



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
www.tul.cz



Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií



Diplomová práce

Liberec 2010/2011

Bc. Libor Tonar



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií

Studijní program: N 2612 – Elektrotechnika a informatika

Studijní obor: 1802T007 – Informační technologie

Aplikace RCM analýzy na vybraná zařízení

Application of the RCM analysis on chosen production facilities

Diplomová práce

Autor: Bc. Libor Tonar

Vedoucí DP: Ing. Jaroslav Zajíček, Ph.D.

Rozsah práce:

stran	slov	obrázků	grafů	tabulek	pramenů	příloh
58	9861	15	0	13	8	1



Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé DP a prohlašuji, že **s o u h l a s í m** s případným užitím mé diplomové práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědom toho, že užít své diplomové práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů vynaložených univerzitou na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím a konzultantem diplomové práce a s pracovníky společnosti SQS Vlákenná optika, a.s..

Datum:

Podpis:



Poděkování

Poděkování patří především mému vedoucímu diplomové práce Ing. Jaroslavu Zajíčkovi, Ph.D., za jeho ochotu, se kterou se mi věnoval při zpracování mé diplomové práce, za jeho cenné rady a připomínky.

Dále děkuji konzultantovi Ing. Janu Kamenickému, Ph.D., za vstřícnost a uvedení do tematiky samotné práce.

Mé díky také patří pracovníkům společnosti SQS Vláknová optika, a.s., kteří se mnou spolupracovali, za jejich vstřícný přístup, podporu a poskytnutí informací.

Závěrem děkuji své rodině za morální a finanční podporu během mého studia.



Abstrakt

Diplomová práce se zabývá údržbovým programem ve společnosti SQS Vlákno optika, a.s. a možnostmi jeho zefektivnění z pohledu ekonomických nákladů. Teoretická část práce popisuje základní pojem údržba, její vývoj a druhy údržby. Dále je vysvětlena podstata moderní metody RCM používané při zefektivnění údržby a popsány kroky potřebné k její realizaci. Praktická část se věnuje seznámení se společností SQS Vlákno optika, a.s., jejím výrobním procesem a sběrem dat potřebných k analýze. Následně je aplikována RCM analýza na vybraném zařízení v prostředí společnosti SQS a uvedeny výsledky vycházející z této analýzy. V závěru jsou navrženy možnosti na zefektivnění údržby vybraného výrobního zařízení.

KLÍČOVÁ SLOVA: údržba, druhy údržby, analýza RCM, MEI

Abstract

The diploma thesis deals with the maintenance programme in the company SQS, Fibre optics, Inc. and the possibilities of its streamlining regarding the economic cost. The theoretical part of the diploma thesis describes basic notions such as maintenance, its development and its kinds. In addition, the principle of the modern RCM method used for streamlining the maintenance is explained and also the steps necessary for its implementation are described. The practical part is concerned with introducing the company SQS, Fibre optics, Inc., its production process and data collection needed for the analysis. Consequently, the RCM analysis is applied to the chosen production facility in the environment of the company SQS and the results coming out from this analysis are mentioned. At the conclusion, possibilities of streamlining the maintenance of the chosen production facility are suggested.

KEY WORDS: maintenance, kinds of maintenance, RCM analysis, MEI



Obsah

Úvod	8
1 Vývoj v oblasti údržby	9
1.1 Generace údržby	9
1.2 Očekávání	10
1.3 Výzkum.....	11
1.4 Nové techniky	13
2 Druhy údržby	15
2.1 Korektivní údržba.....	15
2.2 Preventivní údržba.....	15
2.3 Prediktivní údržba.....	16
3 Údržba a RCM	18
3.1 Podstata RCM	18
3.2 Index efektivnosti údržby	19
3.3 Aplikace postupů RCM.....	21
4 Přístup k programu údržby	23
4.1 Všeobecně.....	23
4.2 Cíle programu údržby	24
4.3 Metoda vypracování programů preventivní údržby	25
4.4 Obsah programu údržby.....	25
5 Problematika investic a držení ND v souvislosti s RCM	27
5.1 Investice do výrobního zařízení.....	27
5.2 Držení ND.....	28
6 Aplikace RCM metody ve výrobní společnosti	30
6.1 Společnost SQS Vláknová optika, a.s.....	30



6.2	Výrobní proces	31
6.2.1	<i>Proces Die-bonding (DB)</i>	32
6.2.2	<i>Proces Wire-bonding (WB)</i>	33
6.2.3	<i>Proces Casting (CA)</i>	33
6.2.4	<i>Proces Measuring/Cuting (ME)</i>	34
6.2.5	<i>Final optical control/Packing</i>	34
6.3	Přípravy pro analýzu RCM	34
6.3.1	<i>Sběr dat</i>	34
6.3.2	<i>Volba zařízení pro analýzu RCM</i>	35
6.3.3	<i>Výběr subsystému</i>	37
6.3.4	<i>Hodinové sazby profesí:</i>	39
6.3.5	<i>Rovnice výrobních ztrát:</i>	39
6.4	RCM analýza výrobního zařízení – lepící hlava.....	40
6.4.1	<i>Zdrojová data</i>	41
6.4.2	<i>Analýza údržby</i>	45
6.4.3	<i>Vyhodnocení ekonomické efektivity údržby</i>	46
7	Závěr	52
	Literatura	54
	Seznam obrázků	55
	Seznam tabulek	55
	Seznam symbolů a zkratk	56
	Seznam příloh	57



Úvod

V posledních letech se v oblasti průmyslové výroby změnilo téměř vše. Změnily se trhy, výrobní filozofie, strategie, metody řízení, výpočetní technika, stroje, nástroje, materiály, lidé i legislativa. Období, ve kterém se dnes výrobní podniky nacházejí, se nazývá období „globální konkurenceschopnosti“. Toto období výrazným způsobem ovlivňuje chování většiny výrobních podniků.

Výrobní podniky, ve snaze být konkurenceschopné, mimo jiné používají a nakupují stále složitější výrobní zařízení. Bohužel žádná výrobní zařízení nejsou absolutně spolehlivá. V důsledku toho jsou nuceny podniky průběžně vynakládat značné finanční prostředky a lidské zdroje na údržbu a obnovu těchto velmi drahých výrobních technologií pro udržení jejich maximální produktivity. Proto má velmi důležitou úlohu údržba, jejímž cílem je zajistit péči o výrobní zařízení na požadované úrovni pohotovosti a efektivity.

Hlavním cílem této práce je porozumění postupům metodiky spolehlivostně orientované údržby (RCM), popsání struktury dat potřebných pro detailní analýzu a jejich zajištění v praxi, začlenění problematiky investic a držení ND do analýzy RCM a samotné provedení analýzy na vhodně zvolených zařízeních pomocí zapůjčeného softwaru.



1 Vývoj v oblasti údržby

Údržba zahrnovala všechny aktivity zaměřující se na opravu nebo obnovu součástí takovým způsobem, aby výrobní zařízení bylo schopno dále vykonávat svou funkci. S postupem času však již pouhá oprava po poruše výrobního zařízení nedostačovala. Byl potřeba rozsáhlejší pohled na údržbu, který zahrnoval také sledování stavu výrobního zařízení, pravidelné inspekce a preventivní náhradu opotřebovaných součástí. V posledních letech je kromě spolehlivosti výrobního zařízení také kladen důraz na jeho bezpečnost a ekologický provoz. V každém období vývoje údržby se nacházely určité požadavky na údržbu, které spojovaly systémy údržby do větších celků, generací.

1.1 Generace údržby

Přístupy k údržbě se dají rozdělit podle společných znaků do tří dekad, podle časového období.

1. generace

První generace se vztahuje na období do druhé světové války. V těch letech byl průmysl velmi málo mechanizovaný, takže výpadky neměly vážný vliv na výrobu. To znamenalo, že prevence proti selhání zařízení nebyla vysokou prioritou. V té době nebylo zařízení příliš komplikované, tím pádem bylo snadno opravitelné. Zavádění systematických úkonů údržby bylo krom jednoduchého čištění a mazání doposud neobjevené z čehož plyne i nepoužívané [1].

2. generace

Věci se měnily dramaticky během druhé světové války. Válečné tlaky zvýšily poptávku po zboží všeho druhu především zbraní, zatímco dodávka průmyslové pracovní síly prudce poklesla. To vše vedlo ke zvýšení mechanizace ve výrobních podnicích. Začátkem padesátých let byl již velký počet komplexních výrobních zařízení a objem výroby na nich začal být čím dál více závislý. Rostoucím trendem této závislosti se četnost prostojů ve výrobních podnicích stávala větším problémem než doposud. To vedlo k myšlence, že by se mohlo a mělo předcházet selháním výrobních



zařízení. Tím byl položen základ pro preventivní údržbu. Náklady na údržbu rostly a bylo zřejmé že stále více ovlivňují celkové výrobní náklady. Díky tomu začali lidé hledat cesty, jak by mohli zvýšit životnost hmotného majetku. Takovou cestou bylo plánování údržby a zavádění systémů kontroly [1].

3. generace

Posledních 30-40 let je vidět obrovský nárůst poptávky po vyrobeném zboží a hromadné dopravě. Průmysl reaguje stále více na automatizaci a komplexnost výrobních zařízení. Tím se snižují pracovní síly potřebné pro splnění těchto požadavků a na druhou stranu se značně zvyšují náklady na vlastnictví hmotných aktiv, které je zapotřebí udržovat v provozuschopném stavu [1].

Tyto změny mohou být zařazeny do následujících okruhů: nová očekávání, nový výzkum a nové techniky.

1.2 Očekávání

Zastavení výroby vždy ovlivnilo produktivitu, došlo ke snížení zisku, zvýšení provozních nákladů a neblahému zásahu do zákaznických potřeb. Tato skutečnost byla velkým problémem v hornictví, tovární výrobě a v dopravě až do 60. a 70. let 20. století. Díky celosvětové přeměně výroby na výrobu efektivnější, (just-in-time systém – jde o výrobu s minimálním odpadem, tedy výroba, kdy nabídka plně pokrývá poptávku) jsou následky přerušení produkce ještě horší a zredukované zásoby v pracovním procesu znamenají, že i malé odstávky mohou způsobit definitivní konec celé výroby. Nárůst mechanizace a automatizace v poslední době způsobil, že spolehlivost a dostupnost jsou nyní klíčovými otázkami v oborech jako je zdravotní péče, zpracování dat, telekomunikace a stavebnictví.

Rozšíření a větší uplatnění automatizace také znamená, že v případě jejího selhání je těžké zajistit uspokojivou kvalitu, a to jak kvalitu služeb tak i kvalitu výrobků. Jedná se například o selhání při stavbě (zařízení) budov a problémy s kontrolou vnitřního klimatu nebo o dochvilnost (přesnost) dopravy. Stejně tak i tyto chyby automatizace mohou ovlivňovat a měnit specifickou toleranci při výrobě.

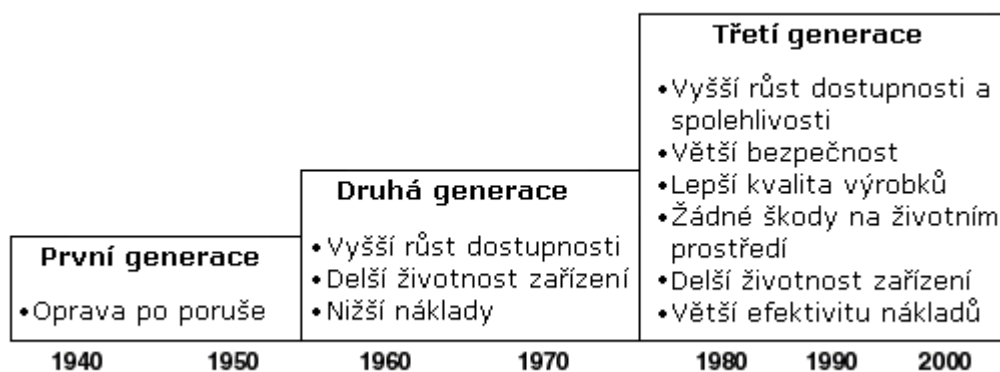


Více takových selhání má vážný dopad na celkovou bezpečnost a životní prostředí, a to právě v době, kdy jsou tyto oblasti přísně kontrolovány a základní požadavky se stále zpřísňují. V některých zemích se již společnosti přizpůsobily požadavkům bezpečnosti a neohrožení životního prostředí anebo svůj provoz zcela zastavily. Toto zvyšuje důležitost naší závislosti na začlenění lidského faktoru (přínos člověka jako takového, jako pracovní síly) – což přerůstá náklady a stává se jednoduchým faktem přežití té které společnosti (organizace).

Zároveň s růstem naší závislosti na fyzické pracovní síle rostou také náklady – náklady na řízení a vlastnictví. Aby byl zajištěn maximální návrat daných investic a nákladů, je třeba, aby pracovali efektivně po dobu nezbytně nutnou.

Náklady na udržení provozu stále rostou, zcela nepochybně jde o podstatnou část celkových výdajů. V některých výrobních oblastech jsou náklady na udržení provozu druhou nejvyšší, někdy i nejvyšší položkou provozních nákladů. Ve výsledku se tak během pouhých 30 let takové náklady posunuly z minima až do nejvyšších pozic a staly se tak prioritou při kontrole výdajů.

