti, jež lineární transformací zůstává zachováno.

Výpočty pomocí uvedeného modelu jsem provedla na datech, jež jsem od zástupce společnosti NOEN, a. s. získala. Popsala jsem teoretický postup pro formulaci doporučení, avšak nemohla jsem jej zcela aplikovat na výsledky výpočtu, protože potřebná data pro srovnání společnost nemá. Společnost dle účetních závěrek nemá ani nerozdělený zisk z minulých účetních období, přestože dosahuje vysokého zisku. Rozhodnutí, zda vytvořit zásobu náhradních dílů, je na managementu, který bude mít k dispozici výsledky výpočtů získané z modelu.

Spolupráce se společností NOEN, a. s. probíhala bez větších problémů. Jediný závažnější problém se vyskytl při potřebě dat pro evaluaci vytvořeného modelu. Pracovníci společnosti NOEN, a. s. totiž tato data dosud nezpracovali, a tedy mi data nebyla poskytnuta. Z tohoto důvodu jsem nemohla provést ověření výsledků modelu, což by pro jeho praktické používání bylo vhodné doplnit.

Po provedení validace modelu by se na základě jejích výsledků zvolil nejvhodnější

způsob výpočtu. Nejvhodnější variantou výpočtu by byla ta, jejíž výsledný kapitál vázaný v zásobách se nejvíce přiblíží součtu součinů poloviny skutečných hodnot spotřeby náhradních dílů s příslušnými jednotkovými cenami. V případě, že by zvolená varianta při výpočtu využívala mírnou úpravu parametrů trojúhelníkového rozdělení ostře zadaného expertního odhadu poptávky, by bylo vhodné provést ještě analýzu citlivosti výpočtu na změny konstanty, o níž jsou odhady minimální a maximální poptávky po náhradním dílu upravovány.

Literatura

- [1] ANDĚL, Jiří. *Matematická statistika*. První vyd. Praha: SNTL/ALFA, 1978.
- [2] ANDĚL, Jiří. *Statistické metody*. Druhé vyd. Praha: MATFYZPRESS, 1998. ISBN: 80-85863-27-8.
- [3] B. N. S. *Zpráva auditora o ověření roční účetní závěrky k 31. 12. 2009 společnosti NOEN, a.s.* [Sbírka listin online]. 2010. URL: <https://or.justice.cz> (cit. 02/27/2013).
- [4] Česká spořitelna. *Vkladové produkty v Kč*. [online]. 2013. URL: <http://www.csas.cz/banka/nav/podnikatele-firmy-a-instituce/neziskove-organizace/vkladove-produkty-v-kc-d00011774> (cit. 01/25/2013).
- [5] ČSOB. *Úrokové sazby korunových účtů - podnikatelé a právnické osoby*. [online]. 2013. URL: <http://www.csob.cz/cz/Csob/Urokove-sazby/Stranky/Urokove-sazby-korunovych-uctu-podnikatele-a-pravnicke-osoby.aspx#kcsmesu> (cit. 01/25/2013).
- [6] EVANS, Merran, HASTINGS, Nicolas, PEACOCK, Brian. *Statistical distributions*. 3th edition. [New York]: John Wiley & Sons, 2000. ISBN: 978-0470390634.
- [7] Fio banka. *Nabídka účtů a sazebník úroků pro právnické osoby*. [online]. 2013. URL: http://www.fio.cz/docs/cz/urokove_sazby_PO.pdf (cit. 01/25/2013).
- [8] FRIESL, Michal. *Reziduální součet čtverců*. [online]. 2004. URL: <http://home.zcu.cz/~friesl/hpsb/mse.html> (cit. 02/03/2013).
- [9] GENTLE, James E. *Statistics and Computing: Random Number Generation and Monte Carlo Methods*. 2nd edition. New York: Springer, 2003. ISBN: 0-387-21610-3.

- [10] GROS, Ivan. *Kvantitativní metody v manažerském rozhodování*. Praha: Grada, 2003. ISBN: 80-247-0421-8.
- [11] HILLIER, Frederick S. – LIEBERMAN, Gerald J. *Introduction to operations research*. 7th edition. New York: McGraw-Hill, 2001. ISBN: 0-07-232169-5.
- [12] HUŠEK, Roman – MAŇAS, Miroslav. *Matematické modely v ekonomii*. Praha: SNTL, 1989. ISBN: 80-03-00098-X.
- [13] JONES, David. *Re: sum of triangular distributions*. [online]. 2004. URL: <http://sci.tech-archive.net/Archive/sci.stat.math/2004-12/0339.html> (cit. 11/13/2012).
- [14] KOHOUT, Václav. *Testy dobré shody*. [online]. 2004. URL: http://www.kmt.zcu.cz/person/Kohout/info_soubory/letnise/SS/stat19.pdf (cit. 09/30/2012).
- [15] KUNCOVÁ, Martina. „Možnosti využití kvantitativních metod a simulací při řízení zásob v dodavatelských řetězcích1“. In: *Statistika 4* (2006), s. 317–326.
- [16] *Matlab*. [počítačový software]. R2001A. 2010. (Cit. 10/01/2012).
- [17] mBank. *Úrokový lístek*. [online]. 2013. URL: <http://www.mbank.cz/informace-k-produktum/urokovy-listek/#tabs=2> (cit. 01/25/2013).
- [18] MELICHERÍKOVÁ, Pavla. *Návrh optimalizace procesů komplexní obnovy elektráren*. Bakalářská práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2011.
- [19] MELICHERÍKOVÁ, Pavla. *Zpráva z praxe II ve společnosti NOEN*. 2010.
- [20] MELICHERÍKOVÁ, Pavla. *Zpráva z praxe ve společnosti NOEN*. 2010.
- [21] MONTGOMERY, Douglas C. – RUNGER, George C. *Applied Statistics and Probability for Engineers*. 5th edition. [New York: John Wiley & Sons, c2011. ISBN: 978-0-470-50578-6.

- [22] NOEN. [online]. c2010. URL: <http://www.noen.cz> (cit. 08/28/2012).
- [23] NOEN. *Detail Design*. Technická zpráva. Uničov: NOEN, 2011.
- [24] NOEN. *Výroční zpráva 2010*. 2011.
- [25] NOEN. *Výroční zpráva 2011*. 2012.
- [26] *Obchodní rejstřík*. [databáze online]. 2012. URL: <https://or.justice.cz> (cit. 08/24/2012).
- [27] PETRÁŠKOVÁ, Vladimíra. *Testy náhodnosti*. [online]. 2011. URL: http://www.pf.jcu.cz/stru/katedry/m/petraskova/crek-prednaska_12.pdf (cit. 10/01/2012).
- [28] POPOVIĆ, Gabrijela, STANUJKIĆ, Dragiša, STOJANOVIĆ, Sanja. *Investment project selection by applying COPRAS method and imprecise data*. [online]. 2012. URL: <http://aseestant.ceon.rs/index.php/sjm/article/view/2268/pdf> (cit. 02/02/2013).
- [29] *R*. [počítačový software]. 2.15.1 (2012-06-22). 2012. (Cit. 02/01/2013).
- [30] Raiffeisen Bank. *Přehled úrokových sazeb Raiffeisenbank a.s.* [online]. 2013. URL: <http://www.rb.cz/o-bance/urokove-sazby/#supoap> (cit. 01/25/2013).
- [31] *Random Class*. [online]. 2011. URL: [http://msdn.microsoft.com/en-us/library/system.random\(v=vs.100\).aspx](http://msdn.microsoft.com/en-us/library/system.random(v=vs.100).aspx) (cit. 10/01/2012).
- [32] RÉNYI, Alfréd. *Teorie pravděpodobnosti*. Praha: Academia, 1972. ISBN: 80-03-00098-X.
- [33] Wikipedia. *Triangular Distribution*. [online]. 2012. URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Triangular_distribution (cit. 11/08/2012).

