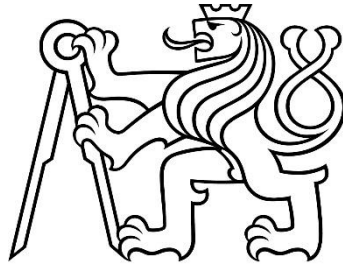


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV ŘÍZENÍ A EKONOMIKY PODNIKU



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Návrh nástroje na optimalizaci nákladů na opravu a údržbu strojních zařízení

Design of a Tool to Optimize the Cost of Repair and Maintenance of Machinery

AUTOR: Bc. Marek Zíta

STUDIJNÍ PROGRAM: Řízení a ekonomika podniku

VEDOUCÍ PRÁCE: Ing. Jan Lhota Ph.D.

PRAHA 2021

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Zita** Jméno: **Marek** Osobní číslo: **469556**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav řízení a ekonomiky podniku**
Studijní program: **Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Řízení a ekonomika podniku**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Návrh nástroje na optimalizaci nákladů na opravu a údržbu strojních zařízení

Název diplomové práce anglicky:

Design of a Tool to Optimize the Cost of Repair and Maintenance of Machinery

Pokyny pro vypracování:

1. Úvod - Zdůvodnění zadání a cíle práce
2. Teoretická část - Současné analytické nástroje pro rozhodování včetně preventivní údržby
3. Analytická část - Analýza současného stavu včetně stanovení vhodného předmětu zkoumání
4. Návrhová část - Návrh analytického nástroje pro rozhodování o údržbě strojních zařízení
5. Závěr - Diskuze výsledků včetně shrnutí

Seznam doporučené literatury:

ŽÁČEK, Vladimír. Management: teorie, zásady, praxe. V Praze: České vysoké učení technické, 2014. ISBN 978-80-01-05594-6.
ZRALÝ, Martin. Management a ekonomika podniku: úlohy. V Praze: České vysoké učení technické, 2009. ISBN 978-80-01-04401-8.
Mobley, RK, & Mobley, RK 2002, An Introduction to Predictive Maintenance, Elsevier Science & Technology, Oxford. Available from: ProQuest Ebook Central. [23 March 2021].

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Jan Lhota, Ph.D., ústav řízení a ekonomiky podniku FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **30.04.2021** Termín odevzdání diplomové práce: **23.07.2021**

Platnost zadání diplomové práce: **28.02.2022**

Ing. Jan Lhota, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

Ing. Miroslav Žilka, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis díkarsa(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně, a to výhradně s použitím pramenů a literatury, uvedených v seznamu citovaných zdrojů.

V Praze dne:

Podpis:

Anotace

Diplomová práce je zaměřena na návrh koncepčního analytického nástroje pro optimalizaci nákladů na opravu a údržbu strojních zařízení. Podnik je z důvodu ochrany citlivých informací a dat anonymizován. V teoretické části jsou objasněny pojmy jako dostupnost, udržovatelnost, model, statistický model a dále jednotlivé metody přístupu k údržbě zařízení. V analytické části je provedena analýza současného stavu nákladů na údržbu a opravu, dále je stanoven představitel pro koncepční návrh analytického nástroje. Analytický nástroj je navržen tak, aby pomáhal manažerům údržby ve stanovení strategie a plánu.

Klíčová slova

Údržba, dostupnost, udržovatelnost, model

Annotation

The diploma thesis is focused on the design of a conceptual analytical tool for optimizing the costs of repair and maintenance of machinery. The company is anonymized to protect sensitive information and data. The theoretical part clarifies terms such as availability, maintainability, model, statistical model, and individual methods of access to equipment maintenance. In the analytical part, an analysis of the current state of maintenance and repair costs is performed, and a representative for the conceptual design of the analytical tool is determined. Analytical tool is designed to assist maintenance managers in determining the strategy and plan.

Keywords

Maintenance, availability, maintainability, model

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval panu Ing. Jan Lhota Ph.D. za jeho cenné rady, trpělivost a dobré vedení. Dále bych chtěl poděkovat za možnost vypracovat diplomovou práci v podniku.

Obsah

1	Úvod	9
2	Teoretická část	11
2.1	Dostupnost systému	12
2.1.1	Optimální dostupnost.....	12
2.1.2	Průměrná dostupnost.....	12
2.1.3	Operativní dostupnost.....	12
2.2	Úkoly údržbového týmu	12
2.2.1	Optimální provozní podmínky.....	12
2.2.2	Maximální využití podnikových zdrojů	13
2.2.3	Optimální životnost zařízení	13
2.2.4	Minimální zásoba náhradních dílů	13
2.2.5	Schopnost rychle reagovat	13
2.3	Provozní spolehlivost.....	14
2.4	Metody řízení údržby.....	14
2.4.1	Metoda „Run to failure“	14
2.4.2	Preventivní údržba	15
2.4.3	Prediktivní údržba	15
2.4.4	Optimalizace preventivní údržby	16
2.5	Riziko havárie	16
2.6	Ekonomický pohled.....	16
2.7	Práce s daty.....	17
2.8	Analytika	19
2.8.1	Hodnotová perspektiva podniku	19
2.8.2	Technická implementace	20
2.8.3	Prediktivní analytika.....	20

2.9	Model.....	20
2.9.1	Proces modelování	21
2.10	Návrh programu preventivní údržby	22
2.11	Lidský faktor v organizacích	24
3	Analytická část	26
3.1	Charakteristika podniku	26
3.2	Přístup podniku k údržbě	27
3.3	Analýza současného stavu	27
3.4	Analýza vybraného stroje.....	35
3.5	Lidský faktor při údržbě	40
4	Návrhová část	42
5	Závěr.....	50
5.1	Celkové zhodnocení.....	50
6	Seznam použitých zdrojů	52
7	Seznam použitých grafů a obrázků.....	54

1 Úvod

Každý podnik se musí v současné době zabývat tématem konkurenceschopnosti a udržení jejich konkurenčních výhod. Je pro ně klíčové velmi důkladně zpracovávat a vyhodnocovat data, která denně sbírají, aniž by se v těchto datech ztrácely. Je zapotřebí používat správné nástroje pro analýzu dat a je nutné vyloučit či alespoň minimalizovat lidský faktor v samotném zpracování dat. Analytické nástroje by měly být co nejpřesnější, aby se výsledky mohly použít pro zlepšení situace podniku na trhu. Vyloučení lidského faktoru nebo alespoň jeho minimalizování je nutné proto, aby data nebyla ovlivněna lidskou chybou. Dále je zapotřebí brát v úvahu veškeré faktory, které mohou ovlivňovat reálná data. Pokud se podniku povede správně nastavit analytické nástroje podnik má velmi dobrý základ pro dlouhodobou konkurenceschopnost.

