

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI**

**FAKULTA EKONOMICKÁ**

Diplomová práce

**Metody alokace a estimace nákladů pro  
optimalizaci komplexní údržby energetických  
zařízení**

**Cost-allocation and estimation methods for  
complex maintenance optimization**

Přemysl Voráč

Plzeň 2011

**Čestné prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma

*„Metody alokace a estimace nákladů pro optimalizaci komplexní údržby energetických zařízení“*

vypracoval samostatně pod odborným dohledem vedoucího diplomové práce za použití pramenů uvedených v příložené bibliografii

V Plzni, dne .....

.....

podpis autora

## Obsah

Úvod.....	6
1. Metody a nástroje užívané v systémech komplexní údržby .....	9
1.1. Stručná historie vývoje údržby .....	9
1.2. Metoda RCM – moderní nástroj komplexní údržby.....	11
1.2.1. Základní myšlenka.....	11
1.2.2. Výstupy implementace metody RCM .....	15
2. Nákladová alokace .....	17
2.1. Kalkulace dělením .....	18
2.2. Proporcionální metoda kalkulace .....	18
2.3. Přirážková alokace.....	19
2.4. Alokace nákladů podle aktivit (Activity-Based Costing).....	20
2.5. Příklad tvorby kalkulace metodou ABC.....	22
2.6. Zhodnocení analyzovaných kalkulačních metod.....	26
3. Časové řady pro odhad dat.....	27
3.1. Modelování časových řad.....	27
3.2. Modelování nákladových veličin v oblasti komplexní údržby.....	29
3.2.1. Modelování vývoje cen práce.....	30
3.2.2. Modelování vývoje cen materiálu a vybavení.....	32
3.2.3. Zhodnocení implementace časových řad do oblasti komplexní údržby.....	34
4. Nástroje risk analýzy v oblasti komplexní údržby.....	36
4.1. Definice rizika .....	36
4.2. Analýza rizik .....	38
4.3. Základní pojmy analýzy rizik .....	39
5. Datové zdroje .....	44
5.1. Nákladovostní data .....	44

5.2. Spolehlivostní data .....	45
6. Analýza rizik energetických zařízení.....	46
6.1. Identifikace komponent měřicího systému.....	47
6.2. Stanovení cen komponent.....	50
6.3. Identifikace hrozeb .....	53
6.4. Ohodnocení rizikovosti .....	53
6.5. Analýza citlivosti vlivu změn MTBF kritických komponent.....	54
6.6. Vyhodnocení analýzy citlivosti .....	60
6.7. Kvantifikace ekonomických následků a zhodnocení .....	62
Závěr .....	65
Seznam obrázků.....	69
Seznam tabulek .....	69
Citovaná literatura.....	71
Abstrakt.....	72
Abstract.....	73

## Úvod

Diplomová práce se zabývá problematikou moderních metod komplexní údržby energetických zařízení. Cílem práce je návrh a tvorba procesů sloužících v systémech komplexní údržby s ohledem na dostupnost relevantních spolehlivostních a nákladovostních dat. Nákladovostní data mohou být k dispozici v příliš hrubé podobě, proto jsou v práci představeny metody nákladové alokace a také možnosti modelování časového vývoje cen komponent jednotlivých údržbových objektů. Takto zpracovaná data jsou poté podrobena risk analýze, kde je posouzena jejich spolehlivost vzhledem ke zvolenému obnosu financí, které je management ochotný do údržby investovat.

Předmětem zkoumání je mechanická část parní turbíny, která je složena z vysokotlakého (VT) a středotlakého (ST) a nízkotlakého (NT) dílu. V kapitole 4 jsou explicitně popsány všechny její komponenty. Pokud chceme zabránit selhání celé turbíny, je důležité provádět kontrolu jejích komponent. Samotná kontrola může být provedena údržbovým zásahem či instalací automatických čidel, které získávají relevantní informace z turbíny (tato údržba je finančně ohodnocena). Na turbíně můžeme dále definovat různé skupiny komponent, které je nutné sledovat a které mohou být kritické pro chod celého zařízení. Můžeme jmenovat např. ložiska a jejich hydrauliku mazání, systém přívodu páry a její regulace či řízení akčních členů. Některé komponenty vyžadují opakovanou údržbu, některé jsou naopak dimenzované na dobu životnosti zařízení. V práci bude detailněji zpracována analýza rizika elektronických řídicích systémů, které představují řídicí systémy pro všechny důležité součásti turbosoustrojí. Tyto systémy se skládají ze samotného průmyslového PC a ze snímacích čidel.

V první kapitole práce je stručně představen vývoj údržby od počátku 20. století do současnosti. Krátce jsou zmíněny nové metody údržby FMECA a RCM. Metoda RCM, jež je v textu podrobněji vysvětlena, v sobě integruje prvky z teorie systémů a znalostí z oblasti statistiky či ekonomie. Představuje výchozí metodiku, pomocí které jsou v práci popisovány energetické systémy a pomocí které je provedena systémová dekompozice sledovaných objektů reálného světa. Tyto postupy umožňují definovat kritické komponenty systému, vytvořit přehledně dekomponovanou strukturu systému na komponenty a dosáhnout tak transparentní a nákladově efektivní údržby.

Kapitola druhá představuje teoretický úvod do oblasti údržby energetických zařízení a také se věnuje problematice alokace nákladů v oblasti modelování nákladovosti v těchto zařízeních. V oblasti komplexní údržby energetických zařízení je velmi častý nedostatek relevantních datových zdrojů. Je obvyklé, že jsou k dispozici pouze hrubá data vztažená na celý nákladový objekt. Pokud chceme zjistit údaje vztažené na jednotlivé komponenty, musíme použít určité aproximační techniky, které jsou schopny přiřadit nepřímé náklady k jednotlivým součástem systému. Tato kapitola dále uvádí možné aplikace těchto metod v oblasti komplexní údržby. Představuje klasické metody nákladové alokace používané v praxi. Podrobněji je rozvinuta metoda Activity-Based Costing, která představuje moderní metodu řízení a optimalizace nákladů. Na závěr je uveden příklad alokace nákladů pomocí tohoto alokačního nástroje. Kapitola představuje teoretický úvod do oblasti údržby energetických zařízení. Aplikací těchto nástrojů může být podrobněji zkoumána nákladovost jednotlivých komponent celého systému.

Při zkoumání historických dat z oblasti vývoje nákladovosti údržby energetických zařízení máme mnohdy k dispozici data o ceně opravy pouze v daném časovém okamžiku. Často ale požadujeme cenu k aktuálnímu dni či přesně určenému datu. Nemáme-li k těmto opravám data, je nutné vyvinout model, který bude schopen zachytit časový vývoj cen oprav ve sledovaném období. Tvorba těchto modelů, terminologie a použitá data jsou předmětem zkoumání v kapitole 3, která představuje ucelený pohled na problematiku časové hodnoty peněz. K tomu jsou použity časové řady, konkrétně klasický model časových řad. V této kapitole bude představen model vývoje inflace s možností krátkodobé predikce, model vývoje cen mezd v oblasti průmyslu a energetických zařízení a vývoj indexu cen průmyslové produkce. Nástroje popsané v tomto oddíle jsou aplikovány v závěrečné kapitole, kde zkoumáme vývoj údržby v následujících 10 letech.

Předmětem zkoumání čtvrté kapitoly jsou základní pojmy z oblasti analýzy rizik. Jsou zde také představeny nástroje a definice používané v oblasti řízení a managementu rizika. Definujeme základní prvky zkoumaného systému, představujeme hrozby a následky, které mohou na daném zařízení vzniknout.

Pátá kapitola zkoumá dostupné datové zdroje z oblasti nákladovosti a spolehlivosti. Datovým vstupem jsou informace o poruchovosti energetických zařízení, informace o

spolehlivosti měřících komponent, finanční ocenění jednotlivých částí systému a také střední doby mezi poruchami. Uvedeny jsou také všechny datové zdroje použité v následující kapitole jako vstup pro provedení risk analýzy komplexního nákladového objektu.

V úvodu kapitoly 5 jsou představeny měřící systémy, které se starají o řízení dostupnosti jednotlivých komponent nákladového objektu. Ke každé této komponentě měřícího systému máme k dispozici střední dobu mezi poruchami a můžeme tedy sestavit model spolehlivosti měřícího systému. V první fázi identifikujeme kritické části měřícího systému, poté budeme kritické části v zařízení vyměňovat a zkoumat jejich dopad na výslednou poruchovost. Velmi důležitým faktorem, který nelze opomenout, je také nákladovost instalované metrologie. Musíme počítat s tím, že vyšší spolehlivost zařízení bude vždy tlačit náklady směrem vzhůru. Je tedy nutné provést analýzu citlivosti změn komponent měřících systémů na výslednou hodnotu spolehlivosti a zároveň nákladovosti. Po provedení citlivostní analýzy budou její výstupy aplikované na celý nákladový objekt, který bude složen z většího množství komponent. Důležitým výstupem budou celkové náklady spojené s metrologií a ekonomická kvantifikace možného rizika. Vedoucí pracovník tak dostane odpověď na otázku, jakou zvolit kvalitu a počet měřících zařízení, aby byla údržba zařízení ekonomicky efektivní.

## **1. Metody a nástroje užívané v systémech komplexní údržby**

Systémy údržby prošly vývojem od klasického monitorování stavu zařízení pomocí kontrolních pracovníků až ke komplexním systémům automatického řízení a plánování údržbových zásahů. V následující části je nastíněn vývoj údržby od začátku 20. století do dnešní doby. Dále je rozebrána moderní metoda optimalizace údržby zaměřená na spolehlivost (RCM) a také jsou nastíněny metody její implementace a výhody, které zavedení tohoto nástroje přináší.

### **1.1. Stručná historie vývoje údržby**

Metody údržby průmyslových zařízení byly nuceny držet krok s vývojem nových náročnějších technologií ve 20. století. Vývoj údržby se orientuje směrem k zefektivnění výroby, čemuž odpovídala také zvyšující se míra zájmu o údržbu průmyslových systémů. Vývoj údržby z moderního hlediska lze během minulého století rozdělit přibližně do tří etap, které se vzájemně prolínaly a ovlivňovaly.

#### **1.1.1. První etapa**

První etapa zahrnuje meziválečné období a období 2. světové války. Průmysl v této době stále nebyl příliš mechanizovaný a také byla nízká kapitálová náročnost práce. V tomto období dochází k rozvoji pásové výroby a managementu pracovních sil. Ve většině případů doba prostoje zařízení z důvodu opravy nehrála roli. To znamená, že prevence proti poruchám zařízení nebyla v očích tehdejších manažerů nijak vysokou prioritou. Navíc přístroje byly většinou velmi robustně vyrobené a předimenzované a tudíž velmi spolehlivé, proto se jejich údržba omezila jen na některé základní úkony jako je čištění, mazání a seřizování

#### **1.1.2. Druhá etapa**

Tlak 2. světové války zvýšil poptávku po veškerém zboží, zatímco nabídka pracovních sil značně klesla. Výsledkem toho bylo zvýšení a rozšíření mechanizace, čímž se průmysl stal na těchto prostředcích závislý. V ekonomice vzniká produkční mezera, výrobci jsou tlačeni k vyšší efektivitě výroby a s tím spojené mechanizaci.

Tyto faktory způsobily daleko vyšší zájem managementu o dobu prostoje a tedy zvýšený zájem o dostupnost zařízení. To vedlo k myšlence předcházet poruchám v rámci plánovaného přerušení výroby s nižšími dopady na výrobu, tedy ke konceptu preventivní údržby. V 60. letech se jednalo především o důkladnou údržbu zařízení

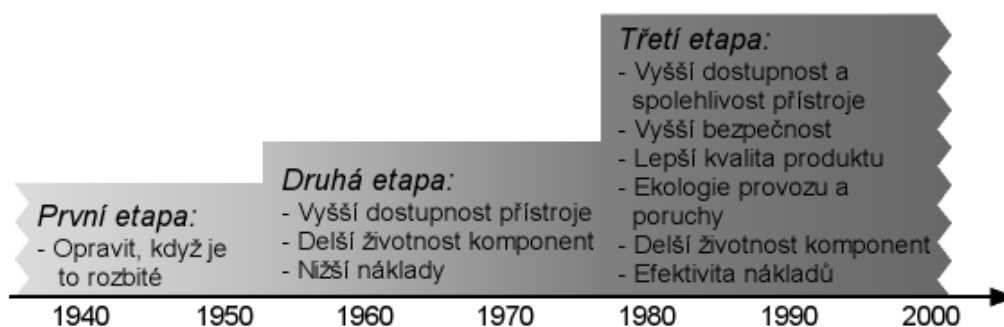


prováděnou v pevně daných intervalech. Náklady na údržbu vzrostly, což způsobilo nasazení plánovaných oprav a řídicích systémů, které měly za úkol dostat údržbu pod kontrolu.

Zvýšení kapitálu investovaného do provozu a údržby zařízení vedlo k hledání způsobů, jak maximalizovat životnost zařízení. Veškeré poruchy jsou uvažovány s tzv. vanovou křivkou intenzity poruch charakterizující období „dětských poruch“, dobu užitečného života a dobu stárnutí.

### 1.1.3. Třetí etapa

Jako další krok ve vývoji náhledu na údržbu lze označit stav přibližně od poloviny 70. let 20. století. V této době přicházejí zvýšené nároky, které vycházejí z vyšší automatizace a nových možností sledování výroby podpořeného prudkým rozvojem elektrotechniky. Charakteristiky tohoto období, které trvá až do dnešní doby, jsou uvedeny v obrázku č. 1.

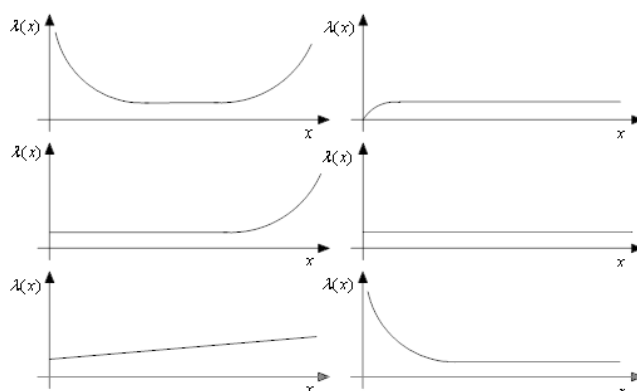


Obrázek 1: Vývoj přístupu k údržbě ve 20. století

Vysoká důležitost je i v tomto období připisována době prostoje zařízení a celkové dostupnosti a spolehlivosti zařízení. Optimalizaci se provozovatelé snaží využít i pro skladové zásoby. Vyšší automatizace a mechanizace způsobuje, že se objevují nové poruchy, které ovlivňují kvalitu výstupu. Vysoký důraz je kladen i na poruchy, které mohou mít vážné bezpečnostní nebo ekologické následky, zejména v technicky náročných a rizikových odvětvích. Samotný návrh zařízení už bere ohledy na snazší údržbu a snaží se identifikovat možné poruchy a předcházet jim.

S novými očekáváními přišly nové přístupy k řešení problémů, opouští se myšlenka existence jediného vzoru intenzity poruch. Mimo vanové křivky jsou nalezeny nejen poruchy, které se řídí pouze některými částmi vanové křivky. Nejčastěji se však objevují poruchy mající charakter části vanové křivky. Vzory průběhu intenzity poruch,

které začaly být využívány v této etapě (a jsou využívány dodnes), jsou znázorněny na obrázku č. 2.



**Obrázek 2: Průběhy intenzity poruch vanových křivek**

Řešením nových problémů při údržbě složitých zařízení se zabývají studie a techniky, které pomáhají přesněji klasifikovat, které části zařízení jsou kritické a identifikovat, jaké procesy způsobují, že jsou kritické a proč. Technických metod, kterých se v současnosti využívá, je velké množství. Patří mezi ně např. expertní systémy, studie hazardů, metoda FMEA a další.

## **1.2. Metoda RCM – moderní nástroj komplexní údržby**

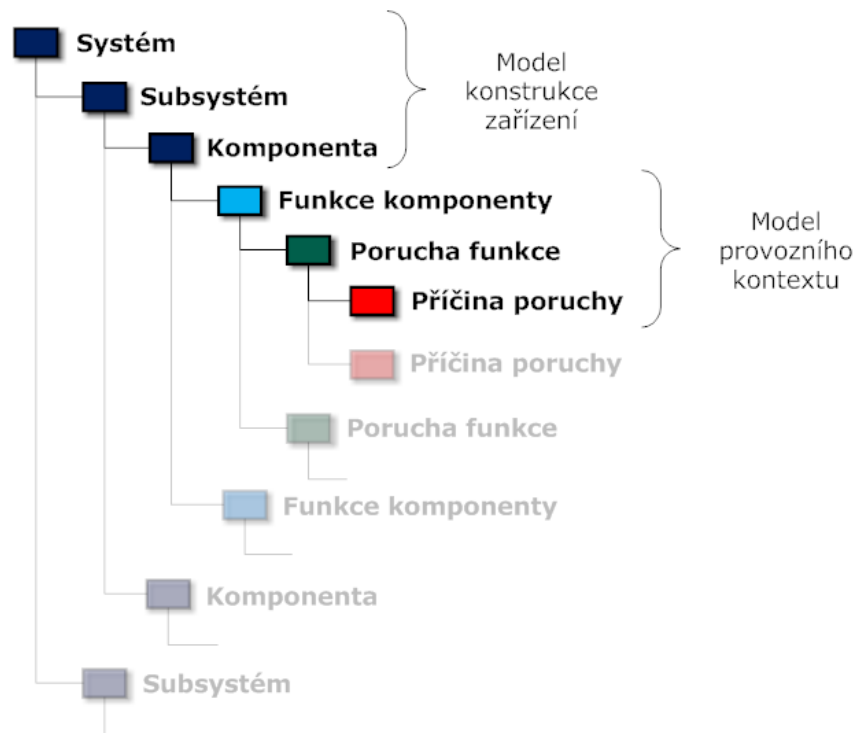
Splnění cílů efektivní výroby může být dosaženo především efektivní údržbou, jež bude reagovat na slabá místa zařízení a bude realizovat takové zásahy, které kritičnost těchto míst redukuje na co nejnižší míru. Pozitivním ovlivněním těchto slabín může být dosaženo zvýšení dostupnosti celého zařízení, tedy minimalizace nákladů z provozu.

Jeden z možných způsobů, jak analyzovat poruchovost zařízení a navrhnout postup údržby, je metodika RCM<sup>1</sup>. Základy této techniky budou nastíněny v následující kapitole.

### **1.2.1. Základní myšlenka**

RCM je formálně definován jako proces využívaný k určení toho, co musí být vykonáno k zajištění, že každé zařízení setrvává v činnosti, pro niž jej provozovatel používá v současných provozních souvislostech (provozní kontext). Provozními souvislostmi je myšleno propojení zařízení se systémem, s čímž souvisí výkonové standardy, jejichž dodržení je důležité z hlediska správné funkčnosti celého systému.

<sup>1</sup> Reliability-Centered Maintenance, jež lze přeložit jako údržba soustředěná na spolehlivost.



Obrázek 3: Dekompozice systému pro RCM

Metodika RCM využívá pro analýzu poruchovosti metodu FMEA<sup>2</sup> (nebo její rozšíření FMECA), jejíž aplikací jsou systematicky vyšetřeny možné způsoby selhání zařízení.

Proces tvorby RCM s sebou nese hledání odpovědí na následujících sedm otázek (samotná metoda FMEA zahrnuje hledání odpovědí na první čtyři otázky):

- Jaké jsou funkce a s nimi spojené výkonové standardy daného zařízení v jeho současném provozním kontextu?
- Jakými možnými způsoby může zařízení selhat při plnění svých funkcí, resp. výkonových standardů?
- Co způsobuje každé selhání funkce zařízení?
- Co se stane, když každá z možných poruch nastane?
- V jakém smyslu je každá porucha pro provozovatele významná?
- Co může být učiněno, aby se případná porucha předpověděla, nebo se jí předešlo?
- Co by mělo být učiněno, pokud žádný z těchto aktivních údržbových kroků nelze pro danou poruchu provést?

<sup>2</sup> Fault modes effects analysis, jenž lze přeložit jako analýza následků poruchových módů zařízení. Analýza FMECA (Fault modes effects and criticality analysis) je modifikací FMEA, která hodnotí navíc ještě kritičnost následků poruch (bezpečnostní důsledky, provozní, ekologické atd.).

Metodika RCM vychází z předpokladu, že každý systém nebo jeho subsystemy mají v celkovém provozním kontextu určitou specifickou funkci, kterou lze definovat interakcemi s okolím a pro kterou lze uvažovat určitý výkonový standard. Prvním krokem analýzy RCM je tedy určení toho, co provozovatel po zařízení (komponentě) požaduje a jaký minimální výkon je pro něj přijatelný v současném provozním kontextu. Minimální výkon by měl být nižší než počáteční výkon daný výrobcem zařízení.