Seznam zkratek

ASŘTP automatický systém řízení technologických procesů

B2B Business to Business = podnik pro podnik

CAD Computer Aided Design = počítačem podporované navrhování

CAM Computer Aided Manufacturing = počítačově podporovaná výroba

DD Detail Design = Realizační projektová dokumentace

DPS dílčí provozní soubor

EPS elektronická požární signalizace

MS Microsoft - softwarová společnost

MSE Mean Square Error = střední čtvercová chyba

NPV Net Present Value = čistá současná hodnota

PLC Program Logic Controller = programovatelný automat pro řízení technologických procesů

RFID Radio Frequency Identification = Identifikace pomocí rádiové frekvence

SHZ stabilní hasicí zařízení

SW software

VBA Visual Basic for Application - programovací jazyk

ŘS řídicí systém

Seznam příloh

Příloha 1 - Obrázek zauhlování tepelné elektrárny	74
Příloha 2 - Popis dílčích provozních souborů zauhlování	75
Příloha 3 - Označení jednotlivých náhradních dílů	94
Příloha 4 - Odhady experta 1	96
Příloha 5 - Odhady experta 2	98
Příloha 6 - Histogramy rozhodovacích nákladů pro experta 1	100
Příloha 7 - Histogramy rozhodovacích nákladů pro experta 2	102
Příloha 8 - Histogramy průměrných rozhodovacích nákladů	104
Příloha 9 - CD	107

Příloha 1 - Zauhlování tepelné elektrárny



Obrázek 11: Zauhlování tepelné elektrárny
(Zdroj: [20], původně převzato z prezentace společnosti NOEN)

Příloha 2 - Popis dílčích provozních souborů za- uhlování tepelné elektrárny

DPS 01 - Vnější zauhlování včetně skládky

Z vykládacího hlubinného zásobníku bude uhlí vyuhlováno pomocí čtyř pásových dopravníků. U každého z nich bude jeden nový vyhrnovací vůz, který umožní regulovat dopravní výkon a jehož pohyb v prostoru pod dopravníky bude monitorován snímači pojezdu. Pásové dopravníky pro vyuhlování paliva jsou v přední části opatřeny výsuvovou hlavou, která slouží pro přesyp na dvojici příčně umístěných pásových dopravníků.

Na těchto dopravnících je uhlí dopravováno dále. Jejich součástí jsou pásové obchodní váhy, přes které musí veškeré palivo, dopravované z hlubinných zásobníků do dalších částí systému zauhlování, projít. Z těchto dopravníků palivo pokračuje buď přímo na mezibunkrovou stavbu nebo přes shrnovací pluhy na další pásové dopravníky vedoucí na skládku uhlí.

Skládka uhlí bude obsluhována dvěma skládkovými stroji pracujícími společně s buldozery. Pásové dopravníky vedoucí na skládku uhlí umožní také reverzní pohyb, kterého bude využito v případě vyuhlování skládky. Stávající poháněcí stanice budou upraveny do podoby výsuvových hlav, jež umožní tři druhy pracovního pohybu, a to přebírání materiálu od pluhů a jeho předávání na dvě dvojice pásových dopravníků.

Oba skládkové stroje, které jsou konstrukčně shodné, budou kompletně zrenovovány a poháněny energetickými řetězy, avšak v tomto případě budou energetické řetězy kryté, aby odolaly vlivům počasí. Tyto stroje pracují buď v normálním režimu, tj. odebírají palivo přicházející na pásových dopravnících a zauhlují jím skládku, nebo v režimu odběru ze skládky, kdy bagrovacím kolem odebírají

uhlí na ní uložené a svými vnitřními dopravními cestami ho předávají na odta-hový pás v reverzním chodu.

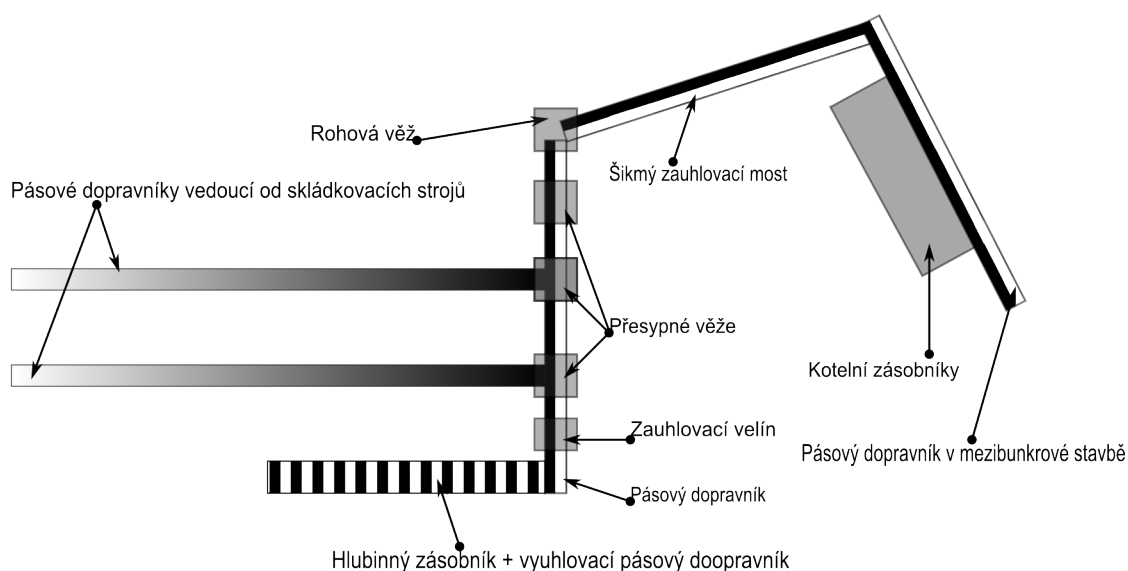
Z dopravníků v reverzním chodu je uhlí předáno na další pásové dopravníky. Na nich prochází přesypnými věžemi a dále šikmým zauhlovacím mostem až do mezibunkrové stavby. V těchto místech dojde k určitým úpravám dopravníků, ale z důvodu obtížnosti jejich popisu i následného pochopení je zde všechny podrobně nespecifikuji. Postačí, když zde uvedu, že pásové dopravníky budou v prostoru mezi poslední přesypnou věží a rohovou věží osazeny magnetickými separátory kovu se vzduchovým chlazením. Za separátory se nainstalují indikátory kovu včetně značkovacího zařízení pro případ proniknutí nežádoucího materiálu přes separátor, které zastaví pásový dopravník a označí místo, v němž je nežádoucí materiál.

Tyto dopravníky budou dále osazeny zařízeními pro odběr vzorků (neboli vzor-kovači) dopravovaného uhlí. Vzorky budou odebírány pouze, bude-li pás plný, což bude sledováno čidlem vrstvy paliva. Vzorkovače automaticky dopraví vzorky do společné linky jemného mletí, která bude umístěna také mezi poslední přesypnou věží a věží rohovou. Linka jemného mletí zahrnuje kladivový mlýn, jež drtí zrna na velikost pod 10 mm, a talířové děliče. Následně bude část vzorku po po-mocném dopravníku předána do nádoby hrubého vzorku a zbytek paliva bude sveden na lomený dopravník a následně vrácen na hlavní trasu uhlí.

V lince jemného mletí je vybraný materiál z nádoby hrubého vzorku postupně odebírán a dále zpracován, kdy dojde k jeho rozdělení na vlastní vzorek a od-pad, který se vrátí zpět na hlavní linku. Vzorek se po průchodu touto linkou uloží do nádoby vzorku, jež musí být dostatečně velká pro uložení potřebného počtu vzorků, které budou zastupovat ucelenou dodávku, jež může představovat např. denní sesyp. Celý proces vzorkování plně odpovídá ČSN ISO normě, která upravuje proces vzorkování uhlí a koksu, a slouží ke kontrole kvality paliva.

Z rohové věže bude palivo dále dopravováno další dvojicí pásových dopravníků, na které se umístí nové technologické váhy, až do objektu mezibunkrové stavby. Mezibunkrová stavba obsahuje přesypný uzel, z něhož vedou pásové dopravníky nad kotelní zásobníky jednotlivých bloků. Odběr dopravovaného paliva z těchto dopravníků do kotelních zásobníků je otázkou, kterou řeší DPS 02 – Zauhlování bloků.

Pro větší názornost právě popsaného rozmístění jednotlivých částí zauhlování jsem vytvořila schéma, které je vidět na Obrázku 12.