Tato diplomová práce se bude zabývat přípravou koncepčního analytického nástroje, který bude mít za úkol pomáhat podniku nalezení optimální strategie údržby linek. Podnik je momentálně jedničkou ve svém oboru nejenom v České republice, ale také v celosvětovém měřítku. Jedná se o výrobní podnik a tato práce bude zaměřena pouze na továrnu v České republice. Údržba je podstatná část nákladů výrobních podniků a z tohoto důvodu je zapotřebí pravidelně optimalizovat údržbové náklady pro udržení pozice na trhu.

Hlavním cílem je návrh nástroje na optimalizaci nákladů na opravu a údržbu strojních zařízení ve společnosti XYZ, označení XYZ je zvoleno z důvodu ochrany citlivých informací. Tento nástroj by měl sloužit týmu údržby pro přesnější a efektivnější stanovení strategie údržby jednotlivých strojů. K vytvoření správného nástroje je zapotřebí provést detailní analýzu současného stavu údržby v podniku. K této analýze budou použita data primárně ze softwaru SAP, s kterým podnik pracuje nejvíce. Pokud člověk spatří výrobu na vlastní oči, bude si lépe schopen představit problémy, které se mohou vyskytnout při vytváření nástroje. Pro samotný návrh nástroje je zapotřebí stanovit vhodného předmětu zkoumání, v podniku se sbírá velké množství dat, tudíž je zásadní si vybrat pouze vhodnou část.

Dílčím cílem je základní vymezení pojmů, které souvisí s údržbou. Pojmy, které se používají pravidelně v oblasti údržby, ačkoliv nemusí být vždy použité správně. Důvodem častému nepochopení je předklad z angličtiny do češtiny, jelikož se poté používají jiné než zavedené pojmy.

Při zpracování této diplomové práce bude nejprve provedena komparace názorů autorů v odborné literatuře, poté bude zanalyzován současný stav údržby v podniku a bude vytvořen návrh nástroje na optimalizaci nákladů na opravu a údržbu strojních zařízení. Další metody, které budou v práci využity jsou metoda analýzy, syntézy, dedukce a indukce. Při práci s daty bude použita také například početní metoda.

Diplomová práce se skládá ze tří částí. První část je část teoretická, kde budou vymezeny základní pojmy jako například preventivní údržba. V další části bude podniková údržba analyzována pomocí sbíraných dat v podniku. Třetí část bude o návrhu nástroje na optimalizaci nákladů na opravu a údržbu strojních zařízení. Tento návrh bude poté použitý pro plánování nákladů na údržbu a stanovení dlouhodobých strategií údržby.

2 Teoretická část

Výrobní podniky se ještě v nedávné době zaměřovaly hlavně na technologickou stránku výroby, toto zaměření však přinášelo časté poruchy na strojích. Takové výrobní podniky provozují množství aktivit, které jsou propojené a navazující na sebe a řešení provozu takovéto sítě aktivit, vyžaduje specializovaný tým odborníků z oblasti informačních technologií, ale koupit software není zdaleka dostatečné. Pro integraci údržbových systémů je zásadní hledat vztah mezi daty z různých oblastí a vytvořit propojení a závislosti mezi nimi. Tým údržby by měl zajistit komplexní servis, jelikož špatné zhodnocení stavu či zaměření pouze na snížení počtu poruch může vést k neefektivní údržbě zařízení. [11]

V historickém měřítku s námi údržba není dlouho. Důvodem pro vznik údržby a údržbových středisek byl vývoj moderních strojů, které dosahují vysoké přesnosti, výrobních systémů, kde je jeden stroj závislý na druhém. Dříve jednoduše nebylo kde provádět údržbu. V době jednodušších strojů byla metoda údržby prováděna „run to failure“, tedy dokud zařízení bylo schopné provádět úkon, jakmile vznikla porucha, stroj se jednoduše vyměnil či opravil. [6]

Pomalý vývoj údržby by se také dal vysvětlit přístupem podniků. Dříve se údržba brala jako nutné zlo, které se jednou za čas musí udělat. V dnešní době je údržba naopak integrována do řízení a je vnímána jako možná konkurenční výhoda. [7]

Vliv údržby

Náklady na údržbu tvoří velkou část celkových provozních nákladů za všechny továrny. V závislosti na odvětví, ve kterém podnik působí, se náklady na údržbu pohybují mezi 15 až 60 %. V potravinářském průmyslu se náklady pohybují okolo 15 %, zatímco v těžkém průmyslu se tyto náklady mohou pohybovat okolo 60 %. Samozřejmě také záleží, jak podnik zařazuje náklady v rámci svého systému, jelikož se velmi často stává, že například modifikace strojů je přiřazena údržbě, ačkoliv by měla být přiřazena na středisko neúdržbové. [1]

Poslání údržby

Velmi často si lidé mylně myslí, že údržba znamená rychlou opravu poruchy, nicméně údržba je spíše zaměřena na prevenci proti veškerým ztrátám, které

by mohly vzniknout ve vztahu ke stroji či celému systému. Mise údržbového střediska ve světově významné společnosti je dosáhnout a udržet optimální dostupnost, optimální provozní podmínky, maximální využití podnikových zdrojů, optimální životnost zařízení, minimální zásoba náhradních dílů a schopnost rychle reagovat. [1]

2.1 Dostupnost systému

2.1.1 Optimální dostupnost

Kapacita výroby je částečně ovlivněná dostupností jednotlivých systémů. Hlavní funkcí údržby je zajištění toho, že všechny stroje, zařízení a systémy v podniku byly vždy dostupné a připravené k použití a v dobré provozní kondici. [1]

2.1.2 Průměrná dostupnost

Udržovatelnost znamená jednoduchost údržby s ohledem na čas a využití zdroje. Průměrná dostupnost je čas, za který je systém použitý v průběhu úkolu. Matematicky se počítá jako střední hodnota okamžité dostupnosti za periodu T. [8]

2.1.3 Operativní dostupnost

Operativní dostupnost je podobná průměrné dostupnosti, ale zahrnuje ještě časy odkladů kvůli nedostupnosti údržbového personálu či náhradních dílů. [8]

$$A_0 = \frac{MTBM}{MTBM + MTTR + SDT + MDT}$$

, kde MTBM je střední hodnota mezi údržbami, MTTR je střední hodnota na opravu, SDT je zpoždění zásobování a MDT je zpoždění ze strany údržbového týmu. [8]

2.2 Úkoly údržbového týmu

2.2.1 Optimální provozní podmínky

Dostupnost není jedinou podmínkou pro zajištění dobré výkonnosti závodu. Údržbové středisko musí spravovat všechny přímé a nepřímé stroje, zařízení či systémy tak, že budou po celou dobu v optimálních provozních podmínkách. [1]

2.2.2 Maximální využití podnikových zdrojů

Údržba podniku zabírá vysokou část celkového provozního rozpočtu. Navíc je většinou v rukách údržbových manažerů i zásoba náhradních dílů či zajištění externí práce. Proto je jedním z úkolů efektivní využití těchto zdrojů. [1]