Zařízení je podle RCM v daném provozním kontextu udržovatelné, pokud počáteční schopnosti zařízení splňují požadavky provozovatele, nejlépe s určitou rezervou. Úspěšná efektivní údržba je potom taková údržba, která schopnosti (výkon) daného zařízení zachová ve výkonovém intervalu mezi počátečními provozními parametry a minimálním přijatelným výkonem. Takto specifikovaný výkonový standard je udržovatelný a technicky dosažitelný.

Funkce zařízení, které se stanovují pro konkrétní zařízení lze dělit do dvou skupin:

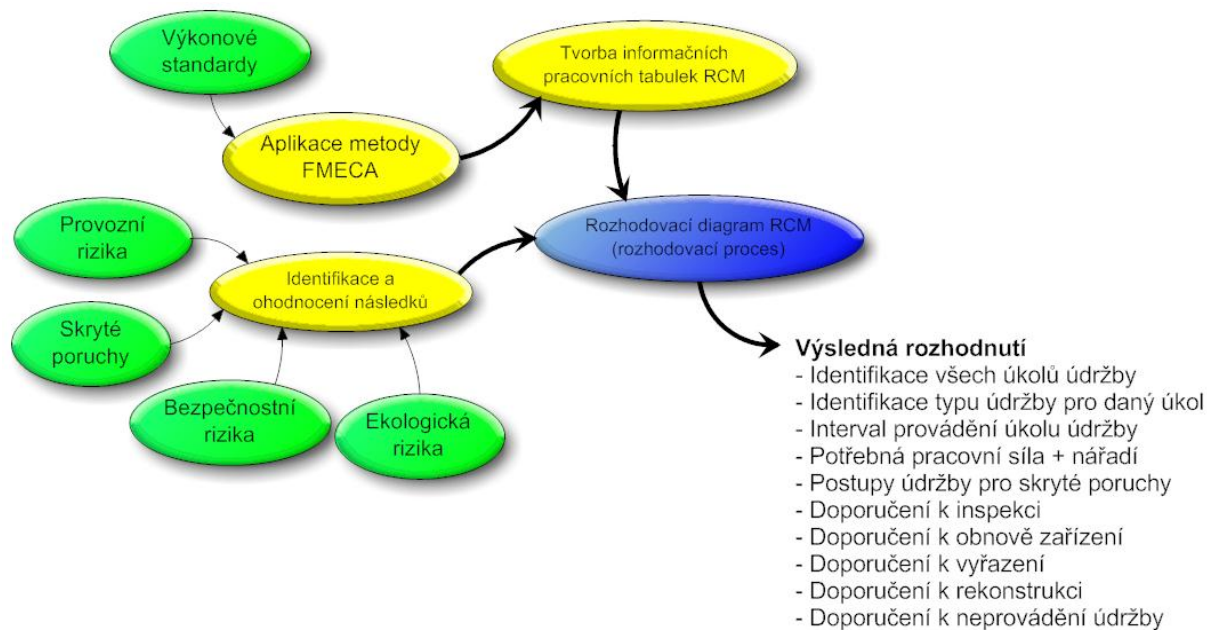
- primární funkce, které shrnují, z jakých důvodů především bylo zařízení pořízeno (nebo vyrobeno) a určují základní funkce v průmyslovém procesu, jež mohou představovat rychlost, množství výstupních produktů, kvalitu produktu, kapacitu přenosu nebo skladování, kvalitu služeb atd.
- sekundární funkce, jež vyjadřují, že zařízení musí plnit i funkce, které nejsou primárně sledovány, avšak jsou očekávány. Mezi tyto očekávání může patřit bezpečnost, říditelnost, schopnost pojmout určité médium a udržet svůj obsah, strukturální integrita, ekonomie provozu, ekologičnost atp.

Cíle údržby dle RCM jsou definovány funkcemi a jejich výkonovými standardy. Zařízení může přestat plnit svou funkci pouze v důsledku poruchy funkce, a proto je v procesu RCM pro každou funkci nutno identifikovat, které poruchy mohou nastat. Porucha označuje takovou situaci při provozu zařízení, kdy je zařízení neschopno plnit své funkce v rozsahu, který je akceptovatelný provozovatelem. Může jít jak o úplnou ztrátu své funkce, tak i o částečnou ztrátu, jež sníží výkon pod požadovanou úroveň. Poruchy funkcí charakterizují všechny reálně možné situace, při nichž zkoumané zařízení neplní nebo není schopno plnit své výkonové standardy.

Údržba podle metodiky RCM využívá metodu FMEA, při níž jsou ke každé poruše funkce zjištěny události a procesy, které poruchu způsobily. V terminologii RCM jde o identifikaci všech poruchových módů (příčin poruchy). Poruchový mód může být definován jako událost, která pravděpodobně zapříčiní poruchu funkce (selhání plnění výkonového standardu). Identifikace těchto událostí je důležitá z důvodu platnosti předpokladu, že údržba se snaží vypořádat se s těmito příčinami poruch. Jinak řečeno, údržba se snaží nejen poruchu odstranit, ale i zamezit svým zásahem tomu, aby se již neopakovala – tzn. snaží se předejít příčině poruchy. Údržba tedy vychází z úrovně poruchových módů.

Údržba RCM poté vyhodnocuje následky poruch, přesněji následky pro zařízení a provozovatele, které vzniknou působením příčiny poruchy. Popis následku poruchy obsahuje většinou specifikaci okolností svědčící o tom, že porucha opravdu nastala, dále jakou má provozní, bezpečnostní a ekologickou závažnost, jak je ovlivněna výroba a jaké další poškození nebo náklady jsou následkem způsobené. Jeden z aspektů následku poruch je stanovení toho, co musí být provedeno, aby byla porucha opravena, tj. stanovení údržby při poruše. Uvážením následků poruch z hlediska závažnosti pro bezpečnost a ekologii (tj. kritičnosti, vede na analýzu FMECA), společně s uvážením nákladů za následky a nákladů prováděné údržby, může být získáno rozhodnutí vedoucí k zefektivnění plánovaných údržbových zásahů. Mezi tyto rozhodnutí patří návrhy k preventivní údržbě, prediktivní údržbě, inspekcím (kontroly zařízení za provozu), hledání skrytých poruch a doporučení k přestavbě zařízení v případě, že požadavky jsou pro současnou konfiguraci příliš náročné.

Analýza celého zařízení vede k vyšetření provozu a údržby zařízení a může podnítit důležitá rozhodnutí o změně prováděných údržbových činností směřující k celkovému snížení nákladů na údržbu. Rovněž může být zjištěno, že z hlediska následků poruch, frekvence poruch a dalších faktorů nemusí být prováděna žádná aktivní údržba, pokud není ekonomicky nebo rizikově opodstatněná. Konkrétní rozhodnutí pro postup údržby lze získat aplikací rozhodovacího diagramu RCM, který vyhodnocuje výsledky získané při analýze zařízení. Celý proces shrnuje obrázek č. 4.



Obrázek 4: Postup při implementaci RCM procesu

### 1.2.2. Výstupy implementace metody RCM

Metodika RCM je jeden z nástrojů často používaný ke splnění požadavků na údržbu vznikajících ve třetí etapě vývoje údržby. Tato metodika byla s kladnými výsledky použita ve více než 1 000 případech v 50 zemích světa. Některé z často zmiňovaných přínosů jsou probrány níže.

- Vyšší bezpečnostní a ekologická integrita, které je docíleno uvážením především bezpečnostních a ekologických dopadů všech následků příčin poruch než jejich provozní závažnosti. Při procesu RCM jsou poskytnuty kroky pro eliminaci nebo redukcii závažnosti takových následků.
- Vyšší efektivita nákladů na údržbu, které je docíleno tím, že jsou identifikovány příčiny poruch, které mají největší finanční a výkonové následky. Všechny výdaje, které jsou provedeny, jsou provedeny tam, kde je to opravdu zapotřebí. Zároveň aplikace RCM redukuje množství rutinních (cyklických) činností a množství plánovaných úkolů je značně nižší než při využití tradičních metod.
- Delší užitečný život nákladných zařízení a komponent, jehož je docíleno efektivně zvolených technik údržby za provozu (inspekce, monitoring).
- Lepší provozní výkon (výstup, kvalita produktu a služeb), jehož je dosaženo efektivním výběrem typů údržbových zásahů pro konkrétní situaci v provozu a návrhem řešení problémů, které údržbou zařízení nelze vyřešit. RCM lze použít i

pro nové systémy, o jejichž provozu neexistují žádná data z předchozího provozu. Není pak nutné projít „zkušebními obdobími“, které většinou přinášejí dodatečné náklady.

- Komplexní báze dat, která vychází ze záznamů vytvořených během RCM procesu, a v níž jsou dokumentovány údržbové požadavky všech důležitých součástí zařízení. Databáze umožňuje snadnou adaptaci na nové okolnosti provozu (nová technologie, nové rozdělení směn atp.), aniž by bylo nutné přehodnotit celou politiku údržby. Databáze snižuje riziko fluktuace zaměstnanců a s tím spojenou ztrátu praxe a odbornosti.
- Vyšší motivace jedinců, zejména těch, kteří se zapojují do RCM procesu, což má za následek lepší pochopení provozu celého zařízení a tedy i pochopení problémů údržby a jejich řešení.

## 2. Nákladová alokace

Při modelování nákladovosti údržby energetických zařízení je důležité posoudit nákladovost oprav jednotlivých komponent provedených na daném systému. Problémem v oblasti komplexní údržby bývají nedostatečné znalosti přímých nákladů spojených s jejich údržbou. Pokud je k dispozici pouze celková suma za opravu celého systému, nelze určit objem nákladů vztažený na jednotlivé komponenty. V tomto případě aplikujeme metody nákladových alokací. Smyslem těchto metod je rozčlenění nepřímých nákladů k jednotlivým komponentám. Více informací o přístupu k alokacím nákladů je uvedeno v (1).

Při posuzování nákladovosti jednotlivých částí systému se v podstatě setkáváme se dvěma typy nákladů. Další dělení nákladů lze najít v literatuře (2).

- Přímé náklady
- Nepřímé náklady

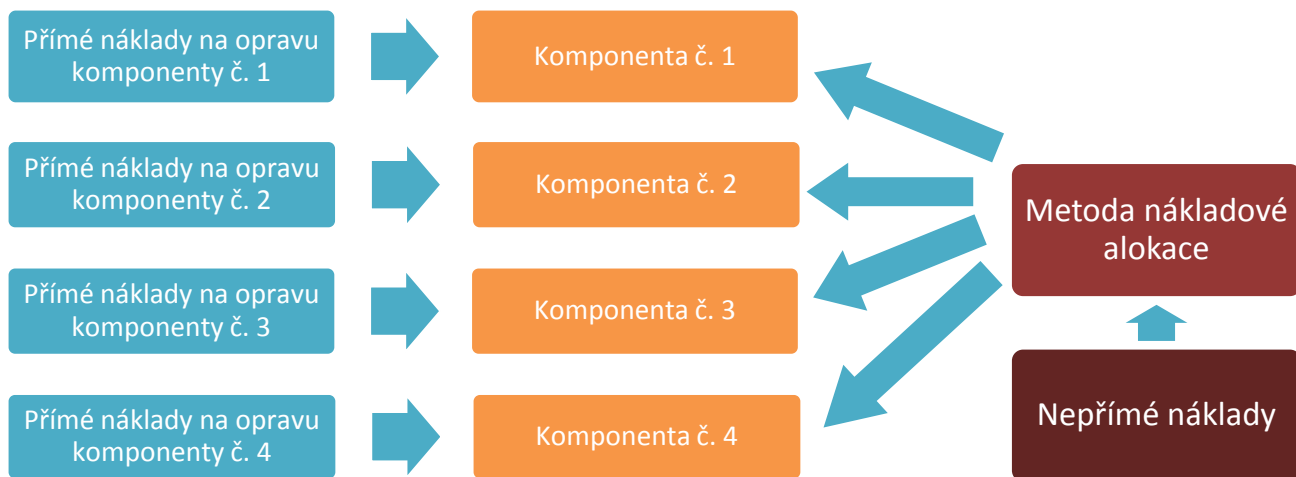
Přímé náklady lze přiřadit k jednotlivým částem systému. Většinou se jedná o náklady vztažené k opravě dané komponenty. Řadíme sem náklady práce (výkony), náklady na materiál, energie potřebná k opravě zařízení a další přímo alokovatelné náklady. Jejich objem roste s četností prováděných činností.

Nepřímé náklady jsou často neměnné s frekvencí prováděných aktivit. Mezi tyto náklady lze řadit např. penále za odstávku zařízení, režie či další náklady, které nejsou vztaženy na komponenty. Tyto náklady je nutné alokovat k částem systému tak, aby jejich rozdělení co nejvíce odpovídalo realitě. Grafické zobrazení principu alokace nákladů jednotlivým komponentám systému je zobrazen v obrázku č. 5.

Celkové náklady na jednotlivé komponenty systému jsou dány součtem přímých nákladů a části nepřímých nákladů. Nepřímé náklady jsou určeny na základě vybrané kalkulační metody. Grafické znázornění složení celkových nákladů na komponentu systému jsou zobrazeny v obrázku č. 6.

V další části textu budou představeny různé metody pro alokaci nepřímých nákladů systému k daným komponentám. Další metody alokace nákladů jsou uvedeny v literatuře (2).





Obrázek 5: Nákladová alokace



Obrázek 6: Složení celkových nákladů na komponentu

## 2.1. Kalkulace dělením

Tato metoda patří mezi nejjednodušší a nejstarší postupy, jak alokovat nepřímé náklady. Principem metody je v našem případě vydělení celkových nákladů na opravu počtem komponent a danou sumu přičíst ke každé komponentě systému. Využitelnost této metody v této oblasti je omezená. Slouží spíše jako hrubý náhled na danou problematiku.

$$COST_{IN_i} = \frac{TC_{IN}}{N_{COMP}}$$

kde:  $COST_{IN_i}$  ... nepřímé náklady alokované na komponentu systému  $i$

$TC_{IN}$  ... celkové nepřímé náklady

$N_{COMP}$  ... počet komponent systému

## 2.2. Proporcionální metoda kalkulace

Principem metody je pevné ohodnocení komponent systému ( $1 \dots n$ ) nákladovostním koeficientem. Pro každou komponentu lze získat část nepřímých nákladů po vynásobení celkovou sumou nepřímých nákladů.

$$COST_{IN_i} = TC_{IN} \cdot c_i$$

Za podmínky

$$\sum_{i=1}^n c_i = 1 \quad c_i \in < 0,1 >$$

kde:  $COST_{INi}$  ... nepřímé náklady alokované na komponentu systému  $i$

$TC_{IN}$  ... celkové nepřímé náklady

$c_i$  ... nákladový koeficient pro komponentu  $i$

Problémem tohoto typu kalkulace je problém určení nákladových koeficientů pro dané komponenty. Tyto koeficienty mohou být odhadnuty z minulých oprav či expertně na základě zkušeností s opravami daného typu.

### 2.3. Přirážková alokace

Tento typ patří mezi v praxi nejrozšířenější metody alokace nepřímých nákladů. Mezi jeho výhody patří jeho relativně vysoká přesnost a využitelnost i při různorodém složení činností. Principem přirážkové alokace je kalkulace nepřímých nákladů na komponentu pomocí tzv. rozvrhové základny a z ní odvozeného přirážkového koeficientu. Rozvrhovou základnou pro přirážkovou kalkulaci tvoří většinou část přímých nákladů (náklady na materiál, náklady na práci), které jsou již alokované k jednotlivým komponentám.

V podmínkách komplexní údržby energetických zařízení se jeví jako vhodná rozvrhová základna hodinová náročnost práce na dané komponentě systému. V praxi často platí, že čím delší dobu se na daném zařízení pracuje, tím více nepřímých nákladů je spotřebováno. Pro zařízení s  $n$  komponentami lze psát

$$COST_{INi} = \frac{L_i}{\sum_{i=1}^n L_i} \cdot TC_{IN}$$

kde:  $L_i$  ... mzdová náročnost dané komponenty

$\sum_{i=1}^n L_i$  ... celkové mzdové náklady na sledovaný systém

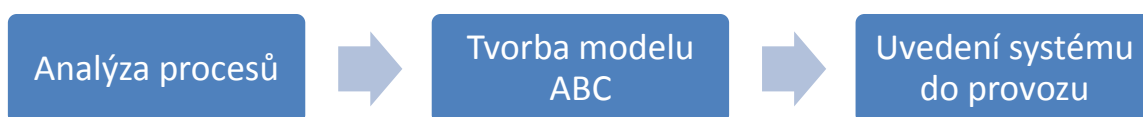
Je zřejmé, že pro tento typ kalkulace je vyžadována znalost přímých mzdových nákladů na jednotlivé komponenty. Tyto náklady slouží jako rozvrhová základna pro alokaci nepřímých nákladů.

## 2.4. Alokace nákladů podle aktivit (Activity-Based Costing)

Výše uvedené metody pracovaly s předpoklady a přijímaly určitá zjednodušení. Moderní metody alokace nákladů se snaží přiřadit náklady jednotlivým objektům podle skutečných příčin vedoucích k jejich vzniku. Pokud chceme náklady přiřazovat přímo daným komponentám, musíme hledat příčinné vztahy mezi komponentami, interními procesy a náklady, které tyto procesy spotřebovávají. Tato situace je ilustrována na obrázku č. 8.

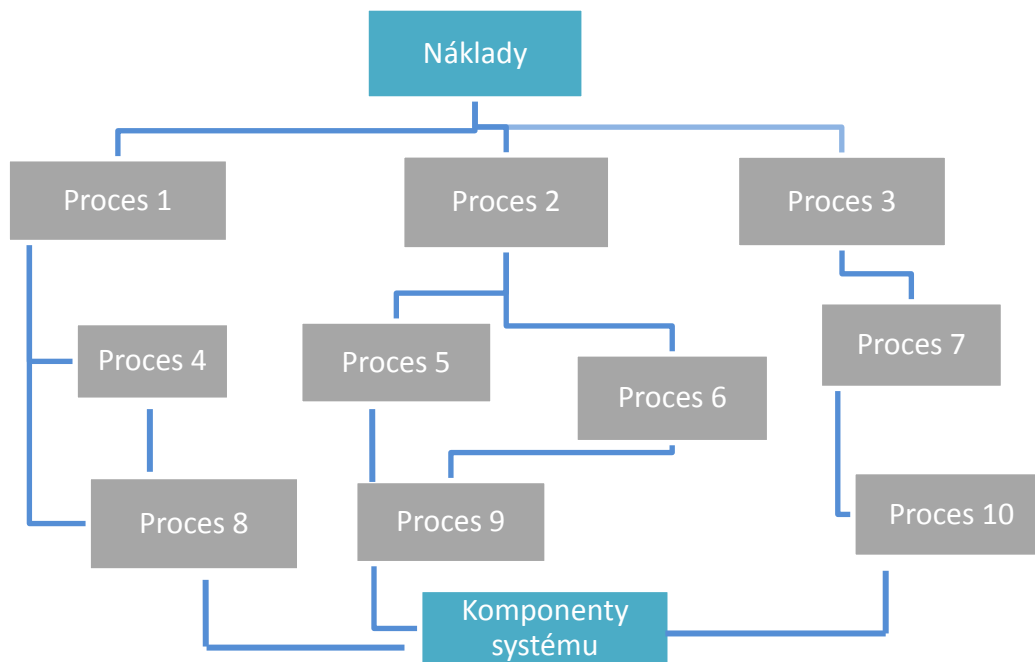
Zprostředkovaný vztah mezi nepřímým nákladem a komponentou v tomto případě již netvoří rozvrhová základna, ale skutečné aktivity a procesy v podniku. V praxi se pro tento způsob alokace nepřímých nákladů vžil termín Activity-Based Management či procesní řízení nákladů. Tento nástroj je díky své komplexnosti schopen optimalizovat náklady na komponenty systému. Toho je dosaženo pomocí řízení podnikových procesů.

Zavedení systému ABC představuje zásah do podniku. Zavedení této metody vyžaduje důkladnou analýzu interních procesů společnosti a definování měřitelných veličin spojených s výkonem jednotlivých procesů. Podstatnou částí ve fázi analýzy je přesvědčit zaměstnance k přijetí nového systému. Ve fázi tvorby modelu dochází k tvorbě aktivit, úpravě účetních dat a přiřazení nákladů jednotlivým komponentám. V poslední fázi dochází k integraci systému do podnikového informačního systému (Obrázek č. 7).