Obrázek 12: Schéma zauhlování tepelné elektrárny

DPS 02 – Zauhlování bloků

Plnění kotelních zásobníků jednotlivých bloků uhlím bude prováděno shrnováním paliva pomocí šípových pluhů z pásových dopravníků. Poslední kotelní zásobník v řadě bude zauhlován přes poháněcí buben poháněcí stanice pásových dopravníků. Celý proces zauhlování kotelních zásobníků je řízen automatem, který pracuje na základě předem zvoleného algoritmu ve vazbě na snímače zaplnění zásobníků. Množství materiálu dopravené do jednotlivých zásobníků zaznamenávají technologické pásové váhy, již zmíněné v předchozí části této práce.

V prostoru mezi vybranými zásobníky bude možné z důvodu snížení otěru umístit nový mobilní pluh, s nímž se manipuluje pomocí manipulačního jeřábu umístěného nad pásovými dopravníky. Tento pluh bude vyroben jako přestavný a bude tedy možné jej uchytit do vybraného místa přímo na konstrukci pásového dopravníku.

DPS 03 – Skládkové stroje

Dosud byla skládka uhlí obsluhována pomocí tří skládkových strojů, z nichž každý byl funkčně svázán s pásovým dopravníkem. V rámci komplexní obnovy elektrárny dojde k demontáži jednoho ze skládkových strojů, včetně pásového dopravníku k němu náležícímu. Zbývající dva budou zrekonstruovány.

Celková stavba skládkového stroje zůstane plně zachována, protože plně vyhovuje požadavkům na technologie systému zauhlování. Provozem opotřebované části ocelové konstrukce jako jsou násypky, skluzy, dopadová místa či koleso budou buď nahrazeny novými díly, nebo dojde k repasování starých dílů. Provedena bude také obnova pochůzkových lávek.

Rypná síla kola na každém skládkovém stroji bude zachována, ale dojde ke zpomalení jeho otáčení a také díky snížení rychlosti kolesového pásu bude snížen celkový těžební výkon stroje. Umožní to však použít motory o nižším výkonu, čímž dojde k jejich unifikaci s pohony pásového dopravníku.

Hydraulický pohon otočné horní stavby bude nahrazen elektrickým motorem, díky němuž dojde k zjednodušení řízení těžby. Nový řídicí systém s plynulou regulací rychlosti otočné horní stavby i otáček kola dá možnost řídit těžbu tak, aby tok materiálu byl plynulý a probíhal v požadovaném množství. Skládkování nebo odebírání paliva půjde řídit pomocí technologické pásové váhy umístěné na výložníku kola skládkovacího stroje.

Skládkové stroje budou dále opatřeny novými, z unifikovaných komponentů složenými, hydraulickými systémy. Na dvou místech budou zdvihové hydraulické válce repasovány či, v případě neopravitelnosti, vyměněny za nové.

Stávající elektroinstalace skládkových strojů bude kompletně demontována a zlikvidována, protože ji již nelze využít k dalšímu provozu strojů. Dojde tedy k vybavení skládkových strojů kompletně novou elektroinstalací včetně všech s ní souvisejících součástí, kterými jsou např. transformátory. Stroje budou napájeny kabely vedenými energetickým řetězem.

Součástí elektroinstalace bude také nový řídicí systém, který bude plně spolupracovat se souvisejícími zařízeními a umožní poloautomatický či plně automatický provoz stroje. Řídicí kabina bude vyměněna za novou tak, aby plně odpovídala současným standardům a posluhovala obsluhujícímu personálu určitý komfort, jelikož bude vybavena nejen topením, ale i klimatizací.

Skládkové stroje budou dále vybaveny moderními prvky aktivní bezpečnosti, které zamezí např. překročení krajních poloh nebo přetížení konstrukce. Nově budou stroje ošetřeny také proti korozi, tj. budou nově natřeny základními i vrchními nátěry a veškeré šroubové spoje budou přetmeleny. Skládkové stroje budou dále nově vybaveny drtičem zmrzáků, jež odstraní zmrzlé kusy materiálu, a tím bude provoz pásové dopravy plynulejší a bezpečnější. Stroje budou také vybaveny centrálním mazacím systémem, který zajistí jejich správný chod.

Základním bezpečnostním opatřením skládkových strojů bude systém čidel a snímačů umístěných na dílčích funkčních částech skládkových strojů. Řídicí systém bude schopen na základě získaných dat vyhodnocovat vzájemné polohy a součinnost funkčních skupin v souladu se zadanými algoritmy a blokovat další pohyb zařízení v krajní poloze, při přetížení nebo před hrozbou nepovolených konfigurací polohy. Toto opatření vytváří základní podmínky pro automatizaci provozu skládky a zajišťuje také bezkolizní provoz stroje.

Pojezd stroje bude omezen pomocí provozních koncových vypínačů umístěných na konstrukci stroje, které budou vypínat na základě snímání polohy stroje v kolejišti. V případě jejich selhání bude pojezd stroje vypnut najetím na náběhová pravítka umístěná v kolejišti, tj. pomocí mechanického vypínače. Pojezdová dráha bude z bezpečnostních důvodů ukončena nárazníky, k nimž by stroj v běžném provozu neměl v žádném případě najet.

Stroje budou dále vybaveny kolejovou mechanickou brzdou, která umožní zajištění stroje po odstavení z provozu. Brzda bude vybavena indukčními snímači, jež blokují v zajištěné poloze pohon pojezdu skládkového stroje. Každý pohon pojezdu bude dále vybaven elektromagnetickým brzdovým třmenem s kotoučovou brzdou a automaticky zabrzdí při ztrátě napětí. Tyto brzdy postačí k uvedení stroje do klidu a poslouží také jako brzdy parkovací.

Pohon kola bude osazen bezkontaktní kontrolou otáček, která bude napojena na řídicí systém. Ten bude získaná data vyhodnocovat a v případě přetížení kola zpomalí jeho otáčky, příp. zcela odpojí jeho pohon. Na kolese bude umístěna také brzda, jež zabraňuje jeho protáčení např. při údržbě. Při přetížení a vypnutí pohonu uvede koleso co nejrychleji do klidového stavu.

Zdvih kolesového výložníku bude snímán snímačem umístěným v blízkosti otočné horní stavby, který při automatickém provozu omezí maximální i minimální výšku zdvihu výložníku. V součinnosti s řídicím systémem tento přístroj vylučuje kolizi kola a pásového dopravníku.

Kolesový výložník jistí a drží v klidu pouze hydraulické válce přes hydraulické zámky. V havarijním stavu těchto zámků klesne koleso na zem, čímž vyrovná tah v táhlech mezi výložníky.

Skládkový stroj bude dále vybaven systémem snímačů pro sledování rypné síly, boční síly a odlehčení kolesového výložníku. Všechna data bude zpracovávat již zmíněný informační systém, jehož výstupy prostřednictvím obrazovek poskytnou

obsluze trvalé údaje o sledovaných parametrech. Vypnutím některých pohonů řídicí systém automaticky zabrání poškození stroje, případně jeho částí.

Na výložníkovou hlavu bude instalováno výškové čidlo, jež zajistí bezpečnou výšku kolesového výložníku nad skládkovou haldou. Je-li stroj v automatickém chodu, dostane tedy při překročení nastavené hranice automaticky pokyn ke zvednutí výložníku o nastavený krok.

Dalším způsobem jištění výložníku bude dotykové jištění jeho výšky na skládce. Na spodní straně kolesového výložníku bude totiž nataženo lano, které při kontaktu s materiálem při najetí na haldu bočně či výškově zajistí okamžité vypnutí všech pohonů.

Další důležitou součástí skládkového stroje je také otočná horní stavba stroje, jejíž pohyb je omezen koncovými provozními čidly a bezpečnostním pákovým koncovým vypínačem. Pohony otočné horní stavby budou brzděny pomocí kotoučových brzd. Půjde o synchronní brzdění obou pohonů otočné horní stavby podle nastavení brzdných charakteristik či podle parametrů naprogramovaných v řídicí jednotce.

