

Strategie systému údržby ve strojírenském podniku

Ing. Miroslav Žilka

Vedoucí práce: Doc. Ing. Michal Kavan, CSc.

Abstrakt

Příspěvek seznamuje s hlavními závěry a přínosy disertační práce Strategie systému údržby ve strojírenském podniku, jejímž hlavním posláním je zvyšování ekonomické efektivity systému údržby prostřednictvím volby vhodné strategie údržby strojů. V příspěvku se zaměřuji především na přiblížení výsledků průzkumu mapujícího úroveň managementu údržby a rozsahu využívání SW nástrojů pro řízení a plánování údržby v cílových podnicích, dále na stručný popis metodiky volby vhodné strategie údržby a charakteristiku modelu MAM (Maintenance Analytical Module), který byl v rámci disertační práce vyvinut jako softwarový nástroj usnadňující manažerům údržby volbu strategie údržby pro vymezený soubor strojů.

Klíčová slova

Údržba, strategie údržby, řízení údržby, plánování údržby, CMMS, Computerised Maintenance Management Systems

1. Úvod

Údržba je nedílnou součástí každého výrobního systému, hraje nezastupitelnou roli při zajišťování provozuschopnosti celého podniku a zásadním způsobem ovlivňuje jeho produktivitu. Vhodně zvolená strategie zajišťování údržby významně přispívá k tomu, aby zákazníci dostávali své produkty v požadovaný čas a v požadované kvalitě, čímž se významně podílí na udržování konkurenceschopnosti podniku. Právě tuto důležitou a v podnicích často zanedbanou oblast jsem si vybral pro směřování své disertační práce Strategie systému údržby ve strojírenském podniku, jejímž hlavním posláním je zvyšování ekonomické efektivity systému údržby.

1.1 Cíle disertační práce

Hlavním úkolem disertační práce je poskytnout manažerům údržby potřebné informace pro volbu vhodné strategie údržby v podniku tak, aby byly efektivně využívány a alokovány zdroje vyčleněné na údržbu. Pro naplnění tohoto hlavního úkolu byly identifikovány následujících cíle:

A) Popis aktuální situace v oblasti řízení a plánování údržby

Prostřednictvím hloubkové rešerše a dotazníkového šetření je třeba charakterizovat aktuální stav zkoumané oblasti a identifikovat hlavní požadavky, potřeby a nedostatky cílových podniků ve zkoumané oblasti.

B) Návrh metodiky pro volbu vhodné strategie údržby

Je třeba popsat jednotlivé kroky, kterými musí manažeři údržby projít při volbě vhodné strategie údržby.

C) Návrh modelu pro podporu rozhodování o volbě vhodné strategie údržby

Klíčovým krokem pro identifikaci vhodné strategie je návrh modelu na podporu rozhodování manažerů údržby, který jim poskytne potřebné informace pro efektivní

využití zdrojů alokovaných na údržbu při dodržení stanovených rozpočtových a kapacitních limitů.

D) Charakteristika vazeb mezi modelem a ostatními částmi systému podnikového řízení

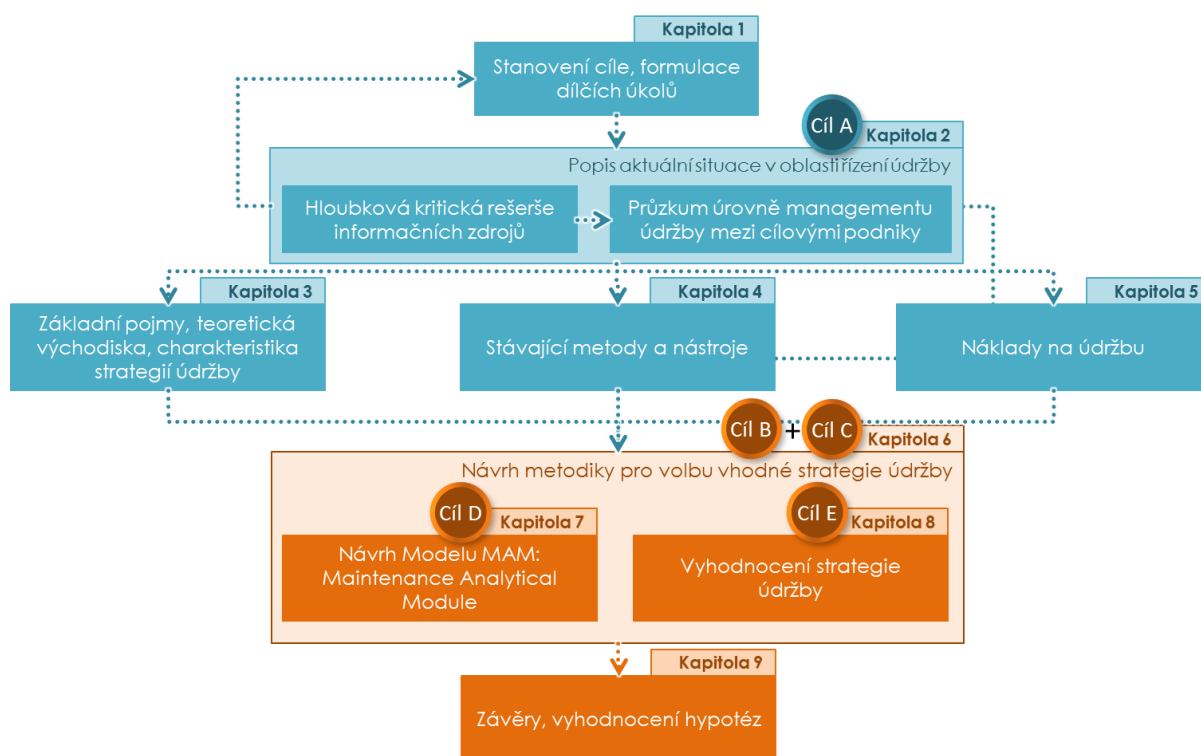
Model nemůže existovat jako izolovaný ostrov. Je nutné, aby byly charakterizovány veškeré vstupy a vazby na další části systému podnikového řízení tak, aby byl model do tohoto systému plně integrován a aby byl schopen pružně reagovat na změny vstupních hodnot.

E) Vytvoření systému hodnocení efektivity údržby

Je nutné definovat systém hodnotících ukazatelů, který umožní manažerům údržby identifikovat, zda byla zvolena vhodná strategie údržby. Výsledky by pak měly být vodítkem pro optimalizační kroky, které by měly systém údržby v budoucnu zefektivnit.

1.2 Postup při zpracování disertační práce

Celkový pohled o postupu při zpracování disertační práce přehledně znázorňuje obrázek č. 1.



Obr. 1. Postup při zpracování disertační práce

Prvním krokem při zpracování disertační práce bylo zmapování současného stavu poznání zkoumané problematiky a definování požadavků a kritických míst v oblasti řízení údržby v cílových podnicích. Tomuto kroku je věnována **druhá kapitola**. Pro naplnění úkolu byly využity dvě metody.