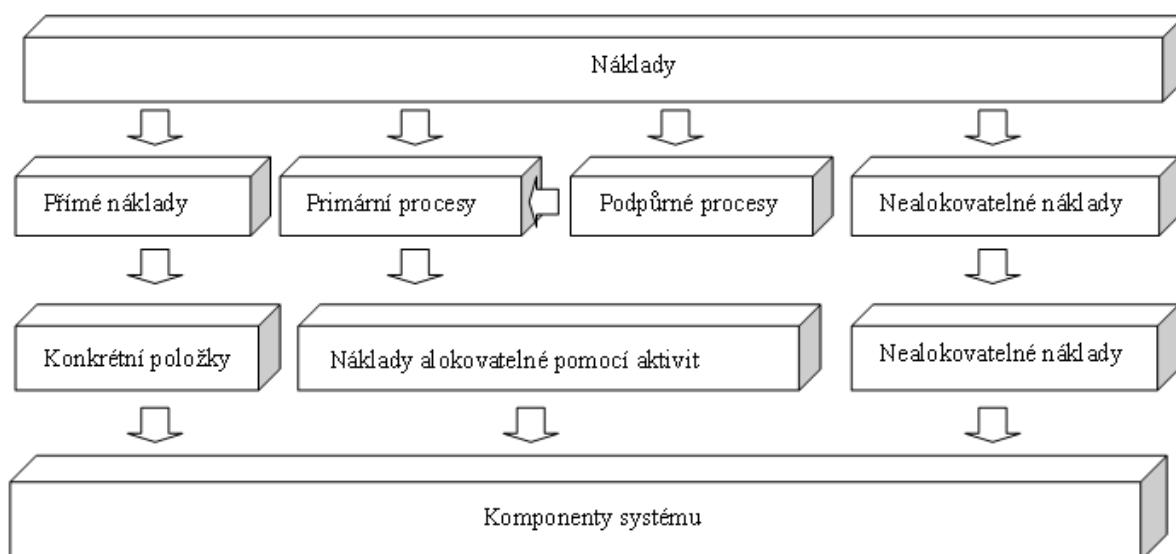
Obrázek 7: Proces tvorby systému ABC

Rozšiřující informace o této metodě je k dispozici v (2), (3), (4).



Obrázek 8: Příklad systému ABC

Procesy v systému ABC můžeme dělit na primární procesy, které jsou přímo spojeny s opravou dané komponenty, a na procesy podpůrné. Podpůrné procesy se přímo nepodílí na opravě, ale jejich činnostmi vznikají náklady. Členění nákladů v systému Activity-Based Costing je zobrazeno na obrázku č. 9. Na obrázku vidíme také klasické přímé náklady, které jsou vztaheny ke komponentě systému. Nealokovatelné náklady, které by měly tvořit přibližně 10% z celkové sumy nákladů, jsou alokovány např. přírážkovou kalkulací.



Obrázek 9: Alokace nákladů ABC

## 2.5. Příklad tvorby kalkulace metodou ABC

Tvorba tohoto systému vyžaduje důkladné zmapování interních podnikových procesů. Po provedení analýzy podnikových procesů je podnik schopen definovat základní kategorie procesů a od nich odvozených podprocesů. Příklad možného rozdělení procesů v podniku je zobrazen v tabulce č. 1.

Kód procesu	Kód podprocesu	Název procesu	Vztahová veličina
100		Revizní činnost	
	101	Revize hydrospojek	Počet hodin
	102	Dotažení ucpávek	Počet hodin
	103	Kontrola dotažení spojů	Počet hodin
200		Doprava	
	201	Transport NT ventilů	Počet ventilů
	202	Příjem NT ventilů na sklad	Počet ventilů
300		Instalace vybavení	
	301	Příprava plošin	Počet hodin
	302	Instalace nového vybavení	Počet hodin
	303	Kontrola bezpečnosti vybavení	Počet hodin
400		Účetnictví	
	401	Objednání materiálu	Počet objednávek
	402	Zúčtování oprav	Počet zúčtovaných operací
	403	Reporting	Počet zpráv
800		Podpůrné procesy	
	801	IS/IT	Počet IT stanic
	802	Provoz a údržba budov	$m^2$

	803	Personální činnosti	Počet pracovníků
	804	Účetní činnosti	Počet účetních položek

**Tabulka 1: Redukovaná typová struktura procesů v podniku**

V takto sestavené struktuře procesů není problém začít s měřením vztahových veličin daných procesů. Každý proces má definované své celkové nealokované náklady ( $CNP_i$ ). Můžeme také měřit míru výkonu procesu ( $MVP_i$  - kolik bylo převezeno ventilů, kolik bylo provedeno účetních položek atp.). Celkové náklady na jednotku procesu i ( $JNP_i$ ) určíme výpočtem

$$JNP_i = \frac{CNP_i}{MVP_i}$$

Pokud máme zmapovanou míru výkonu procesu a známe celkové náklady na daný proces, můžeme zjistit náklady na jednotku procesu. Příklad výpočtu  $JNA_i$  je uveden v tabulce č. 2.

Kód podprocesu	Název	Vztahová veličina	CNP	MVP	JNP
201	Transport NT ventilů	Počet ventilů	350000 Kč	590	593 Kč
301	Příprava plošin	Počet hodin	59 000 Kč	400	148 Kč
401	Objednání materiálu	Počet objednávek	421 066 Kč	1055	399 Kč
803	Personální činnosti	Počet pracovníků	964 111 Kč	263	3 666 Kč
804	Účetní činnosti	Počet účetních položek	1 514 875 Kč	74 541	20,323 Kč

**Tabulka 2: Jednotkové náklady procesů**

Jak bylo řečeno výše, nelze podpůrné procesy přímo alokovat ke komponentám. Tyto procesy musí být přiřazeny k primárním procesům. Příklad přiřazení je zobrazen v tabulce č. 3.

Kód podprocesu	Název	JNP	Počet 803	Náklady 803	Počet 804	Náklady 804
201	Transport NT ventilů	593 Kč	1	3 666 Kč	374	7 600,8 Kč
301	Příprava plošin	148 Kč	2	7 332 Kč	62	1 260 Kč
401	Objednání materiálu	399 Kč	1	3 666 Kč	1543	31 358 Kč

Tabulka 3: Podpůrné procesy

Náklady na podpůrné procesy přičteme k primárním nákladům procesu. Původní vztah přepíšeme na

$$CNP_i = PNP_i + SNP_i$$

kde:  $SNP_i$  ... náklady na podpůrný proces  $i$

$PNP_i$  ... náklady na primární proces  $i$

Vydělením této rovnice mírou výkonu aktivit dostaneme celkové jednotkové náklady aktivit ( $CJNP_i$ ).

$$CJNP_i = PJNP_i + SJNP_i$$

Nákladové veličiny jsou zobrazeny v tabulce č. 4 a 5.

Kód podprocesu	Název	PNP	SNP	CNP	MVP
201	Transport NT ventilů	350 000 Kč	11 226,8 Kč	361 226,8 Kč	590
301	Příprava plošin	59 000 Kč	8 592 Kč	67 592 Kč	400
401	Objednání materiálu	421 066 Kč	35 024 Kč	456 090 Kč	1055

Tabulka 4: Celkové náklady procesů

Kód podprocesu	Název	PJNP	SJNP	CJNP
201	Transport NT ventilů	593 Kč	19,03 Kč	612,03 Kč
301	Příprava plošin	148 Kč	21,49 Kč	169,49 Kč
401	Objednání materiálu	399 Kč	33,2 Kč	432,2 Kč

**Tabulka 5: Celkové jednotkové náklady procesů**

Pokud jsou vyčíslené celkové jednotkové náklady jednotlivých procesů, můžeme tyto náklady alokovat na jednotlivé komponenty systému či na jednotlivé opravy. Příklad takové opravy je zobrazen v tabulce č. 6. V tabulce jsou zobrazeny pouze náklady, které byly alokovány pomocí procesů. Přímé náklady a nealokovatelné náklady zde nejsou uvedeny.

Přímé náklady na danou opravu není nutné dále alokovat a lze je tak jednoduše přičíst k celkovým nákladům na opravu z tabulky č. 6. Nealokovatelné náklady, mezi které lze zařadit např. náklady na výzkum a vývoj atp., lze modelovat pomocí procentní přírážky (viz přírážková kalkulace) či proporcionálně. Tyto nealokovatelné náklady by měli tvořit přibližně 5-10% z celkové sumy nákladů.

List procesů	Oprava	Období			
	Oprava 35A-P8	1.6.2005-15. 6. 2005			
Kód podprocesu	Název	Vztahová veličina	MVP	JNP	N opravy
101	Příjem a kontrola materiálu	Počet přejímek	5	179Kč	895 Kč
102	Skladování materiálu	Počet paletoměsíců	241	28 Kč	6 748 Kč
301	Příprava plošin	Počet hodin	12	167,49 Kč	2 009,88 Kč
302	Přestavba strojů	Počet přestaveb	2	3 674 Kč	7 348 Kč
401	Objednání materiálu	Počet objednávek	9	432,2 Kč	3 889,8 Kč
<b>Celkem</b>					<b>20 890,68 Kč</b>

**Tabulka 6: Detail opravy**



Celkové náklady pomocí metody ABC lze popsat následujícím způsobem.

$$TC_{COMP_i} = TC_{D_i} + TC_{ABC_i} + TC_{IN} \cdot k_i$$

kde:  $TC_{COMP_i}$  ... celkové náklady na komponentu/opravu i

$TC_{D_i}$  ... celkové přímé náklady na komponentu/opravu i

$TC_{ABC_i}$  ... celkové náklady na komponentu/opravu i alokované pomocí ABC

$TC_{IN}$  ... celkové nealokovatelné náklady

$k_i$  ... přírážkový koeficient pro opravu/komponentu i

Metoda ABC představuje velmi podrobnou metodu pro alokaci nákladů. Její podrobnost je ale podmíněna vysokými datovými nároky. Především je nutné zavést systém monitorování podnikových činností a integrovat ho do společnosti. Zavádění tohoto systému vyžaduje důkladnou analýzu podnikových procesů a účetních údajů. Po analýze procesů musí dojít k tvorbě modelu ABC a definování primárních a podpůrných činností. Každá z těchto činností získá svou míru výkonnosti. Tyto míry jsou měřeny podnikovým monitorovacím systémem a jsou pečlivě zaznamenávány. Výstupem je detailní nákladová alokace, která je jasná a přehledná. Umožňuje managementu lokalizovat neefektivní činnosti a nabízí možnost optimalizace interních procesů podniku.

## 2.6. Zhodnocení analyzovaných kalkulačních metod

Tato kapitola stručně charakterizuje základní metody nákladové alokace. V úvodu byly představeny jednoduché metody alokace nákladů. Kalkulace podílem a proporcionální kalkulace nabízí možnost rychlé, ale hrubé alokace nákladů jednotlivým komponentám. V další části byla představena přírážková kalkulace, která představuje nejběžnější metodu alokace nákladů. U této metody je potřebná definice rozvrhové základny, která představuje známou část přímých nákladů. Datová náročnost přírážkové kalkulace je vyšší a stejně tak i její vypovídací hodnota. V poslední části byla představena moderní metoda Activity-Based Costing pracující na principu procesního řízení nákladů. Tato metoda nahrazuje rozvrhovou základnu interními procesy firmy. Tyto procesy musí být jasně definovány a jejich míra musí být měřitelná. Vypovídací hodnota dat je vysoká a může být použita i pro optimalizace interních procesů ve společnosti. Problémem mohou být vysoké nároky při zavádění systému.

### 3. Časové řady pro odhad dat

Pro modelování časového vývoje sledované veličiny vzhledem k časové základně mohou být použity nástroje nazývané časové řady. Časová řada představuje posloupnost pozorování (dat), která jsou jednoznačně uspořádána z hlediska času ve směru minulost-přítomnost. Tento nástroj nám umožňuje přehledně zachytit vývoj sledované veličiny v čase. Cílem modelování je co nejpřesnější odhad dynamiky dané ekonomické veličiny. Při znalosti dynamiky je možné odhadnout budoucí vývoj veličiny na základě historických dat.

#### 3.1. Modelování časových řad

Obecně lze model časové řady psát jako

$$y_t = f(t, \varepsilon_t)$$

Kde  $y_t$  je hodnota modelovaného ukazatele v čase  $t$ ,  $t=1,2,\dots,n$ ,  $\varepsilon_t$  je hodnota náhodné složky (poruchy) v čase  $t$ . K modelu tohoto typu lze přistoupit třemi způsoby

- Klasický formální model
- Boxova-Jenkinsova metodologie
- Spektrální analýza

V tomto textu budeme pro modelování časových řad používat klasický formální model časové řady dále řešený v (5), (6), (7). Problematika Boxovy-Jenkinsovy metodologie je zkoumána v (8), (9). Přístupy pro modelování pomocí nástrojů spektrální analýzy lze nalézt v (8), (10).

Klasický model vychází z dekompozice řady na čtyři složky. Tyto složky tvoří systematickou část průběhu časové řady a cílem modelování je co nejlépe popsat chování sledovaného procesu. Souběžná existence všech čtyř složek není nutná (může chybět určitá složka). Časovou řadu lze v obecném případě dekomponovat na

- Trendovou složku  $T_t$
- Sezónní složku  $S_t$
- Cyklickou složku  $C_t$
- Náhodnou složku  $\varepsilon_t$

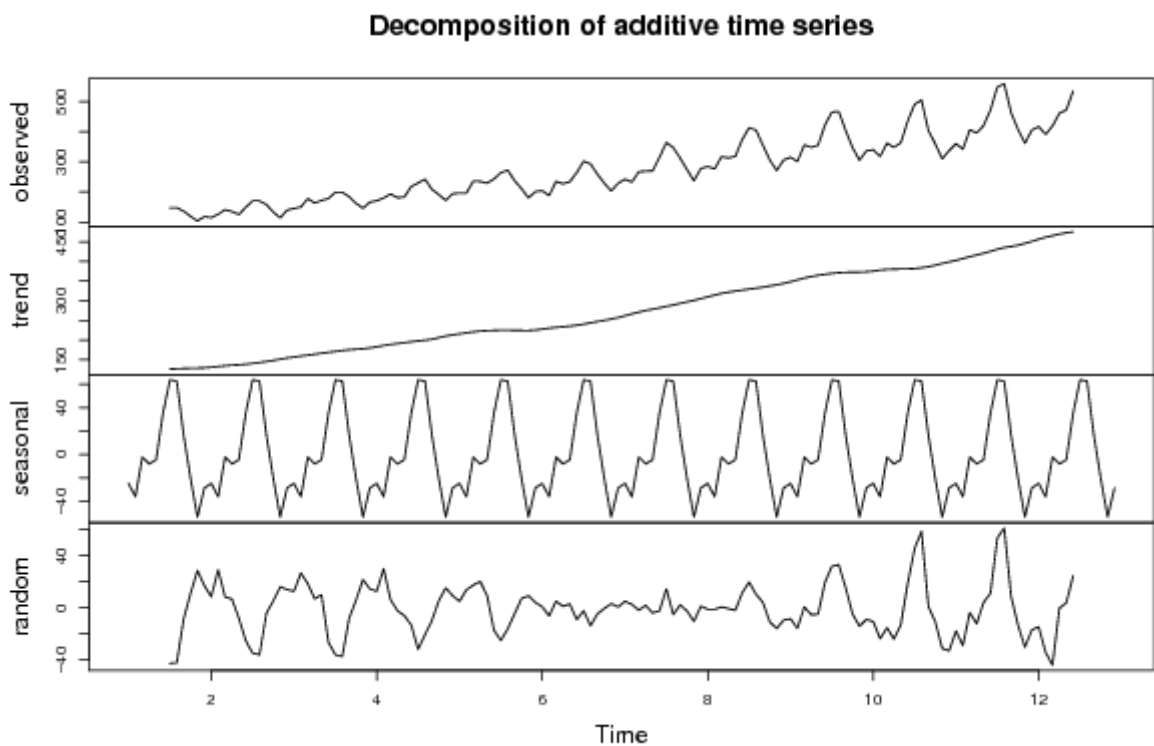
Trendovou složkou  $T_t$  rozumíme hlavní tendenci dlouhodobého vývoje hodnot analyzovaného ukazatele. Trend může být rostoucí, klesající nebo konstantní.

Sezónní složka  $S_t$  představuje pravidelně se opakující odchylku od trendové složky. Tato složka se vyskytuje u časových řad s periodicitou kratší než rok. Příčiny sezónních výkyvů mohou být různé, mohou mít ale na dynamiku časové řady značný vliv.

Cyklická složka  $C_t$  představuje kolísání okolo trendu z hlediska dlouhodobého vývoje ekonomiky či další exogenních faktorů. V tomto kontextu lze uvést demografické či inovační cykly. Sezónní a cyklická složka mohou být spojeny v jednu (5).

Náhodná složka  $\varepsilon_t$  nelze jednoznačně popsat funkcí času. Představuje zbývající část časové řady po vyloučení trendové, sezónní a cyklické složky. Velmi často se jedná o náhodnou veličinu, která může být modelována bílým šumem.

Ukázka dekompozice sledované veličiny na jednotlivé složky je zobrazena na obrázku č. 10.



Obrázek 10: Dekompozice časové řady

Finální podoba modelu časové řady může být ve tvaru

- aditivním, který je popsán rovnicí
 
$$y_t = T_t + S_t + C_t + \varepsilon_t, \quad t = 1 \dots n$$
- multiplikatívním popsaným rovnicí
 
$$y_t = T_t S_t C_t \varepsilon_t, \quad t = 1 \dots n$$

Pro modelování časových řad v oblasti vývoje nákladovostních veličin budeme používat multiplikativní tvar formálního modelu časové řady.

### 3.2. Modelování nákladových veličin v oblasti komplexní údržby

Pro modelování nákladovosti údržby komponent energetických zařízení pomocí softwarového nástroje společnosti AWB je důležité specifikovat časový vývoj následujících veličin

- Cen práce
- Cen materiálu
- Cen vybavení

Datovým zdrojem pro modelování těchto veličin je Český statistický úřad (dále CZSO) (11). Modelování práce počítá s průměrnou hrubou mzdou pracovníků v oblasti energetiky. Vývoj této veličiny je sledován CZSO a je umístěn na internetových stránkách. Pro vývoj cen materiálu a vybavení jsou použita historická data vývoje cenové hladiny v České republice. Zdroje dat pro detailní zkoumání časového vývoje jednotlivých veličin jsou volně k dispozici. Data je možné dále použít pro aktualizaci parametrů modelu.

V následující části textu bude popsán postup modelování jednotlivých složek časových řad. Bude zmíněna volba trendové funkce a možnost výpočtu sezónní složky. Pro naši problematiku postačí znalost trendové a částečně sezónní složky. Cyklická a náhodná složka jsou podrobněji popsány v literatuře (7).

Základní složku časové řady tvoří trendová funkce  $T_t$ . Odhad trendové funkce provádíme pomocí metody nejmenších čtverců aplikovaných na dostupná data z CZSO. Detailní popis metody nejmenších čtverců je k nahlédnutí v literatuře. Nejčastěji používaným typem trendové funkce je lineární trendová přímka.

$$T_t = \beta_0 + \beta_1 t$$

kde:  $\beta_0$ ... absolutní člen trendové přímky

$\beta_1$ ... lineární člen trendové přímky

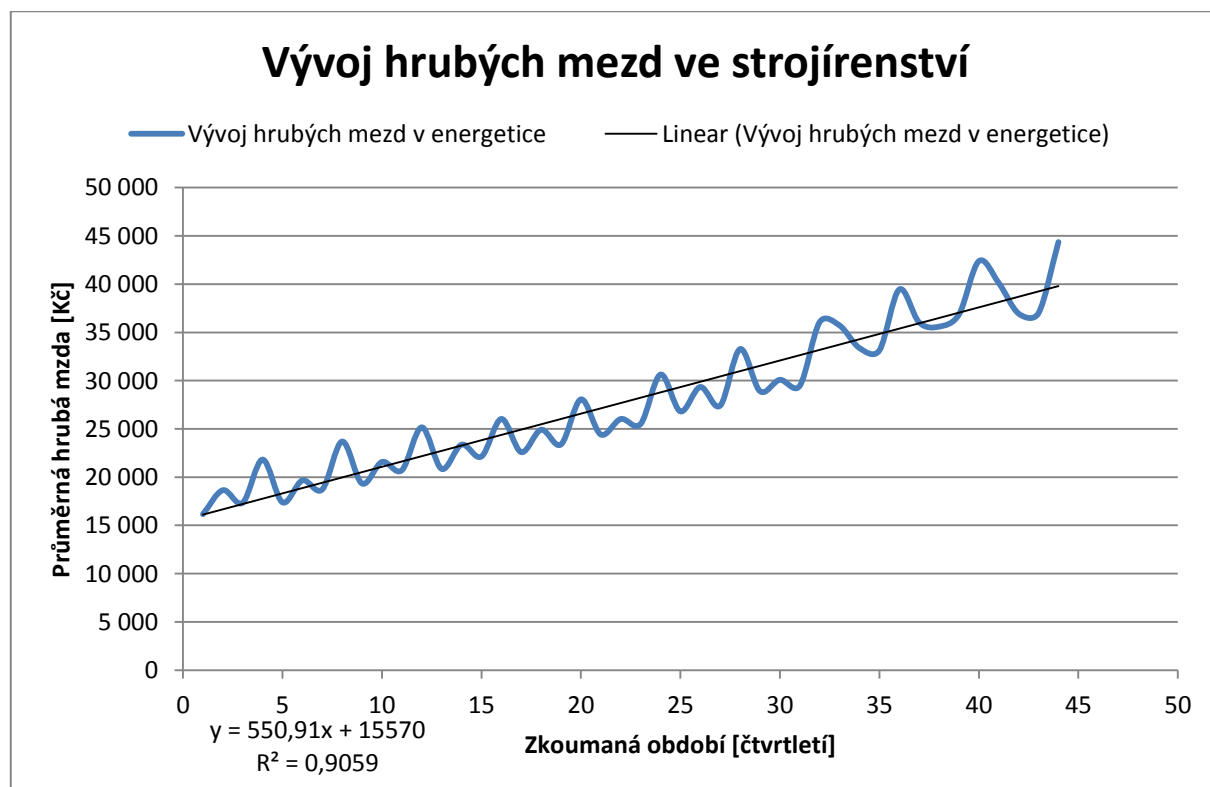
Tento typ trendové funkce budeme uvažovat při modelování nákladovosti komponent energetických zařízení.