Pásové dopravníky budou proti přetížení a překročení prokluzu pásu jištěny elektrickými snímači otáček. Po vypnutí pohonu dopravníku budou blokovány i ostatní pohony v lince skládkového stroje. K rychlému zastavení dopravníků při výpadku proudu a zabránění jeho zpětnému pohybu je určena kotoučová brzda. Pásové dopravníky budou také vybaveny snímači vybočení pásu, jež v případě vybočení pásu zajistí vypnutí pohonů, aby nedošlo k závalu. Neopomenutelným bezpečnostním vybavením jsou nouzové lankové vypínače, které umožní tahem za lanko vypnout pohony dopravníku ze všech míst podél celé dopravní cesty stroje, kudy bude toto lanko taženo.

Na většině přesypů budou zabudovány tzv. hlídače přesypů. Z důvodu minimalizace prášení uhelného prachu budou všechny přesypy na skládkových strojích

vybaveny zařízením vysokotlakého mlžení. Tato zařízení budou úzce technicky navazovat na mlžení přesypů dopravy řešeném v DPS 11 – Zařízení pro techniku prostředí. Mlžení bude řízeno na základě informací z řídicího systému tak, aby probíhalo pouze na přesypech, které jsou aktuálně v činnosti. Mlžit se bude podle potřeby. V zimě, kdy je prašnost uhlí vlivem počasí minimální, nebude toto zařízení používáno.

Proti nedovolenému náklonu stroje bude stroj zajištěn pomocí sklonoměru, jenž snímá náklon ve dvou osách a získaná data odesílá řídicímu systému. Dále bude skládkový stroj vybaven anemometrem, což je zařízení určující rychlost a směr větru. Přesáhne-li vítr určitou hranici, pak řídicí systém vydá obsluze varovný signál, aby stroj zaparkovala. Stoupne-li rychlost větru k určité další kritické hranici, řídicí systém automaticky vypne technologickou linku a ponechá pouze možnost pohybů pro nouzové zaparkování, tj. natočení výložníku kola ve směru větru, jeho spuštění na haldu a případně zahrábnutí kola.

Každý skládkový stroj pojíždí po dráze zhruba 300 m. Energie k němu budou přivedeny pomocí energetického řetězu o dostatečné délce. Energetický řetěz je umístěn vně pojezdové dráhy, přičemž jeho pevný napájecí bod je uprostřed délky pojezdu, kde je uložen ve vlastní stavbě. V konstrukci energetického řetězu jsou zabudována zařízení pro sledování tahových sil v řetězu, tzv. tenzometry. V případě překročení povolených mezních tahových sil dojde k automatickému zastavení pojezdu stroje.

DPS 04 – Protipožární zabezpečení

Způsob protipožárního zabezpečení vychází z řešení protipožární ochrany celé elektrárny a současně bere v potaz změny technologie zauhlování i požadavek na prodloužení životnosti všech zařízení. Kvůli požárnímu i ekonomickému riziku je třeba zabezpečit celý systém dopravy uhlí automatickým hasícím systémem, jež

je v současnosti nejlepší z dostupných. Řešení protipožární ochrany respektuje rozdělení vnějšího zauhlování do požárních úseků.

Na systém zauhlování budou aplikovány dva druhy stabilního hasicího zařízení (dále jen SHZ):

- a) Drenčerové SHZ
- b) Sprinklerové SHZ

Drenčerové SHZ je zařízení, jež při aktivování hasí v příslušných prostorách vnějšího zauhlování, tj. požárních úsecích ohraničených vodními clonami, pomocí otevřených hubic. Hasicím médiem při tomto způsobu likvidace požáru bude požární voda, která bude chránit a ochlazovat požární mosty.

Sprinklerové SHZ bude chránit zejména prostor mezibunkrové stavby, kde v případě potřeby zajistí lokální zásah. Jedná se o zařízení, jež umožní přímou lokalizaci a případně i likvidaci požáru. K tomu dojde, jestliže tepelné působení způsobí otevření příslušného akčního členu, tj. při dosažení určité výše teploty praskne baňka. Dojde tedy k otevření sprinklerové hlavice, které automaticky spustí čerpací stanici sprinklerového SHZ.

Provozní stavy sprinklerového SHZ jsou přenášeny do systému elektronické požární signalizace (dále jen EPS), který tato data předává řídicímu systému. Řídicí systém zajišťuje blokování všech ostatních technologií, dojde-li ke spuštění sprinklerového hasicího zařízení. Jedná se o tzv. suchý systém sprinklerového stabilního systému, kdy potrubní rozvody budou natlakovány vzduchem, aby v zimě nezamrzaly. Po otevření akční hlavice dojde k úniku vzduchu i automatickému spuštění celého hasebního systému. Sprinklerové SHZ pracuje zcela automaticky, kromě pravidelných zkoušek, kontrol a údržby nevyžaduje přítomnost pracovní síly.

Jednotlivé úseky požární ochrany, na které je zauhlování rozděleno, jsou navzájem odděleny požárními přepážkami nebo vodními clonami. Vodní clony budou au-

tomaticky ovládány řídicím systémem a tvoří součást drenčerového stabilního hasicího zařízení.

Rizikové prostory, tj. prostory mostů a přesypných věží, budou neustále sledovány systémem EPS, který využívá tepelné kabely, a kamerovým systémem. Ochrana bude zajištěna novým vodním drenčeroým SHZ. Mezibunkrová stavba bude chráněna pomocí sprinklerového zařízení.

DPS 11 – Zařízení pro techniku prostředí

Tento dílčí provozní soubor se zabývá jednotlivými opatřeními, která zabezpečují ekologizaci dopravy uhlí pomocí otevřených pásových dopravníků. Zejména jde o eliminaci primární prašnosti odsáváním poletavé prašnosti za pomoci systému odsávání. Dále se prašnost snižuje zvlhčováním prachových částic vysokotlakým mlžením. Do této části komplexní obnovy tepelné elektrárny patří také zabezpečení likvidace neboli úklidu usazeného uhelného prachu v prostorách zauhlování. Zařízením pro techniku prostředí zahrnuje dva průmyslové vysavače, odsávání prachu a mlžení přesypů.

Průmyslový vysavač je zařízení, které slouží k odstranění sekundární prašnosti v provozech, kde se vyskytuje výbušný prach. Jedná se zejména o kotelní zásobníky a vybraná přesypná místa. Průmyslový vysavač dopravuje pod tlakem odsátý prach z několika určených míst do místa odlučování, kde dochází k doloučení materiálu od transportního vzduchu. Odsávaný materiál je vysokou rychlostí transportního vzduchu vtažen do manuálně vedené sací trubice a unášen dál. Materiál z odlučovače je pak odstraněn. Čistý transportní vzduch je přes filtr odsáván a vyfukován do okolí. Tento vysavač je vybaven protiexplozní ochranou. Odstranění sekundární prašnosti zlepšuje hygienické podmínky a odstraňuje příčinu vzniku požáru hořlavých prachů.

V prostoru vnitřního zauhlování bude prašnost likvidována za pomoci stacionár-

ního průmyslového vysavače. Jedná se o systém stabilních potrubních rozvodů, na který navazuje strojovna vybavená filtračním odlučovačem, pojistným filtrem a podtlakovým agregátem. Odloučený materiál, tzv. odprašky, bude neustále vynášen zařízením zpět do technologického procesu na pásové dopravníky vedoucí do kotelních zásobníků.

V prostorách vnějšího zauhlování bude také vytvořen systém stabilních potrubních rozvodů. Tyto rozvody však budou vzhledem k rozlehlosti jednotlivých objektů rozděleny do několika samostatných částí zakončených přípojnými místy. Do každého z nich bude možno připojit mobilní průmyslový vysavač, jehož strojovna bude také v mobilním provedení.

Odsávací zařízení bude řízeno automaticky v součinnosti s chodem jednotlivých dopravníků, řazených do provozních linek. Provoz pásové dopravy není podmíněn chodem odsávání, tj. v případě jeho poruchy není nutné pásové dopravníky zastavit.