Obr. 1 ukazuje jaká byla a jsou očekávání v jednotlivých generacích



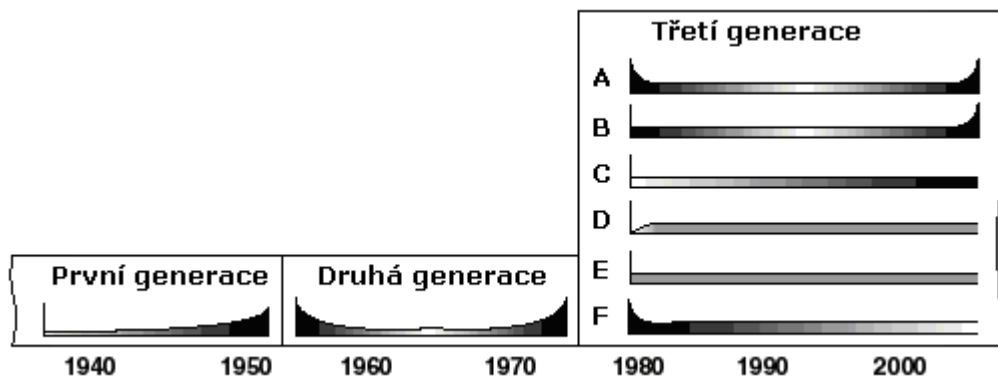
Obr. 1 - rostoucí očekávání údržby

1.3 Výzkum

Nehledě na větší očekávání nový výzkum mění mnoho z nejzákladnějších přesvědčení o věku a selhání. Je zřejmé, že je zde čím dál tím méně spojení mezi operačním věkem většiny aktiv a pravděpodobností selhání těchto aktiv.



Obr. 2 ukazuje, jaké byly pohledy na selhání výrobního zařízení v jednotlivých generačních obdobích.



Obr. 2 - měnící se pohledy na selhání zařízení

V první generaci byl pohled na selhání pouze takový, že čím starší bylo zařízení tím větší byla pravděpodobnost selhání.

Druhá generace ukazuje pohled na selhání zařízení tzv. „vanovou křivkou“. Z počátku je vysoká pravděpodobnost selhání (která se rychle usadí), následuje dlouhé období nízké pravděpodobnosti selhání které přechází do období opotřebení zařízení, kde pravděpodobnost selhání začíná opět narůstat.

Vykreslení podmíněné pravděpodobnosti selhání proti času na grafu vytváří tvar "vanové křivky".

Nicméně třetí generace výzkumu ukázala, že ne jeden nebo dva ale šest módů selhání se vyskytuje v praxi.

Mód A je známý jako vanová křivka (popsáno výše).

Mód B ukazuje konstantní nebo pomalu rostoucí pravděpodobnost selhání, která končí úplným opotřebením.

Mód C ukazuje pomalu rostoucí pravděpodobnost selhání bez změny rychlosti degradace zařízení

Mód D ukazuje nízkou pravděpodobnost selhání pro nové zařízení, následně rychlý nárůst na konstantní úroveň.

Mód E ukazuje konstantní pravděpodobnost selhání u všech věkových kategorií (náhodné selhání).



Mód F začíná s vysokou pravděpodobností selhání, která brzy klesne na konstantní nebo velmi pomalu rostoucí pravděpodobnost selhání.

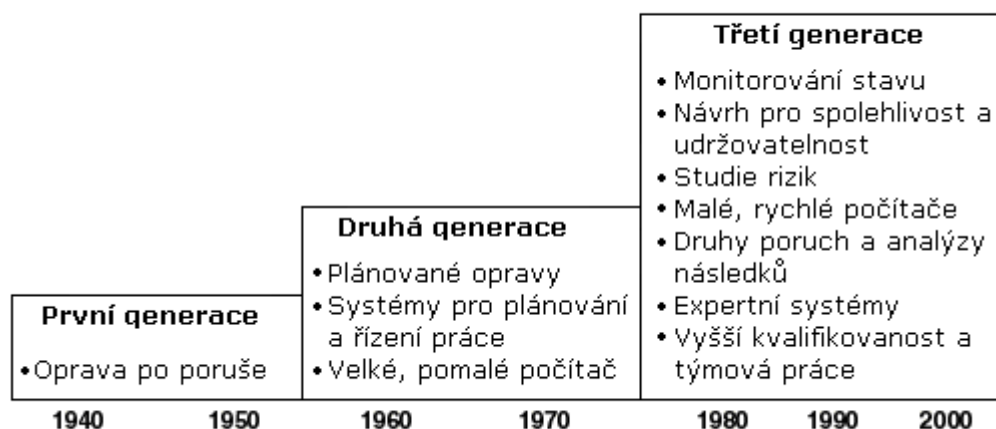
Ze studií provedených na civilních letadlech vyplynulo, že 4% selhání na zařízeních odpovídalo módu A, 2% módu B, 5% módu C, 7% módu D, 14% módu E a ne méně než 68% módu F [1].

Takové rozdělení zcela jistě nekorresponduje s předpokládanými modely v první a druhé generaci, kdy v případě první generace odpovídalo 100% selhání zařízení módu B a v druhé generaci 100% módu A.

1.4 Nové techniky

Došlo k prudkému růstu nových konceptů údržby a technik jejího provádění. Většina byla vyvinuta v průběhu posledních patnácti let a další se neustále objevují a vyvíjejí.

Obr. 3 ukazuje, jak se klasický důraz na generální opravy (první generace) a správné systémy (druhá generace) rozrostl na nový vývoj v řadě různých oborů (třetí generace).



Obr. 3 - měnící se technika údržby

Do nového vývoje patří:

- nástroje pro podporu rozhodování, jako jsou studie rizik, analýzy druhů poruch a následků, další analýzy a expertní systémy,
- nové techniky údržby, jako je sledování stavu zařízení,



- navrhování zařízení s mnohem větším důrazem na spolehlivost a udržovatelnost,
- zásadní posun v myšlení směrem k organizační struktuře, pracovním týmům a flexibilitě

Hlavním úkolem dnešní údržby není zjistit, jaké druhy technik jsou k dispozici, ale rozhodnout, které jsou užitečné a které je možné aplikovat na výrobu daného podniku. Pokud je výběr správný, je možné zvýšit výkon a zároveň snížit náklady na údržbu. Pokud budou dělána špatná rozhodnutí, tak vzniklé problémy jen zhorší již existující problémy [1].



2 Druhy údržby

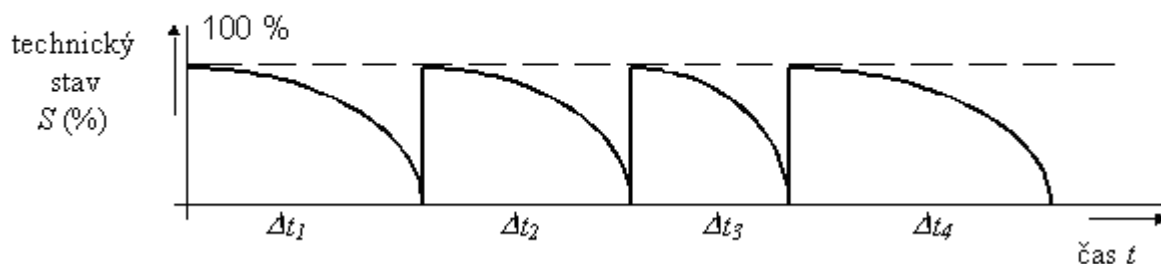
2.1 Korektivní údržba

Korektivní údržbou je chápána údržba po poruše zařízení viz. Obr. 4. V odborné literatuře známá pod zkratkou RTF – Run To Failure.

Tento přístup k údržbě zvyšuje náklady na výrobní odstávky a často se projevuje na výpadku finančních příjmů, příliš vysokém stavu zásob náhradních dílů a tlakem na tok peněz (cash flow).

Zařízení je v provozu tak dlouho, až dojde k poruše. Poté následuje buď jeho oprava nebo výměna za funkční kus. Pojem „technický stav“ je zde brán zcela obecně.

$$\Delta t_1, \Delta t_2, \dots \neq \text{konst}, S_1 = S_2 = \dots = 0$$



Obr. 4 - korektivní údržba

2.2 Preventivní údržba

Preventivní údržba viz. Obr. 5 je údržba v pravidelných časových intervalech odborně nazývána anglickým názvem Time Based Task – TBT.

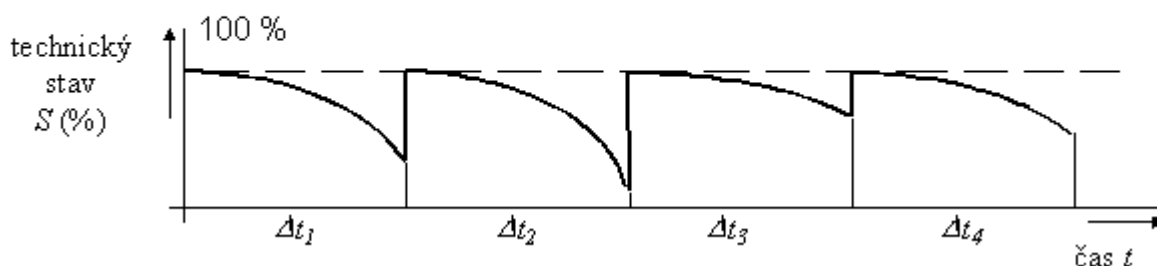
Jde o úkon údržby, který se provádí před výskytem poruchy, aby se předešlo hrozícímu selhání – jedná se o činnost obsahující úkony, jako jsou například: čištění, mazání, optická kontrola, seřizování, výměna, oprava a další. Tato údržba zahrnuje plánované aktivity založené na znalosti chování porouchaných součástí a podmínek a je prováděna buď za účelem vylepšení systému nebo aby se předešlo chátrání zařízení.



Preventivní údržba je údržba stroje nebo zařízení prováděná podle předem stanoveného časového plánu prohlídek, přičemž časem zde kromě kalendářního času mohou být myšleny i motohodiny nebo počet vyrobených kusů. Má za cíl předcházet poruchám včasným vyhledáváním a odstraňováním možných příčin jejich vzniku a sestavení harmonogramu dalších kroků v rámci preventivních oprav. Je navržena tak, aby udržovala a zvyšovala efektivní využití výrobních kapacit.

Na základě zkušeností z provozu, informací výrobce, případně optimalizačního výpočtu se stanoví termíny pravidelných prohlídek, údržby, oprav a generálních oprav zařízení bez ohledu na jeho skutečný stav.

$$\Delta t_1 = \Delta t_2 = \dots = \text{konst.}, S_1, S_2, \dots \neq \text{konst.}$$



Obr. 5 - údržba na základě časového plánu

2.3 Prediktivní údržba

Prediktivní údržba viz. Obr. 6 nebo-li údržba na základě stavu zařízení je v odborné literatuře známá pod zkratkou CBT – Condition Based Task

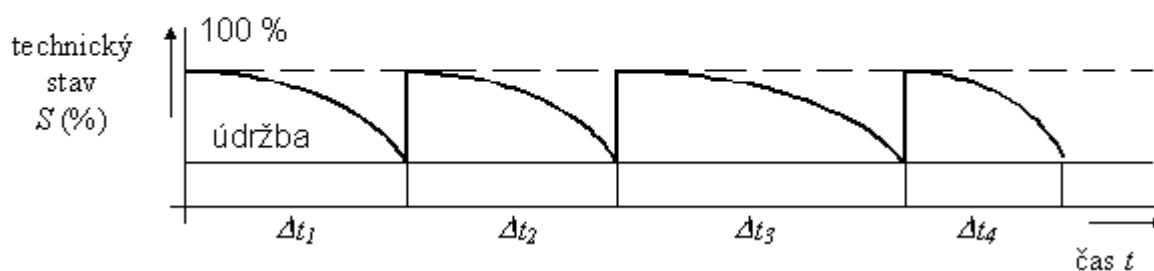
Prediktivní údržba je metoda testování zařízení a zároveň provedení potřebného úkonu dle zjištěného stavu zařízení. Tato metoda nalézá chyby ve stavech zařízení na základě diagnostických metod. Testování zařízení se většinou provádí bez nutnosti odstávky, která je obvykle nezbytná v případě programů preventivní údržby. Dobře zpracovaný program prediktivní údržby využívá dostupné a ověřené technologie testování, jako je analýza vibrací, infračervená termografie, analýza oleje a částic opotřebenin, ultrazvukové testování atd [5].



Přínosem správně zavedeného programu prediktivní údržby je především fakt, že odstraňuje z údržby nutnost pouhých dohadů. Testovací zařízení umožňuje identifikovat problém včetně jeho potenciální příčiny a kvalifikovaní technici jsou tak mnohem lépe schopni doporučit ty nejvhodnější postupy a zásahy pro odstranění opakujících se problémů, zabránit neplánovaným prostojům, prodloužit životnost zařízení a zvýšit celkový výkon operací a zařízení závodu [5].

Pomocí monitorovacích systémů a různých diagnostických metod se zjišťuje stav zařízení. Na jeho základě se usoudí, jak dlouho bude zařízení pravděpodobně schopné normálního provozu do vzniku funkční poruchy.

$$\Delta t_1, \Delta t_2, \dots \neq \text{konst.}, S_1 = S_2 = \dots = \text{konst.}$$



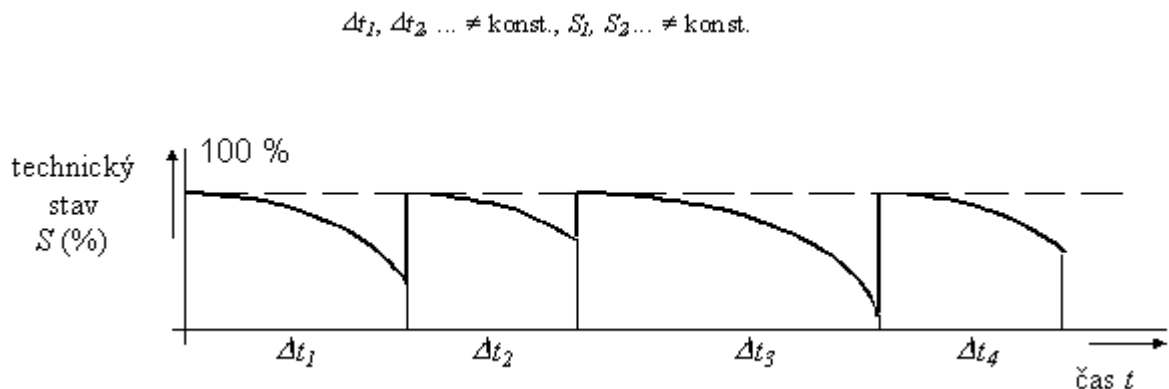
Obr. 6 - údržba podle stavu zařízení



3 Údržba a RCM

Spolehlivostně orientovaná údržba (RCM) viz. Obr. 7 slouží k nalezení ekonomicky optimálního způsobu údržby výrobního zařízení v dlouhodobém horizontu [1]. Je to logický proces shromažďující informace pro rozhodnutí o aplikaci nejlepšího způsobu údržby. RCM je aplikován malou skupinou lidí se znalostí výrobních zařízení a znalostí samotné metodiky [6].