### 3.2.1. Modelování vývoje cen práce

Vývoj průměrných hrubých mezd byl zkoumán čtvrtletně v období mezi lety 2000-2010. Na obrázku č. 11 je vidět lineární trendová funkce pro vývoj hrubých mezd v energetice. Z rovnice lineárního trendu je vidět, že mzdy rostly čtvrtletně v průměru o 551 Kč. Zvolená struktura trendové funkce vystihuje dynamiku sledované veličiny přibližně z 90%, jak ukazuje koeficient determinace<sup>3</sup>.

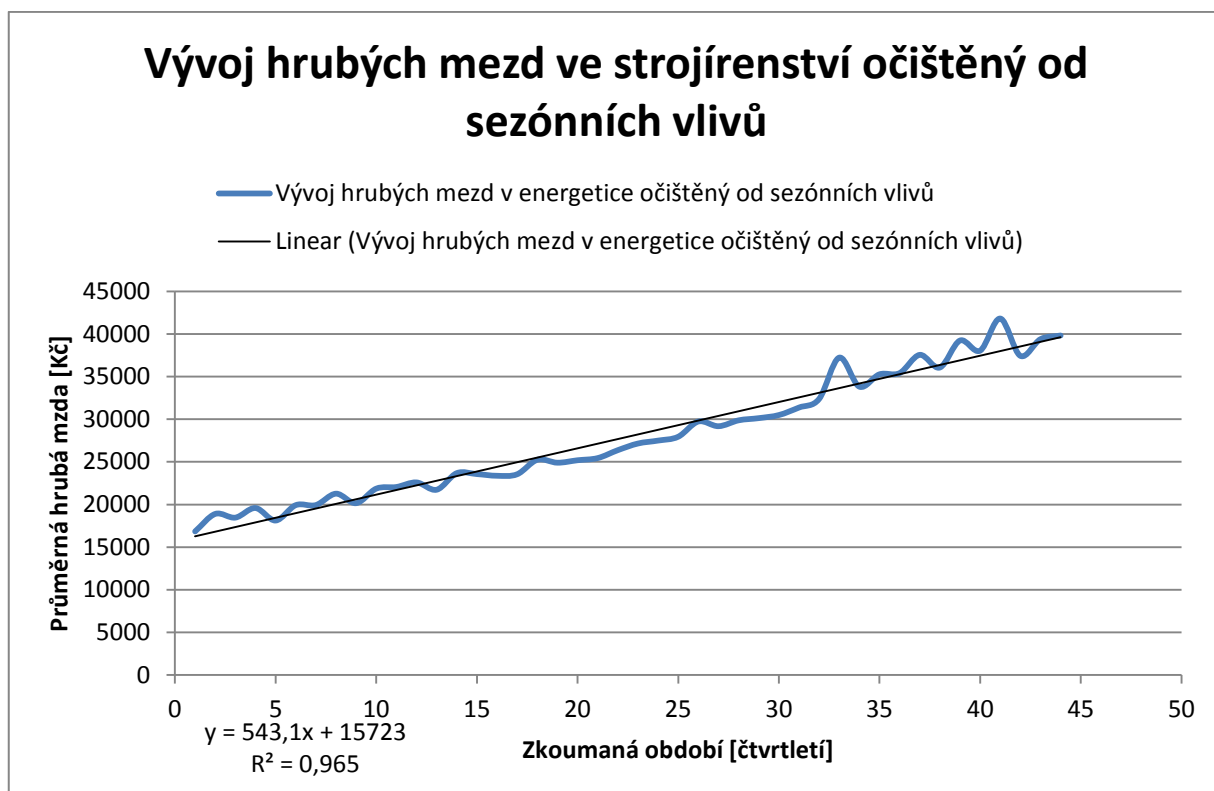
Na obrázku č. 11 je také patrné, že data obsahují určitou sezónní složku. Důkaz přítomnosti sezónní složky lze provést pomocí testu hypotézy o existenci sezónnosti. Postup testování hypotézy je uveden v literatuře (7). Pokud je prokázána existence sezónní složky ve sledované veličině, lze použít statistických metod pro očištění sledované veličiny od sezónních vlivů.

Na obrázku č. 12 je použita metoda empirických sezónních indexů (7). Z výsledků je patrné, že se podařilo odhadnout vliv sezónní složky a zlepšit tak přesnost odhadu lineárního trendu. Zvolená funkce vystihuje dynamiku sledované veličiny z 96,5%. Sledovanou veličinu lze popsat pomocí trendu a sezónního faktoru.



Obrázek 11: Vývoj hrubých mezd ve strojírenství

<sup>3</sup> <http://home.zcu.cz/~friesl/hpsb/koefdet.html>



Obrázek 12: Vývoj mezd očištěný od sezónních vlivů

Období	Sezónní očišťující faktor
<b>1. čtvrtletí</b>	1,042188
<b>2. čtvrtletí</b>	1,013225
<b>3. čtvrtletí</b>	1,064502
<b>4. čtvrtletí</b>	0,897565

Tabulka 7: Hodnoty sezónních faktorů pro vývoj hrubých mezd v energetice

Z tabulky vidíme, že největší sezónnost vykazuje 4. čtvrtletí, což ilustruje obrázek č. 2. Čtvrté čtvrtletí se dlouhodobě pohybuje přibližně 11,4 % nad dlouhodobým normálem. Ostatní čtvrtletí jsou dlouhodobě pod normálem. Konkrétně 3. čtvrtletí o 6,45%, 2. čtvrtletí o 1,3% a 1. čtvrtletí o 4,2%.

Nyní máme k dispozici rovnici trendové složky a sezónní faktory. Příklad výpočtu odhadu pro následující období (Q1 2011) bude

$$\hat{y}_{t+1} = f(T_{t+1}, S_{t+1})$$

Dosadíme do obecné rovnice a dostáváme tvar

$$\hat{y}_{t+1} = \frac{\beta_0 + \beta_1 t}{S_{i,j}}$$

$$\hat{y}_{45} = \frac{(543,1 * 45 + 15723)}{1,042188}$$

$$\hat{y}_{45} = 38\,536,7 \text{ Kč}$$

kde:  $\hat{y}_{t+1}$  ... odhad vývoje mezd v energetice v následujícím období (Q1 2011)

$S_{i,j}$  ... sezónní faktor pro následující období

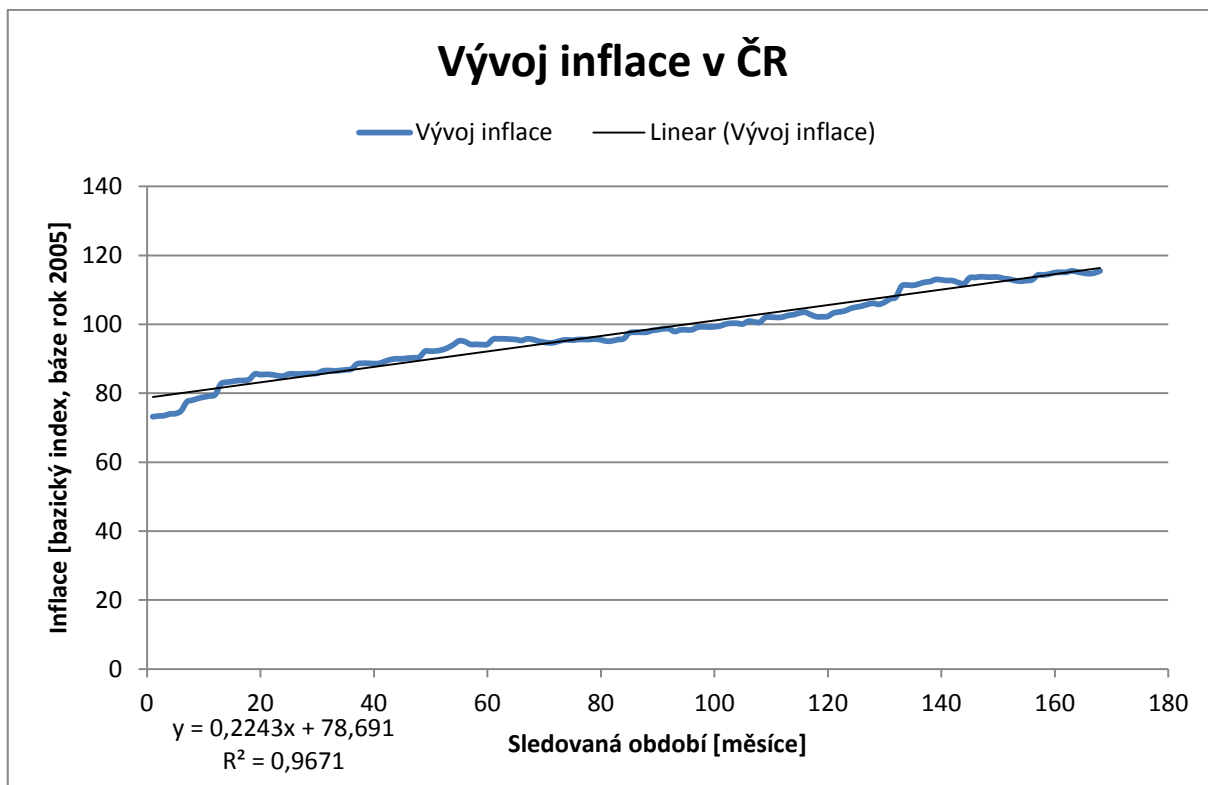
### 3.2.2. Modelování vývoje cen materiálu a vybavení

Pro odhad vývoje cen materiálu a vybavení používáme data o vývoji inflace. Z dat shromážděných z CZSO je metodou nejmenších čtverců odhadnut lineární trend vývoje inflace v ČR. V modelu pracujeme s historickými daty v letech 1997-2011. Na stránkách CZSO je měsíčně vyhlášována míra inflace za minulý měsíc. Tuto veličinu lze tedy modelovat v měsíčním horizontu. Vývoj inflace ve sledovaných letech a výsledný lineární trend jsou zobrazeny na obrázku č. 13. Hodnoty závislé proměnné na obrázku č. 13 jsou vynášeny v podobě bazických indexů<sup>4</sup>. Jako báze je použit průměr z roku 2005.

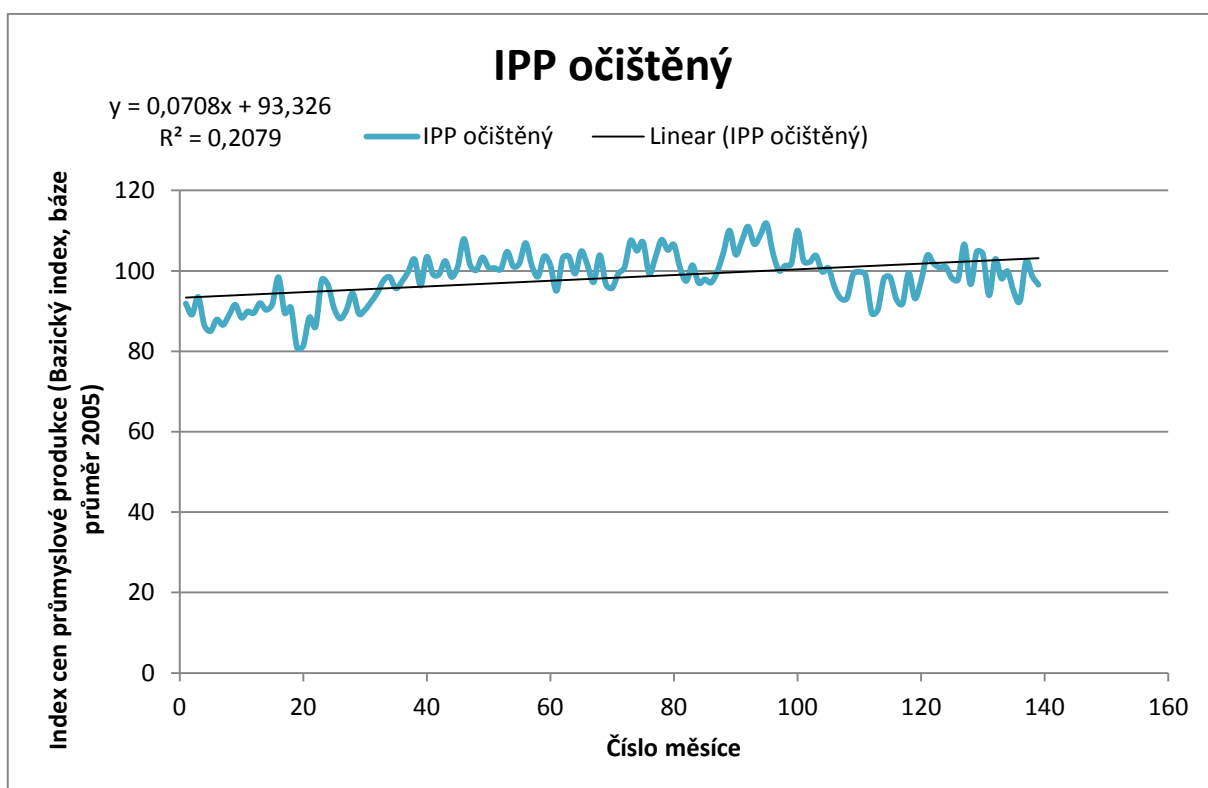
Na obrázku č. 14 je zobrazen vývoj indexu cen průmyslové produkce<sup>5</sup> (IPP) očištěného od sezónních vlivů. Tato veličina je použitelná při odhadu vývoji cen v průmyslu. Tato veličina charakterizuje všeobecný vývoj cenové hladiny průmyslové produkce.

<sup>4</sup> <http://staff.utia.cas.cz/novovic/files/Indexy-fo.pdf>

<sup>5</sup> [http://vdb.czso.cz/vdbvo/mi/mi\\_ukazatel.jsp?kodukaz=2213](http://vdb.czso.cz/vdbvo/mi/mi_ukazatel.jsp?kodukaz=2213)



Obrázek 13: Vývoj inflace v ČR



Obrázek 14: Vývoj indexu cen průmyslové produkce očištěný



### 3.2.3. Zhodnocení implementace časových řad do oblasti komplexní údržby

Časové řady představují velmi rozšířenou metodu zkoumání vývoje sledovaných veličin v daném časovém období. Jde o velmi používaný nástroj v ekonomii, ekonometrii, statistice či prognostice. Snaha popsat co nejlépe chování sledované veličiny byla vždy spojena s možností předpovídání budoucího vývoje. Tyto nástroje mohou být použity pro odhad vývoje celé řady veličin např. vývojem cen na akciových či komoditních trzích. Použití ve statistice je neoddiskutovatelné. Český statistický úřad tyto metody již dlouhou dobu používá. Dlouhodobě vyvíjený model inflace v ČNB, pomocí kterého naše centrální banka tak úspěšně cíluje inflaci, je opět dílem těchto matematických metod.

Implementace časových řad v oblasti údržby komponent systému energetických zařízení používá datové zdroje Českého statistického úřadu k ocenění nákladů na opravy jednotlivých komponent. Pokud máme k dispozici údaje o opravě komponenty z předcházejícího období, můžeme zjistit, kolik by daná oprava stála nyní. Znalost dynamiky vývoje cen v oblasti průmyslu nám umožňuje efektivně převádět historická data oprav na aktuální hodnoty. Při znalosti dynamiky vývoje cen je také možné prognózovat ceny budoucích oprav komponent systému. Můžeme tedy při znalostech spolehlivostních dat naplánovat budoucí údržbový cyklus, který bude oceněn prognózovanými cenami daného období.

Přepoččet oprav na aktuální cenu						
<i>Přepočítává historické ceny oprav podle aktuálního data na základě navržené datové základny</i>						
Název opravy	Datum opravy	Náhr. Díly	Vybavení	Práce	Historická cena	Aktuální cena
REVIZE HYDROSPojKY	23.9.2010	500	0	11700	12200	12444,64
EA 31.31 - UCPÁVKA	25.6.2010		0	705	705	714,16
UCPANE OLEJOVÉ POTRUBÍ	17.6.2010	1500	0	12400	13900	14080,52
REVIZE HYDROSPojKY	23.9.2009	500	0	11700	12200	12688,00
REVIZE HYDROSPojKY	23.9.2008	500	0	11700	12200	12665,48
Stanovení hodnoty průměrné opravy						
<i>Pro vybraný druh opravy je vypočtena její průměrná hodnota</i>						
Název opravy	Datum opravy	Náhr. Díly	Vybavení	Práce	Historická cena	Aktuální cena
REVIZE HYDROSPojKY	23.9.2010	500	0	11700	12200	12444,64
REVIZE HYDROSPojKY	23.9.2009	500	0	11700	12200	12688,00
REVIZE HYDROSPojKY	23.9.2008	500	0	11700	12200	12665,48
<b>Průměrná hodnota opravy</b>						<b>12599</b>
Rozdělení proporcionálních koeficientů opravy						
<i>Výpočet koeficientů pro části opravy</i>						
Název opravy	Mzdový koeficient	Koef pro náhr. díly	Koef. vybavení	Mzdová část	Část náhr. Dílů	Část vybavení
REVIZE HYDROSPojKY	0,96	0,04	0,00	12083,01	516,37	0,00

## 4. Nástroje risk analýzy v oblasti komplexní údržby

V této kapitole jsou definovány základní pojmy z oblasti analýzy a řízení rizika. Definujeme pojem riziko a uvádíme jeho moderní interpretace. Poté jsou představeny metody pro provádění analýzy rizika. Termíny použité v této kapitole vychází z (12), (13).

### 4.1. Definice rizika

Označení riziko je historický termín, který se objevil v souvislosti s rozvojem lodní dopravy. Výraz „risico“ pochází z italštiny a představuje úskalí, kterému se museli lodní navigátoři vyhnout. Následně se jím vyjadřovalo „vystavení nepříznivým vlivům“. Ve starších odborných publikacích lze pod tímto heslem najít vysvětlení, že jde o odvalu či nebezpečí, případně že „riskovat“ znamená odvážit se něčeho. V novější literatuře se objevuje význam ve smyslu možné ztráty. Dnes víme, že nebezpečí představuje něco poněkud jiného a v teorii rizika souvisí s hrozbou. Podle dnešních výkladů se rizikem obecně rozumí nebezpečí vzniku škody, poškození, ztráty či zničení, případně nezdaru při podnikání.

Neexistuje jedna obecně uznávaná definice, pojem riziko je definován různě:

1. Pravděpodobnost či možnost vzniku ztráty, obecně nezdaru.
2. Variabilita možných výsledků nebo nejistota jejich dosažení.
3. Odchýlení skutečných a očekávaných výsledků.
4. Pravděpodobnost jakéhokoliv výsledku, odlišného od výsledku očekávaného.
5. Situace, kdy kvantitativní rozsah určitého jevu podléhá jistému rozdělení pravděpodobnosti.
6. Nebezpečí negativní odchylky od cíle (tzv. čisté riziko).
7. Nebezpečí chybného rozhodnutí.
8. Možnost vzniku ztráty nebo zisku (tzv. spekulativní riziko).
9. Neurčitost spojená s vývojem hodnoty aktiva (tzv. investiční riziko).
10. Střední hodnota ztrátové funkce.
11. Možnost, že specifická hrozba využije specifickou zranitelnost systému.

Z hlediska řízení rizik v oblasti komplexní údržby energetických zařízení je vhodné vycházet z chápání rizika jako možnosti, že s určitou pravděpodobností dojde k události, jež se liší od předpokládaného stavu či vývoje. Riziko by nicméně nemělo být

směšováno, respektive redukováno na pouhou pravděpodobnost, neboť zahrnuje jak samotnou pravděpodobnost, tak kvantitativní rozsah dané události vyjádřené v určité peněžní hodnotě nastalé události.