V první řadě to byla **hloubková rešerše informačních zdrojů**, která se primárně zaměřovala na odborné vědecké články v elektronických databázích a tuzemské a zahraniční monografie. Detailní charakteristika rešeršní strategie a nejdůležitějších zdrojů je obsahem **kapitoly 2.1**. Na základě výsledků této rešerše bylo možné získat obraz o problematice řízení údržby a určit potenciální směry dalšího vývoje této oblasti.

Druhou metodou, využitou v této části byl **empirický výzkum**, jehož cílem bylo zmapování úrovně managementu údržby v cílových podnicích a rozsahu využívání počítačové podpory při řízení a plánování údržby. Detailně je charakterizován tento výzkum v **kapitole 2.2**. Tento průzkum byl proveden formou dotazníkového šetření v kombinaci se strukturovaným rozhovorem.

Získaná data byla statisticky zpracována a použita k formulaci závěrů. Na jejich základě bylo možné identifikovat požadavky cílových podniků a kritická místa v oblasti řízení údržby.

Výsledky průzkumu společně se závěry kritické rešerše informačních zdrojů posloužili jako odrazový můstek pro zpracování dalších částí disertační práce. Jejich pomocí bylo možné identifikovat parametry a požadavky na navrhovanou metodiku i model MAM popsany v dalších částech. Prostřednictvím kapitoly druhé byl **naplněn cíl A**.

Třetí kapitola navazuje **popisem hlavních teoretických východisek**, o která se disertační práce opírá a byla sestavena na základě informací získaných rešerší informačních zdrojů. V úvodní části je vymezen pojem údržby a její hlavní funkce. Dále jsou charakterizovány základní pojmy a matematické formulace teorie spolehlivosti, která tvoří určité teoretické pozadí disertační práce. Druhá část třetí kapitoly je věnována popisu hlavních strategických přístupů údržby, jejich celkovému srovnání a definování kladů a záporů jednotlivých strategií.

Čtvrtá kapitola se zaměřuje na **popis stávajících metod a nástrojů**, které byly identifikovány jako přínosné pro rozhodování o strategiích údržby. Jedná se o metodu FMEA, která byla integrována do navrhované metodiky volby vhodné strategie údržby a představuje její první kroky. Dále jsou popsány SW nástroje, které významně ulehčují práci s daty a umožňují získávání informací potřebných pro rozhodování o strategiích údržby.

Vzhledem k tomu, že hlavním cílem disertační práce je zvýšení ekonomické efektivity systému údržby, byla do ní zařazena **kapitola pátá**, která **charakterizuje jednotlivé skupiny přímých a nepřímých nákladů na údržbu**. Důležitou metodou, která je v rámci této kapitoly aplikována, je vertikální varianta hodinové nákladové sazby, která je využita pro alokaci nákladů střediska údržba k jednotlivým strojům. Dále jsou v kapitole popsány možnosti kvantifikace nákladů ztracené výrobní kapacity – náklady prostojů a vymezeny další skupiny nepřímých nákladů údržby, které vznikají tehdy, když není zařízení schopné plnit požadovanou funkci. Právě minimalizace těchto nákladů představuje hlavní přínos údržby a bez možnosti jejich vyčíslení není možné identifikovat ekonomicky efektivní strategii údržby.

Syntézou poznatků uvedených v kapitole třetí, čtvrté a páté je **navržena metodika volby vhodné strategie údržby**, popsaná v **kapitole šesté**. Metodika se soustřeďuje primárně na ekonomické přínosy implementovaných strategií a ideově se opírá především o přístup Reliability Centered Maintenance popsany v kapitole 3.3.6, který dále zpodrobňuje, rozšiřuje a rozvíjí. V kapitole jsou popsány její jednotlivé kroky, jejichž součástí je i metoda FMEA a je tedy **naplněn cíl B**. Jelikož je navrhovaná metodika velice náročná na informace a data, je kladen velký důraz na charakteristiku informačních zdrojů, integraci této metodiky do struktury informačních systémů a charakteristiku vzájemných vazeb mezi těmito systémy. Tím je v rámci této kapitoly také **naplněn cíl C**.

Při zpracovávání metodiky volby vhodné strategie údržby byla identifikována potřeba vytvoření nástroje, který by integroval informace z jednotlivých informačních zdrojů a SW nástrojů a transformoval je do ucelené podoby, která poskytuje oporu při rozhodování manažerů údržby při volbě strategie údržby. Proto bylo rozhodnuto **sestavení modelu MAM (Maintenance Analytical Module)**, který je detailně charakterizován v **kapitole sedmé**. Model MAM byl vytvořen v programu MS Excel a je svým charakterem modelem na podporu rozhodování, nikoliv modelem optimalizačním. Model představuje prototyp

informačního systému ve zmenšeném měřítku, který slouží k prezentaci základní architektury systému, ověření funkčnosti a demonstraci vzájemných vazeb mezi jednotlivými prvky modelu. Model MAM zjednodušuje kvantifikaci přímých i nepřímých nákladů údržby, třídí a přehledné uspořádává informace o jednotlivých prvcích systému i o celém systému a poskytuje tak podporu pro rozhodování manažerů údržby. S jeho pomocí lze také provádět citlivostní analýzu a simulace dopadů změn různých vstupů na celkové náklady údržby a výrobní kapacity. V sedmé kapitole je **naplněn cíl D**.

Kapitola osmá představuje logické zakončení celé disertační práce. Je v ní popsán **systém hodnotících ukazatelů**, který slouží k vyhodnocení efektivity implementované strategie a představuje nezbytný krok v rámci navrhované metodiky. Tato část tak zajišťuje zpětnou vazbu a neustálé zlepšování systému údržby. Prostřednictvím této kapitoly je **splněn i poslední cíl disertační práce E**.

Vzhledem k omezenému rozsahu tohoto příspěvku se budu v následujícím textu věnovat bližšímu popisu pouze hlavních výstupů disertační práce bezprostředně spojených s naplňováním jejich cílů.

2. Průzkum mezi cílovými podniky

Cílem průzkumu bylo zmapování úrovně managementu údržby v cílových podnicích a rozsahu využívání počítačové podpory při řízení a plánování údržby. O realizaci tohoto průzkumu bylo rozhodnuto z důvodu zjištění konkrétních požadavků a slabých míst v oblasti řízení a plánování údržby u cílových podniků. Výsledky tohoto průzkumu významně ovlivnili další směřování řešení této práce a průzkum lze označit za jeden z hlavních přínosů disertace.

Pro sběr dat byl využit komplexní dotazník, který mapuje pět klíčových oblastí charakterizujících jednotlivé aspekty managementu údržby:

A. Definice role a postavení údržby v podniku

Respondent definuje rozsah údržby a charakterizuje vnímání důležitosti role údržby pro zajišťování provozuschopnosti podniku.

B. Strategie údržby

Respondent definuje, jaké přístupy a strategie jsou aplikovány při řízení a plánování údržby v podniku.

C. Příčiny poruch

Respondent charakterizuje typické příčiny poruch (pokud jsou v podniku sledovány a stanovovány).