2.2.3 Optimální životnost zařízení

Jeden ze způsobů snížení nákladů na údržbu je prodloužit životnost zařízení, proto by se středisko údržby mělo zaměřovat na implementaci programů, které zvýší životnost veškerých podnikových zařízení. [1]

2.2.4 Minimální zásoba náhradních dílů

Snížení zásob náhradních dílů by měl být prioritou, nicméně nesmí toto snížení ovlivnit předchozí čtyři body. V dnešní době „chytrých“ systémů je mnohem jednodušší objednat náhradní díl až když je potřeba. [1]

2.2.5 Schopnost rychle reagovat

Veškerým haváriím se nedá zabránit, ale mělo by se pracovat na tom, aby byl podnik schopný rychle reagovat na vzniklou situaci. [1]

Efektivní a spolehlivé plánování je základním prvkem pro řízení hmotného majetku výroby. Ty podniky, které ještě v dnešní době vidí údržbu jako klasické nákladové středisko a snaží se ušetřit na těchto oblastech, jsou pravděpodobně na cestě k problémům. Tento přístup se již mnoha velkým společnostem nevyplatil. Pokud je zanedbávána údržba majetku, tak se mohou následné opravy značně prodražit. [5]

V dnešní době je většina strojních zařízení složitá. Optimalizace pokročilých systémů dává nejenom strategickou výhodu pro podnik oproti konkurenci, ale je také velmi důležitá pro samotné přežití podniku. Zároveň pokračuje vysokým tempem proud inovací technologií jako jsou například roboti, a proto se zásadně změnil charakter zařízení, které jsou v podnicích používány. Tyto změny jsou vidět nejvíce v technologických firmách, nicméně je patrné, že tlak na robotizaci a automatizaci cítí každá, nejen výrobní, společnost. Dříve byly v továrnách viděny stroje stojící a pracující izolovaně a dnes je v továrnách vidět velká propojená síť strojů, robotů a dopravníků. Také jsou dnes výrobní linky mnohem preciznější a rychlejší, což má ale i své nevýhody. Dnes jsou stroje

vyměňovány často z důvodu nesplňujících technologických parametrů, a nikoliv z důvodu ztráty funkce, kterou nelze opravit. Dále jsou tato zařízení mnohonásobně dražší z důvodu nových technologií, z kterých se skládají, aby byly co nejpřesnější a nejrychlejší. Tím, že jsou technologie dražší má daleko větší dopad na ziskovost výroby neefektivita práce. V současné době je nejvyšší prioritou efektivita řízení celé výroby komplexně. [2]

Řízení zařízení prošlo dlouhým vývojem. První etapou byl tzv. „breakdown management“, který se zabýval opravou strojů až tehdy, kdy je stroj rozbitý a potřebuje opravu. Další etapou byla preventivní údržba, což byla strategie, která se zabývala plánováním údržby a oprav podle životnosti dílů a strojů. V této etapě vzniklo řízení údržby. Třetí etapa se zaměřila na produktivní údržbu, což znamená řešení nákladů na údržbu ve vztahu na výkonnost a udržitelnost zařízení. [2]

2.3 Provozní spolehlivost

Rozsáhlé údržbové systémy musí být založeny na dodržování plánovaných a neplánovaných procedur. V plánované údržbě je jejich cílem prevence od nepředpověditelných havárií strojů. V neplánované údržbě rozhoduje, jakým způsobem se dosáhne provozní spolehlivosti zařízení díky systematickým krokům co nejrychleji. Nejčastěji pracovník zodpovědný za stroj vytváří hlášení o havárii, díky kterému se poté zpracuje žebříček míra důležitosti. [11]

2.4 Metody řízení údržby

2.4.1 Metoda „Run to failure“

První je metoda, která je velmi jednoduchá a přímočará, pokud stroj není rozbitý není potřeba ho udržovat, proto jsou náklady na údržbu blízké nule, dokud se strojní zařízení nerozbije. Je to reaktivní řízení, které bylo velmi populární v začátcích údržby, nicméně reálně je to nejdražší možná údržba. Jsou podniky, které využívají tuto metodu, ale zároveň provádějí základní údržbu (promazání atd.). Největším problémem této metody jsou vysoké náklady na náhradní díly, kdy je potřeba mít velké zásoby všech náhradních dílů, aby výroba nestála příliš dlouho, ale zároveň je díky dlouhým prostojům kvůli opravám velmi nízká produkce daných systémů. Další možností je mít dodavatele pro všechny

náhradní díly, které jsou schopni dodat díl ihned, nicméně tato možnost je také velmi nákladná. [1]

2.4.2 Preventivní údržba

Druhou metodou je preventivní údržba. Tato metoda má mnoho definicí, nicméně všechny mají stejné měřítko a tím je čas. Způsoby začlenění preventivní údržby se velmi liší. Některé jsou velmi jednoduché a dělají pouze klasické úkony jako promazání či malé opravy. Rozsáhlé preventivní údržby mají naopak mají naplánované veškeré činnosti pro kritické strojní zařízení závodu. Všechny programy preventivní údržby předpokládají, že stroje časem degradují podle jejich klasifikace. Pokud má daný díl předepsanou životnost 12 měsíců, preventivní údržba automaticky tento díl v 11 měsíci vezme a opraví. Problém s tímto přístupem k údržbě je riziko předčasné výměny, což může vést ke zbytečným výdajům podniku. Nicméně v případě, kdy se díl rozbije před výměnou, je poté potřeba opravit dle první metody. Reaktivní opravy jsou až třikrát dražší než ty, které jsou provedeny podle plánu. [1]

2.4.3 Prediktivní údržba

Další metodou je prediktivní údržba, která stejně jako preventivní údržba má spoustu definicí. Hlavním cílem prediktivní údržby je pravidelné vyhodnocení správné funkce jednotlivých mechanických dílů na stroji a monitorování ukazatelů. Data při této metodě se používají k tomu, aby interval mezi opravami byl co nejdelší, ale zároveň snížil počet havárií a drahých oprav. Prediktivní údržba má ale spíše za úkol zlepšit kvalitu produktu či produktivitu podniku. Je to vlastní filozofie či přístup, který zjednodušeně řečeno používá aktuální stav strojů a systémů k optimalizování veškerých provozních nákladů. Detailní prediktivní údržba používá nákladově efektivních nástrojů jako je například monitorování vibrací k odhalení skutečného stavu důležitých strojů a na základě odhalení plánuje veškeré údržbové činnosti. Zavedení prediktivní údržby razantně snižuje náklady na údržbu a zároveň zvyšuje dobu, po kterou jsou stroje využitelné. Velmi důležité je také vědět, že tato metoda zlepšuje kvalitu produktů, produktivitu či ziskovost výroby. Prediktivní údržba není závislá

na čase, ale na kondici sledovaných indikátorů. Místo spoléhání se na statistiku pro plánování údržby, používá živé monitorování kondice. [1]