Likvidace odprašků z odsávacího zařízení je řešena jejich promícháním s vodou. Tato směs se následně vrací zpět na pásové dopravníky. Činnost míchače odprašků s vodou bude řízena pomocí snímače horní a spodní hladiny odprašků v násypce. Při poklesu teploty v tomto zařízení pod určitou hranici, se automaticky spustí tzv. temperování filtrační stanice topným tělesem. Z bezpečnostních důvodů budou všechny kovové části a nová technologie pospojovány a propojeny na místní uzemňovací soustavu.

Mlžení přesypů je technické opatření ke snížení prašnosti při dopravě paliva po pásových dopravnících v systému zauhlování. Vysokotlaké mlžení se provádí pouze na vytipovaných místech dopravy, zejména v místech, v nichž nelze technicky provést odsávání. V systému zauhlování tepelné elektrárny, o které pojednává tato práce, budou instalovány čtyři samostatné mlžící systémy.

Vytipovaná místa budou osazena vysokotlakými speciálními tryskami, jež roz-

prašují vodu na jemnou mlhovinu. Mlhovina na sebe váže zvržený prach a padá zpět na dopravovaný materiál. Je však třeba použít vodu pod velkým tlakem, aby postačil pro atomizaci vodních kapek, tj. aby při použití speciálních trysek byla vytvořena mlhovina.

Potrubní rozvody z korozivzdorné oceli budou v netemperovaných částech podtápěny a izolovány pro provoz v zimních měsících.

DPS 13 – Zdvihací zařízení

V důležitých technologických uzlech jsou pásové dopravníky zauhlování opatřeny manipulačními jeřáby nebo kladkostroji. Tato zdvihací zařízení mají sloužit pro potřeby údržby a oprav. Jsou umístěna pouze v místech, do nichž se nelze dostat s mobilním jeřábem. V průběhu komplexní obnovy zauhlování elektrárny budou dožitá zdvihací zařízení nahrazena novými, která splní aktuální legislativní požadavky.

Všechny mostové jeřáby budou s motorovým pojezdem, který bude napájen pomocí energetických řetězů. Celkem bude v provozu zauhlování umístěno 19 zdvihacích a manipulačních zařízení.

DPS 14 – Elektrotechnická zařízení

Obsahem dílčího provozního souboru 14 jsou elektrická zařízení a kabely, jež jsou výrobně nebo technicky nedílitelnou součástí zařízení strojní technologie. Konkrétně se jedná o elektrická zařízení a kabeláže v rámci DPS dosud uvedených a DPS 20. Z důvodu bezpečnosti budou barevně odlišené rozvaděče různých napěťových úrovní. Například rozvaděč o napětí 0,69 kV se označí červeným pruhem.

Tento DPS podrobněji specifikuje umístění i parametry elektrických rozvodů

pro elektromagnetické separátory, vzorkovače, vyhrnovací vozy a pásové váhy. Zabývá se také skládkovými stroji. Jednotlivé traforozvodny budou připevněny ke konstrukci skládkovacího stroje pružně, aby se omezily otřesy. Následně DPS 14 specifikuje elektrické rozvody a ovládání pro SHZ, odsávání i vysokotlaké mlžení. V neposlední řadě určuje parametry elektrických zařízení. V závěru určuje přibližnou spotřebu médií, kterými jsou požární i technologická voda a tlakový vzduch, společně s připojením na kanalizaci.

DPS 15 – Automatický systém řízení technologických procesů (dále jen ASŘTP)

Na základě koncepce komplexní obnovy tepelné elektrárny je podstatná část ASŘTP zahrnuta do zcela jiného obchodního balíčku. V rámci obchodního balíčku Zauhlování budou dodány řídicí komponenty, jež s ním souvisí jako s technologickým celkem. Jedná se například o vybraná čidla či o celá zařízení připojená na řídicí systém.

Řízení zauhlování je vzhledem ke své rozsáhlosti rozděleno na dvě části. První část se zabývá vazbami mezi řízením zauhlování a celkovou koncepcí řešení ASŘTP. V druhé části jsou zpracovány zásady a charakteristiky ovládání jednotlivých zařízení systému zauhlování z lokálních řídicích systémů.

Vazby mezi řízením zauhlování a celkovou koncepcí

Nové technologie a samostatné technologické jednotky budou začleněny do řídicího systému. Tento systém bude kombinací centralizovaného a decentralizovaného, tj. bude kopírovat řešení rozmístění silnoprůdých elektrických rozvodů a oddělovat signály z polní instrumentace, která zahrnuje různé snímače, technologické váhy či vzorkovače paliva.

Typ komunikace bude zvolen na základě vlastností zvoleného řídicího systému a také dle doporučené aplikaci a možnostem daného technického prostředku. Volba technického prostředku ASŘTP je podmíněna vzájemnou kompatibilitou komunikace a napěťových soustav hlavního programovatelného automatu pro řízení technologických procesů (dále jen PLC) se souvisejícími decentralizovanými zařízeními. Neopomenutelným kritériem je také kompatibilita náhradních dílů.

Každý technologický celek, tj. například pásový dopravník či vyhrnovací vozík, bude mít novou sdružovací skříňku. Do takové skříňky budou vždy za danou skupinu kabelově sdruženy ovládací a signalizační okruhy včetně signálů z polní instrumentace a bezpečnostních prvků. Dále bude sdružená kabeláž svedena do sběrné strany řídicího systému.

V případě skládkových strojů bude pomocí polní instrumentace kontrolována jejich poloha, směry pojezdů a stavy alarmů. V zásobnících uhlí bude měřeno jeho množství a sledovány jeho hladiny pomocí řídicího systému zauhlování, což umožní přímé automatické řízení zauhlovacího procesu.

Vyhrnovací vozíky i skládkové stroje předávají do řídicího systému průběžné informace o své poloze. O směru pojezdu strojů a místu zahájení jejich práce bude rozhodovat operátor na velíně. Operátor zadá parametry pro zahájení činnosti stroje a celý algoritmus pro vykonávání základních pracovních funkcí stroje již budou součástí řídicího systému.

Polní instrumentace

Polní instrumentace bude využívána dvěma způsoby. Jedním způsobem využití bude zajištění bezpečnostní funkce a blokády chodu dopravních linek. Druhý způsob jejího využití poskytne monitorování pro případnou výstrahu možných

poruch. Všechny údaje získané z polní instrumentace budou archivovány v co největším rozlišení údaje, jeho hodnoty, času a důležitosti.

Mimo polní instrumentace budou zdrojem informací a signálů stejně jako i předmětem ovládání další podpůrné celky, kterými jsou například vysokotlaké mlžící jednotky či odsávací zařízení.

Popis SW řešení

Algoritmy pro řízení a zpracování technologických dat budou zpracovávány v několika hierarchicky členěných vzájemně provázaných částech. Spodní úroveň zajistí zpracování základních ochranných funkcí pohonů jako dílcích zařízení. Do této oblasti spadají poruchové stavy ochranných prostředků, nesouhlas povelů, vyhodnocení stavů čidel zajišťujících bezpečný provoz a zejména primární zpracování analogových signálů, jehož výsledkem je vyhodnocení stavu měřicí smyčky a zpracování informačních dat z externích inteligentních zařízení jako jsou například měřiče hladiny v zásobnících.

Nadřazenou částí bude zpracování řízení dolní úrovně na základě povelů z místního systému kontroly a řízení čidel, která signalizují polohy a stavy jednotlivých technologických zařízení a také vnitřní vazby uvnitř technologických zařízení, tj. například dopravníků.

Další nadřazená část zahrnuje zpracování technologických vazeb mezi jednotlivými zařízeními pásových dopravníků a jejich chodů na základě příkazů od obsluhy a vzájemných poloh těchto technologických zařízení.

Tyto tři dosud uvedené části SW řešení se souhrnně označují jako automatizovaný systém řízení technologie zauhlovacího provozu. Nejvrchnější část algoritmů bude tvořit systém voleb dopravních cest a jejich automatizovaného spuštění.

Do této části spadají také systémy automatického řízení zauhlování uhelných zásobníků a souvisejících manipulací obsluh.

Ovládání jednotlivých zařízení z lokálních řídicích systémů

Ke každému technologickému celku budou instalovány nové sdružovací skříňky. V těchto skříňkách budou vždy pro celou skupinu kabelově sdruženy veškeré ovládací a signalizační okruhy včetně impulzů z polní instrumentace a bezpečnostních prvků. Dál budou tyto kabely svedeny do řídicího systému.