D. Využití SW nástrojů při řízení a plánování údržby

Pokud je v podniku využívána SW podpora řízení údržby (systémy CMMS), respondent charakterizuje, jakým způsobem jsou využívány, jaké jsou nejčastěji využívané funkce, jaké jsou hlavní přínosy a nedostatky implementovaného systému.

E. Náklady spojené s údržbou

Respondent charakterizuje výši nákladů na údržbu a popisuje, jaké nákladové skupiny jsou v podniku sledovány a do jaké úrovně jsou alokovány. Přestože je hlavní cílovou osobou této části dotazník manažer údržby, jsou často tyto otázky vyplňovány na základě konzultací s pracovníky controllingu.

2.2 Metoda sběru dat

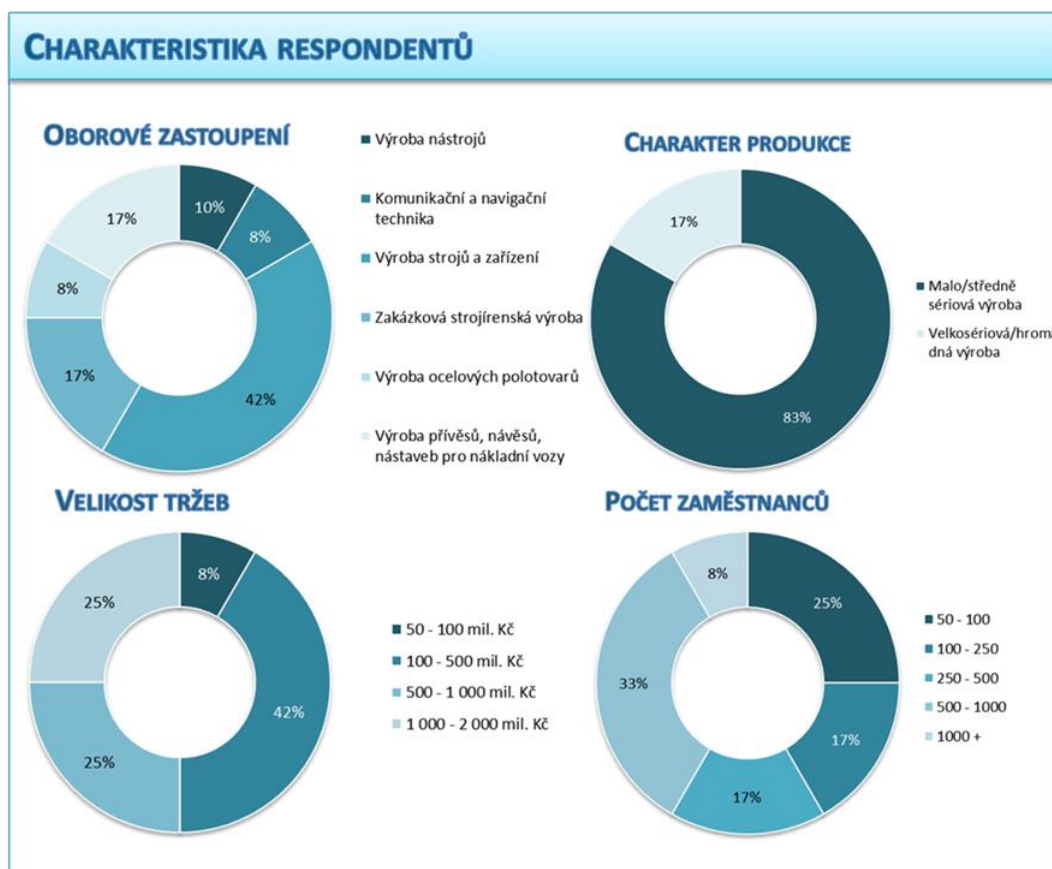
Byla zvolena metoda sběru dat prostřednictvím komplexních elektronických dotazníků, vytvořených v programu Adobe Acrobat Professional umožňující vyplnit odpovědi přímo do elektronického formuláře nebo použít tištěnou verzi dotazníku. Tuto formu jsem zvolil z důvodu možnosti uložení formuláře a redistribuce dotazníku více osobám. To je nezbytné vzhledem k velké komplexnosti dotazníku a potřebě oslovit několik cílových osob. Pro získání širších informací o systému řízení údržby, přesahujících možnosti elektronického formuláře a pro ověření věcné i formulační správnosti a srozumitelnosti dotazníkových otázek, byl proveden strukturovaný rozhovor se dvěma zástupci cílových podniků.

2.3 Cílový respondent

Průzkum se zaměřuje na střední až velké průmyslové podniky zabývající se především malosériovou nebo zakázkovou výrobou. Vybraní respondenti odpovídající výše zmíněným charakteristikám byli osloveni v několika vlnách, ve kterých se podařilo získat celkem dvanáct kompletních dotazníků. Návratnost dotazníků byla velmi nízká a dosáhla pouze patnácti procent. Jako hlavní důvody takto nízké návratnosti lze označit:

- velký rozsah a komplexnost dotazníku
- nutnost kooperace několika osob na jeho vyplnění
- všeobecnou nechuť podniků podílet se na takovýchto výzkumech a sdělovat interní data obzvláště v období hospodářské krize

Přes výše zmíněné problémy se podařilo nasbírat dostatek dat od významných zástupců českého průmyslu, která poskytují reprezentativní obrázek o situaci v oblasti řízení údržby v cílových podnicích v České republice. Detailní charakteristiku respondentů přibližují grafy na obrázku 2.



Obr. 2. Detailní charakteristika respondentů

Většina otázek se přímo vztahuje k tématu údržby a odpovědi jsou v kompetenci vedoucího oddělení údržby (nebo jiné osoby zodpovědné za tuto oblast - např. výrobního ředitele). Poslední část dotazníku (část E) se zaměřuje na náklady spojené s údržbou a na zjištění úrovně jejich alokace. Proto je nutná při zodpovídání této části kooperace se zaměstnancem zodpovědným za sledování a analýzu nákladů (např. pracovníkem controllingu nebo ekonomického oddělení). Z tohoto důvodu je velice důležitá možnost redistribuce popř. tisku dotazníku.