Pomocí matematických modelů se pro daný prvek (nebo skupinu prvků) stanoví optimální systém údržby tak, aby náklady na údržbu byly minimální, a aby nebyla snížena spolehlivost daného systému.



Obr. 7 - spolehlivostně orientovaná údržba

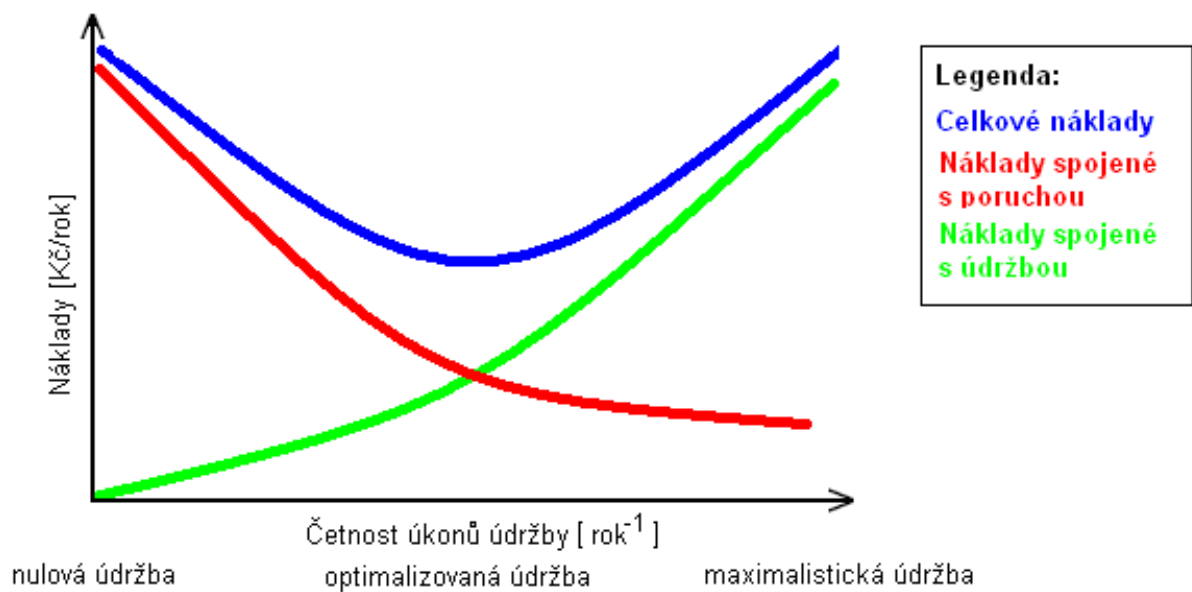
3.1 Podstata RCM

RCM (Reliability Centred Maintenance) se v praxi využívá pro optimalizaci ekonomických nákladů spojených s programem údržby. Poruchy na zařízení mají nahodilý charakter a nelze přesně předpovídat vznik poruchy nebo bezporuchový chod, proto jsou v RCM využívány metody analýzy rizik. Ekonomická optimalizace je provedena na základě hodnocení přínosů a nákladů v souvislosti s rizikem plynoucím z poruch zařízení. Nejvíce využívaná metoda údržby ve většině výrobních procesů má periodický charakter, ten je většinou vytyčen časovým plánem údržby. Tím je ve většině případů údržba prováděna při stavu zařízení, kdy ještě není nezbytně nutná, protože je zařízení v provozuschopném stavu. Tento způsob údržby je zaváděn ve



velkém měřítku, protože jej doporučuje výrobce zařízení. Jsou to obecná pravidla údržby pro různá výrobní prostředí. Úlohou RCM je takový způsob údržby zkonkretizovat na daný výrobní proces a dané prostředí, ve kterém je zařízení provozováno. Rozhodující pro tvorbu takového programu údržby je stav zařízení a následky jeho poruch.

Zjednodušeně řečeno, podstatou metody RCM je nalezení takového bodu míry údržby, který bude optimální z pohledu nákladů spojených s poruchou a nákladů spojených s údržbou viz. Obr. 8.



Obr. 8 - graf nákladové rovnice

3.2 Index efektivity údržby

Princip hledání ekonomicky optimálních úkonů údržby pro program údržby je založen na hodnocení indexu efektivity údržby.

Index *MEI* (Maintenance Effectiveness Index)

Index efektivity naplánované údržby lze získat podílem rozdílu rizika neudržovaného objektu s rizikem udržovaného objektu a cenou nákladů na preventivní údržbu. Tento krok je vyjádřen vztahem (1).

$$MEI = \frac{R_{NO}[Kč/rok] - R_{UO}[Kč/rok]}{N_{PU}[Kč/rok]}, \quad (1)$$



MEI ... index efektivity údržby

R_{NO} ... riziko neudržovaného objektu (bez preventivní údržby)

R_{UO} ... riziko udržovaného objektu (s preventivní údržbou)

N_{PU} ... náklady na preventivní údržbu

Rizika udržovaného a neudržovaného objektu jsou vyjádřena podílem celkových nákladů a střední dobou mezi poruchami udržovaného a neudržovaného objektu. Tato rizika jsou vyjádřena ve vzorcích (2) a (3).

$$R_{NO} = \frac{N_F [Kč]}{MTBF_{NO} [rok]} \quad (2),$$

$$R_{UO} = \frac{N_F [Kč]}{MTBF_{UO} [rok]} \quad (3).$$

Celkové náklady lze získat součtem všech nákladů souvisejících s poruchou zařízení (náklady na opravu, náklady na údržbu, náklady plynoucí z prostoje výrobního zařízení, další náklady - náklady na vlastní spotřebu elektrické energie, náklady na ztráty v zařízení, podnikové režie apod.)

Střední doby mezi poruchami - $MTBF$ (Mean Time Between Failures) označují střední dobu v hodinách, po kterou se očekává, že zařízení bude bezchybně pracovat. Obecně platí, že čím větší je číslo u hodnoty $MTBF$, tím je daná komponenta spolehlivější.

N_F ... následky poruchy ve finančním ocenění (celkové náklady)

$MTBF_{NO}$... střední doba mezi poruchami neudržovaného objektu

$MTBF_{UO}$... střední doba mezi poruchami udržovaného objektu

Vyhodnocení

Aby údržba byla nákladově efektivní, musí být index efektivity údržby větší než 1. Pro výpočet indexu efektivity údržby je třeba znát pouze 4 parametry. Otázkou je, jak získat jejich hodnoty. Co vše je třeba pro to metodicky učinit v obecné rovině



uvádí příslušná norma [3]. Praktická realizace však vyžaduje značné úsilí. Hodnota indexu *MEI* má následující vypovídající hodnoty:

$MEI > 1$	údržba je ekonomicky efektivní vůči provozu do poruchy
$MEI \sim 1$	o údržbě je třeba rozhodnout
$MEI < 1$	údržba není ekonomicky efektivní vůči provozu do poruchy

3.3 Aplikace postupů RCM

Velká síla RCM tkví v diferencovaném přístupu k opravám na základě příčin jejich vzniku a závažnosti jejich důsledků. Díky tomu je možné rozhodnout o tom, který (pokud existuje) z preventivních a prediktivních úkonů je adekvátní. Dále slouží pro rozhodování o tom, jak často je potřeba tyto úkony provést a kým by měly být provedeny.

Preventivní nebo prediktivní úkon u skrytých poruch stojí za to provést, pokud se snižuje riziko vícenásobného selhání spojeného s danou funkcí výrobního zařízení na přijatelně nízkou úroveň.

Preventivní nebo prediktivní úkon u vad s bezpečnostními nebo ekologickými důsledky provádíme jen za předpokladu, že snižuje riziko selhání na velice nízkou úroveň. Pokud se nedají aplikovat, přistupuje se k redesignu nebo změně celého procesu.

Preventivní nebo prediktivní úkon u selhání s provozními důsledky se provádí v případě, že celkové náklady na provedení úlohy budou nižší než náklady na opravu ve stejném období. Jinými slovy, aplikace úkonů musí být odůvodněna ekonomickými důvody. Pokud není oprávněná, aplikuje se rekonstrukce [1]. Lze tedy konstatovat, že u selhání s malými následky postačí oprava po poruše, kdežto u selhání s velkými následky je potřeba aplikovat preventivní a prediktivní údržbu. Správně aplikovaná RCM vytváří systém plánované diferencované údržby výrobního zařízení v souvislosti s jeho provozními funkcemi. To přináší následující výhody:

- větší bezpečnost a ochranu životního prostředí
- lepší výkon



- efektivitu nákladů
- zvýšení kvality [6]

Výchozím bodem při aplikaci je rozčlenění složitého výrobního zařízení na funkčně ucelené subsystémy tzv. FSI objekty. Tím je zajištěno rozdělení technologie do menších celků plnicích jednoduše popsatelnou výrobní funkcí. To je podstatné pro analýzu důsledků poruch komponent subsystému, protože tyto poruchy ovlivní (nebo neovlivní) definovanou výrobní funkci a s ní spojené ztráty výroby.

Základní činnosti potřebné k optimalizaci programu údržby:

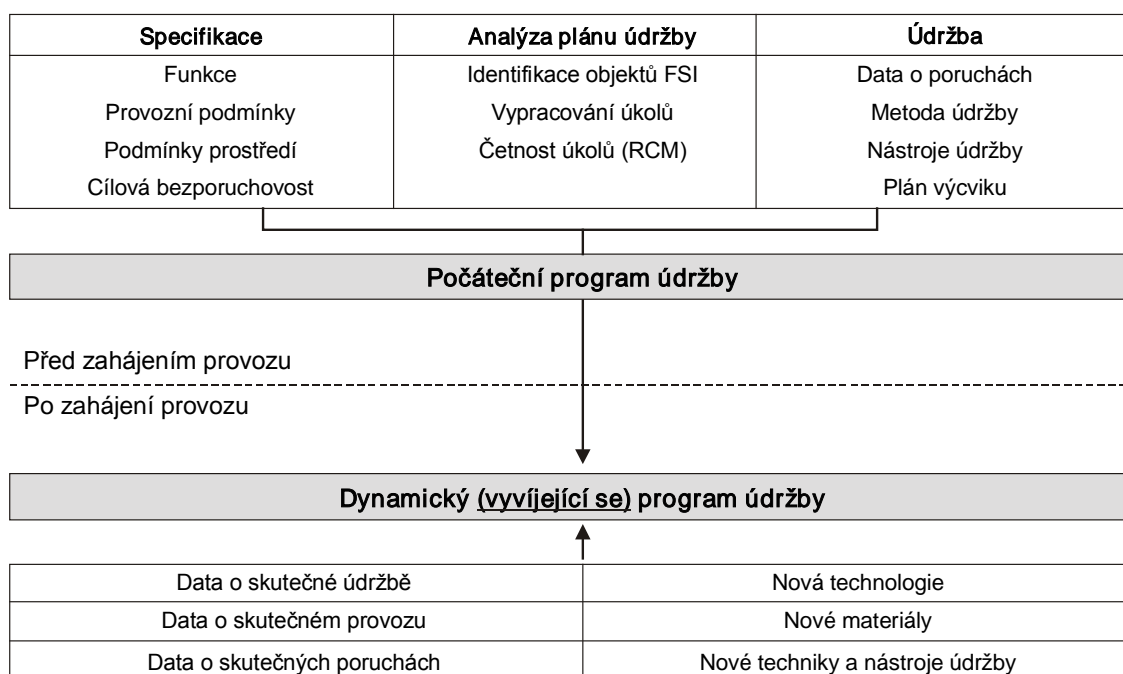
1. Rozdělení zařízení na funkčně ucelené subsystémy s jednoznačně definovanou výrobní funkcí a stanovení rovnice výrobních ztrát.
2. Zpracování seznamu komponent, které jsou předmětem údržby.
3. Stanovení způsobu selhání každé komponenty.
4. Hodnocení následků a jejich finanční ocenění pro každý způsob selhání.
5. Odhad střední doby mezi poruchami neudržovaného objektu pro každý způsob selhání.
6. Analýza údržby stávající/navrhované individuálně pro každý způsob selhání s parametry - úkon údržby, typ údržby, možnost provedení úkonu na komponentě za provozu, četnost údržby, vykonavatel údržby, náklady na úkon údržby, povinnost údržby ze zákona.
7. Odhad střední doby mezi poruchami udržovaného objektu pro každý způsob selhání.
8. Vyhodnocení ekonomické efektivnosti navrhované údržby pro každý způsob selhání.
9. Sestavení programu údržby z množiny úkonů údržby z hlediska věcného a časového plánování [4].



4 Přístup k programu údržby

4.1 Všeobecně

Soubor úkolů, který vyplývá z analýzy RCM lze nazvat programem údržby. Ten se obecně skládá z počátečního programu a následně vyvíjejícího se „dynamického“ programu, jak je znázorněno na Obr. 9. Tento obrázek ukazuje základní faktory, které jsou uvažovány již v etapě vývoje, to jest zařízení doposud nebylo umístěno do provozu a faktory, které se používají k optimalizaci programu, vycházející ze zkušeností se zařízením umístěným a provozovaným ve výrobě.



Obr. 9 - vypracování dynamického programu údržby [3]

Původní nebo-li počáteční program údržby je zpravidla vypracován ve spolupráci mezi dodavatelem a uživatelem. V naprosté většině případů je spolu se zařízením předána dokumentace s obecným programem údržby, který se optimalizuje dle podmínek ve výrobě. Takto modifikovaný obecný program údržby je definován před uvedením do provozu a vychází z metodiky RCM. Dynamický program údržby je vypracován pomocí počátečního programu a dat vycházejících ze skutečných poruch,



degradací, technologických pokroků, vývoje materiálu, technik údržby a nových nástrojů zajišťujících údržbu.