Skládkové stroje budou ovládány vlastním řídicím systémem, který bude řídit funkční chod stroje a zamezovat kolizním situacím.

Pásové dopravníky budou rozmístěny do dvou tras, které budou napájeny ze dvou rozveden, což umožní v případě potřeby provozovat obě trasy nezávisle na sobě. Veškeré signály z polní instrumentace a senzorů zajišťujících blokaci dopravníků povedou přes sdružovací skříňky. Pro okamžitou blokaci budou v sérii vřazeny lankové spínače a tlačítka pro nouzové zastavení, jež zajistí okamžité vypnutí pojezdu a pohonu pásu. Společně s touto informací budou signály z těchto čidel dohromady s ostatními vedeny do řídicího systému, kde budou zpracovány.

Pohyb vyhrnovacích vozíků bude řízen v závislosti na snímačích identifikace celkové polohy vůči zásobníku pomocí RFID čipů a nezávisle na něm budou použity bezpečnostní koncové polohy vzhledem k povolenému pojezdu.

Vyhrnovací vozíky budou napájeny z nezávislých rozvodných polí. Chod vozíků bude možno blokovat nezávisle na chodu příslušného dopravního pásu. Do série bude mimo dalších bezpečnostních prvků vřazen také spínač a tlačítka pro nouzové zastavení, jež zajistí okamžité vypnutí pojezdu. Stroj bude ovládán buď v automatickém nebo ručním režimu. Vyhrnovací vozíky v automatickém režimu budou jezdit bez obsluhy pouze na základě pokynů z velína. V ručním režimu

budou ovládány pouze obsluhou na místě a obsluha velína bude pouze sledovat chod stroje. Ovládací a signalizační prvky budou umístěny na dveřích vlastního rozvaděče. Na boku rozvaděče bude hlavní vypínač přívodu elektrické energie. Napájení systému vyhrnovacích vozíků přímo navazuje na soubor energetických řetězů, které budou zakrytovány.

Na základě nastavení v režimu rozvaděče bude řízen proces odběru i zpracování vzorků. Rozvaděč bude součástí dodaného vzorkovače a jeho činnost bude svázána s chodem příslušného dopravníku. Řídicí systém zauhlování vždy obdrží pouze souhrnné informace o stavu zařízení pro práci se vzorky.

V závislosti na chodu pásového dopravníku budou také pracovat elektromagnetické separátory kovů. Řídicí systém opět vždy obdrží pouze souhrnné informace o stavu zařízení. Informace o prošlém materiálu i o chodu zařízení budou vyhodnocovány vlastní řídicí jednotkou pásových vah, jejichž součástí je také komunikační kabeláž.

Shrnovací pluhy (zajišťují přesyp paliva za jednoho pásového dopravníku na další) budou ovládány řídicím systémem, který se bude řídit algoritmy na základě předvolby dopravní cesty operátora zauhlování. Tato cesta bude zvolena v závislosti na výši hladiny v jednotlivých kotelních zásobnících.

Každý skládkový stroj bude mít vlastní rozvaděč ASŘTP. Zajistí se také blokáce chodu skládkového stroje od příslušného dopravního pásu. Stroje budou napájeny pomocí souboru energetických řetězů. Všechna polní instrumentace na stroji bude zakrytována.

Řídicí systém v rámci tohoto DPS bude koncipován jako distribuované řízení, jež se bude skládat z centrální procesní stanice, z jedné podružné procesní stanice a z jedné operátorské stanice umístěné v kabině řidiče skládkového stroje.

Snímače hladiny, teploty, tlaku i anemometr budou propojeny s řídicím systémem

(dále jen ŘS), kterému budou posílat získané údaje. Sklon stroje bude snímán dvouosým inklinoměrem, jehož analogová výstupní hodnota bude vedena do ŘS. Hodnoty sklonu skládkového stroje budou trvale zobrazeny na monitoru v kabině řidiče. ŘS využívá hodnoty podélného sklonu pro vyrovnání spodní kabiny.

Pojistný systém bude vyhodnocovat zatížení pohyblivých částí. V případě jejich přetížení zajistí zastavení přetížených částí a blokování příslušných funkcí.

Skládkové stroje mohou být provozovány pomocí polo i plně automatizovaného řízení. Jejich dálková správa a monitoring budou informovat o jejich stavu a chování včetně upřesňujících údajů o poruchách. Tímto způsobem umožní lépe analyzovat a okamžitě řešit všechny neočekávané provozní události. Skládkové stroje využijí pro sledování své polohy informace poskytované z energořetězů. Tyto stroje budou také pomocí speciálního systému identifikovat osoby a vyhodnocovat, zda jejich přístup na stroj je oprávněný. Tyto informace budou posílány do nadřazeného systému dispečerského centra a vytvoří databázové nadstavby. Tyto dílčí databáze umožní např. přidělování přístupových práv, ověřování a evidenci údržby nebo pravidelnou kontrolu manipulací na stroji.

Vysokotlaké mlžící jednotky bude autonomní řídicí systém PLC spouštět automaticky. PLC systém bude přímo komunikovat s ŘS a tok mlhy bude řídit v závislosti na toku materiálu a chodu jednotlivých dopravníků.

DPS 16 – Technologické ocelové konstrukce

Tento dílčí provozní soubor zahrnuje zejména drobné technologické plošiny pro obsluhu strojních zařízení. Jedná se o ocelovou konstrukci na střeše mezibunkrové stavby pro průmyslový vysavač a odsávání a o jeřábové lávky. Ocelová konstrukce bude doplněna dalšími lokálními plošinami s roštovou podlahou a se zábradlím. Jeřábové lávky poslouží pro údržbu mostových jeřábů.

DPS 20 – Provizoria

V rámci posledního provozního souboru z obchodního balíčku Zauhlování bude ještě před zahájením komplexní obnovy:

- vyměněn podvěsný mostový jeřáb včetně elektroinstalace za jeřáb s vyšší nosností;
- vyrobena a dodána poháněcí stanice pro pásový dopravník vedoucí do kotelních zásobníků.

Hlučnost a vibrace zařízení

Všechna strojní zařízení budou během komplexní obnovy opravena, modernizována či vyměněna za nové. Cílem těchto činností je minimalizovat zdroje hluku a vibrací. Důležité rotační díly, jako jsou například poháněcí bubny, budou nahrazeny novými. Ostatní rotační díly budou repasovány, kdy dojde alespoň k výměně ložisek. Předpokládá se, že hlučnost nepřekročí hranici 85 dB. Z principu činnosti jsou za nejsilnější zdroj hluku považovány odsávací zařízení, filtry a průmyslový vysavač. Proto budou tato zařízení v protihlukovém provedení.

Příloha 3 - Označení jednotlivých náhradních dílů

Tabulka 19: Označení jednotlivých náhradních dílů

Označení	Název
Díl 1	Elektromotor - typ 1MS4 310-4AN60
Díl 2	Převodovka - typ MC3RLSF09
Díl 3	Spojka - typ 21 CCKRD
Díl 4	Spojka - typ B3T60
Díl 5	Spojka - typ CMD TL2-43
Díl 6	Brzda - typ TE 315/800-60
Díl 7	Poháněcí buben Ø1030x1800/Ø200x2400
Díl 8	Převáděcí válec Ø305x1800/Ø80x2120
Díl 9	Stěrač - typ C2 1600
Díl 10	Předstěrač - typ HD01-1600
Díl 11	Boční těsnění
Díl 12	Dopadové lože
Díl 13	Váleček hladký
Díl 14	Váleček kotoučový
Díl 15	Váleček diskový
Díl 16	Váleček strážní
Díl 17	ND pro hydraulické agregáty (sada)
Díl 18	Deska Belta S1000A
Díl 19	Mobilní průmyslový vysavač - filtrační vložka
Díl 20	Mobilní průmyslový vysavač - sací příslušenství
Díl 21	Mobilní průmyslový vysavač - filtrační kapsa
Díl 22	Mlžení - trysky
Díl 23	Mlžení - elektroventily
Díl 24	Magnetický separátor - náhradní pás
Díl 25	Magnetický separátor - náhradní ložisko pohonu
Díl 26	Magnetický separátor - nosný válec
Díl 27	ND pro vzorkovač + LJM (sada)
Díl 28	Shrnovací pluhy - stírací lišty
Díl 29	Shrnovací pluhy - pryžové lišty
Díl 30	Vyhrnovací vozy - desky propeleru
Díl 31	Koncové spínače indukční (sada)
Díl 32	Koncové spínače mechanické (sada)
Díl 33	Stykače 20A
Díl 34	Stykače 40A
Díl 35	Jistič 40A
Díl 36	Pojistka 25A
Díl 37	Pojistka 630A
Díl 38	Hydromotor kola
Díl 39	Čerpadlo hydrauliky
Díl 40	Pojišťovací ventily (sada)
Díl 41	Dopadový váleček
Díl 42	Hladký váleček