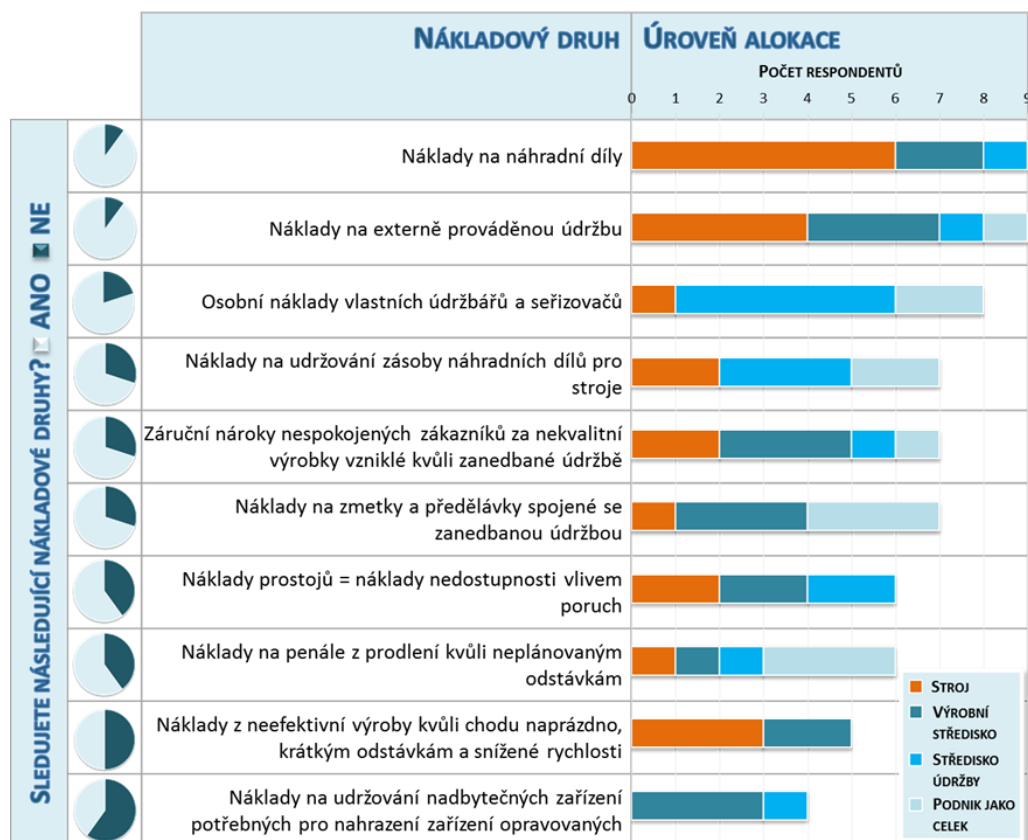
2.3 Souhrn hlavních závěrů průzkumu

Detailní přehled výsledků průzkumu byl publikován ve člancích [4], [5]. V tomto příspěvku uvádím pouze souhrnné závěry.

Z provedeného průzkumu vyplývá, že podniky využívají kombinovanou strategii řízení údržby, kdy u některých strojů je prováděna preventivní údržba a na zbytku zařízení je aplikován systém korektivní údržby. Podniky se liší pouze podílem strojů, na kterých je preventivní údržba prováděna. Celkově za všechny podniky je preventivní údržba prováděna na 74 procentech zařízení.

Při mapování úrovně využití SW nástrojů bylo zjištěno, že pouze 25 procent respondentů používá systémy CMMS (Computerised Maintenance Management Systems) pro řízení a plánování údržby a v širší aplikaci těchto moderních nástrojů spatřují velký potenciál rozvoje úrovně řízení údržby v cílových podnicích.

Při zkoumání problematiky nákladů na údržbu bylo zjištěno, že drtivá většina podniků sleduje přímé náklady na údržbu. Nižší procento respondentů pak sleduje náklady nepřímé. Hlavní problém mezi respondenty je však úroveň alokace těchto nákladů, kdy tyto náklady nejsou přiřazovány k místu jejich vzniku a není tedy možné přesně kalkulovat ani náklady na provádění údržby ani její přínosy. Tyto skutečnosti ilustruje obrázek č. 4.



Obr. 4. Náklady na údržbu a úroveň jejich alokace

Dalším důležitým zjištěním pak je, že pouze jedna třetina respondentů provádí analýzu nákladů spojených s údržbou.

Celkově nelze označit úroveň managementu údržby v cílových podnicích jako nízkou, ale manažerům údržby často chybí dostatek informací pro volbu vhodné strategie údržby a musí se tak spoléhat pouze na své zkušenosti a intuici. Zkušenosti pracovníků údržby jsou vždy klíčové při zajišťování hladkého chodu výrobních procesů, ale je nutné poskytnout manažerům údržby potřebné informace, aby mohli jim svěřené zdroje využívat s maximální efektivitou.

3. Metodika volby vhodné strategie údržby

Hlavní náplní této kapitoly je stručný popis metodiky pro volbu strategie údržby vymezeného systému strojů. Metodika se tedy nezaměřuje na výběr strategie pro jednotlivá zařízení, nýbrž definuje mix strategií údržby pro prvky (stoje) vymezeného systému tak, aby vyčleněné zdroje byly využity efektivně a přínosy pro systém jako celek byly maximální.

Hlavním cílem navrhované metodiky není definice jediného optimálního strategického mixu provádění údržby strojů. Prostřednictvím jednotlivých kroků metodiky a za pomoci manažerského nástroje – modelu MAM popsaného v kapitole následující – modeluje dopady implementace možných strategických mixů na vymezený systém strojů. Finální volba strategického mixu je na manažerovi údržby, který se při svém rozhodování může opírat nejen o své zkušenosti, ale také o celou řadu důležitých informací, které tato metodika a navrhovaný model zprostředkovávají.

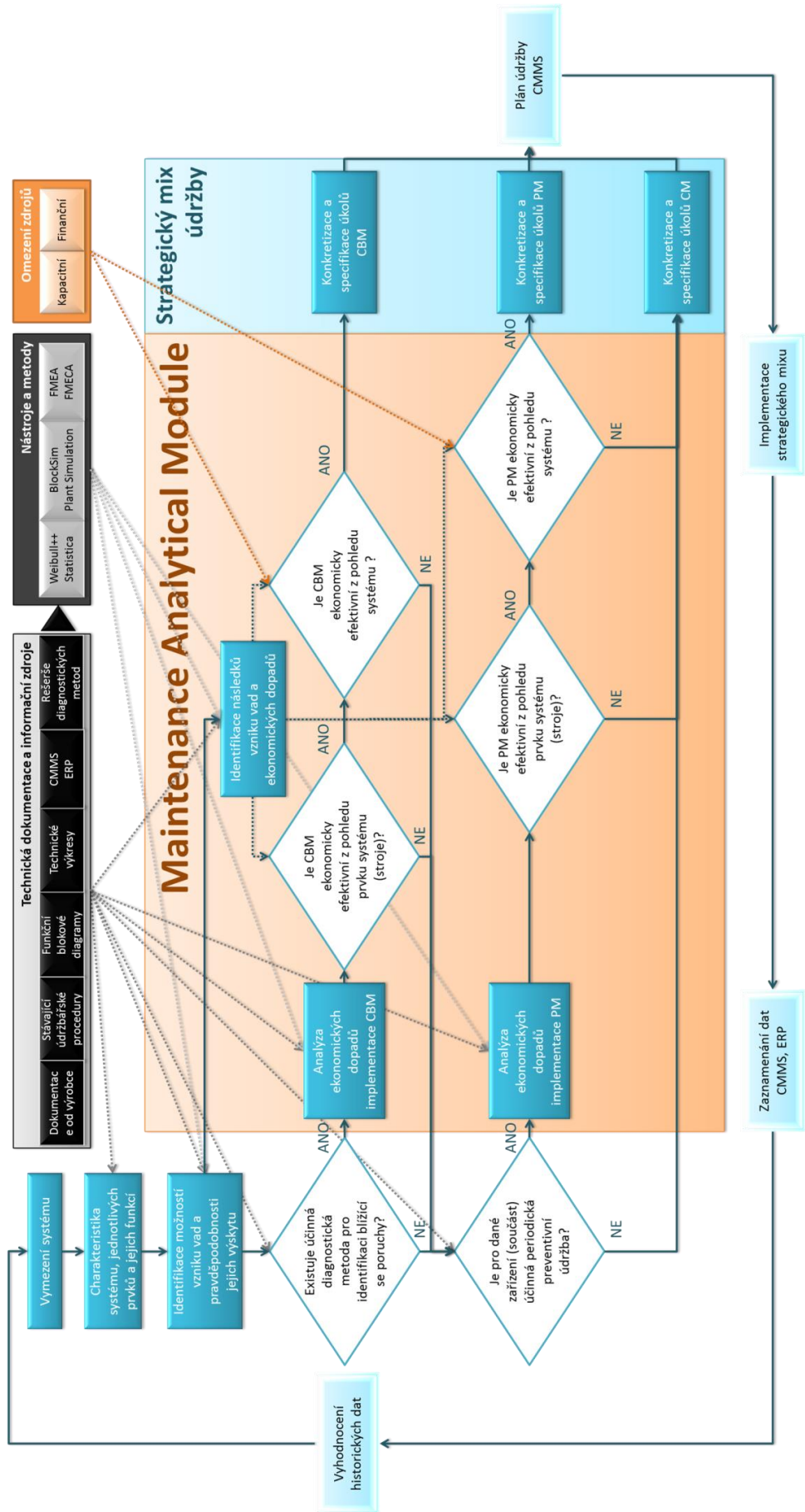
Metodika se soustřeďuje primárně na **ekonomické přínosy** implementovaných strategií a ideově se opírá především o přístup Reliability Centered Maintenance (RCM), který dále zpodrobňuje, rozšiřuje a rozvíjí. Při její tvorbě bylo čerpáno především ze zdrojů (NASA, 2000), (Rausand, 1998) (Zhou, a další, 2007), (MOORE, 2007).