2.4.4 Optimalizace preventivní údržby

Preventivní údržba může pomoci v prodloužení užitečného života strojů, zároveň i snižování nákladů na produkci, držet kvalitu výrobku či zamezení velkým haváriím. Na druhou stranu preventivní údržba také spotřebovává čas a zdroje, které by mohly být využity například na produkci, proto je zapotřebí optimalizovat plán preventivní údržby. Hlavně v případech, kdy efekty havárie mají velké ekonomické dopady, tam je nutná optimalizace preventivní údržby, aby se dosáhlo lepší ziskovosti systémů v době jejich životnosti. [8]

2.5 Riziko havárie

Z definice je havárie konec schopnosti objektu vykonávat potřebnou funkci. Údržbový tým existuje proto, aby hledal maximální dostupnost zařízení snížením počtu havárií a prostojů. Je nutné brát v úvahu efekty preventivních a prediktivních strategií pro snížení počtu havárií, nicméně je nutné vnímat i riziko havárií. Riziko se dá vyjádřit jako pravděpodobnost havárie a důsledky této havárie. [11]

$$R = P \times C$$

Kde R vyjadřuje velikost rizika, P vyjadřuje pravděpodobnost výskytu a C vyjadřuje důsledek havárie. [11]

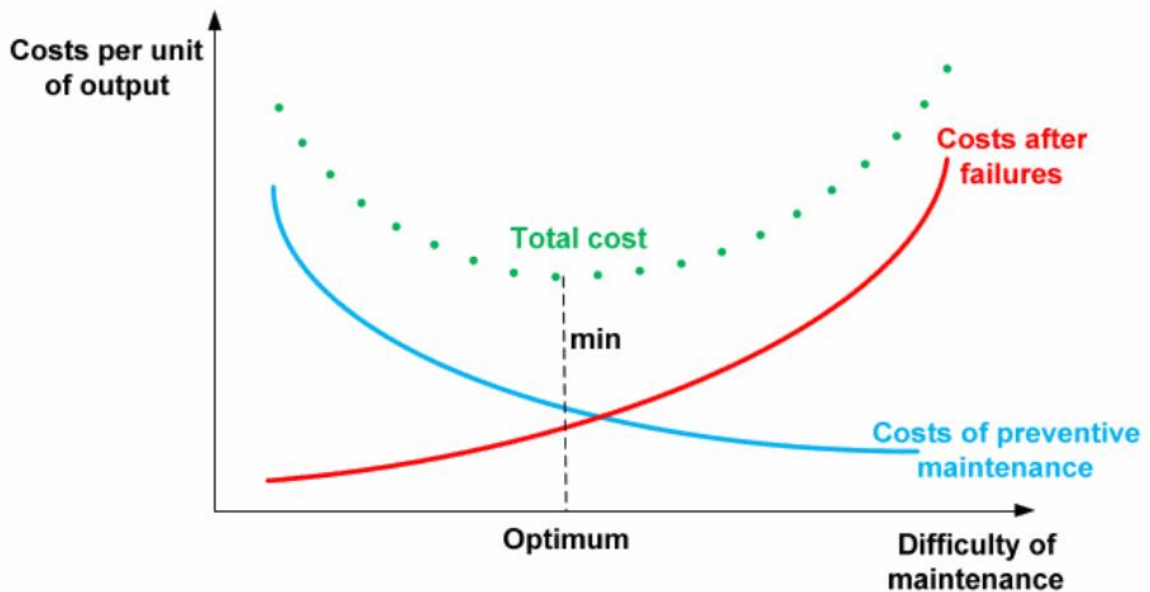
2.6 Ekonomický pohled

Integrace jakéhokoliv projektu musí odrážet efektivitu používání investice jako výsledek počáteční investice s rizikovým ukazatelem a návratností. Analýza ekonomické výkonnosti a produktivity stroje a zařízení ukáže potřebu pro minimální ztráty a minimální údržbové náklady. Optimální kritérium je velikost jednotkových údržbových nákladů ve vztahu ke ztrátám. Výsledkem jsou prostoje a údržbové náklady. Optimální náklady lze vyjádřit: [11]

$$C_t = \min(C_m + C_l)$$

Kde C_t jsou celkové náklady, C_m jsou údržbové náklady, C_l jsou ztráty (Ztráty z prostojů, ztráty z dalších prevenčních opatření, ztráty z výkonu a kvality či zvýšené náklady na materiál) [11]

Graf 1 Náklady na jednotku oproti obtížnosti údržby



Zdroj: *Industrial and Service Robotics* [11]

2.7 Práce s daty

Získávání dat

Získávání dat je proces sběru dat, převedení těchto dat do potřebné formy a nahrávání použitelných dat z fyzických strojů. Typickým představitelem pro sběr dat u strojů jsou senzory. Senzor je převaděč, který měří fyzické množství a převádí ho na signál, který je čitelný pro jakýkoliv přijímač (v dnešní době nejčastěji elektronický). V reálných monitorovacích systémech jsou řídicí počítače velmi vzdálené od zaměřené jednotky, proto je zapotřebí, aby digitální signál putoval mezi pracovním prostorem do místa, kde je řídicí počítač. [4]

Zpracování dat

Zpracování dat hraje zásadní roli v prognózách týkajících se strojů a řízení údržby. Prvním krokem zpracování dat je čištění dat. Tento krok je velmi důležitým bodem, protože data, hlavně ta, která jsou vkládána manuálně,

obsahují často chyby. Čištění těchto dat zajistí nebo alespoň zvýší šanci, že se použijí data bez chyby pro další analýzy a modelování. Pokud se data důkladně nevyčistí může se stát, že vzniklé modely a analýzy budou zavádějící. Chyba v datech vznikne z mnoha různých důvodů, například lidský faktor. Chybná data, týkající se stavu techniky, mohou být způsobena také poruchou senzorů. Obecně tedy neexistuje žádný jednoduchý přístup čištění dat. Někdy je potřeba manuální odstranění chyb. Například grafické nástroje mohou chybná data odhalit. Dalším krokem ve zpracování dat je analýza. Různé varianty modelů, algoritmů či různých nástrojů je možno použít pro lepší pochopení a interpretaci dat. Postup zvolený pro analýzu dat souvisí s povahou shromážděných dat. [4]

Monitoring

Monitorování v reálném čase přináší základní informace ohledně zdraví monitorovaných jednotek. Informace pomáhají identifikovat, zda se stav zařízení odklonil od normálu, poté je možné provést diagnostiku. Tyto diagnostiky pomáhají nalézt a odstranit abnormální chování. Nicméně důležitější otázkou je, jak použít data k predikci, jak dlouho bude daný stroj schopen fungovat bezpečně a kvalitně. Tato data se pak mohou použít k nastavení optimální údržbové strategie a maximální efektivnosti údržby. [4]

Prognózování

Prognózování zbývajících života zkoumané jednotky je definováno v literatuře. Existují dva základní přístupy predikce v prognózování. První přístup je velmi široce využíván a má za úkol predikovat kolik času zbývá před vyskytnutím závady. Tento čas se většinou označuje zbývajícím užitečným časem. Druhý přístup, který je užíván například v jaderných elektrárnách, se používá tam, kde vznik jakékoliv závady může mít fatální dopad. Zde je predikována i pravděpodobnost, že stroj pojede bez závady až do další inspekce. [4]