Díl 43	Girlanda
Díl 44	Pístový váleček
Díl 45	Koreček s čepem
Díl 46	Ložiska (sada)
Díl 47	Soukolí skříně pohonu kola

Příloha 4 - Odhady experta 1

Tabulka 20: Odhady experta 1

Označení	Jednotková cena	Jednotkové skladovací náklady	a	c	b
Díl 1	616 700	6 000	0	0	1
Díl 2	392 500	3 800	0	0	1
Díl 3	167 400	1 600	0	1	2
Díl 4	63 100	700	0	1	2
Díl 5	207 500	2 100	0	1	2
Díl 6	58 500	650	0	1	2
Díl 7	529 900	7 200	0	0	1
Díl 8	102 800	1 400	0	0	1
Díl 9	216 400	500	1	1	2
Díl 10	238 400	500	1	1	2
Díl 11	1 650	50	25	50	100
Díl 12	4 200	50	20	40	80
Díl 13	1 350	50	25	35	50
Díl 14	1 400	50	4	8	12
Díl 15	1 500	50	3	6	10
Díl 16	650	30	1	1	2
Díl 17	145 000	1 500	0	1	1
Díl 18	10 500	130	8	12	16
Díl 19	18 000	200	1	1	1
Díl 20	100 000	1 400	1	2	4
Díl 21	30 000	350	1	1	1
Díl 22	1 000	40	20	30	40
Díl 23	4 000	50	1	2	3
Díl 24	47 000	500	0	1	1
Díl 25	4 000	50	1	1	1
Díl 26	10 000	130	0	1	1
Díl 27	250 000	500	1	1	1
Díl 28	32 000	400	18	25	36
Díl 29	12 000	150	18	25	36
Díl 30	5 000	60	1	2	4
Díl 31	2 000	60	1	1	1
Díl 32	6 000	180	1	1	1
Díl 33	800	30	0	1	2
Díl 34	14 000	500	0	1	2
Díl 35	9 000	250	1	1	1
Díl 36	2 100	60	1	1	1
Díl 37	3 800	100	1	1	1
Díl 38	800 000	8 000	0	0	1
Díl 39	230 000	2 300	0	0	1
Díl 40	100 000	1 000	0	1	1
Díl 41	10 200	250	5	7	10
Díl 42	1 800	50	10	14	20

Díl 43	62 000	700	1	2	3
Díl 44	135 000	1 350	0	1	1
Díl 45	156 200	1 550	0	1	1
Díl 46	120 500	1 200	1	1	1
Díl 47	185 500	1 850	0	1	1

kde:

a ... odhad minimální poptávky po náhradním dílu

b ... odhad maximální poptávky po náhradním dílu

c ... odhad očekávané poptávky po náhradním dílu

Příloha 5 - Odhady experta 2

Tabulka 21: Odhady experta 2

Označení	Jednotková cena	Jednotkové skladovací náklady	a	c	b
Díl 1	616 700	6 000	0	1	1
Díl 2	392 500	3 800	0	0	1
Díl 3	167 400	1 600	0	1	2
Díl 4	63 100	700	1	2	2
Díl 5	207 500	2 100	0	1	2
Díl 6	58 500	650	0	1	2
Díl 7	529 900	7 200	0	1	1
Díl 8	102 800	1 400	0	1	2
Díl 9	216 400	500	1	1	2
Díl 10	238 400	500	0	1	2
Díl 11	1 650	50	20	75	120
Díl 12	4 200	50	10	35	70
Díl 13	1 350	50	30	40	50
Díl 14	1 400	50	4	8	12
Díl 15	1 500	50	2	5	10
Díl 16	650	30	0	1	2
Díl 17	145 000	1 500	0	1	1
Díl 18	10 500	130	5	15	20
Díl 19	18 000	200	1	1	1
Díl 20	100 000	1 400	1	2	3
Díl 21	30 000	350	0	1	1
Díl 22	1 000	40	20	35	50
Díl 23	4 000	50	1	1	3
Díl 24	47 000	500	0	1	1
Díl 25	4 000	50	1	1	2
Díl 26	10 000	130	0	1	2
Díl 27	250 000	500	0	1	1
Díl 28	32 000	400	20	30	40
Díl 29	12 000	150	20	30	40
Díl 30	5 000	60	1	2	3
Díl 31	2 000	60	1	1	2
Díl 32	6 000	180	1	1	2
Díl 33	800	30	1	1	2
Díl 34	14 000	500	1	1	2
Díl 35	9 000	250	1	1	1
Díl 36	2 100	60	0	1	1
Díl 37	3 800	100	1	1	1
Díl 38	800 000	8 000	0	0	1
Díl 39	230 000	2 300	0	1	1
Díl 40	100 000	1 000	0	1	1
Díl 41	10 200	250	5	8	10
Díl 42	1 800	50	12	17	22

Díl 43	62 000	700	1	2	2
Díl 44	135 000	1 350	0	1	1
Díl 45	156 200	1 550	1	1	1
Díl 46	120 500	1 200	0	1	2
Díl 47	185 500	1 850	0	1	1

kde:

a ... odhad minimální poptávky po náhradním dílu

b ... odhad maximální poptávky po náhradním dílu

c ... odhad očekávané poptávky po náhradním dílu

Příloha 6 - Histogramy rozhodovacích nákladů pro experta 1

Varianta 1 – zaokrouhlování nahoru a úprava ostře zadaných odhadů poptávky (nezatržená obě zaškrťovací políčka):



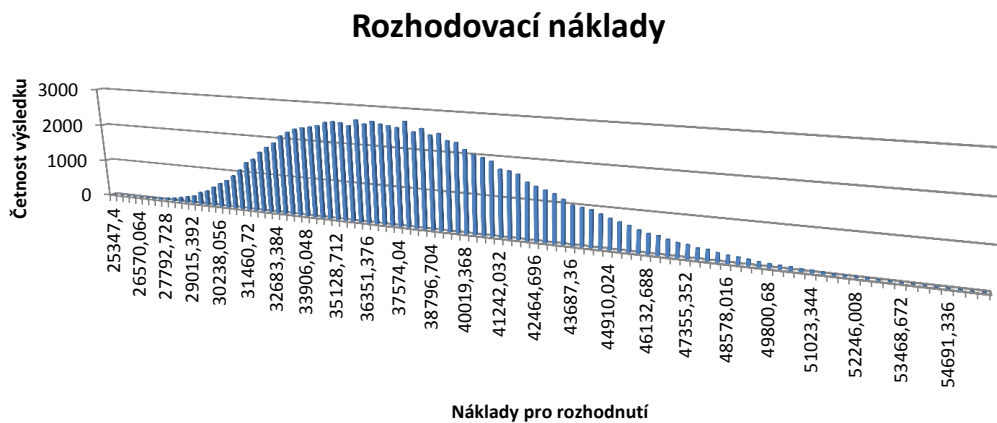
Varianta 2 – zaokrouhlování nahoru a převážení ostrých odhadů nad ostatními (zatržena pouze správnost ostrého odhadu):



Varianta 3 – matematické zaokrouhlování a úprava ostře zadaných odhadů (zatrženo pouze matematické zaokrouhlování):



Varianta 4 – matematické zaokrouhlování a převážení ostrých odhadů nad ostatními (zatržena obě zaškrťovací políčka):