V ekonomii je pojem „riziko“ užíván v souvislosti s nejednoznačností průběhu určitých skutečných ekonomických procesů a jejich výsledků; obecně lze samozřejmě konstatovat, že se nemusí jednat pouze o riziko ekonomické. Technický obor také ve velké míře pracuje s pojmem „riziko“. Jsou vyvinuty komplexní metody pro kvantifikaci rizika a metody pro jeho redukci. Pro správnou kvantifikaci následků potřebují ekonomové technická data jednotlivých zařízení, zejména data o dostupnosti a spolehlivosti analyzovaných zařízení.

Máme-li hovořit o riziku, musí existovat alespoň dvě varianty řešení. Víme-li s jistotou, že dojde ke ztrátě, nelze hovořit o riziku. Investice do základních prostředků například obvykle zahrnují znalost toho, že prostředky podléhají fyzickému znehodnocování a že jejich hodnota bude klesat. Výsledek je zde jistý a riziko neexistuje. (Riziko je spjato s rozhodnutím, jaké jsou možné následky různě vysokých investic do diagnostického informačního systému.)

V analýze je vhodné předpokládat alespoň jeden z možných výsledků za nežádoucí. V obecném slova smyslu může jít o ztrátu, kdy jistá část funkcionalit je ztracena či dočasně omezena. Například může dojít k poklesu výkonu, který bude dodáván turbínou, pokud dojde k závadě na některé z jejích komponent. Pokud by byla porucha lépe a včas identifikována, nemuselo by k poklesu výkonu turbíny dojít a nedošlo by tak k poklesu zisku.

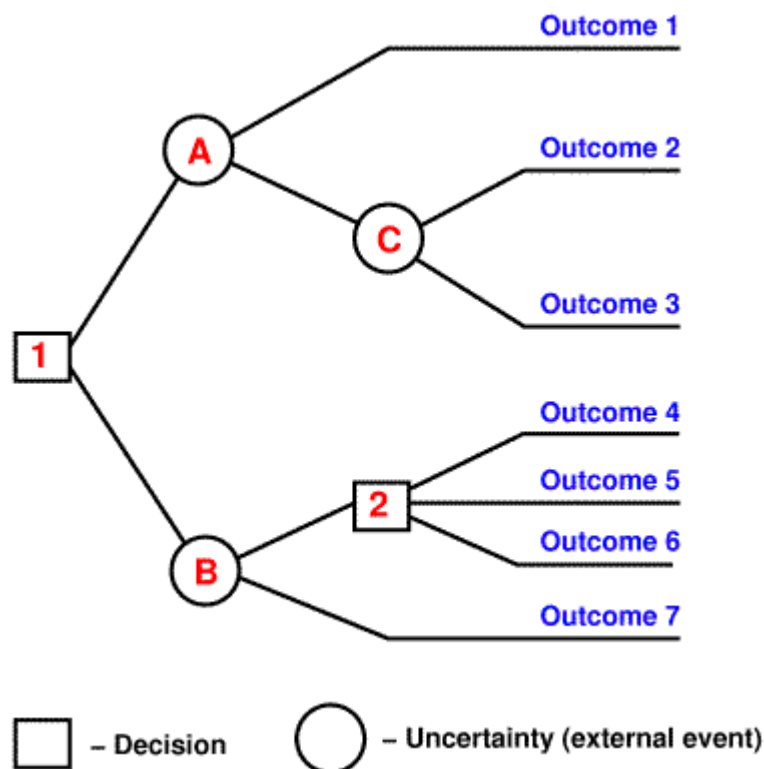
S rizikem ve firmě je obvykle těsně svázán další pojem, a to pojem změny (nejčastěji ekonomické) veličiny (charakteristiky systému) v čase, která nabude oproti očekávaným hodnotám pozitivní nebo častěji negativní odchylky. Změnu tedy musíme chápat jako proces, jehož charakteristiky se v čase mění. Riziko definujeme jako podmínku reálného světa, v němž existuje vystavení nepříznivým okolnostem. Konkrétněji řečeno: riziko je situace, v níž existuje možnost nepříznivé odchylky od žádoucího výsledku, ve který doufáme nebo ho očekáváme.

Říkáme-li, že událost je možná, říkáme vlastně, že její pravděpodobnost leží mezi hodnotou nula a hodnotou jedna; není ani nemožná, ani jistá. Také si všimněme, že se nevyžaduje měřitelnost pravděpodobnosti – pouze její existence. Stupeň rizika můžeme

být schopni měřit, ale nemusíme. Avšak pravděpodobnost nepříznivého výsledku musí ležet mezi 0 a 1. Tuto pravděpodobnost lze za určitých okolností (při dostatku informací) popsat příslušnou statistickou funkcí pravděpodobnostního rozložení.

Nežádoucí událost je popsána jako „nepříznivá odchylka od žádoucího výsledku, v němž doufáme nebo který očekáváme“. Jedinec doufá, že se nepříznivé okolnosti neobjeví – právě pravděpodobnost, že se jeho naděje nenaplní, zakládá riziko.

Pro reprezentaci rozhodovacích situací a definici všech možných výstupů daného problému se často používají rozhodovací stromy (viz. obrázek č. 15).



Obrázek 15: Rozhodovací situace

#### 4.2. Analýza rizik

Prvním krokem při procesním snižování rizik je logicky jejich analýza. Analýza rizik je obvykle chápána jako proces definování hrozeb, pravděpodobnosti jejich uskutečnění a dopadu na aktiva, tedy stanovení rizik a jejich závažnosti. Navazující aktivitou je řízení rizik (management rizik).

Analýza rizik by měla zahrnovat tyto základní aktivity:

**identifikaci komponent** – vymezení posuzovaného subjektu a popis komponent, které jsou jeho součástí,

**stanovení hodnoty komponent** – určení hodnoty komponent a jejich význam pro subjekt, ohodnocení možného dopadu jejich ztráty, změny či poškození na existenci či chování subjektu,

**identifikaci hrozeb a slabin** – určení druhů událostí a akcí, které mohou ovlivnit negativně hodnotu aktiv, určení slabých míst subjektu, které mohou umožnit působení hrozeb,

**stanovení závažnosti hrozeb a míry zranitelnosti** – určení pravděpodobnosti výskytu hrozby a míry zranitelnosti subjektu vůči dané hrozbě.

Kvalitní řešení jakéhokoliv problému v jakékoliv oblasti je vždy postaveno na kvalitní analýze rizik, která je základním vstupem pro řízení rizik.

Výsledky hodnocení rizik pomohou určit odpovídající kroky vedení organizace i priority pro zvládání rizik a pro realizaci opatření určených k zamezení jejich výskytu. Je možné, že proces hodnocení rizik a stanovení opatření bude třeba opakovat několikrát, aby byly pokryty různé části subjektu (organizace) nebo jednotlivé činnosti.

V každém případě je nutné si již na počátku stanovit úroveň, na jakou chceme analyzovaná rizika eliminovat. Snaha o odstranění všech rizik by samozřejmě vedla k neúměrným nákladům při realizaci příslušných opatření a zákonitě by se podepsala i na funkčnosti daného subjektu. (Klasickým příkladem je v minulosti několikrát úspěšně uskutečněný způsob stávků zaměstnanců v železniční či letecké dopravě, který spočíval pouze v tom, že byly do poslední čárky dodržovány všechny existující předpisy. Jiným příkladem může být oblíbené tvrzení správců sítě, že nefungující počítač nemůže nikdo ohrozit virem.)

### 4.3. Základní pojmy analýzy rizik

#### 4.3.1. Aktivum (komponenta)

Aktivum je všechno, co má pro subjekt hodnotu, která může být zmenšena působením hrozby. Aktiva se dělí na hmotná (například nemovitosti, cenné papíry, peníze apod.), nehmotná (například informace, předměty průmyslového a autorského práva, morálka pracovníků, kvalita personálu apod.) a finanční. Aktivem ale může být sám subjekt, neboť hrozba může působit na celou jeho existenci.

Základní charakteristikou aktiva je hodnota aktiva, která je založena na objektivním vyjádření obecně vnímané ceny nebo na subjektivním ocenění důležitosti (kritičnosti) aktiva pro daný subjekt, popřípadě kombinaci obou přístupů. Hodnota aktiva je relativní v závislosti na úhlu pohledu hodnocení.

Při hodnocení aktiva se berou v úvahu především následující hlediska:

- pořizovací náklady či jiná hodnota aktiva,
- důležitost aktiva pro existenci či chování subjektu,
- náklady na překlenutí případné škody na aktivu,
- rychlost odstranění případné škody na aktivu,
- jiná hlediska (mohou být specifická případ od případu).

Další charakteristikou aktiva, která vyjadřuje jeho citlivost na působení hrozby, je zranitelnost, která bude charakterizována dále.

Příklad komponent systému je uveden v tabulce č. 8.

<b>Komponenty</b>
NT rychlozávěrný záchytný ventil (RZZV) – NT RZZ ventil (klapka)
NT rychlozávěrný záchytný ventil (RZZV) – zpětná RZ klapka
Vstřikovací ventily přepouštěcí stanice – dodatečný vstřik
VT parní potrubí (od VT uzávěru k turbině)
ST parní potrubí (od ST armatury k turbině)
NT převáděcí potrubí
VT rychlozávěrný regulační ventil (RZRV) – rychlozávěrný ventil (RZ)
VT přepouštěcí stanice
NT přepouštěcí stanice
Vnější NT těleso – vnější NT těleso - Nízkotlaková část I
Příslušenství VT tělesa – dýzové ventily
Příslušenství NT tělesa – rozváděcí kola - Nízkotlaková část I
VT těleso – dýzová komora
VT rotor – rotor – hřídel
VT rotor – lopatkování rotoru
VT rotor – spojka
VT těleso – vnější těleso
VT těleso – vnitřní těleso
VT těleso – nosič rozváděcích kol
VT těleso – dýzový segment
Příslušenství VT tělesa – závěsy a ucpávky rozváděcích kol
Přední ložiskový stojan – přední VT ložiskový stojan

<b>Komponenty</b>
Přední ložiskový stojan – ložisko ve stojanu
NT rotor a spojky – lopatkování rotoru - Nízkotlaková část I
NT rotor a spojky – spojka ST - NT - Nízkotlaková část I
NT rotor a spojky – spojka NT – alternátor - Nízkotlaková část I
Vstřikovací ventily přepouštěcí stanice – VT vstřikovací ventil
Vstřikovací ventily přepouštěcí stanice – NT vstřikovací ventil
Příslušenství VT tělesa – rozváděcí kola
ST rotor – lopatkování rotoru
Vnitřní NT těleso – vnitřní NT těleso - Nízkotlaková část I
Příslušenství NT tělesa – ucpávky rozváděcích kol - Nízkotlaková část I
Zadní ložiskový stojan – zadní VT ložiskový stojan

**Tabulka 8: Ukázka možných komponent systému**

### **4.3.2. Hrozba**

Hrozba je síla, událost či aktivita, která má nežádoucí vliv na bezpečnost nebo může způsobit škodu. Hrozbou může být například požár, přírodní katastrofa, krádež zařízení, získání přístupu k informacím neoprávněnou osobou, chyba obsluhy, ale i kontrola finančního úřadu nebo růst kursu české koruny vzhledem k evropské měně, apod.

Škoda, kterou způsobí hrozba při jednom působení na určité aktivum, se nazývá následky hrozby. Následky hrozby mohou být odvozeny od absolutní hodnoty ztrát, do které jsou zahrnuty náklady na znovuobnovení činnosti aktiva nebo náklady na odstranění následků škod způsobených subjektu hrozbou.

Případy popisu hrozeb, které mohou nastat při modelování údržby energetických zařízení, jsou uvedeny v tabulce č. 9.

<b>Hrozby</b>
Opotřebení – adhezivní (špatné mazání navzájem se pohybujících ploch – ložiska)
Opotřebení - abrazivní (vydírání tvrdými částicemi – cizí tělíska na pohybujících se plochách)
Opotřebení - erozivní vodou
Opotřebení – erozivní parou
Opotřebení – erozivní pevnými částicemi
Opotřebení – korozní eroze
Opotřebení – kavitační
Opotřebení – vibrační (pouze povrch materiálu)
Opotřebení -ostatní druhy opotřebení
Únava materiálu
Tečení materiálu
Stárnutí materiálu (nekovové materiály např. izolace)
Koroze – vodou, parou nebo kondenzátem
Koroze – vlhkou struskou



Koroze – spaliny nízkoteplotní
Koroze – spaliny vysokoteplotní
Koroze – vysokoteplotní na straně cirkulujícího média
Koroze – mezikrystalická
Koroze – bludnými proudy
Koroze – vlivem působení chemikálií
Koroze – ostatní druhy koroze (např. povětrnostní vlivy)

Tabulka 9: Hrozby

### 4.3.3. Následky hrozby

Zranitelnost je nedostatek, slabina nebo stav analyzovaného aktiva (případně subjektu nebo jeho části), který může hrozba využít pro uplatnění svého nežádoucího vlivu. Tato veličina je vlastností aktiva a vyjadřuje, jak citlivé je aktivum na působení dané hrozby. Příklady následků hrozeb jsou uvedeny v tabulce č. 10.

Následky
Provoz se sníženým výkonem v rámci zálohy vyžádané výrobou (EZ) (požadavek vznikl náhle)
Provoz se sníženým výkonem v rámci zálohy vyžádané výrobou (EZ) (požadavek uplatněný v týdenní přípravě provozu)
Provoz se sníženým výkonem v rámci zálohy vyžádané výrobou (EZ) (požadavek uplatněný v měsíční přípravě provozu)
Prostoj v rámci zálohy vyžádané výrobou (EZ) (požadavek vznikl náhle)
Prostoj v rámci zálohy vyžádané výrobou (EZ) (požadavek uplatněný v týdenní přípravě provozu)
Prostoj v rámci zálohy vyžádané výrobou (EZ) (požadavek uplatněný v měsíční přípravě provozu)
Zálohový prostoj, při kterém byla provedena oprava zařízení, jehož porucha způsobila snížení výkonu HTC (požadavek vznikl náhle)
Zálohový prostoj, při kterém byla provedena oprava zařízení, jehož porucha způsobila snížení výkonu HTC (požadavek uplatněný v týdenní přípravě provozu)
Zálohový prostoj, při kterém byla provedena oprava zařízení, jehož porucha způsobila snížení výkonu HTC (požadavek uplatněný v měsíční přípravě provozu)
Prostoj v rámci jiných vlivů z důvodu uvnitř elektrárny (požadavek vznikl náhle)
Prostoj v rámci jiných vlivů z důvodu uvnitř elektrárny (požadavek uplatněný v týdenní přípravě provozu)
Prostoj v rámci jiných vlivů z důvodu uvnitř elektrárny (požadavek uplatněný v měsíční přípravě provozu)
Odstranění poruchy v rámci „běžné opravy poruchové“ (požadavek vznikl náhle)
Odstranění poruchy v rámci „běžné opravy poruchové“ (požadavek uplatněný v týdenní přípravě provozu)
Odstranění poruchy v rámci „běžné opravy poruchové“ (požadavek uplatněný v měsíční přípravě provozu)
Porucha na společném příslušenství elektrárny
Závada
Provoz s poruchovým snížením výkonu

Tabulka 10: Následky hrozeb

#### **4.3.4. Protiopatření**

Protiopatření je postup, proces, procedura, technický prostředek nebo cokoliv, co bylo speciálně navrženo pro zmírnění působení hrozby (její eliminaci), snížení zranitelnosti nebo dopadu hrozby. Protiopatření se navrhuje s cílem předejít vzniku škody nebo s cílem usnadnit překlenutí následků vzniklé škody.

Z hlediska analýzy rizik je protiopatření charakterizováno efektivitou a náklady. Efektivita protiopatření vyjadřuje, nakolik protiopatření sníží účinek hrozby. Používá se ve fázi zvládnání rizik jako jeden z hlavních parametrů při hodnocení vhodnosti použití daného protiopatření.

Protiopatření se zaměřují na oblasti snížení úrovně hrozby, snížení úrovně zranitelnosti, snížení následků působení hrozby, detekce nežádoucího vlivu s cílem včas indikovat působení hrozby a předejít možnosti jejího plného uplatnění, dále se pak zaměřují na oblast obnovení činnosti po působení hrozby.

V našem zkoumání se budeme důkladně zabývat problematikou protiopatření ve formě zavedení metrologie k energetickým zařízením. Provedeme analýzu citlivosti zvolené metrologie na vybrané faktory (nákladovost, spolehlivost). Tato problematika je dále zkoumána v kapitole 6.

#### **4.3.5. Riziko**

Nyní se opět dostáváme k riziku. Ve smyslu předchozích definic riziko vyjadřuje míru ohrožení aktiva, míru nebezpečí, že se uplatní hrozba a dojde k nežádoucímu výsledku vedoucímu ke vzniku škody. Velikost rizika je vyjádřena jeho úrovní. Riziko vzniká vzájemným působením hrozby a aktiva. Hrozba, která nepůsobí na žádné aktivum, nemusí být při analýze rizik brána v úvahu a současně aktivum, na které nepůsobí žádná hrozba, není předmětem analýzy rizik.

Jediný faktor, který snižuje hodnotu rizika jsou protiopatření. Při návrhu protiopatření se používá pravidlo, které stanovuje, že náklady vynaložené na snížení rizika musí být přiměřené hodnotě chráněných aktiv (případně hodnotě škod, vzniklých dopadem hrozby). S tímto pravidlem souvisí stanovení referenční úrovně rizika, pod kterou se riziko prohlásí za zbytkové a nepodnikají se žádná protiopatření. Analýzy rizika jsou prováděny v kapitole 6.

## 5. Datové zdroje

V následující kapitole jsou představeny datové zdroje užívané pro zpracování analýz v diplomové práci. V práci je pro posuzování poruchovosti zařízení používáno kritérium MTBF<sup>6</sup> (mean time between failures; střední doba mezi poruchami). Data o MTBF jednotlivých zařízení byla získána od společnosti Siemens. Máme k dispozici MTBF pro relevantní komponenty. Dalším zdrojem dat jsou nákupní ceny těchto komponent. Máme tedy k dispozici data o spolehlivosti i nákladovosti jednotlivých zařízení. To je velmi důležité pro zpracovávání dalších analýz. Interaktivní zdroj nákladovostních dat lze nalézt na internetovém portálu společnosti Siemens<sup>7</sup>, na těchto stránkách je možné konfigurovat vlastní zařízení podle specifických požadavků na systém. Česká mutace poskytuje částečné ceníky s cenami produktů uvedených v eurech<sup>8</sup>.

### 5.1. Nákladovostní data

Nákladovostní data představují důležitou součást vstupních dat risk analýzy a často také představují hlavní rozhodovací motiv manažerů. V následující tabulce je uvedena ukázka nákladovostních dat ve formě různých variant CPU a jejich cen.

SIMATIC - CPU <sup>9</sup>	
CENÍK platný od 1.9.2011	Cena
CPU 221; napájecí napětí 24 V DC, tranzistorové výstupy; rozšíření není možné	147 €
CPU 221; napájecí napětí 230 V AC, reléové výstupy; rozšíření není možné	157 €
CPU 222; napájecí napětí 24 V DC, tranzistorové výstupy; rozšíření: 2 moduly	209 €
CPU 222; napájecí napětí 230 V AC, reléové výstupy; rozšíření: 2 moduly	225 €
CPU 224; napájecí napětí 24 V DC, tranzistorové výstupy; rozšíření: 7 modulů	309 €
CPU 224; napájecí napětí 230 V AC, reléové výstupy; rozšíření: 7 modulů	325 €
CPU 224XP; napájecí napětí 24 V DC, tranz. výstupy; rozšíření: 7 modulů; 2A1; 1A0	495 €
CPU 224XPSI; napájecí napětí 24 V DC, tranz. výstupy NPN; rozšíření: 7 modulů; 2A1;	495 €
CPU 224XP; napájecí napětí 230 V AC, rel. výstupy; rozšíření: 7 modulů; 2A1; 1A0	515 €
CPU 226; napájecí napětí 24 V DC, tranzistorové výstupy; rozšíření: 7 modulů	556 €
CPU 226; napájecí napětí 230 V AC, reléové výstupy; rozšíření: 7 modulů	582 €

Tabulka 11: Ceník SIMATIC CPU

<sup>6</sup> [http://en.wikipedia.org/wiki/Mean\\_time\\_between\\_failures](http://en.wikipedia.org/wiki/Mean_time_between_failures)

<sup>7</sup> <https://eb.automation.siemens.com/goos/WelcomePage.aspx?regionUrl=/cz&language=cs>

<sup>8</sup>

[http://www1.siemens.cz/ad/current/content/data\\_files/automatizacni\\_systemy/mikrosystemy/cenik\\_micro\\_2011-09-01\\_cz.pdf](http://www1.siemens.cz/ad/current/content/data_files/automatizacni_systemy/mikrosystemy/cenik_micro_2011-09-01_cz.pdf)

<sup>9</sup> Kurz CZK/EUR uvažujeme 24 Kč/EUR

## 5.2. Spolehlivostní data

K nákladovostním datům máme k dispozici spolehlivostní jednotlivých komponent měřících systémů. V níže uvedené tabulce je přehled MTBF odpovídajících CPU z tabulky č. 12. Tato data jsou k dispozici nejen pro CPU, ale i pro všechny relevantní komponenty měřících systémů.