Rozhodování

Údržbový manažer musí dělat komplexní rozhodnutí, a to například zvážení dostupnosti, ale také ekonomických aspektů údržbových aktivit. Je od něho vedením podniku požadováno, aby se snažil stále vylepšovat dostupnost

a připravenost výrobních zařízení, díky čemuž je možné dosáhnout levnější výroby. Problém komplexního rozhodování se zaměřuje na alokování správného rozpočtu na jednotlivé nástroje či komponenty. Úkol je minimalizovat celkové výdaje a maximalizovat efekt z dostupnosti výrobních zařízení. Správné vybavení kritických systémů hraje zásadní roli v získání nezbytných technických dat. Zároveň je ale pro správné rozhodování potřeba podpory analytických softwarů s matematickými modely. [4]

2.8 Analytika

Lidé dělají denně stovky rozhodnutí jak v jejich osobním, tak pracovním životě. Rozhodnutí vzniká jako odpověď na současnou situaci. Čím lepší má člověk informace o situaci, tím lépe je schopný se rozhodnout. Analytika funguje na stejném principu, jediný rozdíl je, že pracuje převážně technika. Ačkoliv je analytika ve stínu probíhající revoluce médií, je velmi důležitým prvkem vynikajících společností. Rozvoj všemožných zdrojů dat vede podniky k častějšímu používání analytiky pro lepší porozumění dat. Eckerson ve své knize definuje analytiku jako vše co navodí proměnu dat do jakýchkoliv postřehů a následujících akcí. Nicméně slovníkové popisy často nestačí pro porozumění problematiky, a proto se může dále dělit na dva pohledy. První se zabývá pohledem podnikové hodnoty a druhý pohledem technické implementace. [9]

2.8.1 Hodnotová perspektiva podniku

Hodnotová perspektiva podniku se zabývá daty přítomnými, minulými a budoucími, a to přesně v tomto pořadí. Jsou to například denní prodeje, počítání zásob, pomoc zákazníkům atd. Data jsou zaměřena na velmi krátké období. Historická data mohou být také zkoumána z pohledu výkonnosti po měsících, kvartálech atd. Jedna z činností, která se zabývá částečně minulými daty je reporting, díky reportingu má podnik lepší představu, kde je potřeba se zlepšit a také kam mířit do budoucnosti. Posledními jsou data budoucí, která odpovídají na otázku, co bychom měli dělat. Jakýkoliv nástroj či technologie je možno přiřadit, jelikož je důležitá více jejich použitelnost a výsledek než implementace. [9]

2.8.2 Technická implementace

Technická implementace popisuje charakteristiky analytiky z pohledu technik, které se používají k implementaci řešení. Jsou čtyři základní metody, a to technika prognózy, popisná analytika, prediktivní analytika a technika rozhodnutí o optimalizaci. [9]

Vizualizace dat je považována za nástroj pro reporting, nicméně dala by se zařadit i do analytických nástrojů, jelikož odpovídá uvedeným definicím. [9]

2.8.3 Prediktivní analytika

Predikce je metoda předpovídání třídy souboru pozorování na základě toho, jak jsou daná pozorování podobná těm, která byla klasifikována již v minulosti. Jsou zapotřebí data z minulosti, díky kterým je možné zjistit, jak byla dříve klasifikována a poté použitím této znalosti se můžou klasifikovat data nová. Klasifikace, predikce a odhad mají lehce odlišné definice a také se liší v aplikaci, nicméně ve většině případů se zjednodušuje vše jako predikce. [9]

Prediktivní metody zažili velký nárůst na popularitě a použitelnosti díky velkému pokroku v počítačovém hardwaru. Rychlejší CPU, větší disky, obrovské množství RAM atd., vytvořili velmi kvalitní základnu pro programování prediktivních algoritmů. Tyto algoritmy jsou díky vývoji v počítačové sféře jednoduché designovat, vyvíjet, testovat či vylepšovat. [9]

2.9 Model

Model může být statický a dynamický, kdy statický je například model letadla, který je zmenšenina živého letadla, naopak model dynamický může být například soustava rovnic, které popisují chování tekutin. Modely jsou většinou zjednodušenou verzí popisované problematiky. Modely jsou vytvářeny pro lepší pochopení daného problému. Tvoří se na základě živého modelu, kdy je snaha pochopit důležitosti jednotlivých částí systému. [2]

Statistický model

Je typicky soustava rovnic s parametry, které jsou přizpůsobovány podle výsledků ze sledování dat. Tyto rovnice přizpůsobujeme datům, aby data co nejlépe reprezentovala. Parametry mohou být například jednoduchá lineární

kombinace parametrů, ale také parametry mohou být velmi komplexní nelineární kombinace charakteristik a parametrů. Modelování má několik částí, mezi které patří například soustava rovnic, data popisující systém, který se snažíme popsat, shoda dat, pravidla, která stanovují, jak upravit parametry pro lepší shodu dat. [2]

2.9.1 Proces modelování

Proces vytváření modelu je jak vědeckou disciplínou, tak i uměleckým dílem. Následujeme jednoduché postupy formulování procesu a při každém kroku využíváme vlastní intuici a zkušenosti. Základními kroky pro postavení statistického modelu jsou definování cílů, sběr dat, rozhodnutí o struktuře modelu, přípravě dat, výběr proměnných, vytváření modelu, finalizace modelu, implementace a monitoring. [2]

Definování cílů

Je zapotřebí stanovit čeho chceme dosáhnout, co se snažíme predikovat, v jakých situacích model využijeme. Stanovení, co rozlišuje dobrý model od špatného. Problémy mohou nastat, pokud se nejasně definuje problém. Je možné vyřešit i větší a důležitější problém. [2]

Sběr dat

Jaká data se použijí, v jaké budou formě a kvalitě. Kolik dat bude použito, v jakém období se budou pohybovat a jak relevantní jsou data jsou v závislosti na čase. Všeobecně je dobré mít co největší zásobu dat. Velké úskalí sběru dat je používání dat moc starých a chybná rozvaha o všech variantách vstupů a zdrojů, které mohou být dostupné. [2]

Rozhodnutí o struktuře modelu

Struktura modelu může být různá. Je zapotřebí se rozhodnout, zda bude použita lineární regrese či zda se využije nelineárního modelu a pokud, tak kterého. Doporučený přístup k rozhodování je použití co nejjednoduššího modelu a využití ho jako základnu pro testování, jestli složitější modely fungují lépe či nikoliv. Výběr struktury závisí na zkušenostech lidí a znalostech jednotlivých metod.