Jednotlivé kroky metodiky blíže popisuje obrázek 5:

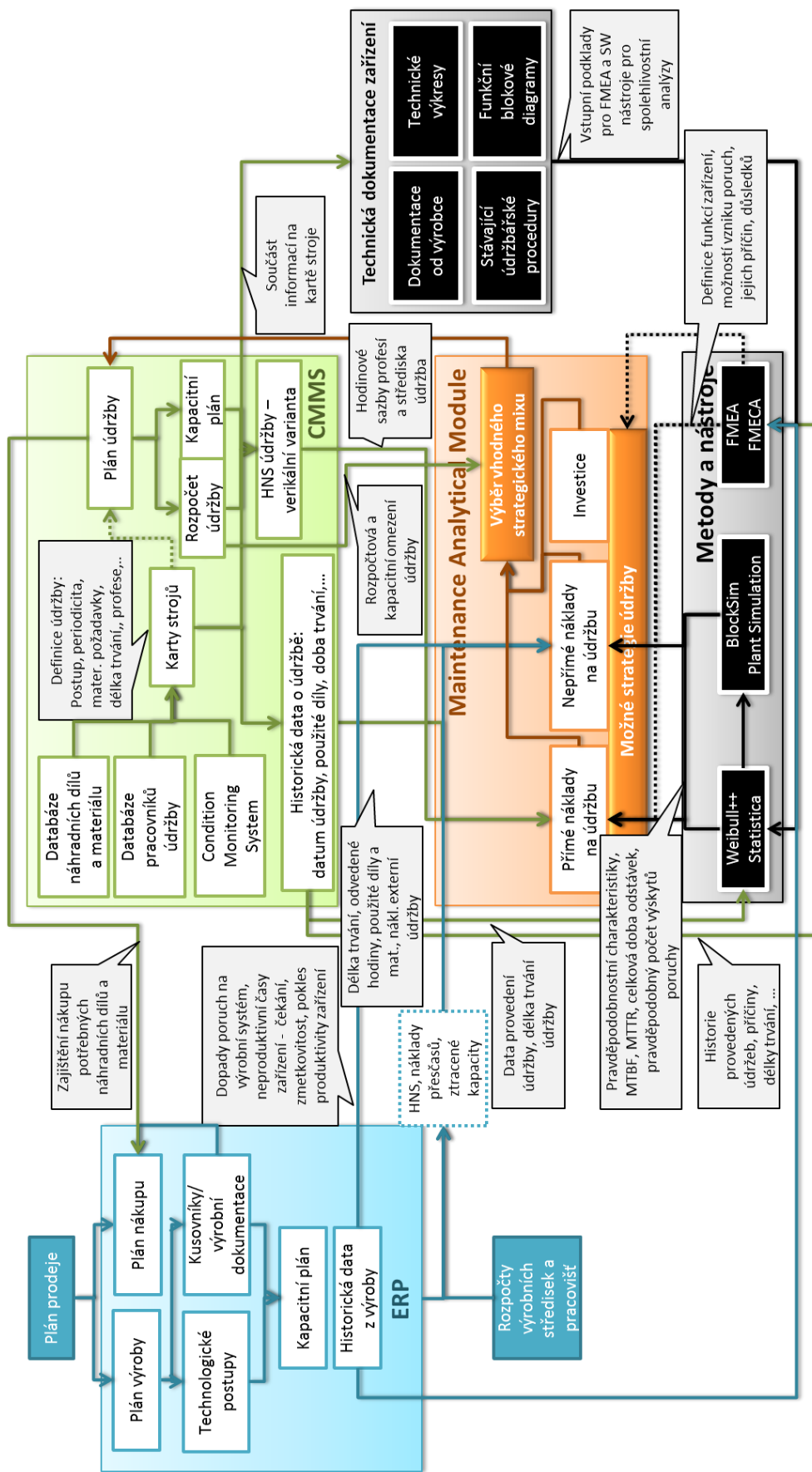


Obr. 5. Souhrn kroků navrhované metodiky

Postup v rámci navrhované metodiky lze transformovat do procesního schématu, ve kterém jsou zachyceny vazby na informační zdroje pro jednotlivé kroky metodiky a oblast využití modelu MAM charakterizovaného v následující kapitole.



Obr. 6. Procesní schéma metodiky pro volbu vhodné strategie údržby



Obr. 7. Informační toky v rámci metody volby vhodné strategie údržby

Jelikož je tato metodika velice náročná na informace a data, je v disertační práci kladen velký důraz na charakteristiku informačních zdrojů, integraci této metodiky do struktury informačních systémů a charakteristiku vzájemných vazeb mezi těmito systémy. Tyto vazby souhrnně ilustruje schéma na obrázku 7.

Vzhledem k této náročnosti na vstupní data a také na jejich zpracování, je její aplikace bez podpory moderních SW nástrojů jen těžko představitelná. Klíčovým SW nástrojem je systém CMMS, který slouží k přehlednému a strukturovanému uchovávání historických dat o údržbě a stává se tak klíčovým zdrojem vstupních informací. Jeho další důležitou úlohou je to, že výrazně usnadňuje plánování a řízení údržby. Přispívá tak k efektivnímu využívání zdrojů alokovaných pro zajišťování údržby.