Type Description	MTBF (year)
CPU 221 DC/DC/DC	19
CPU-221 DC/DC/DC	32
CPU 221 AC/DC/RLY	25
CPU-221 AC/DC/RLY	22
CPU 212 DC/DC/DC	27
CPU 222 DC/DC/DC	26
CPU-222 DC/DC/DC	27
CPU-224XP DC/DC/DC	29
CPU-224XP AC/DC/RLY	26
CPU 215 DC/DC/DC	23
CPU 215 AC/DC/RLY	36
CPU 216 DC/DC/DC	48
CPU 226 DC/DC/DC	42
CPU 226 DC/DC/DC	43
CPU 216 AC/DC/RLY	60
CPU 226 AC/DC/RLY	39
CPU 226 AC/DC/RLY	57

Tabulka 12: MTBF vybraných CPU

Máme tedy k dispozici nákladovostní i spolehlivostní veličiny. Můžeme přejít k definici nástrojů potřebných pro detailní analýzu rizikovosti energetických zařízení.

## 6. Analýza rizik energetických zařízení

V této kapitole budeme aplikovat metody risk analýzy na vybrané části energetických zařízení. Nejprve dojde k identifikaci relevantních komponent daného systému, poté budeme stanovovat možné dopady na chod zařízení, pokud by došlo k poruše. Každá nepříznivá událost bude ohodnocena určitou mírou četnosti. V práci uvádíme pravděpodobnost vzniku pomocí ukazatele MTBF (viz kapitola 4). Na základě analýzy parametrů středních dob mezi poruchami je identifikována kritická komponenta, pro kterou je provedena analýza citlivosti.

Pro řízení komponent technologických procesů se používají průmyslové regulátory spolu s průmyslovými programovatelnými logickými automaty (PLC) a cílem těchto zařízení je dosažení požadovaných vlastností regulované veličiny. Můžeme se snažit např. o:

- Minimalizaci vibrací
- Regulaci požadované teploty
- Udržení požadované viskozity
- Dosažení požadovaného tlaku
- Detekce vířivých proudů v páře

Je tedy nutné získávat určitou informaci z dané komponenty. Musíme ji opatřit senzory, snímající vývoj sledované veličiny. Uvedené typy senzorů lze nalézt v literatuře (14).

Prováděná měření energetických zařízení lze obecně shrnout do těchto základních kategorií:

- Zákonná měření (obligatorní)
- Fakultativní měření nutná pro metrologii
- Fakultativní měření informačního charakteru

Zákonná měření jsou předepsaná vybranými zákony, směrnicemi či normami. V tepelných elektrárnách musí být splňovány příslušné směrnice<sup>10</sup>. Tato norma přesně stanovuje, jaké veličiny mají být v elektrárně sledovány. Obecně platí, že normy v tepelných elektrárnách nejsou tak přísné jako normy pro jaderné elektrárny.

---

<sup>10</sup> ČSN IEC 61226

Fakultativní měření informačního charakteru se zavádí ve specifických případech, kdy požadujeme explicitní znalost dané veličiny, např. informace o vibracích lopatek.

Fakultativní měření pro metrologii slouží k monitorování vybraných veličin pro potřeby obsluhy či managementu. Tato měření jsou vhodná zvláště z ekonomického hlediska. Pokud management energetického zařízení počítá s investicí do kvalitní metrologie, může to být pro společnost velikou zátěží dnes, ale v budoucnu se investice vyplatí. Pokud společnost investuje do vícestupňové ochrany (použití třech čidel místo jednoho), nebude muset investovat do každoroční certifikace samostatně zapojených senzorů. Pokud dojde k rozbití jednoho, máme k dispozici ještě dvě funkční a zařízení je tedy stále schopné plynulého provozu. Senzor nemusí být vyměněn ihned (např. pokud by bylo nutné zastavit chod zařízení). Problém ekonomické náročnosti investice do metrologie na straně jedné a problém maximalizace dostupnosti na straně druhé, jsou velmi častým dilematem managementu energetických společností. Tomuto problému se budeme věnovat v dalším textu.

### 6.1. Identifikace komponent měřícího systému

Pro měření sledovaných veličin daných komponent budeme v dalším textu uvažovat programový logický řídicí systém SIMATIC S7, který je opatřen speciální vložkou ze systému SIMADYN. Tyto programové automaty pocházejí z dílen společnosti Siemens. PLC SIMATIC S7 je zobrazen na následujícím obrázku. Tyto systémy se skutečně používají v praxi při řízení technologických procesů. Čidla přenášejí informaci v podobě fyzikální veličiny do tohoto systému, kde dochází ke zpracování signálu (vyhlazení, digitalizace) a následně generuje předem naprogramovaný akční zásah na základě vstupního signálu.



Obrázek 16: PLC SIMATIC S7

Pro definici komponent měřícího systému je nutné mít znalost o měřícím procesu, obvodech či typu procesoru a regulátoru. Měřená veličina je zachycena senzorem

v podobě fyzikální veličiny (napětí, proud, odpor atd.), daná fyzikální veličina je zpracována obvody pro vyhlazení a zesílení signálu a je přivedena na vstup A/D převodníku<sup>11</sup>, který ji převede na standardizovanou informační veličinu (např. TTL<sup>12</sup>). Daná informační veličina je vstupem SIMADYN regulátoru, který spolu s procesorem vypočte požadovaný akční zásah a zaznamená údaj do připravených datových struktur. Zařízení musí být napájeno zdrojem napětí ze sítě či ze zabezpečeného zdroje (pokud jde o zesílenou ochranu). Pokud je potřeba provést akční zásah, je vhodné umístit k systému D/A převodník, který informační veličinu převede zpět na analogovou hodnotu, která může být vstupem akčního členu, který reguluje danou komponentu.

Pokud shrneme výše popsany proces, můžeme definovat následující relevantní komponenty pro měřicí systémy energetických zařízení:

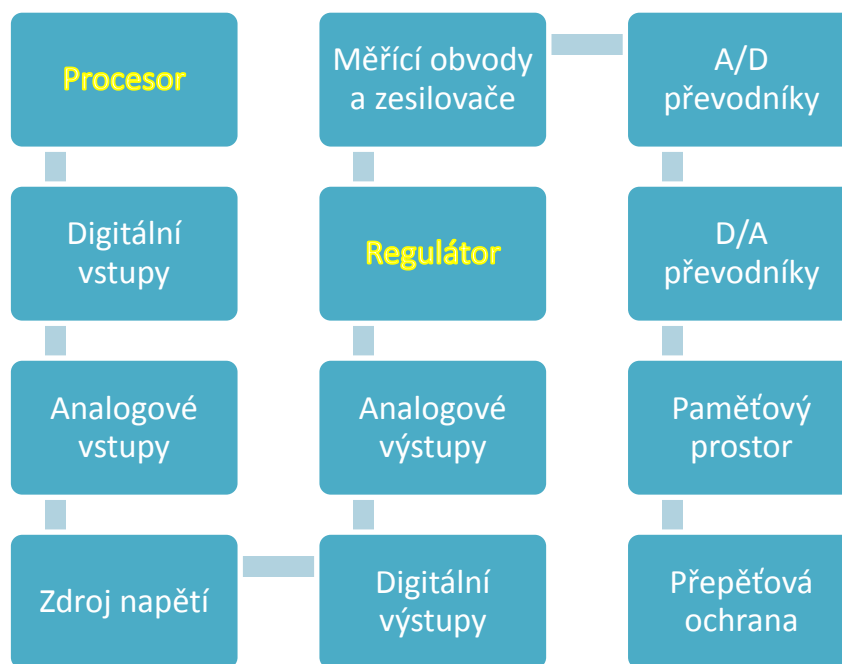
- Vstupní analogový obvod
- Vstupní digitální obvod
- Zdroj napětí
- Centrální výpočetní jednotka (CPU)
- Regulátor
- Výstupní digitální obvod
- Měřicí obvody a zesilovače
- A/D, D/A převodníky
- Paměťový prostor

Pokud uvažujeme jednoduchou ochranu bez zdvojování čidel či paralelních informačních toků, můžeme jednotlivé komponenty spojit sériově a vytvořit model relevantních procesů podle metodiky RCM. Danou problematiku shrnuje obrázek níže. V tomto případě nezáleží na pořadí jednotlivých komponent, dostupnost celého zařízení je ovlivněna MTBF nejslabšího článku v uvedeném řetězci.

---

<sup>11</sup> [http://cs.wikipedia.org/wiki/A/D\\_p%C5%99evodn%C3%ADk](http://cs.wikipedia.org/wiki/A/D_p%C5%99evodn%C3%ADk)

<sup>12</sup> [http://cs.wikipedia.org/wiki/TTL\\_\(logika\)](http://cs.wikipedia.org/wiki/TTL_(logika))



Obrázek 17: Model relevantních komponent měřicího systému

V následující tabulce jsou uvedeny MTBF pro komponenty měřicího systému, které jsou obsaženy ve výše uvedeném modelu.

Typ zařízení	MTBF (roky)
Modul digitálního vstupu	214,9
Modul digitálního výstupu	186,1
Modul analogového výstupu	64,8
Safety Protector	122,9
<b>CPU 226 DC/DC/DC</b>	<b>19</b>
Memory-Card Flash-EPROM 16MB	262
Napájecí adaptér	106,7
Modul analogového vstupu	64,8
<b>Regulátor – Ht100</b>	<b>12,5</b>
A/D převodník	45,8
D/A převodník	45,8
Měr. Obvody a zesilovače	67,4

Tabulka 13: MTBF komponent modelu měřicího systému

Díky znalosti MTBF jednotlivých komponent modelu měřicího systému můžeme identifikovat jeho kritické komponenty. Zvýrazněné komponenty jsou nejnáchylnější k poruchám dle zvoleného ukazatele. Jde tedy o elektronické komponenty, které nejrychleji podléhají opotřebení vzhledem k vlivu častých výpočtů a realizaci akčních zásahů. Konkrétně je MTBF vybrané **výpočetní jednotky** 19 let a střední doba mezi poruchami pro zvolený **regulátor** je dokonce jen 12,5 let. Tyto komponenty jsou na



předchozím obrázku zvýrazněny žlutou barvou. V dalším textu tedy budeme zkoumat ekonomické náklady spojené se snahou o zvýšení MTBF těchto kritických komponent.

Další důležitou komponentou při provádění metrologie je množství a **kvalita senzorů**, které jsou použity pro určení sledované veličiny. Obecně je možné používat různá množství senzorů různé kvality<sup>13</sup>. Jejich hodnoty lze dále statisticky zpracovávat; používané typy a standardizované počty senzorů jsou uvedeny v literatuře (14). Množství a počet senzorů představuje kritickou komponentu systému a budeme ji zkoumat v další části práce. V tabulce č. 14 je uvedeno MTBF použitého senzoru

Detektor	MTBF (roky)
Senzor	12,4

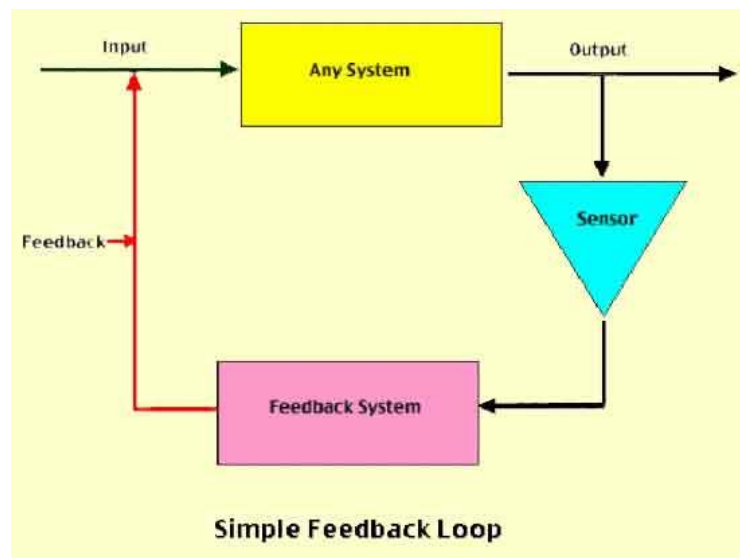
Tabulka 14: MTBF senzorů

## 6.2. Stanovení cen komponent

V kapitole 3.1 byl popsán měřicí systém a jeho kritické části. Do kritických komponent byly dále zahrnuty senzory, které měří danou veličinu. Je nutné si uvědomit, že takto definovaný systém slouží k monitorování dalšího systému. V tabulce č. 8 byl uveden seznam komponent, který může být pomocí měřicího systému regulován a monitorován. Pokud aplikujeme metody používané v systémových přístupech definovaných v literatuře (15), můžeme vyjít z obrázku č. 18. Žlutě označený systém lze definovat jako komponentu energetického systému, která má pro nás určitou finanční hodnotu a u které se snažíme o sledování její spolehlivosti. Na tuto komponentu je umístěn senzor, který sleduje danou veličinu a informuje měřicí a regulační systém. Ten poté na základě vstupu rozhoduje o podobě řízení pro komponentu. Tento model představuje základní jednoduchý zpětnovazební systém.

V této kapitole tedy představíme cenové ohodnocení regulovaných komponent systému spolu s cenami různých druhů regulátorů, které jsou používány v průmyslové regulaci. Dostaneme tak seznam cen jednotlivých komponent s možností výběru různých variant.

<sup>13</sup> V technické literatuře se používá termín třída přesnosti (<http://elektrika.cz/data/clanky/trida-presnosti>)



Obrázek 18: Zpětnovazební systém

V následující tabulce jsou uvedeny ceny komponent, kterými se budeme v textu zabývat spolu s alternativami kritických komponent měřících zařízení.

Ceník komponent měřících systémů <sup>14</sup>		
Regulátor	Ht100	271 €
	HtIndustry	374 €
	ZEPADIG 10	480 €
	TERM 4M	806 €
CPU	CPU 224; napájecí napětí 230 V AC, reléové výstupy;	325 €
	CPU 224XP; napájecí napětí 24 V DC, tranz. výstupy;	495 €
	CPU 224XPSI; napájecí napětí 24 V DC, tranz. výstupy NPN;	495 €
	CPU 224XP; napájecí napětí 230 V AC, rel. výstupy;	515 €
	CPU 226; napájecí napětí 24 V DC, tranzistorové výstupy;	556 €
	CPU 226; napájecí napětí 230 V AC, reléové výstupy;	582 €
Analogový vstup	EM 231; modul analogových vstupů	178 €
Analogový výstup	EM 232; modul analogových výstupů	194 €
Digitální vstup	EM 222; modul dig. výstupů	95 €

<sup>14</sup> Kurz CZK/EUR uvažujeme 24Kč

Digitální výstup	EM 222; modul dig. výstupů	168 €
Safety Protector	Ochranný kryt	87 €
Napájecí adaptér	Spínaný zdroj SITOP 24V / 3,5A; design S7-200	112 €
Paměť	Flash-EPROM 16MB	8 €
Obvody a zesilovače	Měřicí obvody a zesilovače	139 €
A/D převodník	Univerzální programovatelný převodník SUG 2	42 €
D/A převodník	Univerzální programovatelný převodník SUG 2	42 €
Software	PC-Access V1.0; OPC server pro spojení S7-200 s PC	295 €
Dokumentace	Systémová příručka pro S7-200 - česky	20 €
Údržba	Roční náklady na provoz měřicího systému	145 €

**Tabulka 15: Ceny komponent měřicích systémů**

Tyto sestavy měřicích zařízení se používají například v jaderných a tepelných elektrárnách v Indonésii<sup>15</sup>. V tomto případě jsou použity prvky systému SIMATIC S7 s vloženými regulátory. Používá se zde tzv. „SIMADYN vložka“, kdy do systému SIMATIC S7 aplikujeme moduly řídicího systému SIMADYN.

V tabulce č.6 jsou představeny ceny jednotlivých komponent systému. U kritických komponent identifikovaných v předchozí kapitole je uvedeno více variant pro následnou analýzu citlivosti.

Pro stanovení cen měřicích systémů je nutné stanovit ceny za zařízení a služby spojené s instalací senzorů, které budou dodávat informace měřicímu a regulačnímu zařízení. V praxi existuje celá řada senzorů různých typů. V energetických zařízeních se nejčastěji vyskytují senzory vířivých proudů (pro sledování vibrací), teploty (sledování teploty komponenty), průtoku (plynu či jiného média) či tlaku.

Pro zjednodušení budeme definovat průměrnou cenu instalace senzoru a průměrné roční náklady údržby daného senzoru. Pro účely analýzy rizik uvažujeme senzor levný relativně poruchový a dražší jako kvalitnější.

<sup>15</sup> [http://www.siemens.cz/siemjetstorage/files/43712\\_Prehledovy\\_katalog.pdf](http://www.siemens.cz/siemjetstorage/files/43712_Prehledovy_katalog.pdf)

Průměrné náklady na provoz a instalaci senzorů pro měření veličin v energetice	
<b>Průměrná cena instalace senzoru</b>	625 €
<b>Průměrné roční náklady na provoz senzoru</b>	750 €

Tabulka 16: Nákladovost detektorů

Při používání těchto nákladů je důležité si uvědomit, že se jedná o průměrné hodnoty pro zařízení používaná při údržbě energetických zařízení. Odhadnuté hodnoty by byly různé pro jiná odvětví a jiné zaměření. V tomto případě se pohybujeme na poli energetických systémů, jako jsou např. turbosoustrojí, generátory či další zařízení podobného typu.

### 6.3. Identifikace hrozeb

Při poruše komponenty systému by došlo k omezení provozu energetického zařízení. Hrozby, které v tomto případě přicházejí v úvahu, jsou přímo spojené s efektivitou provozu daného zařízení. Mohou se tedy lišit podle toho, jaký budou mít procentuelní dopad na výkon energetického zařízení. Hrozby, které přicházejí v úvahu, jsou zobrazeny v tabulce č. 9. Může tedy dojít např. k provozu se sníženým výkonem, který byl vynucen poruchou či prostoji v rámci plánované údržby.

### 6.4. Ohodnocení rizikovosti

Rizikovost je v tomto textu posuzována pomocí ukazatele MTBF, čím vyšší hodnota tohoto ukazatele, tím je jeho spolehlivost vyšší. Každá zkoumaná komponenta měřícího či měřeného systému má definovanou hodnotu MTBF. Z tohoto pohledu máme ohodnocenou rizikovost relevantních komponent.

## 6.5. Analýza citlivosti vlivu změn MTBF kritických komponent

V této kapitole jsou představeny možné varianty zapojení komponent měřících zařízení. Různé varianty měřících zařízení budou mít různé kvalitativní vlastnosti odpovídající jejich ceně.

Nejprve budeme analyzovat poruchovost systému při zapojení jednoho detektoru a užití průměrných komponent měřícího systému. Tato varianta představuje levnější řešení s vyšším rizikem. Může být zvolena u řízených komponent, které nejsou pro objekt kritické a které jsou relativně levné.

Další možností je použití jednoho čidla s kvalitnějšími komponentami měřících zařízení. Tím dosáhneme zvýšení spolehlivosti za cenu nárůstu nákladů na měřící zařízení. Při závadě čidla je obvykle nutné (částečně či úplně) zastavit činnost zařízení, to znamená další náklady spojené s údržbou.

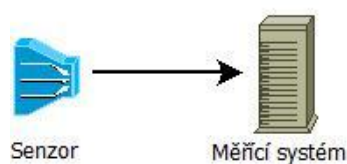
Pro zlepšení spolehlivosti je možné použít také větší množství čidel (často se používají tři čidla). Informace z čidel mohou být průměrovány či dále zpracovávány. Při neobvykle častém výskytu odlehle hodnoty je identifikována závada čidla a pro metrologii se používají zbylé funkční detektory. Při instalaci většího množství čidel tedy není nutné omezit chod zařízení bezprostředně po vzniku poruchy. Tím získáme prostor pro naplánování větší (generální) opravy v přípustném termínu.

Samozřejmě můžeme zvolit variantu maximální spolehlivosti, kdy investujeme finanční prostředky do kvalitního měřícího vybavení doplněného o větší množství detektorů. Jsme tak schopni téměř zabránit poruchám na přístroji ovšem jen za cenu zvýšených nákladů.

V následujících analýzách budeme předpokládat desetileté sledovací období, ve kterém budeme hodnotit spolehlivost zvoleného počtu senzorů a měřícího systému dané kvality.