Často se stává, že je použit zbytečně složitý model, ale na druhou stranu může být model až příliš jednoduchý k řešení daného problému. [2]

Příprava dat

Důležité je upravit data do potřebné formy, aby byla kompatibilní s modelem. Vhodně normalizovat numerická čísla a připravit kategorie dat. Prozkoumat jejich rozdělení pro vhodnost a postarat se o odlehlé hodnoty. Vyhnout se nedostatečnému škálování dat či například neefektivní přípravě kategorických proměnných. [2]

Výběr proměnných

Proměnné jsou zkoumány dle významnosti pro model. Některé výběry proměnných jsou samostatné a některé jsou integrovány s nějakým modelem. [2]

Vytváření modelu

Doporučuje se začít vytvářením základních lineárních modelů a poté až začít vylepšovat tyto modely použitím komplexnějších nelineárních modelů. Je důležité mít na paměti prostředí, ve kterém se model bude pohybovat. [2]

Finalizace modelu

Výběr vhodného modelu k použití a řádně model zdokumentovat. Nejčastěji se v tomto kroku dělají chyby v nedostatečné dokumentaci a nevhodně zvoleného modelu. [2]

Implementace a monitorování

Model je implementován do systémového procesu a monitorovací kroky jsou vytvořeny pro zkoumání výkonnosti modelu v praxi. Chyba vznikající při implementaci je například opomenutí monitorace výkonnosti modelu v praxi. [2]

2.10 Návrh programu preventivní údržby

Správná data o havárii poskytují potřebné údaje pro efektivní preventivní program údržby. V zápisu o havárii by měla být data popisující problém, příčinu a nápravná činnost. Efektivním nástrojem pro zodpovědné podniky může být takzvaný „Failure Review and Corrective Actions Task Force (FRACAS)“.

Tento nástroj podnikům pomáhá v získání detailní identifikace problémů a příčin. Dále napomáhá ve vytváření krátkodobých a dlouhodobých nápravných činností. Pro zjednodušení popisu příčin se používají zkratky či číselné vyjádření, kódy je vhodné nastavit tak, aby vyhovovaly podnikové specializaci. Zkratky se používají hlavně z důvodu, že výpočetní algoritmy potřebují standardizované popisy, což zkratky umožňují a zároveň zajišťují stejnou velikost písmen. [10]

Při každé havárii je zapotřebí znát údaje např. kolik času, jakou vzdálenost či počet sepnutí stroje bylo mezi haváriemi jednotlivých součástí. Proto je potřeba zajistit dostatečně kvalitní měřicí přístroje na všech důležitých místech. Je také důležité správně přiřadit jednotlivé vztahy, například startér auta a jeho životnost je závislá na počtu startů, ale už méně na počtu ujetých kilometrů. Speciální případy opotřebení je také zapotřebí zapsat. [10]

Plánování je základem dobré inspekce a preventivní údržby. První, co je potřeba stanovit je předmět, kterému je nutné dělat údržbu a zvolit nejvhodnější postup pro daný úkol. Tvorba správných postupů zabere mnoho času a jsou k tomu potřeba také zkušenosti. Dovednost se správně vyjádřit je také velmi důležitou kvalitou pracovníka, jelikož text by měl být jasný, srozumitelný a složený pouze z jednoduchých a krátkých vět. Kdo, co, kdy, kde, kdy a jak by mělo být zřetelně uvedeno. [10]

Díky tomu, že je inspekce a preventivní údržba standardizovaná procedura s malými odchylkami je možné tento úkol přesněji plánovat i časově. Cílem je naplánovat alespoň 90 % práce, aby časové požadavky byly splnitelné a zároveň neškodily kvalitě produktu. Pravidelná kontrola a prověření pracovníků je potřeba pro stanovení správné rovnováhy mezi časem a kvalitou a je dobré mít velmi zkušené pracovníky. Standardní mechanik v podniku metodicky odškrťává pouze tehdy když je tam jeho nadřizený. Výkon mechaniků se může lišit až o 50 %. [10]

Odhad nákladů na práci je jednodušší, pokud už existuje časový odhad, jelikož poté už stačí pouze vynásobit počet hodin potřebným koeficientem. Je třeba zvažovat také potřebu více pracovníků na daný problém, ale pracovat může pouze jeden, což automaticky násobí a zdražuje práci. Odhad materiálů

a náhradních dílů se předem ve většině případů ví, a proto mohou být včas připraveny. Odhad ceny se pak dělá vynásobením jednotkové ceny materiálu s počtem kusů spotřebovaných. [10]

Finální čas a náklady potřebné by se měli sledovat a zanalyzovat pro zlepšení a zpřesnění budoucích plánů. Je důležité odhalit co ovlivnilo změnu úkolu či časovou náročnost. Měla by se také dělat porovnání mezi dvěma jednotlivci dělající ten stejný úkol pro vyhodnocení časové náročnosti, kvality práce a výkonnost stroje jako výsledek jejich práce. [10]

2.11 Lidský faktor v organizacích

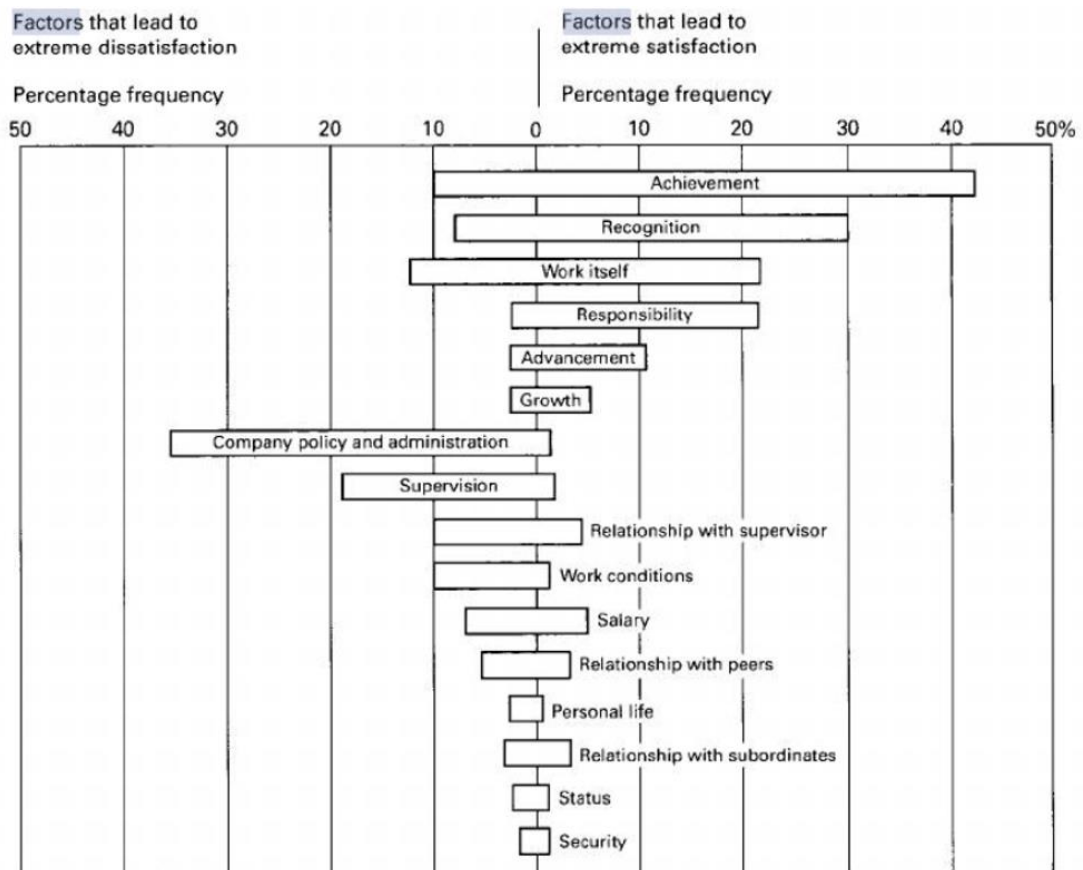
Organizace je systém vzájemně závislých lidských bytostí a jejich vlastnosti ovlivňují jak její strukturu, tak zároveň i její fungování. Řízení lidských vztahů bere v úvahu vlastnosti a mezilidské vztahy jednotlivců či skupin, když se zabývá vytvářením těchto organizací. [3]