Je zde i možnost iniciovat počáteční program RCM v případě, že zařízení je už určitou dobu v provozu. Tato varianta vede k obnově a zlepšení současného programu údržby, který byl zaveden na základě zkušeností nebo doporučení výrobce. Tímto krokem dokáže i současný program údržby využívat výhod, které sebou nese standardní přístup, jako je RCM [3].

Pro vypracování efektivního programu údržby je nutné definovat:

- a) cíle programu údržby,
- b) metodu, s jejíž pomocí může být program údržby vypracován,
- c) obsah programu údržby.

4.2 Cíle programu údržby

Mezi cíle efektivního programu preventivní údržby patří:

- a) udržovat funkci v mezích bezpečnosti,
- b) udržovat úroveň vnitřní bezpečnosti a bezporuchovosti,
- c) optimalizovat pohotovost,
- d) sběr informací nutných ke zlepšení návrhu těch objektů, u kterých se ukázala vnitřní bezporuchovost jako nepřiměřená,
- e) tyto cíle uskutečnit s minimálními celkovými náklady životního cyklu včetně nákladů na údržbu a nákladů na zbytkové poruchy,
- f) nasbírat informace nutné pro zavedení dynamického programu údržby, který je vylepšen vzhledem k počátečnímu programu a jeho revizím pomocí systematického vyhodnocování efektivnosti dříve definovaných úkolů údržby. Důležitou roli při vypracování dynamického programu by mohlo hrát monitorování stavu součástí specifických z hlediska bezpečnosti, kritičnosti nebo nákladů [3].

U těchto cílů se uznává, že programy údržby jako takové nemohou napravit nedostatky týkající se úrovně vnitřní bezpečnosti a bezporuchovosti zařízení a konstrukcí. Pomocí programu údržby lze pouze minimalizovat degradaci a obnovovat objekty do jejich vnitřní úrovně bezpečnosti a bezporuchovosti. Jestliže se zjistí, že tyto



vnitřní úrovně jsou neuspokojivé, může být nezbytné provést modifikaci návrhu, provozní změny nebo procedurální změny (jako jsou programy výcviku), aby se dosáhlo zlepšení.

4.3 Metoda vypracování programů preventivní údržby

Program se vypracuje s použitím logického přístupu v souladu s návody a je orientován spíše na úkoly než na procesy údržby. To odstraňuje nedorozumění spojené s různou interpretací takových termínů, jako je monitorování stavu (condition monitoring), údržba podle stavu (on-condition), doba zvýšeného namáhání (hard time) atd., v různých průmyslových odvětvích. S použitím koncepce orientované na úkoly je možné pohlížet na celý program údržby z hlediska určitého objektu [3].

4.4 Obsah programu údržby

Obsah vlastního programu údržby se skládá ze dvou skupin úkolů:

a) Skupina úkolů preventivní údržby, která zahrnuje úkoly zjišťování poruch plánované tak, aby byly uskutečněny ve specifikovaných intervalech, nebo aby vycházely z určitých podmínek. Cílem těchto úkolů je identifikovat degradaci a zabránit tomu, aby tato degradace snížila bezpečnost a bezporuchovost pod úroveň vnitřní bezpečnosti nebo bezporuchovosti pomocí jednoho nebo více následujících prostředků:

- 1) mazání/ošetřování;
- 2) provozní/vizuální/automatická kontrola;
- 3) prohlídka/zkouška funkce/monitorování stavu;
- 4) obnova;
- 5) vyřazení.

Toto je skupina úkolů, která je určována analýzou RCM, tj. zahrnuje program preventivní údržby založený na RCM.

b) Skupina prediktivních úkolů údržby, která vychází:

- 1) ze závěrů z plánovaných úkolů uskutečněných ve specifikovaných intervalech času nebo dob používání;



2) ze zpráv o nesprávné funkci nebo o náznacích hrozících poruch (včetně automatické detekce).

Cílem této druhé skupiny úkolů je udržet zařízení v přijatelném stavu nebo jej obnovit do přijatelného stavu, v němž může provádět svou požadovanou funkci.

Efektivní program je program, v němž jsou plánovány pouze takové úkoly, jež jsou nutné ke splnění stanovených cílů. Nejsou v něm plánovány dodatečné úkoly, které zpravidla zvyšují náklady na údržbu bez odpovídajícího zvýšení ochrany vnitřní úrovně bezporuchovosti.

Ze zkušenosti je zřetelně prokázáno, že se bezporuchovost snižuje, když se provádějí nepřiměřené nebo zbytečné úkoly údržby, vlivem zvýšeného výskytu poruchových stavů vyvolaných údržbářem [3].



5 Problematika investic a držení ND v souvislosti s RCM

Na tuto problematiku ve spojení s RCM analýzou se můžeme dívat tak, že firmy mají možnost investovat finanční prostředky do náhradních dílů, lidských zdrojů, vzdělání a kvalifikace vlastních pracovníků, nebo do technického vybavení ať už jde o vybavení softwarové nebo hardwarové. Vždy jde ovšem o to zda vynaložené investice budou pro firmu přínosem nikoli dalším nákladem bez dostačujícího užitku z pohledu ekonomické stránky firmy.

5.1 Investice do výrobního zařízení

Investice do výrobního zařízení, které je buď nevhodně zvolené nebo již dosluhuje může vést ke snížení výrobních ztrát.

K určení výhodnosti takové investice lze využít základních principů metody RCM. Díky takovému přístupu lze určit, zda je výhodnější zařízení vyměnit za jiný typ, za stejný typ (ale nový), provést generální opravu či pořídit nástroj k diagnostice zařízení.

Náklady v takovýchto případech jsou sice vyšší, avšak musíme počítat s tím, že budou rozprostřeny do budoucích let, přičemž jako benefit bude očekávána nižší poruchovost a provozní náklady. To znamená, že výrobní zařízení bude disponovat většími hodnotami středních dob do poruch čímž je zajištěna větší pohotovost zařízení. V důsledku toho poklesnou náklady nevýroby pod hodnotu nákladů nevýroby u stávajícího zařízení. To lze vyhodnotit pomocí indexu MEI .

Výpočet výhodnosti investice do výrobního zařízení

Vycházíme z předpokladu, že střední doby do poruchy neudržovaného $MTBF_{NO}$ i udržovaného objektu $MTBF_{UO}$ budou delší. Pokud by tomu tak nebylo, investice by neměla význam.

Celkové náklady nevýroby jsou vyjádřeny podílem nákladů při poruše N_F a střední doby do poruchy udržovaného objektu $MTBF_{NO}$, přičemž od této hodnoty je odečten podíl N_F a $MTBF_{UO}$



Náklady při poruše N_F budou v případech investice do zařízení stejného typu (nového), na provedení generální opravy a do diagnostického zařízení obdobné jako u stávajícího zařízení (pokud se nejedná o zcela jiný typ zařízení, v tomto případě je pravděpodobné, že odlišná konstrukce bude mít i jiné módy poruch a tedy i jiné náklady těchto módů).

Do nákladů preventivní údržby N_{PU} musíme zakalkulovat i náklady spojené s investicí přestože se nejedná o preventivní údržbu. Z toho důvodu bude hodnota těchto nákladů vyšší než u stávajícího zařízení.

Na závěr provedeme podíl celkových nákladů nevýroby a nákladů preventivní údržby, čímž dostaneme výslednou hodnotu Indexu MEI . Pokud je tato hodnota vyšší než jedna a zároveň vyšší než hodnota u stávajícího zařízení, můžeme konstatovat, že investice je z hlediska efektivity celkových výrobních nákladů pro firmu výhodná.

Při výpočtech musíme v určitých případech zohledňovat i dominantní náklady, jako jsou například náklady spotřebované energie, náklady na přistavení mechanizace a jiné.

5.2 Držení ND

Náhradní díly jsou předměty určené k uvedení hmotného majetku, v našem případě výrobního zařízení, do původního stavu. Firmy ve snaze zajistit vyšší pohotovost provozovaného zařízení musí skladovat určité množství zásob náhradních dílů. Tyto zásoby představují zpravidla významné nákladové břemeno, zejména pro společnosti ve výrobních odvětvích, proto je důležité efektivní řízení zásob ND – nalezení rovnovážného bodu mezi množstvím potažmo hodnotu zásob a rizikem spojeným s nepohostovostí zařízení v důsledku potřeby těchto zásob.

Začlenění problematiky držení ND do analýzy RCM je principiálně stejné jako u investic do výrobního zařízení. K efektivnímu řízení zásob ND lze využít metody RCM na základě vyhodnocení Indexu MEI . Výpočty jsou zaměřeny na efektivitu držení ND skladem. Porovnávají jsou náklady na pořízení náhradního dílu, náklady na jeho držení (skladování) a případné udržování (následná péče o ND) s benefity, které jsou



reprezentovány snížením doby do opravy výrobního zařízení, čímž je opět dosahováno snížení výrobních ztrát.

Faktory, které by se měli zohlednit pro efektivní řízení zásob ND:

- hodnota (cena) jednotlivých dílů,
- náklady skladování,
- riziko nedostupnosti dílu s případnými důsledky na výrobu a bezpečnost,
- dodací lhůty,
- sporadická spotřeba (vysoká četnost období s nulovou spotřebou),

Tyto charakteristiky vedou zpravidla u některých položek k přezásobení a zároveň u jiných položek k deficitům. RCM metodika nenapomáhá určovat optimální počty ND, které by měly být skladovány, dává nám pouze informaci o tom, zda ND skladovat či ne. K určení konkrétního počtu slouží jiné sofistikované metody.

Typické přínosy efektivního řízení zásob:

- efektivní vynakládání peněz na zajištění dostupnosti při respektování kritičnosti dílů,
- snížení hodnoty zásob,
- snížení rizika nedostupnosti dílů,
- hodnocení kritičnosti náhradních dílů,
- optimalizace životního cyklu náhradních dílů,
- automatizovaný proces nákupu náhradních dílů.



6 Aplikace RCM metody ve výrobní společnosti

Reálná aplikace postupů uvedených v předcházejících kapitolách je směřována na vybraná zařízení společnosti SQS Vlákno optika, a.s., která byla ochotna pro potřeby diplomové práce poskytnout potřebná data a konzultační schůzky.

6.1 Společnost SQS Vlákno optika, a.s.

Společnost SQS Vlákno optika, a.s. je česká výrobní společnost disponující vlastním vývojem s výhradně vlastním kapitálovým vstupem. Vyrábí a dodává široký sortiment optických vláknových výrobků s optickými konektory obou světově uznávaných technologických modifikací. Při zachování statutu výrobce produktů technologie Diamond v českém a slovenském regionu poskytuje též vybraným světovým výrobcům optických vláknových zařízení služby konektorování optických rozhraní klasickými konektory jednovrstvými, s prioritním zaměřením na nejvyšší jakost a speciální aplikace [7].

Historie

Společnost SQS Vlákno optika, a.s. vznikla v roce 1994, specializovaná na výrobu pasivních optických vláknových spojovacích součástí - optických konektorů. Firma, tehdy působící pod jménem Diamond CS s.r.o., se zpočátku orientovala výhradně na švýcarskou patentovanou technologii aktivně středěných konektorů. Postupně se stala renomovaným dodavatelem optických spojovacích prvků pro všechny nejvýznamnější telekomunikační zákazníky v České republice a na Slovensku a vybuodovala své zastoupení i na Ukrajině a v Rusku. Po úspěšně složené mezinárodní kvalifikaci firma v říjnu roku 2000 rozšířila výrobní sortiment o kompletní řadu "klasických" keramických jednovrstvých konektorů a začala poskytovat své služby vybraným zákazníkům v celosvětovém měřítku vláknové optiky. V prosinci 2002 se SQS Vlákno optika, s.r.o. transformovala na akciovou společnost SQS Vlákno optika, a.s. [7].

Zaměření společnosti

- Výroba planárních optických odbočnic pro telekomunikační i jiné aplikace.



- Vývoj a výroba technologických zařízení a speciálních měřicích přístrojů se zvláštním zaměřením na použití při procesu montáže a kontrole jakosti optických vláknových prvků.

- Výrobní kontrakty pro renomované společnosti (zprovozněné výrobní plochy určené pro nejnáročnější výrobní procesy).

- Montáž konektorových souborů na zařízení, měřicí přístroje a jiné prvky vláknové optiky dodané zákazníkem, produkci speciálních spojovacích a měřicích konektorovaných přístrojů (např. optické přepínače), modulů a přípravků navržených a vyvinutých vlastním vývojem SQS Vlákno optika a.s.

- Výroba propojovacích optických kabelů (jak standardní tak i speciální zákaznické provedení).

- Inovace a vývoj nových produktů (technologické centrum).

- Distribuce speciálních komponent a modulů pro výstavbu optických přenosových sítí [7].

SQS Vlákno optika a.s. dodává

- Planární optické odbočnice pro telekomunikační i jiné aplikace - rozsah vlnové délky 1260 - 1650 nm; PM optické odbočnice; asymetrické planární odbočnice a několikanásobné planární odbočnice.

- Monitorovací linkový systém MLS, určený pro dohled v provozovaných telekomunikačních optických sítích, komplexně vybavený podle požadavků zákazníka, včetně plné softwarové podpory.

- Speciální komponenty vláknové optiky: PM (Polarization maintaining) konektory, HP (High Power) konektory, náročné vojenské aplikace, speciální typy konektorů pro zvláštní aplikace.

- Konektorování zařízení a prvků dodaných zákazníkem. [7]

6.2 Výrobní proces

V rámci této práce je stručné seznámení s výrobním procesem, který je předmětem analýzy RCM.



Výrobní linka se skládá z 5 procesů: Die-bonding (**DB**), Wire-bonding (**WB**), Casting (**CA**), Measuring/Cuting (**ME**) a **Final optical control/Packing**.