Dalšími důležitými nástroji, jejichž využití v rámci metodiky lze označit jako nutnou podmínku, jsou softwary na zpracování dat o údržbě. Ty usnadňují odvozování spolehlivostních charakteristik, umožňují provádět spolehlivostní simulace a tímto způsobem napomáhají identifikovat dopady různých strategií údržby na vymezený systém. Tyto výpočty a simulace je možné provádět i bez SW nástrojů, ale vzhledem k jejich složitosti a náročnosti to výrazně limituje jejich využitelnost v podnikové praxi.

Kromě výše zmíněných softwarů však stále chybí nástroj, který by všechny důležité informace integroval a poskytoval manažerům údržby komplexní přehled a oporu při strategickém rozhodování o údržbě. Z tohoto důvodu byl vyvinut model MAM – Maintenance Analytical Module, který by měl tento požadavek naplnit. Jeho stručná charakteristika je náplní následující kapitoly.

4. Model MAM – Maintenance Analytical Module

Model MAM byl vyvinut jako jeden z nástrojů použitých v metodice volby vhodné strategie údržby a je její nedílnou součástí. Jedná se o model na podporu rozhodování (nikoliv model optimalizační), který představuje určitou nadstavbu systému CMMS pro komplexní analýzy systému údržby. Při tvorbě výstupů potřebných pro rozhodování o strategiích údržby využívá rozsáhlé množství vstupů z tohoto i dalších informačních systémů a SW nástrojů (viz obr. 7).

Hlavním cílem modelu MAM je informační podpora manažerů údržby při volbě vhodné strategie údržby. S tímto hlavním cílem jsou spojeny tyto dílčí přínosy modelu:

- Zjednodušuje kvantifikaci přímých i nepřímých nákladů údržby
- Třídí a přehledně uspořádává informace o jednotlivých prvcích systému i o celém systému a poskytuje tak podporu pro rozhodování manažerů údržby ve třech rovinách:
 - vzájemné srovnání jednotlivých strategií údržby u jednoho stroje
 - vzájemné srovnání jednotlivých prvků v rámci systému jako celku
 - vzájemné srovnání jednotlivých strategických mixů
- Umožňuje citlivostní analýzu a simulace dopadů změny různých vstupů na celkové náklady údržby a výrobní kapacity např. pro případ nedostatku empirických dat
- Přináší finanční argumenty do rukou manažerů údržby při vyjednávání s vrcholovým vedením o investicích potřebných pro rozvoj systému údržby

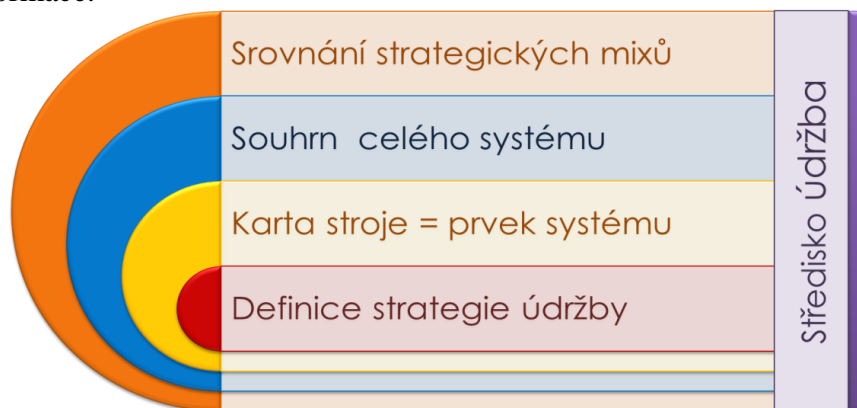
Model představuje prototyp informačního systému ve zmenšeném měřítku vytvořený v programu MS Excel, který slouží k prezentaci základní struktury, ověření funkčnosti a demonstraci vzájemných vazeb mezi jednotlivými prvky modelu. MS Excel byl zvolen kvůli snadnému využití pro vymezený úkol, všeobecné znalosti tohoto programu, jeho širokému rozšíření a pokročilým možnostem, které nabízí, pokud jsou efektivně využity jeho funkce. Model není určen přímo pro podnikové aplikace. Pro komerční využití by bylo potřeba

software naprogramovat na jiné platformě než je MS Excel, která by umožňovala snadné importy dat z databází ostatních informačních systémů a poskytovala by vyšší úroveň variability. Tento další vývoj by však vyžadoval zapojení společností, které se zabývají vývojem informačních systémů.

Pro ukázkou možností modelu a všech jeho funkcí byla definována případová studie, kdy je model MAM využit pro analýzu systému údržby fiktivního systému deseti strojů (ST1 až ST10). Vstupní data této případové studie byla stanovena kvalifikovaným odhadem na základě zkušeností získaných v průběhu zpracování diplomové práce.

4.1 Struktura modelu

Struktura modelu je tvořena hierarchicky od úrovně největšího detailu až po úroveň největší agregace informace.



Obr. 8. Hierarchie modelu MAM

Základní úroveň, která tvoří jádro modelu MAM, představují listy **Definice údržby**, na kterých jsou pro každý prvek systému (stroj/zařízení) přiřazovány parametry jednotlivých strategií údržby. Druhou úroveň pak představují **Karty strojů**, které agregují informace z listu Definice údržby a doplňují je o další vstupy důležité především pro kvantifikaci nepřímých nákladů údržby. Třetí úroveň představuje **Souhrn celého systému**, který v jednotné struktuře agreguje informace od jednotlivých prvků systému. Na nejvyšší úrovni jsou pak srovnávány dopady různých **strategických mixů** na systém jako celek. Paralelní zdrojovou databázi potom tvoří list **Středisko údržba**, kde jsou definovány vstupní parametry tohoto servisního střediska.

Model umožňuje pro každý prvek systému nadefinovat až tři různé strategie údržby (S1 až S3). Každá strategie se skládá z různé kombinace tří základních strategických přístupů údržby:

CM – Corrective maintenance – údržba po poruše

Na zařízení nejsou prováděny žádné údržbářské zásahy až do doby jeho poruchy nebo havárie.

PM – Preventive Maintenance – preventivní údržba

Přístup je zaměřen na eliminaci neplánovaných poruch prostřednictvím provádění cyklicky se opakujících preventivních prohlídek a preventivních oprav. Periodicita je většinou vymezena určitým časovým intervalem nebo počtem pracovních cyklů.

CBM – Condition Based Maintenance – diagnostická údržba

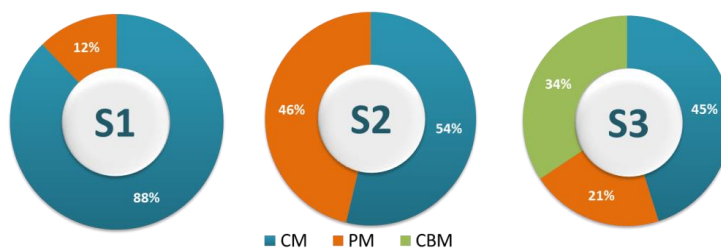
Přístup, který respektuje skutečný technický stav zjištěný metodami technické diagnostiky. Stroje a zařízení jsou odstavovány pouze tehdy, když dosáhly fáze mezního opotřebení, či dosáhly mezní hodnoty sledované veličiny, která indikuje riziko vzniku poruchy.