### 6.5.1. Nákladovost a spolehlivost levné varianty s jedním senzorem

Levná varianta představuje nejrizikovější možnost měření a údržby komponent. Náklady na provozování budou nejnižší za cenu zvýšené poruchovosti. Při tomto zapojení budou použity levné komponenty měřícího systému a jeden měřící senzor. Na obrázku č. 19 je tato varianta měření ilustrována.



Obrázek 19: Diagram měřicího systému

Pokud použijeme tuto variantu, náklady na její realizaci budou následující:

Ceník komponent měřících systémů <sup>16</sup>		
Regulátor	Ht100	271 €
CPU	CPU 224; napájecí napětí 230 V AC, reléové výstupy;	325 €
Analogový vstup	EM 231; modul analogových vstupů	178 €
Analogový výstup	EM 232; modul analogových výstupů	194 €
Digitální vstup	EM 222; modul dig. výstupů	95 €
Digitální výstup	EM 222; modul dig. výstupů	168 €
Safety Protector	Ochranný kryt	87 €
Napájecí adaptér	Spínaný zdroj SITOP 24V / 3,5A; design S7-200	112 €
Paměť	Flash-EPROM 16MB	8 €
Obvody a zesilovače	Měřicí obvody a zesilovače	139 €
A/D převodník	Univerzální programovatelný převodník SUG 2	42 €
D/A převodník	Univerzální programovatelný převodník SUG 2	42 €
Software	PC-Access V1.0; OPC server pro spojení S7-200 s PC	295 €
Dokumentace	Systémová příručka pro S7-200 - česky	20 €
Senzory	Průměrná cena instalace senzoru	625 €
Údržba měř. systému	Celkové náklady na provoz měřicího systému	1237 €
Údržba senzorů	Celkové náklady na provoz senzorů	6398 €
<b>Náklady celkem</b>		<b>10 236 €</b>

Tabulka 17: Náklady levné varianty s jedním senzorem

<sup>16</sup> Kurz CZK/EUR uvažujeme 24 CZK/EUR

V tabulce č. 17 je patrné, že velkou část nákladů bude tvořit údržba systému. Největší položku tvoří náklady na údržbu senzorů. To je způsobeno tím, že během provozování senzoru musí být senzor schválen (atestován) odborníkem. Každoroční atestace v tomto případě stojí určitý finanční obnos, který se přímo promítá do průměrných ročních nákladů na údržbu senzorů. Pro převedení anuitních nákladů do počátečního období byly použity nástroje z kapitoly o časových řadách.

Dále je nutné zkoumat spolehlivost takto zvolené měřicí sestavy. V následující tabulce jsou uvedeny hodnoty MTBF pro tuto variantu měřicího systému.

Typ zařízení	MTBF (roky)	Počet selhání za 10 let
Modul digitálního vstupu	214,9	0,0465
Modul digitálního výstupu	186,1	0,0537
Modul analogového výstupu	64,8	0,1543
Safety Protector	122,9	0,0813
<b>CPU 226 DC/DC/DC</b>	<b>19</b>	<b>0,5263</b>
Memory-Card Flash-EEPROM 16MB	262	0,0381
Napájecí adaptér	106,7	0,0937
Modul analogového vstupu	64,8	0,1543
<b>Regulátor – Ht100</b>	<b>12,5</b>	<b>0,8</b>
A/D převodník	45,8	0,2183
D/A převodník	45,8	0,2183
Měr. Obvody a zesilovače	67,4	0,1483
<b>Levný senzor</b>	<b>12,4</b>	<b>0,8064</b>
<b>Průměrný počet selhání za 10 let</b>		<b>0,2569</b>

Tabulka 18: Tabulka MTBF pro levnou variantu s jedním senzorem

V tabulce je patrné, že hlavními faktory, které ovlivňují poruchovost zařízení jsou CPU, regulátor a senzor. Pokud chceme snížit průměrný počet selhání za 10 let, je vhodné použít kvalitnější měřicí přístroje.

### 6.5.2. Nákladovost a spolehlivost drahé varianty s jedním senzorem

Použití kvalitnějšího CPU a regulátoru bude mít vliv na nákladovost varianty. V následující tabulce jsou uvedeny použité komponenty pro tuto variantu. Ostatní komponenty se nemění, jsou stejné jako v tabulce č. 17. V tabulce je patrné, že došlo k nárůstu nákladů o 792 €. Důležitý je ovšem dopad na spolehlivost zařízení. Ta je zobrazena v tabulce č. 20 spolu s počtem poruch za sledované období. Je vidět, že průměrný počet poruch vlivem kvalitnější měřicí techniky poklesl z 0,2569 na 0,1875, došlo tedy k poklesu o přibližně 0,07 poruchy za 10 let.

Ceník komponent měřících systémů		
Regulátor	TERM 4M	806 €
CPU	CPU 226	582 €
<b>Náklady celkem</b>		<b>11 028 €</b>

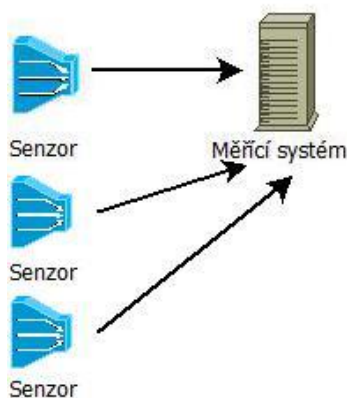
Tabulka 19: Nové komponenty kvalitní varianty s jedním senzorem

Typ zařízení	MTBF (roky)	Počet selhání za 10 let
Modul digitálního vstupu	214,9	0,0465
Modul digitálního výstupu	186,1	0,0537
Modul analogového výstupu	64,8	0,1543
Safety Protector	122,9	0,0813
<b>CPU 226 AC/DC/RLY</b>	<b>57</b>	<b>0,1754</b>
Memory-Card Flash-EPROM 16MB	262	0,0381
Napájecí adaptér	106,7	0,0937
Modul analogového vstupu	64,8	0,1543
<b>Regulátor – TERM 4M</b>	<b>40,2</b>	<b>0,2487</b>
A/D převodník	45,8	0,2183
D/A převodník	45,8	0,2183
Měr. Obvody a zesilovače	67,4	0,1483
<b>Senzor</b>	<b>12,4</b>	<b>0,8064</b>
<b>Průměrný počet selhání za 10 let</b>		<b>0,1875</b>

Tabulka 20: Spolehlivost drahé varianty s jedním senzorem

### 6.5.3. Nákladovost a spolehlivost drahé varianty se třemi senzory

Pokud použijeme variantu tří senzorů při zachování kvality měřící techniky, musíme opět upravit nákladovostní tabulku. V tomto případě dojde k růstu nákladů na pořízení a údržbu senzorů. Nákladovost tedy bude vypadat následujícím způsobem (viz tabulka č. 21).



Obrázek 20: Měřicí systém se třemi senzory



Ceník komponent měřících systémů		
Regulátor	TERM 4M	806 €
CPU	CPU 226	582 €
Analogový vstup	EM 231; modul analogových vstupů	178 €
Analogový výstup	EM 232; modul analogových výstupů	194 €
Digitální vstup	EM 222; modul dig. výstupů	95 €
Digitální výstup	EM 222; modul dig. výstupů	168 €
Safety Protector	Ochranný kryt	87 €
Napájecí adaptér	Spínaný zdroj SITOP 24V / 3,5A; design S7-200	112 €
Paměť	Flash-EPROM 16MB	8 €
Obvody a zesilovače	Měřicí obvody a zesilovače	139 €
A/D převodník	Univerzální programovatelný převodník SUG 2	42 €
D/A převodník	Univerzální programovatelný převodník SUG 2	42 €
Software	PC-Access V1.0; OPC server pro spojení S7-200 s PC	295 €
Dokumentace	Systémová příručka pro S7-200 - česky	20 €
Senzory	Průměrná cena instalace senzorů	1875 €
Údržba měř. systému	Celkové náklady na provoz měřícího systému	1237 €
Údržba senzorů	Celkové náklady na provoz senzorů	19193 €
<b>Náklady celkem</b>		<b>25 073 €</b>

Tabulka 21: Náklady drahé varianty se třemi senzory

Hlavním cost driverem jsou v tomto případě opět náklady na údržbu senzorů. Celkové náklady oproti předchozí variantě s jedním senzorem vzrostou o 14 045 €. Tento razantní nárůst nákladů bude mít vliv na výslednou spolehlivost zařízení. V tabulce č. 22 je zobrazena výsledná hodnota spolehlivosti. Je vidět, že díky použití kvalitní technologie a většího množství senzorů se průměrný počet poruch snížil na 0,1363.

Typ zařízení	MTBF (roky)	Počet selhání za 10 let
Modul digitálního vstupu	214,9	0,0465
Modul digitálního výstupu	186,1	0,0537
Modul analogového výstupu	64,8	0,1543
Safety Protector	122,9	0,0813
<b>CPU 226 AC/DC/RLY</b>	<b>57</b>	<b>0,1754</b>
Memory-Card Flash-EPROM 16MB	262	0,0381
Napájecí adaptér	106,7	0,0937
Modul analogového vstupu	64,8	0,1543
<b>Regulátor – TERM 4M</b>	<b>40,2</b>	<b>0,2487</b>
A/D převodník	45,8	0,2183
D/A převodník	45,8	0,2183
Měr. Obvody a zesilovače	67,4	0,1483
<b>Senzor</b>	<b>71</b>	<b>0,196</b>
<b>Průměrný počet selhání za 10 let</b>		<b>0,1363</b>

Tabulka 22: Spolehlivost drahé varianty se třemi senzory

#### 6.5.4. Nákladovost a spolehlivost levné varianty se třemi senzory

Pro úplnost je uvedena také levná varianta se třemi senzory. Použijeme tedy stejné komponenty jako v tabulce č. 17. Náklady na provoz a instalaci senzorů se ale liší (viz. tabulka č. 23). V tabulce č. 24 jsou zobrazeny MTBF pro tuto variantu. Je vidět, že střední doba mezi poruchami se u komponent měřicího systému nemění. Došlo ovšem ke změně MTBF senzorů vzhledem ke zvýšení jejich počtu.

Ceník komponent měřicích systémů		
Senzory	Průměrná cena instalace senzorů	1875 €
Údržba senzorů	Celkové náklady na provoz senzorů	19193 €
<b>Náklady celkem</b>		<b>24 281 €</b>

Tabulka 23: Ceny senzorů levné varianty se třemi senzory

V tabulce č. 24 je patrné, že hlavním faktorem, který bude způsobovat poruchu, budou opět regulátor (0,8) a CPU (0,5263). V tomto případě jsme tedy snížili MTBF senzoru na 0,196, ovšem měřicí systém má stále stejnou hodnotu spolehlivosti.

Typ zařízení	MTBF (roky)	Počet selhání za 10 let
Modul digitálního vstupu	214,9	0,0465
Modul digitálního výstupu	186,1	0,0537
Modul analogového výstupu	64,8	0,1543
Safety Protector	122,9	0,0813
<b>CPU 226 DC/DC/DC</b>	<b>19</b>	<b>0,5263</b>
Memory-Card Flash-EEPROM 16MB	262	0,0381
Napájecí adaptér	106,7	0,0937
Modul analogového vstupu	64,8	0,1543
<b>Regulátor – Ht100</b>	<b>12,5</b>	<b>0,8</b>
A/D převodník	45,8	0,2183
D/A převodník	45,8	0,2183
Měr. Obvody a zesilovače	67,4	0,1483
<b>Senzory</b>	<b>71</b>	<b>0,196</b>
<b>Průměrný počet selhání za 10 let</b>		<b>0,2056</b>

Tabulka 24: Spolehlivost levné varianty se třemi senzory

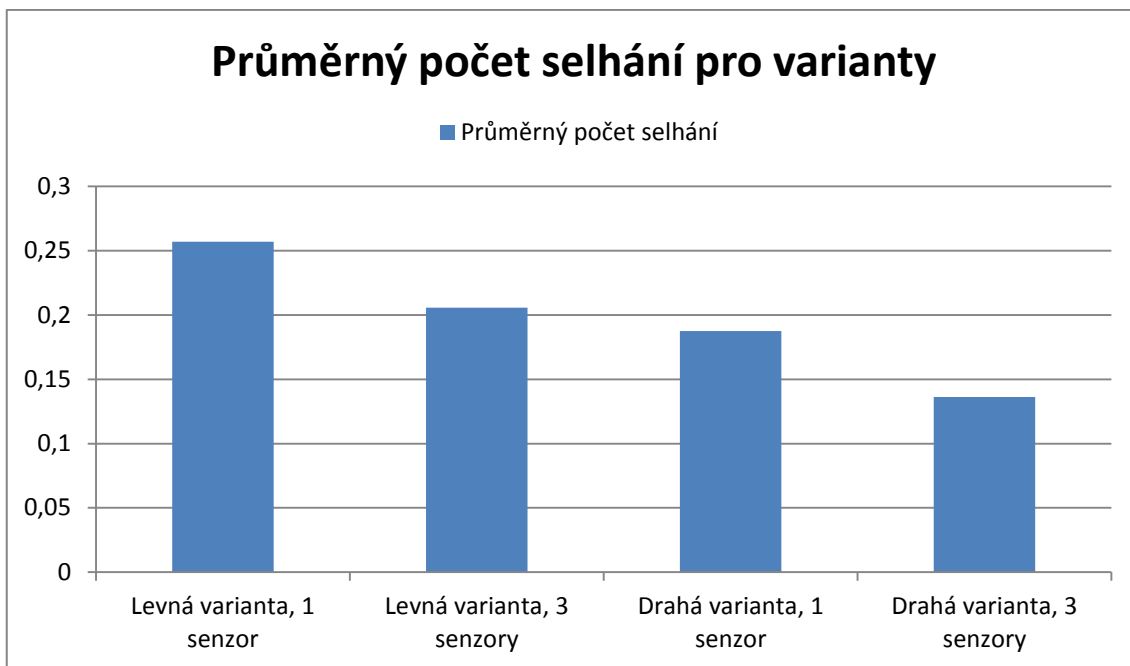
Máme tedy provedenou analýzu nákladovosti a spolehlivosti čtyř variant měřících systémů opatřených různým počtem senzorů. Je vidět, že pro různé varianty měřících systémů a senzorů dostáváme různé hodnoty spolehlivosti. Tyto výsledky jsou velmi zajímavé a budeme je dále analyzovat. V následující kapitole se budeme podrobněji věnovat těmto čtyřem variantám a budeme zkoumat následky poruch na celý nákladový objekt.

### 6.6. Vyhodnocení analýzy citlivosti

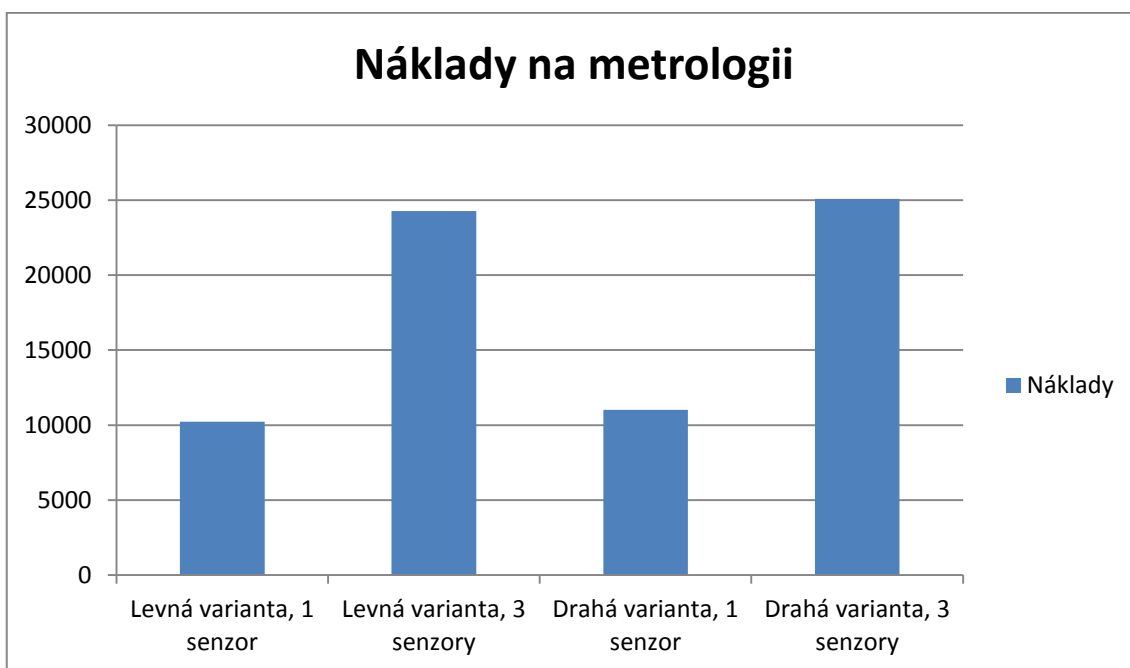
Analýzované varianty budou nyní zkoumány z hlediska jejich dopadu na spolehlivost zařízení, ušetřené náklady a celkové vynaložené prostředky. V následující tabulce jsou uvedeny náklady a spolehlivost jednotlivých variant.

Varianta	Náklady	Průměrný počet selhání
<b>Levná varianta, 1 senzor</b>	10 236 €	0,2569
<b>Levná varianta, 3 senzory</b>	24 281 €	0,2056
<b>Drahá varianta, 1 senzor</b>	11 028 €	0,1875
<b>Drahá varianta, 3 senzory</b>	25 073 €	0,1363

Tabulka 25: Přehled variant analýzy citlivosti



Obrázek 21: Průměrný počet selhání pro varianty



Obrázek 22: Náklady na varianty

V grafech výše jsou zobrazeny údaje z tabulky č. 25 v přehledné grafické podobě. Na obrázku č. 21 je vidět, že počet chyb klesá s rostoucím počtem senzorů a také s výběrem kvalitnějších měřících zařízení. Nejnižší průměrný počet chyb dosahuje drahá varianta se třemi senzory (0,1363). Důležité je samozřejmě také sledování nákladovosti. Na obrázku č. 22 jsou vidět náklady na jednotlivé varianty. Zřetelně je vidět nárůst nákladů na údržbu senzorů, pokud použijeme „třísenzorovou“ variantu. Při použití tří senzorů

vzrostou náklady oproti jednosenzorové levné variantě o 14045 €, tedy o 137%, přičemž průměrný počet chyb klesne pouze o 0,0513, tedy přibližně o 20%. U drahé třísenzorové varianty dojde k růstu nákladů o 127% a poklesu průměrného počtu chyb o 28%. Je tedy patrný silný nadproporcionální růst nákladů při použití třísenzorových variant. Pokud porovnáme efektivitu levné a drahé jednosenzorové varianty, způsobí kvalitnější varianta nárůst nákladů o 8% a pokles průměrného počtu chyb o 27%. Pokud bychom se snažili o minimalizaci průměrného počtu chyb, bylo by vhodné použít drahou variantu se třemi senzory. Při snaze o minimalizaci nákladů na metrologii je možné použít levnou variantu s jedním senzorem. Pokud bychom chtěli volit optimální kompromis mezi nákladovostí a spolehlivostí, jeví se jako nejlepší drahá varianta opatřená jedním senzorem.

Po prozkoumání variant nákladovosti a spolehlivosti metrologie jedné komponenty, budeme nyní zkoumat následky implementované varianty na celý nákladový objekt.

### **6.7. Kvantifikace ekonomických následků a zhodnocení**

Po kvantifikaci rizik a vyčíslení celkových nákladů jednotlivých variant metrologie budeme nyní zkoumat dopad vybrané varianty na celý nákladový objekt. Při konstrukci modelu budeme uvažovat existenci následujících zjednodušujících předpokladů:

1. Předpokládejme, že náklady představené v předchozí kapitole, představují náklady na provozování metrologie jedné komponenty nákladového objektu po dobu 10 let
2. Dále uvažujeme, že tento nákladový objekt celkem tvoří 30 kritických komponent.
3. Porucha každé komponenty způsobí selhání celého objektu s následky odstávky systému.
4. Každá porucha v metrologii, která způsobí odstávku nákladového objektu, je kvantifikována jako škoda ve výši 2 000 000 €.
5. Jiné druhy odstávek nebudeme v modelu uvažovat.
6. Dalším předpokladem je použití stejných druhů metrologie u všech kritických komponent nákladového objektu. Pokud by nebyly všechny metrologie sjednocené, způsobilo by to vzhledem k podmínce 3 změnu průměrného počtu poruch celého nákladového objektu za sledované období na největší počet poruch.

7. Uvažujeme použití čtyř variant měřících systémů a senzorů (viz kapitola 6.5).

Uvažujme tedy nákladový objekt se 30 komponentami. Každá komponenta musí být opatřena metrologií a záleží na rozhodnutí vedoucího pracovníka, kterou variantu si vybere. V následujícím textu je uvedena analýza ekonomických následků při použití různých variant metrologie.