Tato linka je v nepřetržitém provozu od dubna roku 2009. Po přivezení strojů z Německa bylo z počátku velké množství prostojů způsobených přepravou strojů. Tyto prostoje se časem ustálily a nyní produkuje linka v průměru kolem 18.000 kusů výrobků denně. Jedná se o optické snímače (MxR4 složený z integrovaného obvodu a fotodiody) ve třech provedeních zapouzdření (MOR, MPR a MIR) a optické vysílače (MxT4 složený z integrovaného obvodu, keramiky a LED diody) taktéž ve třech provedeních zapouzdření (MOT, MPR a MIT).

Základem pro výrobky je tzv. leadframe (lf) od firmy Collini , což je úzký a hodně dlouhý kovový pásek vysekaný do určitého tvaru. Základní materiál pro lf je měď, na kterou se nanese další vrstvy. Poslední vrstvy jsou zlatá (na pinech) a stříbrná (na aktivních plochách). Pro zajímavost, zlatá vrstva je 20 nm silná. Tento základní materiál je veden celým procesem. Jednotlivé procesy přidávají různé komponenty, ze kterých je tvořen finální výrobek v šesti různých provedeních.

6.2.1 Proces Die-bonding (DB)

Die-bonding jde volně přeložit jako lepení čipů. Proces je složen ze tří typově stejných strojů DB 200 WTX-7 od firmy Mühlbauer. Stroje jsou sériově situované, přičemž každý má jinou úlohu dle požadovaného výrobku. Lf je veden skrze všechny stroje, které obsahují hlavní elementy, jimiž jsou dávkovač lepidla. Ten používá stříbrné vodivé lepidlo Sumito a nevodivé Ablebond. V dalším kroku si stroj odebere požadovanou komponentu z waferu (destička, na které jsou upevněny integrované obvody, LED diody, keramiky a fotodiody) a umístí ji do lepidla. Na konci procesu je pec, která lepidlo pod čipy vytvrdí. Mezi jednotlivými stroji jsou vyrovnávací zásobníky, které zajišťují plynulost výroby a zabraňují tak přetržení lf. Nezajišťují funkci zásoby kusů. Před a za těmito stroji jsou umístěny tzv. vstupní a výstupní zásobníky sloužící k navedení lf do procesu. Proces je samostatný a není závislý na jiném procesu. Podmínkou běhu tohoto procesu je dostatek materiálu pro výrobu (lf a jednotlivé komponenty) a provozuschopný stav strojů. Při poruše jednoho stroje je



celý proces uveden do prostoje. Hotové role jsou uskladněny v dusíkových boxech, což se dá označit jako zásoba kusů pro následující procesy

6.2.2 Proces Wire-bonding (WB)

Jde volně přeložit jako kontaktování tzn. vytváření elektrický vodivého spojení mezi čipem a leadframem. Tento proces je složen ze vstupního zásobníku, stroje Shinkawa Super ACB-35 a výstupního zásobníku. Proces probíhá tak, že se z dusíkových boxů vezme cívka z předešlého procesu a nasadí se na vstupní zásobník. Odtud je I_f s čipy naveden do stroje. Prochází přes vyhřívaný stolek a v oblasti indexeru (mechanismus sloužící k posunu I_f) se ohřívá při teplotách 200°C až 250°C. Působením vysokonapěťového výboje na konci kapiláry (dutý keramický hrot), skrze kterou prochází zlatý drátek o průměru μm , je vytvořen spoj. Kapilára za pomoci zaměřovací kamery a zařízení sloužícímu k horizontálnímu a vertikálnímu posuvu provede předem předdefinované spoje. Pro kontrolu správného spojení je možnost optické kontroly pomocí mikroskopu a kamery, které jsou součástí stroje. Tímto krokem proces kontaktování končí a I_f pokračuje na výstupní zásobník. Jednotlivé cívky jsou uskladněny v dusíkových boxech a připraveny na proces zapouzdření (castingu).

6.2.3 Proces Casting (CA)

Volně přeloženo jako proces zapouzdření. V tomto procesu dojde k tzv. zalití výrobku pryskyřicí. Pryskyřice je výsledkem spojení dvou chemikálií a to Resinu a Hardeneru. I_f je veden strojem, který je unikátní v Evropě a je konstruován přímo pro výrobu těchto výrobků. Celé zařízení je složeno z mnoha dílčích komponent (servomotory, pneumatické díly, robotická ruka od firmy EPSON, čidla, ...). Srdcem celého zařízení je Siemens Simatic, který zajišťuje komunikaci a řízení čidel a pneumatických dílů a servomotorů pomocí unikátního softwaru Simatic Manager. U místa nandávání je tzv. rotační stůl, na kterém je 8 hnízd. Na začátku stolu se do hnízd nandají CAI (domeček na finální výrobek, 3 typy pro přijímače a 3 pro vysílače) pomocí robotické ruky. Hnízda se v dalším kroku naplní pryskyřicí pomocí lepící hlavy a v posledním kroku se tyto CAI s pryskyřicí nasunou na I_f . Poté projdou procesem tvrzení v troubách. Na konci tohoto procesu se nachází velká pec, která po dobu 24



hodin zajistí dotvrzení. Pro vstup a výstup If do tohoto procesu se používají obdobné zásobníky jako u předchozích procesů.

6.2.4 Proces Measuring/Cuting (ME)

Následujícím procesem je vysekávání a měření, které provádí stroj Inliner od společnosti Siemens. Kamera nejprve zkontroluje, zda je výrobek kompletní. Pokud ano, proces pokračuje vysekáváním (přeseknutí pinů tak, aby nedocházelo ke zkratu) a označením (na CAI se laserem vypálí popisek). Po vysekávání následuje elektro/optické měření, kde je funkce výrobku prakticky 100% zkontrolována. Na konci tohoto procesu je kamera, která kontroluje korektnost vysekávání. Po té už následuje plnění finálních výrobků do tub.

6.2.5 Final optical control/Packing

Posledním procesem je finální optická kontrola a balení. To zaštiťují zaměstnanci, nikoli stroje či zařízení. Na tento proces nebude brán zřetel v rámci RCM metody.

6.3 Přípravy pro analýzu RCM

Základním bodem pro aplikaci analýzy RCM v praxi jsou bezpochyby data, která do ní vstupují. V následujících podkapitolách jsou nastíněny důvody vedoucí k výběru zařízení, které je předmětem analýzy a data, která byla posloužila k výběru subsystému.

Dále jsou v této kapitole uvedena vstupní data, která jsou společná pro celý proces castingu. Jedná se o hodinové sazby profesí a rovnice výrobních ztrát.

6.3.1 Sběr dat

Datovými zdroji jsou myšlena vstupní data potřebná k realizaci RCM metody. Mezi které patří seznam a funkce zařízení, komponenty, popis výrobního procesu (6.2), stávající plán údržby, hodinové sazby jednotlivých profesí, rovnice výrobních ztrát, střední doby mezi poruchami, ceny potřebných náhradních dílů (ND).

Data vstupující do analýzy RCM byla nashromážděna v rámci pravidelných návštěv ve spolupráci se zaměstnanci společnosti SQS.



6.3.2 Volba zařízení pro analýzu RCM

Prvním bodem byl výběr zařízení a jeho rozdělení do subsystémů s jednoznačně definovanou výrobní funkcí viz. Tab. 1. Ze zkušeností z výroby bylo zvoleno zařízení procesu CASTING, hned z několika důvodů, a to:

- jedná se o unikátní zařízení na světě, které je složeno z více zařízení plnících samostatnou výrobní funkci,
- od uvedení do provozu je vedena podrobná kniha poruch,
- celé zařízení je závislé na funkčnosti každého subsystému,
- na tomto procesu bylo vysledováno větší množství prostojů než na ostatních procesech

Tab. 1 - rozdělení zařízení na sub. s jednoznačně definovanou výrobní funkcí

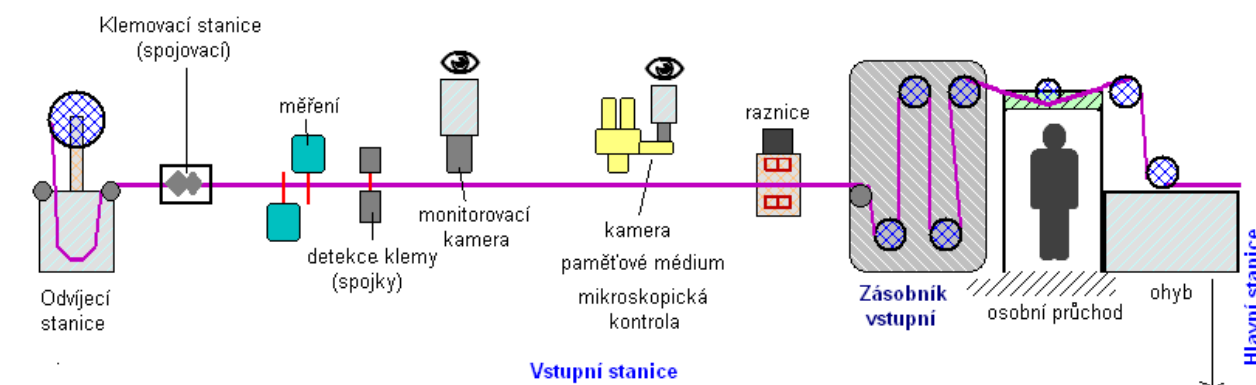
Subsystém	Funkce subsystému
<i>lepící hlava</i>	dávkování lepidla do domečků (CAI)
<i>Váha</i>	vážení množství lepidla při dávkování
<i>robot</i>	osazení hnízd na rotačním stole domečky (CAI)
<i>nasazovací stanice (fugestation)</i>	nasunutí domečků (CAI) na kovový pásek (LF) pomocí mechanických prstů
<i>podavač tub (tubeloader)</i>	Dávkovač domečků CAI pro robota
<i>Otočný stůl</i>	konstruován pro 3 subsystémy (lepící hlava, robot, nasazovací stanice) zahřívá hnízda pomocí tepelných jednotek
<i>kleštiny řídící (master)</i>	mechanický posuv kovového pásku (LF) skrze celý proces (na konci hlavní stanice)
<i>kleštiny poddané (slave)</i>	pomáhají řídícím kleštinám s posuvem (uprostřed procesu)
<i>kamera</i>	systém 2 kamer - rozpoznání obrazu (kontroluje korektnost – počet pinů a hran, osazenost kovového pásku (LF), přítomnost komponent), komunikace s robotem (příkaz neosazovat dané místo)
<i>vytahovač zátek (stempelziehen)</i>	vyndání zátek z téměř hotového výrobku
<i>Pece</i>	vytvrzení lepidel
<i>vstupní stanice</i>	kontrola kompletnosti a korektnosti vstupního materiálu z předchozích procesů, prováděna plánovaně při požadavku z předchozích procesů a nahodile 6ks po každých, součástí této stanice je Klemovací stanice (spojovací) a Výstupní zásobník
<i>výstupní stanice</i>	kontrola na výstupu z procesu, součástí této stanice je Klemovací stanice (rozpojovací) a Výstupní zásobník
<i>klemovací stanice (spojovací)</i>	spojení jednotlivých rolí za pomoci kovové spojky (nepřetržitý průběh procesu)
<i>klemovací stanice (rozpojovací)</i>	rozdělení na jednotlivé role (materiál postupuje do dalšího procesu)

**Tab 1. - pokračování: rozdělení zařízení na sub. s jednoznačně definovanou výrobní funkcí**

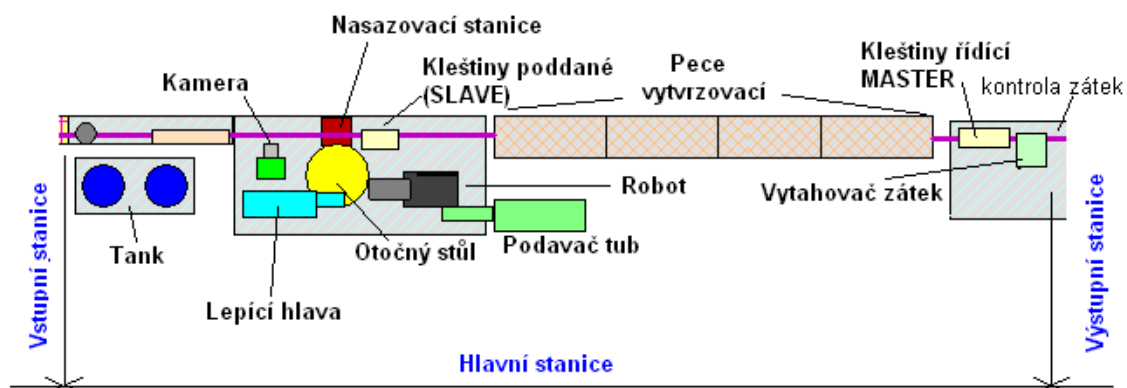
Subsystém	Funkce subsystému
zásobník (vstupní)	slouží k zásobě kusů pro 100% optickou kontrolu a výměně rolí, kapacita zásoby cca 15 minut
zásobník (výstupní)	Slouží k zásobě kusů pro výměnu rolí, kapacita zásoby cca 10 minut
Tank	zásoba lepidel pro lepicí hlavu
simatic	software pro komunikaci mezi jednotlivými subsystémy a řízení servomotorů

Následující tři obrázky znázorňují subsystémy a jejich umístění ve výrobě.

Obr. 10 popisuje subsystém vstupní stanice, ve které jsou zakomponovány subsystémy klemovací stanice (spojovací) a vstupního zásobníku.

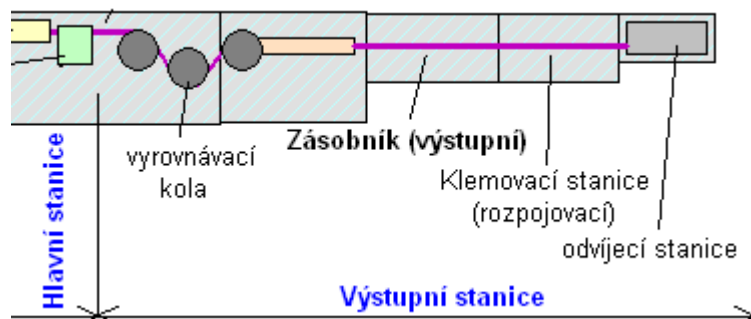
**Obr. 10 - vstupní stanice**

Obr. 11 popisuje hlavní stanici, tvořenou ostatními subsystémy vyjma klemovacích stanic a zásobníků. Jedná se o jádro celého procesu casting. Jediný subsystém zde není vyobrazen a to váha (ta je umístěna pod lepicí hlavou).