Pro potřeby případové studie byly strategiím S1, S2, S3, stanoveny určité charakteristické rysy:

Strategie S1 je charakterizována jako strategie základní. U této strategie dominuje korektivní údržba. Kromě ní je prováděna základní preventivní údržba, která je založena pouze na preventivních prohlídkách. Nepředpokládá se žádná preventivní výměna opotřebovávaných součástí.

Strategie S2 je založena na širokém využití preventivní údržby. U součástí, u nichž dochází k opotřebovávání v závislosti na čase, je prováděna preventivní výměna. Její periodicita je stanovována na základě analýzy historických dat a s využitím SW nástrojů.

Strategie S3 je pak charakteristická využíváním moderních diagnostických metod. Pro poruchy, na které není možné aplikovat diagnostiku, jsou však dále využity přístupy CM a PM.



Obr. 9. Podíl nákladů vynakládaný na jednotlivé druhy údržby v rámci strategií S1, 2, 3 u stroje ST2

S využitím výstupů modelu MAM může následně manažer údržby rozhodovat o volbě vhodné strategie údržby jak z pohledu jednotlivých prvků, tak z pohledu systému jako celku.

4.2 Výstupy modelu MAM

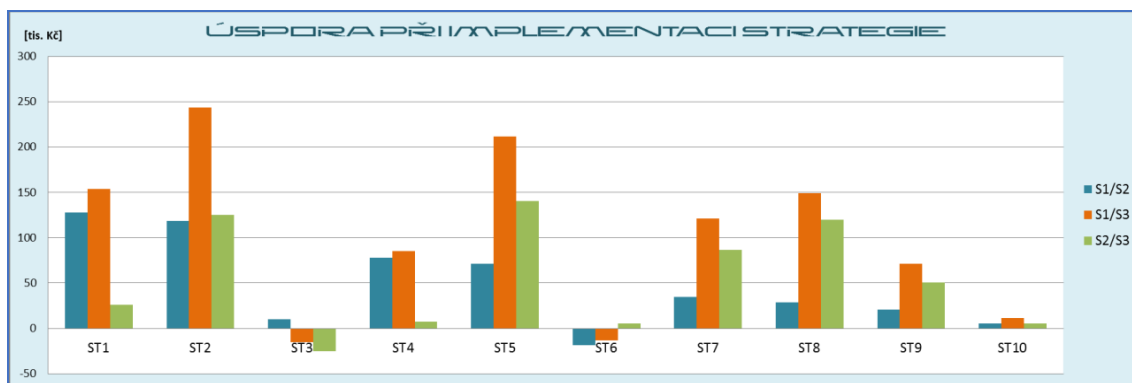
V této části charakterizují hlavní výstupy, které jsou manažerovi údržby k dispozici jako opora při volbě vhodného strategického mixu pro vymezený systém strojů. Pro snadnější a rychlejší manažerskou interpretaci je souhrnná tabulka výstupů v modelu MAM transformována do podoby přehledných souhrnných grafů.

Jako pomocné rozhodovací charakteristiky jsou z karet strojů přejímány charakteristiky **pořizovací cena stroje, stáří stroje, celkové přímé náklady stroje**. Tato kritéria nejsou nejvhodnější pro samotný výběr strategie údržby, ale pomáhají vzájemně vymezit jednotlivá zařízení z hlediska náročnosti na vstupní investici, jejich stáří a roční nákladovost (náročnost na zdroje).

Další skupinou výstupů jsou **hodinové sazby** jednotlivých zařízení. Ty vymezují hodinovou nákladovost jednotlivých zařízení a také určují hodinovou výši ztráty při výpadku výroby zařízení z důvodu poruchy. Na základě tohoto výstupu může tedy manažer údržby identifikovat, jaké dopady bude mít každá hodina odstávky zařízení na náklady i na ztráty příspěvku na úhradu. To lze použít k určení priorit při směřování zdrojů a úsilí údržby.

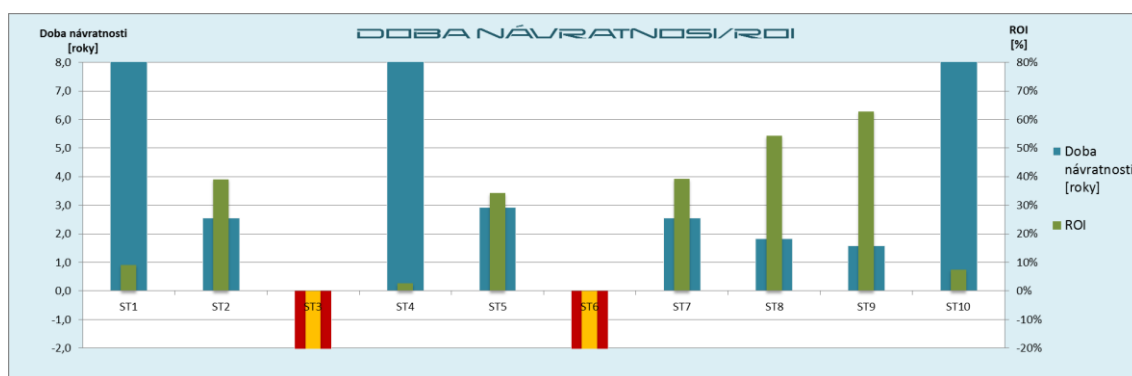
Další klíčovou výstupní charakteristikou jsou **celkové náklady na údržbu** v jejich absolutní výši pro jednotlivé strategie údržby. Přínosný je především pro identifikaci kritických prvků systému, které spotřebovávají nejvíce finančních zdrojů alokovaných na údržbu a na které je třeba se soustředit.

Přínosy implementace strategií údržby jsou však mnohem lépe patrné z grafu, který zobrazuje přímo **diference celkových nákladů údržby** daných strategií (S1/S2, S1/S3, S2/S3). Tento výstup hraje klíčovou úlohu při rozhodování o volbě strategií údržby jednotlivých prvků systému.



Obr. 10. Graf úspora při implementaci strategie

Při rozhodování o tom, do jakých strategií směřovat investice lze aplikovat výstupní charakteristiky, které poměří absolutní výši investice spojené s danou údržbou se statickými ukazateli hodnocení investic – **dobou návratnosti a ROI (Return of Investment)**.



Obr. 11. Graf doba návratnosti/ROI

Kromě výše zmíněných grafů má manažer údržby k dispozici grafy, které charakterizují dopady implementace různých strategií na kapacity.

První charakteristika umožňuje sledovat, jak se jednotlivé prvky systému podílí na **čerpání kapacit střediska údržba** a jak toto čerpání ovlivní zavedení různých strategií údržby. Kromě čerpání kapacit střediska údržba lze sledovat také **dopady implementace jednotlivých strategií údržby na kapacitu jednotlivých zařízení**.