Příloha 7 - Histogramy rozhodovacích nákladů pro experta 2

Varianta 1 – zaokrouhlování nahoru a úprava ostře zadaných odhadů poptávky (nezatržená obě zaškrťovací políčka):



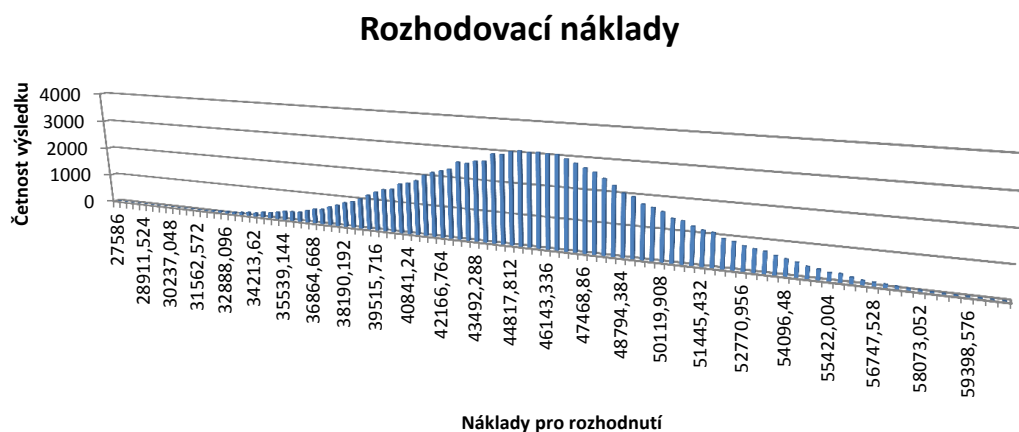
Varianta 2 – zaokrouhlování nahoru a převážení ostrých odhadů nad ostatními (zatržena pouze správnost ostrého odhadu):



Varianta 3 – matematické zaokrouhlování a úprava ostře zadaných odhadů (zatrženo pouze matematické zaokrouhlování):

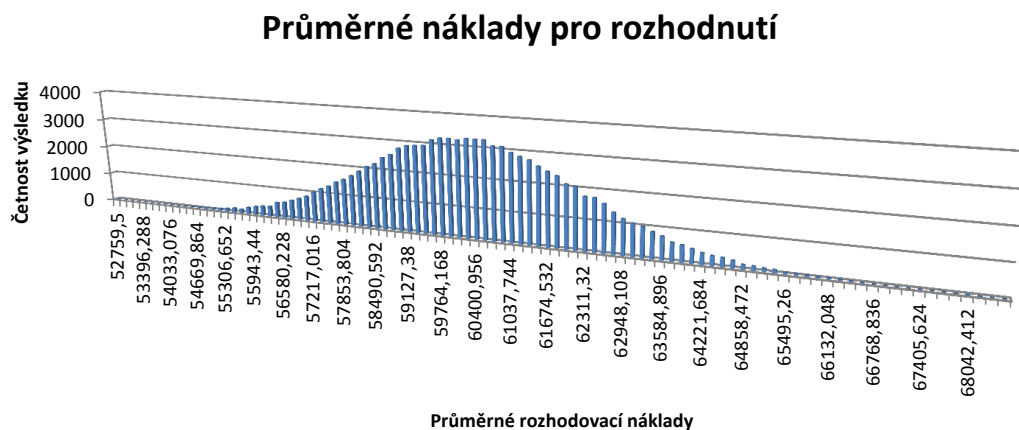


Varianta 4 – matematické zaokrouhlování a převážení ostrých odhadů nad ostatními (zatržena obě zaškrťovací políčka):

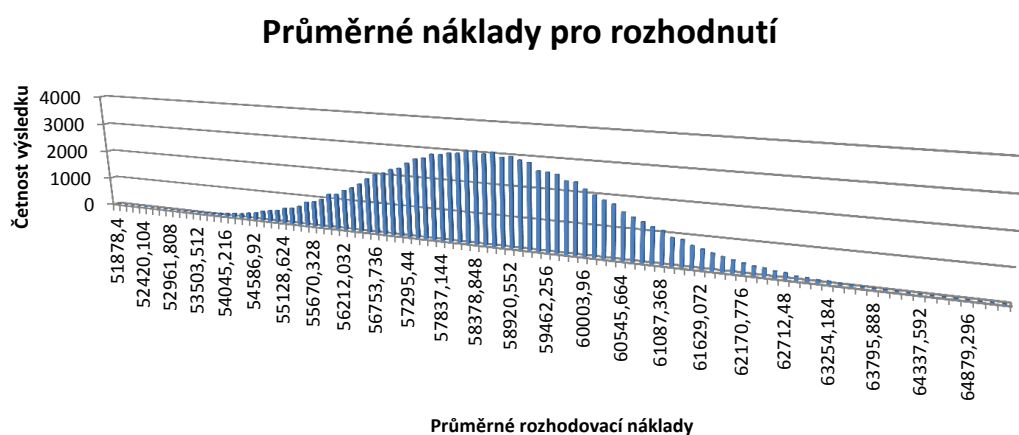


Příloha 8 - Histogramy průměrných rozhodovacích nákladů

Varianta 1 – zaokrouhlování nahoru a úprava ostře zadaných odhadů poptávky (nezatržená obě zaškrťovací políčka):



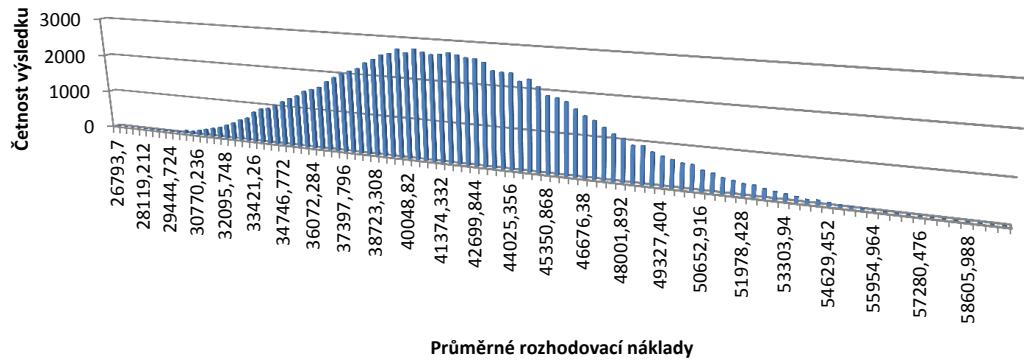
Varianta 2 – zaokrouhlování nahoru a převážení ostrých odhadů nad ostatními (zatržena pouze správnost ostrého odhadu):



Varianta 3 – matematické zaokrouhlování a úprava ostře zadaných odhadů (zatrženo

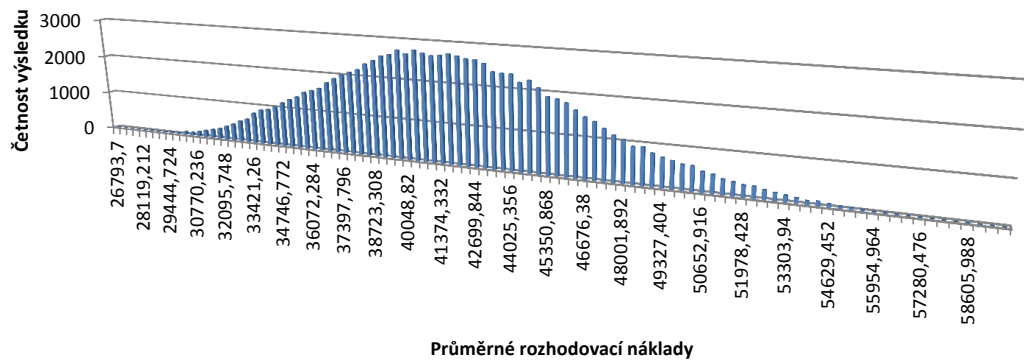
pouze matematické zaokrouhlování):

Průměrné náklady pro rozhodnutí



Varianta 4 – matematické zaokrouhlování a převážení ostrých odhadů nad ostatními (zatržena obě zaškrťovací políčka):

Průměrné náklady pro rozhodnutí



Příloha 9 - CD