První velký krok v přístupu k lidským vztahům byla práce autora Elton Mayo, který vyzdvihl sociální a psychologické faktory jako důležité pro spokojenost a produktivitu pracovníků. Jeho práci dále rozpracovali Maslow, Herzberg a McGregor. [3]

Maslow identifikoval a ohodnotil potřeby jednotlivce jako vyšší potřeby, které jsou například sebenaplnění, samostatnost, sebevědomí, a základní potřeby mezi které patří bezpečnost či společnost. [3]

Herzberg také rozdělil na potřeby jednotlivce základní či biologické a vyšší či růstu. Poté identifikoval a kvantifikoval faktory ovlivňující tyto potřeby. [3]

Graf 2 Faktory ovlivňující pracovní nasazení



Zdroj: *Foundations of Predictive Analytics* [3]

Faktory, které jsou vyšší potřeby se nacházejí v obsahu práce a ovlivňují spokojenost v práci. Naopak faktory základní potřeby jsou spojené s pracovním prostředím a mohou za nespokojenost s prací. Zdůraznil, že faktory, které jsou spojené s obsahem práce jsou opravdovými motivátory a motivovaný pracovník chce mít práci hotovou. [3]

McGregor ve své práci uvedl pojem teorie X, kdy pracovník musí být kontrolován a řízen z důvodu nevěle k práci, a teorii Y, kde uvádí, že je většina pracovníků samořiditelná, pokud jsou v práci spokojení a jsou odhodláni úkol dokončit. [3]

Vědci této doby se se shodli na tom, že práce začala být až moc kontrolovaná a nudná. Chtěli provést některé změny jako například náhradu detailních instrukcí na představení cílů a úkolů či náhradu manažera, který všechny kontroloval těmi, kteří byli oporou a pomocníkem při rozvoji dovedností. [3]

3 Analytická část

V analytické části této práce se zaměřím na charakteristiku podniku XYZ. Popíšu procesy v podniku, aniž bych narušil jeho anonymitu. Dále provedu analýzu současného stavu, která by měla napovědět jakým směrem se dále vydat. Analýzu současného stavu provedu pro rozhodnutí, na kterou oblast výroby je třeba se zaměřit. V detailnějším pohledu této analýzy se pak podívám na konkrétní linky a jednotlivé stroje, které na linkách působí. Výstupem analýzy by měl být stroj, který bude prohlášen za představitele pro vytváření koncepčního nástroje pro podnik. Tento výběr bude záviset jak na výsledcích z analýzy, tak na názoru expertů údržby podniku XYZ. Důvod, proč nemůže výběr proběhnout jen na základě dat je ten, že jednotlivé linky nevyrábějí úplně stejný produkt a je tedy potřeba zohlednit více faktorů. Právě s tímto stanovením budou pomáhat experti daného podniku.

Podnik si vyžádal vypracování práce z důvodu vytvoření nástroje pro lepší plánování strategie údržby, jelikož v současné situaci se podniku nedaří naplánovat náklady za údržbu, což stojí hodně sil a zdrojů udržet stroje ve funkčním stavu. Důvodů je jistě více, nicméně úkolem této práce je vytvořit koncepční nástroj, který umožní nastavit dlouhodobou strategii.

3.1 Charakteristika podniku

Podnik, pro který vypracovávám tuto diplomovou práci je z důvodu použití citlivých dat anonymizován jako podnik XYZ. Daný podnik se zabývá zpracováním základního materiálu až po finální produkt. Tento proces není složitý a produkt, který v průběhu něho vzniká je ve své podstatě velmi jednoduchým. Továrna podniku XYZ již vyrábí daný produkt přes 200 let. Samozřejmě se proces výroby i podoba produktu v průběhu doby změnila, nicméně principy zůstávají stejné. Začátkem devadesátých let 20.století byla továrna začleněna do větší skupiny továren po celém světě a díky tomu zaujala pozici mezi světovou špičkou. Česká pobočka zaměstnává přes 1000 zaměstnanců s ročním obratem v desítkách miliard Kč. Jak je s těchto čísel patrné, jde o velmi rozsáhlou výrobu, která vyžaduje údržbu. V celé organizaci probíhá snaha o rozsáhlou transformaci na moderní pojetí řízení. Transformace všech procesů je potřeba, jelikož podnik

procesně funguje na starých principech a donedávna fungoval princip „tužka a papír“, který je stále potřebný pro rychlý přehled, ale pro dlouhodobé sledování a přesné informace je nedostatečný.

3.2 Přístup podniku k údržbě

Údržba v podniku probíhá různými metodami. Zařízení, která jsou zásadní pro provoz jsou velmi bedlivě sledována a udržována. Naopak zařízení, které mají nízkou prioritu se opravují stylem „run to failure“. Jak je popsáno v teoretické části této práce, je to sice nejdražší metoda údržby, nicméně pro použití této metody jsou dva důvody. Důvodem je nedostatek prostředků a cena zařízení, která jsou metodou „run to failure“ udržována. Tým, který je momentálně v podniku, stihá pořádně sledovat pouze nejdůležitější zařízení ve výrobě a ostatní důležité stroje udržuje preventivní metodou. U kritického vybavení je prováděna částečně prediktivní údržba. Stroje jsou pravidelně kontrolovány, sleduje se výkonnost strojů a řeší se důvody poklesu výkonnosti například výměnou opotřebovaných částí.

3.3 Analýza současného stavu

Použitá data jsou anonymizována použitím koeficientu, nicméně výsledky odpovídají skutečným poměrům nákladů v podniku. Z podnikové databáze jsem získal data o nákladech na opravu a údržbu, volil jsem data za poslední tři roky, jelikož to odpovídá začátku transformace podniku, která ovlivnila zápis dat a data více než tři roky stará tak nelze porovnávat s daty přítomnými. U strojů jsem si zvolil data také za poslední tři roky a začal jsem analyzovat, které náklady bude dobré probrat v detailu.