Kromě tohoto absolutního vyjádření přírůstku kapacity zařízení lze také sledovat procentní poměr Downtime/Uptime, kde:

- Uptime je předpokládaný čas výroby zařízení [hod./rok]
- Downtime je předpokládaný čas odstávky zařízení pouze z důvodu plánované nebo neplánované údržby [hod./rok]

Všechny výše zmíněné charakteristiky může manažer údržby využít pro volbu mixu strategií pro jednotlivé prvky systému. Protože však není model MAM modelem optimalizačním, ale modelem na podporu rozhodování, není výstupem jediná optimální varianta, ale soubor informací, s jejichž pomocí je rozhodnutí učiněno. Z tohoto důvodu obsahuje model MAM ještě jednu úroveň, která umožňuje porovnat několik variant možných strategických mixů nadefinovaných manažerem údržby. Nejdůležitější charakteristiky jednotlivých strategických mixů jsou pak načítány do srovnávací tabulky, která je opět pro větší srozumitelnost a snazší interpretaci doplněna i grafickým výstupem.

CELKOVÉ SROVNÁNÍ: STRATEGICKÉ MIXY					
Varianta	1	2	3	4	5
Zvolená strategie					
ST1	1	3	2	2	2
ST2	1	3	3	3	3
ST3	1	1	1	1	1
ST4	1	2	2	2	2
ST5	1	3	3	2	2
ST6	1	1	1	1	1
ST7	1	3	3	3	2
ST8	1	3	3	3	2
ST9	1	3	3	1	3
ST10	1	3	1	1	1
Celkové náklady na údržbu [Kč]	4 383 993	3 517 044	3 521 086	3 669 485	3 769 269
Přímé náklady na údržbu [Kč]	2 332 250	2 456 788	2 405 071	2 433 491	2 446 609
Nepřímé náklady na údržbu [Kč]	2 051 742	1 060 256	1 116 015	1 235 994	1 322 660
Předpokládaná úspora [Kč]	0	1 080 868	1 020 692	789 392	652 660
Potřebné investiční výdaje [Kč]	0	1 605 000	1 250 000	760 000	400 000
Odpracované hodiny - údržba [hod.]	3 401	2 603	2 781	3 113	3 217
Downtime/Uptime [%]	3,89%	2,04%	2,28%	2,43%	2,71%

Obr. 12. Celkové srovnání strategických mixů

Se zohledněním kapacitních a finančních limitů a s využitím široké palety výstupních charakteristik, které poskytuje model MAM může nyní manažer učinit rozhodnutí o volbě vhodném strategickém mixu údržby pro vymezený systém strojů, který bude efektivně využívat alokované zdroje.

5. Závěr

V rámci řešení disertační práce byly splněny všechny vytyčené cíle. Hlavní přínosy disertační práce pak spatřuji ve třech klíčových oblastech:

V první řadě je to **průzkum v cílových podnicích** zaměřující se na zmapování úrovně managementu údržby a rozsahu využívání počítačové podpory při jejím řízení a plánování. Jeho závěry poskytují ucelený pohled na stav zkoumané problematiky a umožňují identifikovat potřeby, ale také nedostatky a kritická místa v oblasti řízení a plánování údržby u cílových podniků. Společně se závěry kritické rešerše informačních zdrojů posloužily jako odrazový můstek pro zpracování dalších částí disertační práce.

Druhou cennou částí předkládané práce je charakteristika jednotlivých kroků **metodiky** pro volbu vhodné strategie údržby. Vzhledem k velké náročnosti na vstupní data, považuji za velmi přínosnou především charakteristiku vazeb mezi jednotlivými informačními systémy a SW nástroji. Tyto vazby ilustruje schéma na obrázku č. 7, sumarizující jednotlivé informační

toky. Samotný postup, kterým by měli projít manažeři údržby při určování vhodné strategie údržby, je souhrnně ilustrován pomocí procesního schématu na obrázku č. 6, ze kterého je také patrné také uplatnění modelu MAM v rámci této metodiky.

Model MAM (Maintenance Analytical Module) pak považují za třetí klíčový přínos disertační práce. Představuje funkční prototyp informačního systému, který poskytuje manažerům údržby cílových podniků informační podporu při volbě strategie údržby. S jeho využitím lze provádět citlivostní analýzu a simulace dopadů změn různých vstupů na celkové náklady údržby a výrobní kapacity např. pro případ nedostatku empirických dat. Model MAM také přináší finanční argumenty do rukou manažerů údržby při vyjednávání s vrcholovým vedením o investicích potřebných pro rozvoj systému údržby, u nichž bývá často obtížné obhájit jejich přínos pro podnik.

Disertační práce jako celek je tedy přínosná především manažerům údržby cílových podniků, kterým poskytuje metodickou a informační oporu při volbě vhodné strategie údržby.

Seznam symbolů

<i>CBM</i>	Condition Based Maintenance – diagnostická údržba
<i>CM</i>	Corrective Maintenance – údržba po poruše
<i>CMMS</i>	Computer Maintenance Management Systems – systémy pro řízení a plánování údržby
<i>MAM</i>	Maintenance Analytical Module – analytický modul pro komplexní analýzy systému údržby a pro podporu volby vhodné strategie údržby
<i>PM</i>	Preventive Maintenance – preventivní údržba
<i>ROI</i>	Return of Investment – výnosnost investice (%)
<i>SI – S3</i>	Označení strategie údržby aplikované na jednotlivých strojích
<i>ST1 – ST10</i>	Označení jednotlivých strojů

Seznam použité literatury

- [1] MOORE, Ron. Selecting the right manufacturing improvement tools: What tool? When?. Burlington: Butterworth-Heinemann, 2007, xxii, 390 s. ISBN 07-506-7916-6.
- [2] NASA. Reliability Centered Maintenance - guide for facilities and collateral equipment [online]. 2000, 356 s. [cit. 2012-09-23]. Dostupné z: wbdg.org/ccb/NASA/GUIDES/rcmguide.pdf
- [3] RAUSAND, Marvin. Reliability centered maintenance. Reliability Engineering [online]. 1998, roč. 60, č. 2, s. 121-132 [cit. 2012-08-03]. ISSN 09518320. DOI: 10.1016/S0951-8320(98)83005-6. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0951832098830056>
- [4] ZHOU, X., L. XI a J. LEE. Reliability-centered predictive maintenance scheduling for a continuously monitored system subject to degradation. Reliability Engineering [online]. 2007, roč. 92, č. 4, s. 530-534 [cit. 2012-10-07]. ISSN 09518320. DOI: 10.1016/j.ress.2006.01.006. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0951832006000305>
- [5] ŽILKA, M. Úroveň managementu údržby v průmyslových podnicích v ČR. In: Trendy a inovatívne prístupy v podnikových procesoch 2012, Košice, TU Košice, 2012. ISBN 978-80-553-1126-5.
- [6] ŽILKA, M. Survey of the maintenance management level in industrial enterprises in Czech Republic. In: MAINTENANCE 2012. Zenica: University of Zenica, 2012, vol. 1, p. 136-142. ISSN 1986-583X.