**Obr. 11 - hlavní stanice**



Obr. 12 popisuje subsystém výstupní stanice, ve které jsou zakomponovány subsystémy klemovací stanice (rozpojovací) a výstupního zásobníku.



Obr. 12 - výstupní stanice

6.3.3 Výběr subsystému

Pro výběr subsystému bylo zapotřebí analyzovat stávající knihu poruch vedenou písemně ne příliš strukturovanou. Za pomoci operátorů výroby a procesních techniků byla vytvořena elektronická, strukturovaná verze v programu Microsoft Excel (požadavek firmy). Tato kniha je součástí přílohy diplomové práce. Hlavička této databáze je zobrazena na Obr. 13.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	
1	Kniha poruch a úkonů údržby pro proces CASTING													
2	datum			časové informace			osoba		zakázka		proces casting			
3	D	M	R	čas poruchy	čas obnovy	prostoj [min]			číslo	typ	subsystém	komponenta	úkon	typ údržby

Obr. 13 - hlavička databáze knihy poruch

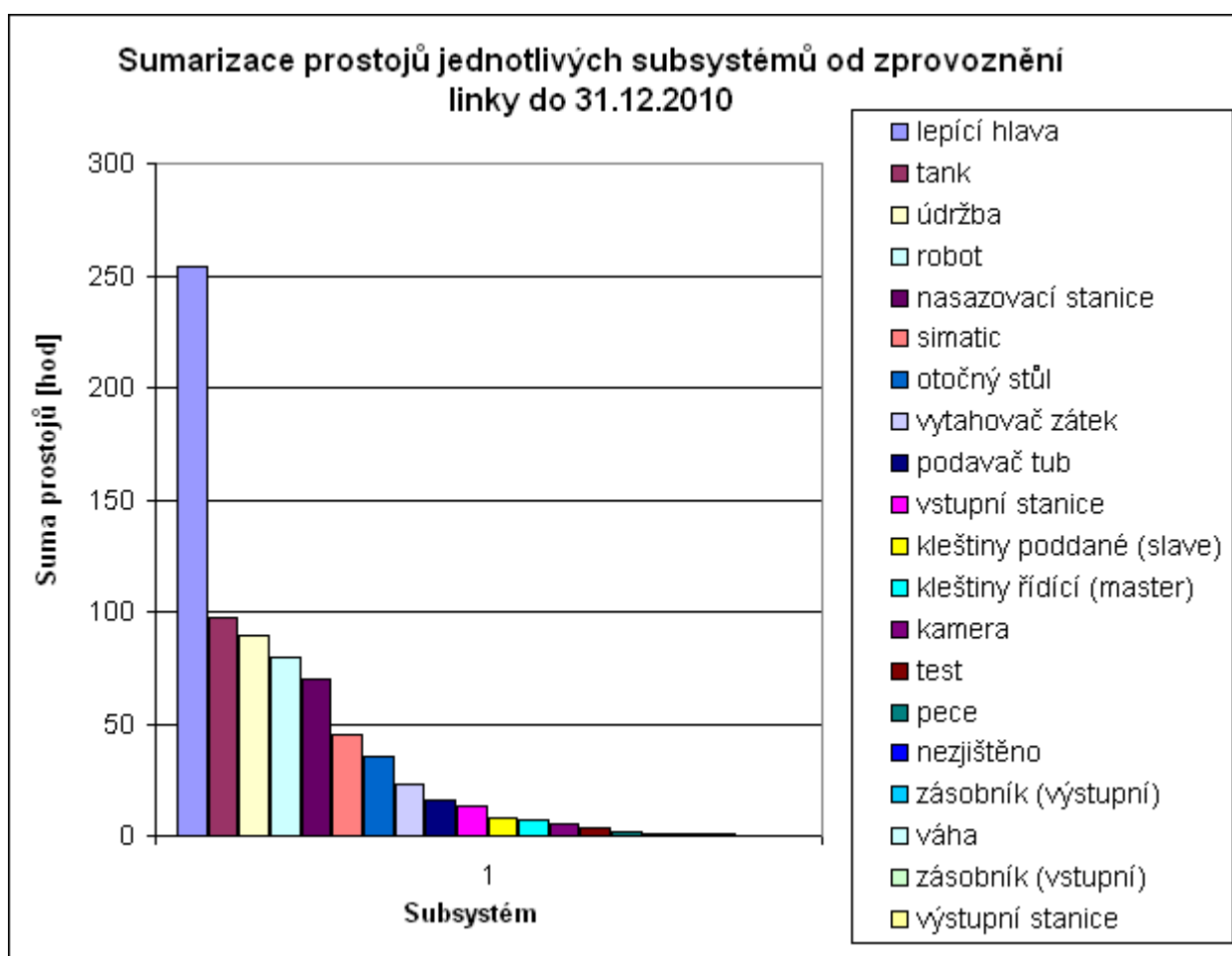
V levé části jsou záznamy o časových informacích. Konkrétně datum, čas poruchy a obnovy a doba prostoje. Do těchto atributů lze zapsat pouze data, která vyhovují zadaným ověření. Následujícím atributem je osoba, ta slouží pro záznam osoby, která daný úkon vykonala nebo se na jejím vykonání podílela. Dále jsou zde informace o zakázce. Konkrétně číslo a typ z důvodu zpětného nalezení vadných kusů zakázky. V pravé části jsou informace popisující poruchu nebo údržbu. Patří mezi ně subsystém a komponenta, na které byl úkon prováděn, typ úkonu zda-li se jedná o poruchu či údržbu a v případě, že se jedná o údržbu, je zde atribut typ údržby. Poslední jmenovaný atribut definuje, zda-li šlo o monitorování stavu, provedení úkonu na základě stavu zařízení, provedení úkonu údržby dle časového plánu či, zda šlo o opravu po poruše zařízení.



Pro atributy typ zakázky, subsystém, úkon a typ údržby byly vytvořeny seznamy přípustných hodnot, aby nedocházelo k vlastnímu pojmenování dané části zařízení, jak tomu bylo doposud v písemné formě. Atribut komponenta je prozatím neošetřen ověřením z důvodu postupného sestavování seznamu přípustných hodnot.

Takto strukturovaná kniha o poruchách a údržbě je základem k vytipování dané části stroje (subsystému), která bude předmětem analýzy RCM.

Následující Obr. 14 zobrazuje celkový počet prostojů vyjádřený v hodinách pro každý subsystém procesu Casting.



Obr. 14 - graf celkových prostojů subsystémů procesu casting

Z grafu je patrné že největší podíl na celkovém prostoji procesu casting má subsystém lepící hlava, tank, robot, nasazovací stanice a údržba, konkrétně je to 79% z celkové sumy prostojů. Subsystémy tank, robot a nasazovací stanice nejsou předmětem analýzy RCM. V případě tanku je suma prostojů z důvodu poruchy



zavádějící, protože přes 90% prostojů tohoto subsystému je způsobeno doplňováním lepidel. Údržba není subsystémem procesu Casting, má pouze informativní charakter. Subsystém robot není také předmětem analýzy, protože v říjnu roku 2010 byla provedena výměna robota firmou Epson. Od této výměny nebyly s tímto subsystémem téměř žádné problémy.

Četnost prostojů způsobená subsystémem lepicí hlavy je také dominantní oproti ostatním subsystémům a lze konstatovat že četnosti ostatních subsystémů korespondují s grafem na Obr. 14.

Z výše uvedených faktů je pro analýzu RCM vybrán subsystém lepicí hlavy. Tato analýza je předmětem kapitoly 6.4.

6.3.4 Hodinové sazby profesí:

Jako zdroj hodinových sazeb jednotlivých profesí byly použity internetové stránky s nabídkou pracovních pozic ve společnosti SQS Vlákenná optika, a.s. [8]. Průměrné hodinové sazby jsou znázorněny v Tab. 2

Tab. 2 - hodinové sazby vybraných profesí

Profese	Označení profese	Plat [Kč/h]
operátor výroby	O	100
procesní inženýr	P	200
servisní technik interní	S	150
kontraktor	K	3500

6.3.5 Rovnice výrobních ztrát:

Rovnice výrobních ztrát vyjadřuje peněžní hodinovou ztrátu z neprodukce výroby. Tyto ztráty mohou být v čase konstantní. V našem případě má rovnice schodovitý tvar znázorněný v Tab. 3.

Tab. 3 - rovnice výrobních ztrát

Krok	Doba [h]	Ztráta [Kč/h]
1	6	2500
2	18	12500
3	1000	25000

Prvních 6 hodin je ztráta z důvodu odstavení celého procesu zapouzdření způsobeného chybnou funkcí lepicí hlavy generována počtem nevyrobených kusů, která je z důvodu dusíkových boxů (meziskladů) 2.500 Kč/h. Tato doba postačuje k výměně



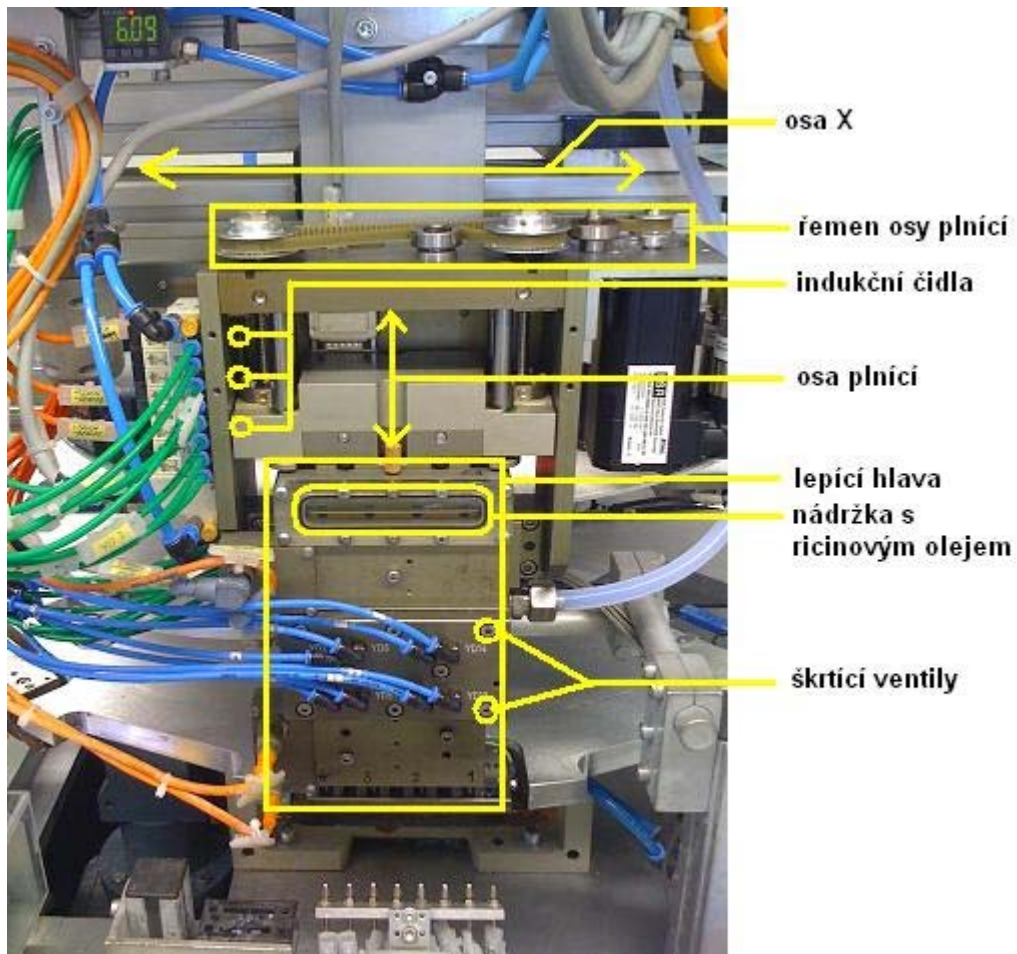
nefunkční lepicí hlavy za funkční ze skladu ND. Ostatní procesy vyrábějí bez jakéhokoliv omezení.

Následujících 18 hodin, tedy od 6. do 24. hodiny odstavení je mezisklad před procesem měření vyprázdněn. Je nutné odstavit provoz zapouzdření a měření. Předcházející procesy lepení a kontaktování po tuto dobu stále produkují do zásob před procesem zapouzdření.

Následně se pozastavuje celý výrobní proces a generovaná ztráta dosahuje výše 25.000 Kč/h a to až do doby opravy lepicí hlavy.

6.4 RCM analýza výrobního zařízení – lepicí hlava

Z poznatků předcházející kapitoly byl pro analýzu RCM vybrán subsystém lepicí hlavy. Hlavním důvodem je fakt, že tento subsystém způsobuje přibližně 1/3 celkových prostojů procesu casting. Analýza RCM je aplikována na základě dat získaných z knihy o poruchách, plánované údržbě a poznatech pracovníků výroby. Následující obrázek stručně popisuje lepicí hlavu.



Obr. 15 - lepící hlava v provozu

6.4.1 Zdrojová data

Funkce subsystému:

Funkce lepící hlavy spočívá v naplnění domečků (CAI) správnou dávkou lepidla. Lepící hlava se pohybuje pomocí servomotorů ve třech osách (osa X, osa Z, osa plnicí). Servomotory jsou řízeny pomocí jednotek ESR. Ke správným dávkám lepidla slouží indukční čidla umístěná v plnicí ose. Prostředkem pro mazání mechanicky namáhaných částí je ricinový olej. Ilustrační obrázek ukazuje lepící hlavu.