### 6.7.1. Analýza následků při použití levné varianty s jedním senzorem

V kapitole 6.5 jsme zjistili nákladovost na metrologie jedné komponenty v průběhu 10 let pro různé varianty. Pokud se budeme držet předpokladu 2 z kapitoly 6.7, dostaneme celkovou částku, kterou utratíme za metrologii jako součin nákladů na provozování metrologie a počtu komponent nákladového objektu.

Jako příklad výpočtu použijeme hodnoty pro levnou variantu s jedním senzorem. V tomto případě se dostáváme na částku 307 080 €. Průměrný počet poruch u této varianty pro sledované období vyšel 0,2569. Můžeme tedy kvantifikovat celkové náklady, které jsou spojené s údržbou nákladového objektu a hrozby, které mohou vzniknout.

$$\text{Metrologie} = 30 * 10236 = 307\,080 \text{ €}$$

$$\text{Hrozba poruchy} = 0,2569 * 2\,000\,000 = 513\,800 \text{ €}$$

Tento postup můžeme analogicky použít u všech ostatních variant. Výsledky shrneme do tabulky č. 26.

Varianta	Metrologie (systém)	Hrozba poruchy
<b>Levná varianta, 1 senzor</b>	307 080 €	513 800 €
<b>Levná varianta, 3 senzory</b>	728 430 €	411 200 €
<b>Drahá varianta, 1 senzor</b>	330 840 €	375 000 €
<b>Drahá varianta, 3 senzory</b>	752 190 €	272 600 €

Tabulka 26: Kvantifikace hrozeb a náklady na objekt

Tato tabulka představuje jednoznačnou kvantifikaci ekonomických následků spojených s provozováním daného nákladového objektu. Zřetelně vidíme snižující se náklady na možnou poruchu.

Z analýzy vyplývá, že manažer může v zásadě zvolit dvě cenové strategie.

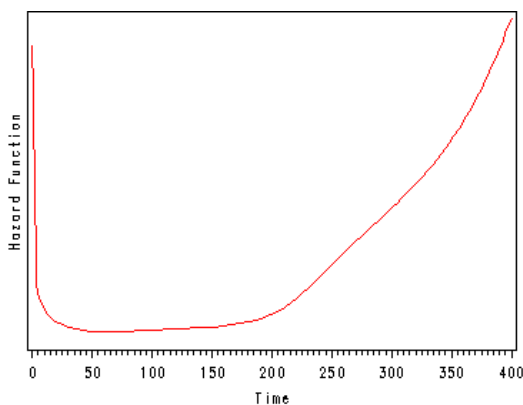
- Použít strategii maximalizace dostupnosti systému. Tedy použít drahou variantu se 3 senzory. Tím dojde k minimalizaci hrozeb. Tato varianta se hodí, pokud vedení požaduje maximální dostupnost zařízení během sledovaného období. V tomto případě se dostáváme na roční náklady za metrologii ve výši 75 219 € (1,8 milionu Kč). Během této doby by měl být vytvořen rezervní fond, který by vyrovnal očekávanou hrozbu poruchy, tedy ve výši 272 600 €. Příspěvek do rezervního fondu by činil 27 260 € ročně (654 tis Kč). Celkové roční náklady spojené s údržbou činí v tomto případě 102 479 € (2,48 milionu Kč).
- Pokud společnost požaduje nižší náklady na metrologii a nevádí ji relativně vyšší kvantifikovaná hodnota hrozby, může použít drahou variantu s jedním senzorem. V tomto případě jsou celkové náklady na metrologii pouze 330 840 €. Kvantifikovaná hrozba činí 375 000 €. Pokud vyčíslíme roční náklady na metrologii, dostaneme částku 33 084 € (794 tis. Kč). Rezervní fond pro krytí hrozeb musí být ročně navýšen o 37 500 € (900 tis. Kč). Roční útrata za údržbu bude tedy 70 584 € (1,69 milionu Kč). Přičemž roční náklady na metrologii by byly v tomto případě nižší o 42 135 € (přibližně 1,011 milionu Kč). Celkové roční náklady na údržbu jsou u této varianty nižší o 31 895 € (765 tis. Kč).
- Levnou variantu s jedním senzorem neuvažujeme. Vzhledem k tomu, že drahá varianta s jedním senzorem představuje efektivnější variantu. Tuto možnost by neměli manažeři používat ani v případě, že chtějí ušetřit náklady. Pokud by vytvářeli rezervní fond, vyšly by celkové náklady vyšší než u drahé varianty s jedním senzorem. Konkrétně vycházejí roční náklady na údržbu 82 088 € (1,94 milionu Kč).
- Levnou variantu se třemi senzory také neuvažujeme. Její roční náklady údržby činí 113 963 € (2,735 milionu Kč).

Na závěr je nutné podotknout, že se pohybujeme v průměrných hodnotách poruch za 10 let. Výsledné řešení představuje očekávaný počet poruch, který se může od konečného reálného počtu lišit.

## Závěr

Cílem diplomové práce bylo vytvořit ucelený přehled nástrojů používaných pro modelování údržby energetických zařízení. Tyto nástroje poté aplikovat na příkladech a uvést možnosti reálné aplikace těchto teoretických metod. Vzhledem k tomu, že oblast zkoumání diplomové práce představuje velmi specifickou a omezenou oblast komplexní údržby energetických zařízení, bylo nutné definovat specifické metody popisu údržbových zařízení a uvést metody nákladové alokace a modely vývoje cen. Každá z těchto kapitol byla následně použita v praktické části práce nebo je zakončena příkladem, který demonstruje definované postupy.

První kapitola se v úvodu zabývá vývojem údržby zařízení od počátku 20. století. Velmi zajímavý je hlavně přístup k výrobě zařízení během sledovaného období. Velmi specifická situace byla na území České republiky po 2. světové válce. S příchodem centrálně plánovaného hospodářství se tak trochu omezil tlak na efektivitu výrobních postupů. V oblasti energetických zařízení byla velmi důležitým faktorem velká produkce českých železáren. Nadprodukce železa musela být přirozeně někde umístěna a zpracována. Logickým krokem byla tvorba turbín a turbogenerátorů. V té době se tedy příliš nekladl důraz na efektivní a lehkou turbínu. Bylo možné vyrobit velké robustní zařízení, které spotřebovalo daleko větší množství surovin než bylo potřeba. Tato zdánlivá neefektivnost při výrobě těchto zařízení z tohoto období má ale svůj vliv až do dnešní doby. Tato zařízení jsou totiž neskutečně odolná vůči poruchám. Jejich robustní konstrukce zabránila korozi, rychlému zahřívání a zkřivení. Tyto robustní turbogenerátory jsou i po 40 letech stále funkční a schopné dodávat proud do sítě. Vanová křivka těchto turbín byla velmi široká a pozvolná, tzn. období s minimální intenzitou poruch bylo daleko větší než u dnes vyrobených strojů (viz obrázek č. 23).



Obrázek 23: Vanová křivka robustních turbosoustrojí



I tento problém ovšem skrytě představuje známý souboj nákladovosti a spolehlivosti. Postavení tak robustního zařízení by v dnešní době bylo již ekonomicky neúnosné. Cena surovin, která v době konstrukce těchto turbín nebyla zásadním faktorem, by v dnešní době byla pro výrobce zničující.

Zajímavý je také přístup k opravám zařízení. V současné době se většina zařízení po vzniku poruchy jednoduše vymění. Evidentně se tedy upřednostňuje varianta „levně vyrob a častěji vyměň“ než snaha o kvalitní řešení, které vydrží dlouhou dobu bez poruchy. Pro management podniku je finančně výhodnější zařízení vyměnit. Tento přístup je ovšem těžko aplikovatelný v oblasti údržby energetických zařízení. Pokud snížíme robustnost, dojde logicky k nárůstu závad a náklady na údržbu turbogenerátoru mohou často překročit jeho cenu.

První kapitola také dále teoreticky naznačuje postupy tzv. reliability centered maintenance (údržba zaměřená na spolehlivost). Tato metoda se snaží pomocí systémových přístupů popsat daný systém a rozdělit ho na komponenty. Smyslem takto nastavené údržby je snaha o zachování zařízení alespoň v současném stavu. Pomocí této metody se snažíme vyšetřovat chod zařízení, na které budou působit předem definované poruchy v daném intervalu a dané intenzitě. Pomocí této metody můžeme efektivněji řídit údržbu zařízení a minimalizovat následky možných poruch.

V praxi častá absence dostatečně přesných dat vedla k definování teoretických postupů popsaných ve druhé kapitole. Při zjišťování nákladovostních dat se často dostáváme do situace, kdy jsou některé údaje neúplné nebo úplně chybí. Pokud máme alespoň zevrubné informace o nákladovosti celého zařízení, můžeme použít metody uvedené v této kapitole k tomu, abychom aproximovali náklady na jednotlivé části systému. Představeny jsou klasické proporcionalní metody nákladové alokace, nejčastěji používané přírážkové kalkulace a moderní metoda ABC. Metoda Activity Based Costing je analyzována podrobněji a na závěr je uveden příklad alokace fixních nákladů na předem definovanou aktivitu (v tomto případě na danou opravu).

Třetí kapitola aplikuje metody z oblasti ekonomické statistiky na problematiku vývoje cen v oblasti energetických zařízení. V úvodu jsou představeny možnosti modelování časových řad pomocí klasického přístupu, Boxovy-Jenkinsovy metodologie či nástroji spektrální analýzy. V práci byl použit klasický formální model v multiplikativním tvaru. Jsou definovány základní složky časových řad (trendová, cyklická, sezónní a náhodná),

také je ilustrována dekompozice řady na tyto základní složky (viz obrázek č. 10). Představeny jsou také metody, které explicitně definují sezónní složku a jsou schopné ji odfiltrvat. Tyto znalosti a postupy jsou poté aplikovány na datové zdroje Českého statistického úřadu. Pro modelování používáme data o vývoji inflace, průměrných mezd v energetice a indexu průmyslové produkce. U všech dat byl sledován trendový vývoj a jeho index determinace. Tato data byla použita jako datový vstup dalších kapitol.

Čtvrtá kapitola uvádí základní pojmy z oblasti risk analýzy. Představuje úvodní kapitolu, kde byly definovány pojmy jako riziko, hrozba, následky hrozeb atd. Pomocí těchto definic a dat v kapitole 5 můžeme přejít k risk analýze, která je komplexně provedena v kapitole 6.

Závěrečná kapitola kombinuje znalosti uvedené v předchozích částech práce spolu s dostupnými datovými zdroji. V této kapitole je provedena risk analýza metrologie celého systému údržby vybraného energetického zařízení. V první části je představena idea fungování těchto zařízení, jsou uvedeny principy řízení pomocí tzv. Systémových metod, které jsou stále častěji aplikovány z oblasti techniky do ekonomické praxe. Definujeme příslušný nákladový objekt jako systém, který je složen z částí. Tento systém je poté řízen dalším typem systému, který bývá označován jako řídicí systém nebo také regulátor.

Aplikací nástrojů RCM byl sestaven řetězec relevantních komponent, přičemž porucha každé z nich může způsobit selhání systému, proto jsou řazeny sériově. Na základě analýzy poruchovosti byly identifikovány kritické komponenty měřicího zařízení (v našem případě šlo o CPU a regulátor).

Dále následuje stanovení ceny jednoho měřicího systému. Vzhledem k dostatečnému množství datových zdrojů bylo možné stanovit cenu jednoho měřicího systému. Poté byly vytvořeny různé varianty zapojení a použité technologie. Vznikly tak čtyři možné varianty, které se lišily kvalitou užití technologie a množstvím použitých senzorů. Všechny varianty byly v další části analyzovány z hlediska jejich dostupnosti a nákladovosti. V kapitole 6.6 byly všechny možné varianty vyhodnoceny. Výsledky analýzy přinášejí vedení odpověď na otázku, jaké varianty údržby jsou ekonomicky efektivní. Následující kapitola 6.7 aplikuje výstupy z kapitoly 6.6 na celý nákladový objekt. V této kapitole jsou důsledně kvantifikovány škody a vyhodnoceny celkové náklady jednotlivých variant. Výstupem analýzy jsou dvě možné strategie. Manažer se

může rozhodnout pro strategii maximalizace dostupnosti zařízení či minimalizace nákladů. Obě metody jsou použitelné ve specifických případech a je jen otázka konečného rozhodnutí, kterou variantu společnost zvolí.

Cílem diplomové práce bylo detailněji popsat ekonomické procesy a postupy, které je možné aplikovat v oblasti údržby energetických zařízení. Tato technická oblast, která je často velmi nedoceněna, představuje možnost neustálého zefektivňování a zlepšování. V době, kdy jsou světové společnosti tlačeny k neustálému snižování nákladů, jsou tyto metody nástrojem pro zvýšení konkurenceschopnosti firem. Tyto metody jsou v práci rozšířeny o risk analýzu, která problematiku obohacuje o kvantifikované náklady hrozeb. Pomocí těchto nástrojů je možné snížit náklady společnosti a vytvořit tak prostor pro tvorbu zisku či dividend.

## Seznam obrázků

Obrázek 1: Vývoj přístupu k údržbě ve 20. století .....	10
Obrázek 2: Průběhy intenzity poruch vanových křivek.....	11
Obrázek 3: Dekompozice systému pro RCM .....	12
Obrázek 4: Postup při implementaci RCM procesu .....	15
Obrázek 5: Nákladová alokace .....	18
Obrázek 6: Složení celkových nákladů na komponentu .....	18
Obrázek 7: Proces tvorby systému ABC .....	20
Obrázek 8: Příklad systému ABC .....	21
Obrázek 9: Alokace nákladů ABC.....	21
Obrázek 10: Dekompozice časové řady.....	28
Obrázek 11: Vývoj hrubých mezd ve strojírenství .....	30
Obrázek 12: Vývoj mezd očištěný od sezónních vlivů.....	31
Obrázek 13: Vývoj inflace v ČR.....	33
Obrázek 14: Vývoj indexu cen průmyslové produkce očištěný .....	33
Obrázek 15: Rozhodovací situace.....	38
Obrázek 16: PLC SIMATIC S7 .....	47
Obrázek 17: Model relevantních komponent měřicího systému .....	49
Obrázek 18: Zpětnovazební systém .....	51
Obrázek 19: Diagram měřicího systému .....	55
Obrázek 20: Měřicí systém se třemi senzory .....	57
Obrázek 21: Průměrný počet selhání pro varianty.....	61
Obrázek 22: Náklady na varianty .....	61
Obrázek 23: Vanová křivka robustních turbosoustrojí.....	65

## Seznam tabulek

Tabulka 1: Redukovaná typová struktura procesů v podniku.....	23
Tabulka 2: Jednotkové náklady procesů .....	23
Tabulka 3: Podpůrné procesy .....	24
Tabulka 4: Celkové náklady procesů.....	24
Tabulka 5: Celkové jednotkové náklady procesů .....	25
Tabulka 6: Detail opravy .....	25

Tabulka 7: Hodnoty sezónních faktorů pro vývoj hrubých mezd v energetice .....	31
Tabulka 8: Ukázka možných komponent systému .....	41
Tabulka 9: Hrozby .....	42
Tabulka 10: Následky hrozeb .....	42
Tabulka 11: Ceník SIMATIC CPU .....	44
Tabulka 12: MTBF vybraných CPU.....	45
Tabulka 13: MTBF komponent modelu měřicího systému .....	49
Tabulka 14: MTBF senzorů.....	50
Tabulka 15: Ceny komponent měřicích systémů.....	52
Tabulka 16: Nákladovost detektorů.....	53
Tabulka 17: Náklady levné varianty s jedním senzorem .....	55
Tabulka 18: Tabulka MTBF pro levnou variantu s jedním senzorem .....	56
Tabulka 19: Nové komponenty kvalitní varianty s jedním senzorem .....	57
Tabulka 20: Spolehlivost drahé varianty s jedním senzorem .....	57
Tabulka 21: Náklady drahé varianty se třemi senzory .....	58
Tabulka 22: Spolehlivost drahé varianty se třemi senzory .....	59
Tabulka 23: Ceny senzorů levné varianty se třemi senzory .....	59
Tabulka 24: Spolehlivost levné varianty se třemi senzory .....	60
Tabulka 25: Přehled variant analýzy citlivosti .....	60
Tabulka 26: Kvantifikace hrozeb a náklady na objekt .....	63

## Citovaná literatura

1. **Turney, Peter B.B.** *Activity-Based Costing: An Emerging Foundation for Performance Management*. [Document] Portland : Cost Technology, Inc.
2. **B., Popesko.** *Moderní metody řízení nákladů*. Praha : Grada, 2009.
3. **G., Cokins.** *Activity-Based cost management: an executives*. New York : Wiley and Sons, Inc., 2001. 047144328X.
4. **Miller, John A.** *Implementing Activity-Based management in daily operations*. USA : Atlantic, 1996. 0471040037.
5. Australian Bureau of Statistics. *Time Series Analysis: The Basics*. [Online] <http://www.abs.gov.au/websitedbs/d3310114.nsf/4a256353001af3ed4b2562bb00121564/b81ecff00cd36415ca256ce10017de2f!OpenDocument>.
6. **Arlt, Josef a Arltová, Markéta.** *Ekonomické časové řady*. Praha : Grada, 2009. 978-80-86946-85-6.
7. **Hindls, Richard, a další, a další.** *Statistika pro ekonomy*. Praha : Professional Publishing, 2007. 978-80-86943-43-6.
8. **Hamilton, James D.** *Time Series Analysis*. Chichester : Princetown University Press, 1994. 9780691042893.
9. **Ihaka, Ross.** *Time Series Analysis*. [Document] Auckland : University of Auckland, 2005.
10. **Wessa, Patrick.** Free Statistics Software. [Online] Office for Research Development and Education. <http://www.wessa.net/>.
11. Český statistický úřad. *ČESKÁ REPUBLIKA OD ROKU 1989 V ČÍSLECH*. [Online] 2011. [http://czso.cz/csu/redakce.nsf/i/cr\\_od\\_roku\\_1989](http://czso.cz/csu/redakce.nsf/i/cr_od_roku_1989).
12. **Smejkal, Vladimír a Rais, Karel.** *Řízení rizik ve firmách a jiných organizacích*. Praha : Grada, 2006. 978-80-247-3051-6.
13. **Korecký, Michal a Trkovský, Václav.** *Management rizik projektů*. Praha : Grada, 2011. 978-80-247-3221-3.
14. **Ďad'o, S a Kreidl, M.** *Senzory a měřicí obvody*. Praha : ČVUT Praha, 1996.
15. **Bertalanffy, Ludwig von.** *General Systems Theory*. 1956.

## Abstrakt

VORÁČ, P. Metody alokace a estimace nákladů pro optimalizaci komplexní údržby energetických zařízení. Plzeň: Fakulta ekonomická ZČU v Plzni, 73 s., 2011

**Klíčová slova:** nákladová alokace, časové řady, estimace, risk analýza, energetická zařízení, řízení nákladů, ABC, systém, riziko

Diplomová práce se zabývá metodami řízení nákladů, nákladové alokace a estimace. Náklady představují klíč k dokonalosti podniku a musí být pečlivě monitorovány. V práci jsou uvedeny nástroje modelování pomocí časových řad, které jsou dále použité v oblasti údržby energetických zařízení. V textu jsou uvedeny modely časového vývoje inflace, mezd pracovníků energetického průmyslu a indexu cen průmyslové produkce. Pokud pracujeme s neúplnými či hrubými daty, je vhodné použít metody nákladových alokací, které jsou představeny v kapitole 3. Zde uvádíme také metodu Activity Based Costing. Tato moderní metoda alokace umožňuje velmi detailní řízení a monitoring vnitropodnikových nákladů. Další část práce se věnuje problematice risk managementu. Definuje pojmy riziko, hrozba, následky a další. V kapitole 6 je zpracována risk analýza vybraného problému spolu s kvantifikací rizik. Práce by měla sloužit jako nástroj pro možné zlepšení monitorování a řízení nákladů. Rozvíjí standardní metody nákladové alokace a estimace o nástroje risk analýzy.

## Abstract

VORÁČ, P. Cost-allocation and estimation methods for complex maintenance optimization. Plzeň: Fakulta ekonomická ZČU v Plzni, 73 s., 2011

**Key words:** cost allocation, time series, estimation, risk analysis, energetic devices, cost management, ABC, system, risk

The master thesis deals with the topic of cost management and cost allocations. The costs are key to company excellence and must be carefully monitored. The thesis deals with the topic of time series which are important for price modeling and future estimations. We develop model of inflation, wages in energetic industry and industry production price index. If we have incomplete or inaccurate cost data, we can try to use cost allocation methods introduced in chapter 3. In this chapter we present the Activity Based Costing which is modern method of cost allocation and which allows very accurate cost control. The next part deals with risk and risk management. We define risk, threats, consequences and other risk related terms. We use all previously defined and created methods in the last chapter. In chapter 6 we present the risk analysis in detail with risk quantification. The thesis should be a tool for cost monitoring and control. It extends the standard cost allocation and estimation methods with the risk analysis.