Komponenty subsystému, které jsou předmětem údržby:

Při výběru komponent podstupujících analýzu RCM byla použita kniha poruch a odborný úsudek pracovníků provozu. Tento výběr je znázorněn v Tab. 4.

**Tab. 4 - označení a funkce komponent subsystému lepící hlava**

Komponenta	Označení komponenty	Funkce komponenty
řemen osy X	R1	řemen slouží k převodu výkonu mezi hnací jednotkou (servomotor) a poháněnou jednotkou (lepící hlava) - zajišťuje pohyb v ose X
řemen osy Z	R2	řemen slouží k převodu výkonu mezi hnací jednotkou (servomotor) a poháněnou jednotkou (lepící hlava) - zajišťuje pohyb v ose Z
Řemen osy plnění	R3	řemen slouží k převodu výkonu mezi hnací jednotkou (servomotor) a poháněnou jednotkou (lepící hlava) - zajišťuje pohyb v ose plnění
řídící jednotka ESR osy X	E1	ESR je elektronická řídící jednotka, která na základě vyhodnocení signálů optických a indukčních čidel řídí (spouští,zastavuje) servomotor, ale může také zobrazovat stavy systému
řídící jednotka ESR osy Z	E2	ESR je elektronická řídící jednotka, která na základě vyhodnocení signálů optických a indukčních čidel řídí (spouští,zastavuje) servomotor, ale může také zobrazovat stavy systému
řídící jednotka ESR osy plnění	E3	ESR je elektronická řídící jednotka, která na základě vyhodnocení signálů optických a indukčních čidel řídí (spouští,zastavuje) servomotor, ale může také zobrazovat stavy systému
indukční čidlo	IC	indukční čidlo reaguje na kovovou plochu přítlačně desky v ose plnění, vyhodnocuje v jaké pozici se nachází a dává signál elektronické řídící jednotce
hlava - škrťací ventily, mixážní elementy	H	škrťací ventily slouží k nastavení průtoku lepidla tryskami, mixážní elementy slouží k promíchání dvou složek lepidla (Resinu a Hardeneru)
těsnění O-kroužky	T	O-kroužky jsou částí lepící hlavy a slouží jako těsnění proti úniku složek lepidla do mechanicky namáhaných částí lepící hlavy

Módy poruch pro každou komponentu:

Módy poruch byly zjištěny stejně jako komponenty subsystému a to pomocí knihy poruch a odborného úsudku provozních pracovníků. Tyto módy jsou popsány v Tab. 5.

Tab. 5 - módy poruch jednotlivých komponent

Komponenta	Označení komponenty	Mód poruchy	Označení módu poruchy
řemen osy X	R1	chybné pozicování - opotřebený řemen	R1a
řemen osy Z	R2	chybné pozicování - opotřebený řemen	R2a
řemen osy plnění	R3	chybné pozicování - opotřebený řemen	R3a
řídící jednotka ESR osy X	E1	chybná funkce ESR	E1a
řídící jednotka ESR osy Z	E2	chybná funkce ESR	E2a
řídící jednotka ESR osy plnění	E3	chybná funkce ESR	E3a

**Tab. 5 - pokračování: módy poruch jednotlivých komponent**

Komponenta	Označení komponenty	Mód poruchy	Označení módu poruchy
indukční čidla	IC	chybné pozicování - indukční čidlo	ICa
hlava - škrťací ventily, mixážní elementy	H	chybná dávka lepidla	Ha
těsnění O-kroužky	T	Netěsnost	Ta

Hodnocení následků pro každý mód poruchy

Při hodnocení následků se popíše následky pro každý mód poruchy formou scénáře a určí ekonomické, zdravotní a bezpečnostní a ekologické důsledky v následujícím rozsahu.

Ekonomické důsledky

- přímé výrobní ztráty (hodinová výrobní ztráta x doba přerušení výroby),
- ostatní výrobní ztráty (další ztráty vzniklé např. poškozením jiného výrobního zařízení, snížením jeho životnosti apod.),
- přímé materiálové náklady na opravu (např. cena náhradního dílu),
- náklady na pracovníky údržby (vlastní, smluvní),
- náklady na provozní pracovníky (zajištění technologie, vystavení pracovního příkazu, převzetí po opravě apod.),
- ostatní náklady na opravu (např. přístavení mechanizace).

Zdravotní a bezpečnostní důsledky

- od poškození zdraví až po úmrtí více osob v důsledku požáru, výbuchu, otravy vyjádřené finančním ohodnocením.

Ekologické důsledky

- podle rozsahu zasažení životního prostředí vyjádřené finančním ohodnocením.



Při finančním vyčíslení nákladů se vychází jak ze známých ekonomických dat, tak i z odborného úsudku. Vyčíslení celkových nákladů pro každý mód poruchy znázorňuje Tab. 6.

Tab. 6 - celkové náklady následků poruch

Mód poruchy	Ekonomické důsledky [Kč]	Zdravotní a bezpečnostní důsledky [Kč]	Ekologické důsledky [Kč]	Celkové náklady [Kč]
R1a	13 797	0	0	13 797
R2a	14 000	0	0	14 000
R3a	2 000	0	0	2 000
E1a	79 500	0	0	79 500
E2a	79 500	0	0	79 500
E3a	79 500	0	0	79 500
Ica	1 300	0	0	1 300
Ha	2 166	0	0	2 166
Ta	19 000	0	0	19 000

Odhady středních dob mezi poruchami neudržovaných a udržovaných komponent

Odhady jsou založeny na sběru dat o poruchách a jsou korigovány odborným odhadem provozních specialistů podle charakteru zařízení a reálných provozních podmínek.

Tab. 7 - střední doby mezi poruchami

Komponenta	$MTBF_{NO}$ [rok]	$MTBF_{UO}$ ex. údržby [rok]	$MTBF_{UO}$ dop. údržby [rok]
R1	0.1	1.5	1.5
R2	2	4	2
R3	2	8	2
E1	1.5	1.5	10
E2	1.5	1.5	10
E3	1.5	1.5	10
IC	0.123	4	4
H	0.003	0.066	0.066
T	0.052	0.057	0.052

Hodnoty $MTBF_{UO}$ existující údržby a doporučené údržby jsou odhadnuty za předpokladu, že na zařízeních bude prováděna plánovaná údržba popsána Tab. 8 a Tab. 9 v kapitole 6.4.2.



6.4.2 Analýza údržby

Při implementaci RCM se provede popis existující údržby a zkoumá se, zda lze údržbu zefektivnit. Při hodnocení nákladů na údržbu se postupuje obdobně jako při hodnocení nákladů spojených s poruchou.

Následující tabulky Tab. 8 a Tab. 9 zobrazují existující a doporučený plán preventivní údržby komponent lepící hlavy. Pomocí těchto plánů lze získat informace o nákladovosti preventivní údržby daných komponent. Tyto informace jsou následně využity při výpočtech indexů *MEI*.

Tab. 8 - data existující údržby subsystému lepící hlavy

Komp.	Úkon údržby	Typ údržby	Za provozu	Četnost [1/rok]	Poskytuje	Náklady [Kč]	Náklady [Kč/rok]	Vyh.
R1	kontrola napnutí řemene	CM+CBT	ne	1	O, S	5 500	5 500	ne
	výměna řemen	CBT	ne	0.5	O, P, S, K	35 800	17 900	ne
R2	kontrola napnutí řemene	CM+CBT	ne	1	O, S	5 500	5 500	ne
	výměna řemen	CBT	ne	0.5	O, S	14 000	7 000	ne
R3	kontrola napnutí řemene	CM+CBT	ne	1	O, S	1 375	1 375	ne
	výměna řemen	CBT	ne	0.5	O	2 000	1 000	ne
E1	---	RTF	---	---	---	---	---	---
E2	---	RTF	---	---	---	---	---	---
E3	---	RTF	---	---	---	---	---	---
H	optická kontrola	CM	ano	1 500	O	1.67	2 500	ne
	softwarová korekce	CBT	ne	24	O	1 300	15 600	ne
	seřízení škrtících ventilů	CBT	ne	12	O	865.63	20 780	ne
	výměna mixážní části	CBT	ne	12	O	1747.5	20 970	ne
IC	optická kontrola	CM	ano	500	O	1.67	833	ne
	čištění	TBT	ne	12	O	215.83	2 590	ne
	seřízení	CBT	ne	4	O	434.17	1 737	ne
	výměna čidla	RTF	ne	1	S	2162.5	2 163	ne
T	sledování hladiny oleje	CM	ano	1 000	O	24 473	1 667	ne
	výměna oleje	CBT	ne	20	O	1 954	39 080	ne



Tab. 9 - data doporučené údržby subsystému lepicí hlavy

Komp.	Úkon údržby	Typ údržby	Za provozu	Četnost [1/rok]	Poskytuje	Náklady [Kč]	Náklady [Kč/rok]	Vyh.
R1	kontrola napnutí	CM+CBT	ne	1	O, S	5 500	5 500	ne
	výměna	CBT	ne	0.5	O, P, S, K	35 800	17 900	ne
R2	---	RTF	---	---	---	---	---	---
R3	---	RTF	---	---	---	---	---	---
E1	kontrola ESR	CM	ne	1	O, P	2 800	2 800	ne
	výměna ESR	CBT	ne	0.125	O, P, S	15 900	1987.5	ne
E2	kontrola ESR	CM	ne	1	O, P	2 800	2 800	ne
	výměna ESR	CBT	ne	0.125	O, P, S	15 900	1987.5	ne
E3	kontrola ESR	CM	ne	1	O, P	2 800	2 800	ne
	výměna ESR	CBT	ne	0.125	O, P, S	15 900	1987.5	ne
H	optická kontrola	CM	ano	1 500	O	1.67	2 500	ne
	softwarová korekce	CBT	ne	24	O	1 300	15 600	ne
	seřízení škrťících ventilů	CBT	ne	12	O	865.63	20 780	ne
	výměna mixážní části	CBT	ne	12	O	1747.5	20 970	ne
IC	optická kontrola	CM	ano	500	O	1.67	833	ne
	čištění	TBT	ne	12	O	215.83	2 590	ne
	seřízení	CBT	ne	4	O	434.17	1 737	ne
	výměna čidla	RTF	ne	1	S	2162.5	2 163	ne
T	---	RTF	---	---	---	---	---	

6.4.3 Vyhodnocení ekonomické efektivity údržby

Software Alopex RCM

K vyhodnocování byl použit software Alopex RCM od společnosti Alopex, s.r.o., tento software byl zapůjčen ústavem řízení systémů a spolehlivosti po dobu tvorby této práce. Program Alopex RCM slouží pro určení ekonomicky optimální údržby zařízení. Jako datové vstupy programu jsou použita data z provozu. Výstupem jsou informace o efektivitě údržby z hlediska ekonomických nákladů, mezi které patří index *MEI*, roční úspora mezi existující a doporučenou údržbou a jiné.

Výstupy z Alopexu

Výstupy analýz jednotlivých komponent jsou znázorněny v.



Z této tabulky je patrné, že existující údržba komponent R1, IC a H je z hlediska hodnocení ekonomické efektivity celkových provozních nákladů přijatelná oproti existující údržbě komponent R2, R3 a T, kde hodnota indexu *MEI* je nižší než 1. U těchto komponent nebyly nalezeny jiné vhodné úkony údržby, které by zmírnily dopady na celkové provozní náklady, proto je u každé z nich navržena údržba po poruše, respektive provoz komponenty do poruchy. Zbývající komponenty E1, E2 a E3 byly doposud provozovány do poruchy, tzn. nebyla na nich prováděna údržba. Doporučené úkony údržby (kontrola 1 rok a výměna 1 za 8 let) těchto komponent jsou z hlediska celkových nákladů přínosem pro firmu. To potvrzuje hodnota indexu *MEI*, která je ve všech třech případech rovna hodnotě 9,41.

Tab. 10 - vyhodnocení módů poruch komponent subsystému lepicí hlava

Mód poruchy	N_F [Kč]	$MTBF_{NO}$ [rok]	Existující údržba			Navrhovaná údržba		
			$MTBF_{UO}$ [rok]	N_{PU} [Kč/rok]	Index <i>MEI</i>	$MTBF_{UO}$ [rok]	N_{PU} [Kč/rok]	Index <i>MEI</i>
R1a	13 797	0.1	1.5	23 399	5.50	1.5	23 399	5.50
R2a	14 000	2	4	12 500	0.28	2	0	RTF
R3a	2 000	2	8	2 375	0.32	2	0	RTF
ICa	1 300	0.123	4	7 322	1.40	4	7 322	1.40
E1a	79 500	1.5	1.5	0	RTF	10	4 787.5	9.41
E2a	79 500	1.5	1.5	0	RTF	10	4 787.5	9.41
E3a	79 500	1.5	1.5	0	RTF	10	4 787.5	9.41
Ta	19 000	0.052	0.057	40 747	0.79	0.052	0	RTF
Ha	2 166	0.003	0.066	59 850	11.52	0.066	59 850	11.52

Následující tabulky znázorňují celkové stavy analýz.

Celkem bylo analyzováno devět módů poruch - viz Tab. 11, kde ani jeden mód poruchy nemá vliv na životní prostředí a bezpečnost práce. Oproti tomu mají všechny módy poruch vliv na odstavení výroby a vliv na výrobní ztráty. U třech módů byl



provoz do poruchy potlačen a u třech módů byl doporučen provoz do poruchy, z čehož vyplývá, že existující údržba byla neefektivní.

Tab. 11 - Alopex - celková statistika

Výstup programu Alopex	Módy poruch
Celkem analyzováno	9
Vliv na ŽP nebo BP	0
Vliv na odstavení výroby	9
Vliv na výrobní ztráty	9
Provoz nově doporučen do RTF	3
Provoz do RTF nově potlačen	3
Neefektivní existující údržba	3
Neefektivní doporučená údržba	0

Sumarizace počtu úkonů, počtu úkonů za rok a ročních nákladů, jak pro existující, tak i pro doporučenou údržbu je znázorněna v Tab. 12. Tyto sumy jsou prezentovány pro jednotlivé druhy údržby.

Tab. 12 - Alopex - údržba

Výstup programu Alopex	Druh údržby			
	CM, CBT	TBT	RTF	Celkem
Počet existujících úkonů	14	1	9	24
Počet doporučených úkonů	14	1	9	24
Počet existujících úkonů za rok	3077	12	37	3126
Počet doporučených úkonů za rok	2057	12	38	2107
Roční náklady na ex. údržbu	141 442 Kč	2 590 Kč	540 584 Kč	684 616 Kč
Roční náklady na dop. údržbu	100 183 Kč	2 590 Kč	441 736 Kč	544 509 Kč

V této tabulce je vidět třetinový pokles úkonů údržby CM, CBT mezi existujícím a doporučeným plánem údržby. To je zapříčiněno změnou plánu údržby komponenty T (těsnění lepící hlavy). V existujícím plánu preventivní údržby byla kontrola oleje popřípadě výměna, která prodloužila provozuschopnost na požadované úrovni celého subsystému v průměru o 2 dny. Následně se lepící hlava musela vyměnit za náhradní a původní podstoupila údržbu po poruše (čištění, výměna těsnění). Na základě nákladů existující preventivní údržby a středních dob do poruchy této komponenty bylo doporučeno preventivní údržbu neprovádět a provozovat zařízení do poruchy. Tím se významně snížily počty úkonů údržby i roční náklady na údržbu, při nepatrném rozdílu středních dob mezi poruchami.

Dále je patrná úspora ročních nákladů mezi existujícím a doporučeným plánem údržby u komponent provozovaných do poruchy.



Z Tab. 13 lze konstatovat, že doporučená preventivní údržba oproti existující preventivní údržbě má pro firmu význam z hlediska úspory celkových nákladů a to ve výši 140 108 Kč

Tab. 13 - Alopex - náklady

Výstup programu Alopex	Náklady [Kč/rok]
Riziko bez preventivní údržby	1 402 865
Riziko s existující preventivní údržbou	538 422
Riziko s doporučenou preventivní údržbou	439 573
Náklady na existující preventivní údržbu	146 194
Náklady na doporučenou preventivní údržbu	104 935
Celkové náklady při existující preventivní údržbě	684 616
Celkové náklady při doporučené preventivní údržbě	544 508
Úspora při doporučené proti existující preventivní údržbě	140 108

Příklad výpočtu indexu MEI komponenty E1

Elektronická řídicí jednotka E1, hodnocení následků módu poruchy - chybná funkce ESR Scénář – porucha (chybná funkce) řídicí jednotky ESR, nutná odstávka zařízení, oprava (náhrada) zajištěna operátorem výroby ve spolupráci s procesním inženýrem, bez vlivu na bezpečnost a životní prostředí

Ekonomické důsledky

přímé výrobní ztráty (65 000,- Kč)

ostatní výrobní ztráty (0,- Kč)

přímé materiálové náklady na opravu 10 000,- Kč)

náklady na pracovníky údržby (1 500,- Kč)

náklady na provozní pracovníky (3 000,- Kč)

Zdravotní a bezpečnostní důsledky (0,- Kč)

Ekologické důsledky (0,- Kč)

E1 (následky vyčísleny ve výši $N_F = 79.500,-$ Kč)

Odhad střední doby mezi poruchami neudržovaného objektu

Odhad je zpravidla založen na datech z knihy poruch a na odborném odhadu provozních specialistů, kteří vycházejí z vlastních zkušeností.

E1 ($MTBF_{NO} = 1,5$ let)



Odhad střední doby mezi poruchami udržovaného objektu

Odhad je založen na sběru dat o poruchách a korigován odborným odhadem provozních specialistů podle charakteru zařízení a reálných provozních podmínek.

existující údržba E1 ($MTBF_{UO} = 1,5$ let)

doporučená údržba E1 ($MTBF_{UO} = 10$ let)

Analýza údržby komponenty E1

Při implementaci RCM se provede popis stávající údržby a zkoumá se, zda lze údržbu zefektivnit. Při hodnocení nákladů na údržbu se postupuje obdobně jako při hodnocení nákladů spojených s poruchou. Celkové náklady preventivní údržby jsou vzaty z Tab. 10.

Existující preventivní údržba: $N_{PU} = 0,-$ Kč/rok

Na zařízení nejsou prováděny žádné úkony údržby, zařízení je v provozu do poruchy – RTF (Run To Failure). To znamená, že náklady existující preventivní údržby jsou nulové.

Doporučená preventivní údržba: $N_{PU} = 4\,787,5,-$ Kč/rok

Doporučená údržba je složena ze dvou úkonů. Prvním je kontrola ESR prováděna 1 ročně a druhým je výměna ESR prováděna na základě stavu, kdy předpokládaná četnost výměn je jednou za 8 let. Náklady na takový program doporučené preventivní údržby jsou 4 787,5 Kč/rok.

Index efektivnosti údržby komponenty E1

Vyhodnocení ekonomické efektivnosti údržby se provádí v podstatě již při analýze údržby, kdy se nejen hledají možnosti úspor nákladů, ale i rovnou rozhoduje, zda údržbu vůbec provádět.

index MEI existující údržby komponenty E1:

Komponenta E1 tedy elektronická řídicí jednotka servomotoru osy X byla doposud provozována do poruchy, proto je výsledkem indexu MEI hodnota RTF, tzn.



nelze tuto hodnotu vyčíslit. Důvodem je to, že náklady na preventivní údržbu jsou jmenovatelem rovnice a jsou nulové.

$$MEI = \frac{\frac{N_F}{MTBF_{NO}} - \frac{N_F}{MTBF_{UO}}}{N_{PU}} = RTF$$

index *MEI* doporučené údržby komponenty E1:

Při úkonech doporučené údržby komponenty E1, kterými jsou kontrola a výměna řídicí jednotky, získáme index *MEI* roven hodnotě 9,41.

$$MEI = \frac{\frac{N_F}{MTBF_{NO}} - \frac{N_F}{MTBF_{UO}}}{N_{PU}} = \frac{\frac{79500}{1,5} - \frac{79500}{10}}{4787,5} = 9,41$$

Tato hodnota je vyšší než 1, a proto lze konstatovat, že doporučená údržba této komponenty je z pohledu celkových výrobních nákladů pro společnost finančně výhodnější než existující údržba s provozem do poruchy.



7 Závěr

Úkolem práce byla RCM analýza na vhodně zvoleném zařízení v prostředí společnosti SQS Vlákno optika, a.s. Výběr zařízení, které bylo předmětem zkoumání, probíhal v rámci pravidelných návštěv společnosti kde mimo bodů zadání, byly požadavky k vytvoření evidence ND a vytvoření strukturované knihy poruch v elektronické podobě. Při tvorbě práce se postupem času narazilo na několik problémů.

Jedním z nich byla neuspořádanost dat o poruchách zařízení z pohledu struktury a pojmenování jednotlivých částí zařízení. Ve spolupráci s provozními pracovníky byl tento nedostatek odstraněn tvorbou elektronické knihy záznamů o poruchách a údržbě výrobního zařízení. Kniha je přílohou diplomové práce. Tento krok umožnil setřídění subsystémů dle četnosti prostojů a stal se výchozím bodem při výběru subsystému, podstupujícímu analýzu RCM.

S analýzou je také spojena identifikace komponent subsystémů a jejich módů poruch. Identifikace byla z části zajištěna daty z elektronické knihy a odborným úsudkem provozních pracovníků. Z tohoto důvodu musí být brán ohled na závěry analýzy, jelikož některá data nelze přesně definovat a je třeba je odhadnout. Mezi ně patří například odhady středních dob do poruchy nebo ceny ND.

V rámci analýzy bylo zkoumáno jedno zařízení, devět komponent a devět módů poruch.

U třech komponent R1, IC a H respektive jejich módů poruch byla vyhodnocena existující údržba jako přijatelná a nebyly nalezeny jiné úkony údržby, které by přinesly větší efektivitu z pohledu celkových výrobních nákladů.

Neefektivní údržba byla zjištěna u komponent R2, R3 a T a to z hlediska celkových výrobních nákladů. To znamená, že úkony existující preventivní údržby dostatečně neprodlouží provozuschopnost daných komponent tak, aby celkové výrobní náklady byly nižší než při provozu do poruchy. Z tohoto důvodu je u těchto komponent doporučen provoz do poruchy.



Komponenty E1, E2 a E3 jsou provozovány do poruchy. Na základě výsledků analýzy je doporučena preventivní údržba formou kontrol a výměn. Důvodem je obtížná identifikace poruchy a značné náklady z nevýroby.

Při dodržení doporučeného plánu údržby bylo zjištěno, že pro firmu je reálná roční úspora zhruba 140 000 Kč.

Výsledky této práce byly prezentovány ve firmě a byly shledány jako relevantní s tím, že budou sloužit jako základní kámen při tvorbě dynamického programu údržby.

Mimo zadání diplomové práce, avšak s využitím jejích některých postupů byl do společnosti SQS Vláknová optika, a.s. zaveden systém zaznamenávání údajů o poruchách procesu casting, který je aplikovatelný i na ostatní procesy, a dále vytvořena databáze ND, která je z pohledu firemních auditů nezbytně nutná. Tyto dokumenty jsou součástí přílohy diplomové práce



Literatura

- [1] Moubray, J.: *Reliability-Centered Maintenance*, Industrial Press, 2. vyd., duben 1997, ISBN 0831130784. Částečně dostupná z WWW: <<http://www.plant-maintenance.com/RCM-intro.shtml>>
- [2] Fuchs P.: *Analýza rizik v optimalizaci a údržby*. In: 16. seminář Odborné skupiny pro spolehlivost České společnosti pro jakost - Spolehlivost a analýza rizik. Praha, 2004.
- [3] ČSN IEC 60300-3-11: *Management spolehlivosti*. Část 3-11: Návod k použití - Údržba zaměřená na bezporuchovost, 1999
- [4] Tonar L.: *Příprava pro aplikaci metody RCM na výrobu optických konektorů*, Diplomový projekt FM TUL, září 2010, 21s.
- [5] Valent O.: *Revoluce v moderní údržbě* [online], [cit. 2011-05-10]. Dostupné z WWW: <<http://www.cmms.cz/rizeni-udrzby/212-revoluce-v-moderniudrzbe>>
- [6] Mutual Consultants Limited: *Reliability Centred Maintenance (RCM)* [online], ©1997-2011 [cit. 2011-05-14]. Dostupné z WWW: <<http://www.mutualconsultants.co.uk/rcm.html>>
- [7] *Internetová prezentace společnosti SQS Vláknová optika, a.s.* [online], [cit. 2011-05-05]. Dostupné z WWW: <<http://www.sqs-fiber.cz>>
- [8] *Portál pracovních míst: okres Jičín a Mladá Boleslav* [online], [cit. 2011-03-10]. Dostupné z WWW: <<http://prace.bousovsko.cz/obce-a-firmy/sqs-vlaknova-optika-a-s/>>



Seznam obrázků

Obr. 1 - rostoucí očekávání údržby.....	11
Obr. 2 - měnící se pohledy na selhání zařízení.....	12
Obr. 3 - měnící se technika údržby.....	13
Obr. 4 - korektivní údržba.....	15
Obr. 5 - údržba na základě časového plánu.....	16
Obr. 6 - údržba podle stavu zařízení.....	17
Obr. 7 - spolehlivostně orientovaná údržba.....	18
Obr. 8 - graf nákladové rovnice.....	19
Obr. 9 - vypracování dynamického programu údržby [3].....	23
Obr. 10 - vstupní stanice.....	36
Obr. 11 - hlavní stanice.....	36
Obr. 12 - výstupní stanice.....	37
Obr. 13 - hlavička databáze knihy poruch.....	37
Obr. 14 - graf celkových prostojů subsystémů procesu casting.....	38
Obr. 15 - lepící hlava v provozu.....	41

Seznam tabulek

Tab. 1 - rozdělení zařízení na sub. s jednoznačně definovanou výrobní funkcí.....	35
Tab. 2 - hodinové sazby vybraných profesí.....	39
Tab. 3 - rovnice výrobních ztrát.....	39
Tab. 4 - označení a funkce komponent subsystému lepící hlava.....	42
Tab. 5 - módy poruch jednotlivých komponent.....	42
Tab. 6 - celkové náklady následků poruch.....	44
Tab. 7 - střední doby mezi poruchami.....	44
Tab. 8 - data existující údržby subsystému lepící hlavy.....	45
Tab. 9 - data doporučené údržby subsystému lepící hlavy.....	46
Tab. 10 - vyhodnocení módů poruch komponent subsystému lepící hlava.....	47
Tab. 11 - Alopex - celková statistika.....	48
Tab. 12 - Alopex - údržba.....	48
Tab. 13 - Alopex - náklady.....	49



Seznam symbolů a zkratk

RCM	spolehlivostně orientovaná údržba (Reliability Centred Maintenance)
CM	monitorování stavu (Condition Monitoring)
CBT	prediktivní údržba (Condition Based Task)
TBT	preventivní údržba (Time Based Task)
RTF	korektivní údržba (Run To Failure)
ND	náhradní díl
<i>MEI</i>	index efektivnosti údržby (Maintenance Effectiveness Index)
<i>MTBF</i>	střední doba mezi poruchami (Mean Time Between Failure)
<i>MTBF_{NO}</i>	střední doba mezi poruchami neudržovaného objektu
<i>MTBF_{UO}</i>	střední doba mezi poruchami udržovaného objektu
<i>N_F</i>	celkové náklady poruchy
<i>N_{PU}</i>	náklady na preventivní údržbu
<i>R_{NO}</i>	riziko neudržovaného objektu
<i>R_{UO}</i>	riziko udržovaného objektu



Seznam příloh

Příloha 1: Obsah CD	58
---------------------------	----



Obsah CD

- DP_Libor_Tonar.pdf - text diplomové práce ve formátu pdf
- SQS_CA_kniha_poruch_udrzby.xls - elektronická kniha poruch a údržby procesu casting
- SQS_ND_optoelektronika.xls - databáze náhradních dílů