Graf 3 Střediskové údržbové náklady



Zdroj: Vlastní analýza současného stavu, 2021

Význam zkratk:

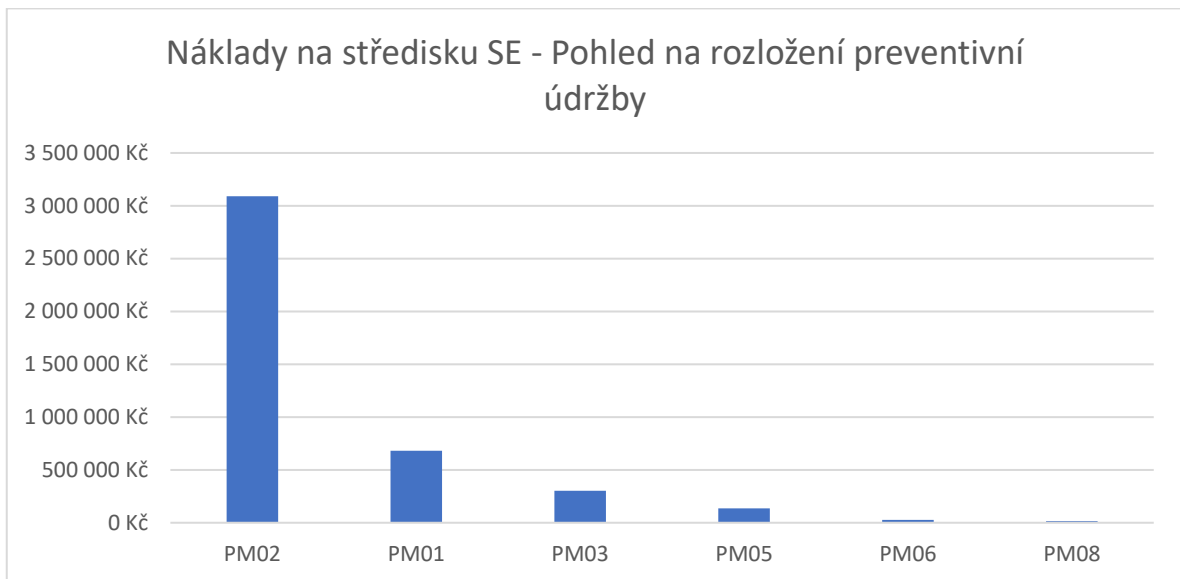
SE – Sekundární výroba

PR – Primární výroba

QT a QQ – Označení jednotlivých oblastí kvality

První rozdělení bylo na jednotlivá střediska, kdy je vidět, jak dominantní jedno středisko je, a tedy je zcela zřejmé, že je nutné se zabývat tímto pracovištěm. Tento fakt je způsobený tím, že analyzuji pouze jednu továrnu, kde je logicky největší středisko výrobní.

Graf 4 Náklady na středisku SE – Pohled na rozložení preventivní údržby



Zdroj: Vlastní analýza současného stavu, 2021

Význam zkratk:

PM01 – Je podnikové označení pro poruchy.

PM02 – Značí manuálně vloženou údržbovou aktivitu.

PM03 – Značí systémově plánovanou údržbovou aktivitu.

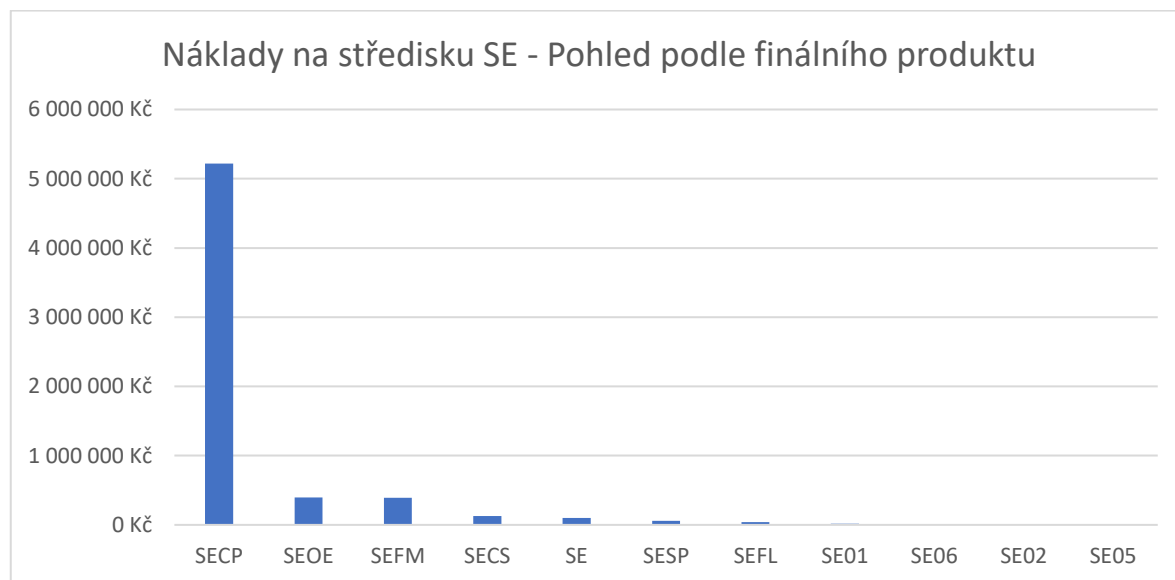
PM05 – Je podnikové označení pro údržbové spotřební materiály.

PM06 a PM08 – Jsou špatně zapsané údržbové aktivity.

Poté jsem začal rozebírat jednotlivé typy údržby. Podnikové dělení je na havárie, které jsou značené jako PM01, neplánovanou údržbu označené jako PM02, plánovanou údržbu značené jako PM03 a spotřební materiál označovaný jako PM05. Je vidět, že nejvíce nákladů připadá PM02, což jsou náklady za neplánovanou údržbu. Zde můžeme sledovat, že se podnik snaží o prediktivní údržbu, nicméně nemusí být zcela efektivní vzhledem k velkým nákladům, které s tím souvisejí. Havárie mohou být způsobené nedostatkem preventivních údržeb plánovaných, kterých je nejenom nákladově, ale i početně velmi málo. Spotřební materiál v údržbových nákladech nehraje zásadní roli. Problémem v podniku dle expertů je to, že se v neplánovaných údržbách schovávají případy, kdy se pouze řeší problémy z nedostatečné preventivní údržby z důvodu,

že se podnik zaměřuje na výkonnost strojů a nechce, aby údržba zasahovala do výroby častěji, než je nutné. Je proto vhodné tyto PM02 rozebrat detailněji. Náklady za havárie by měly být blízké nule, pokud bychom dodrželi cíle, které management stanovil údržbovému týmu.

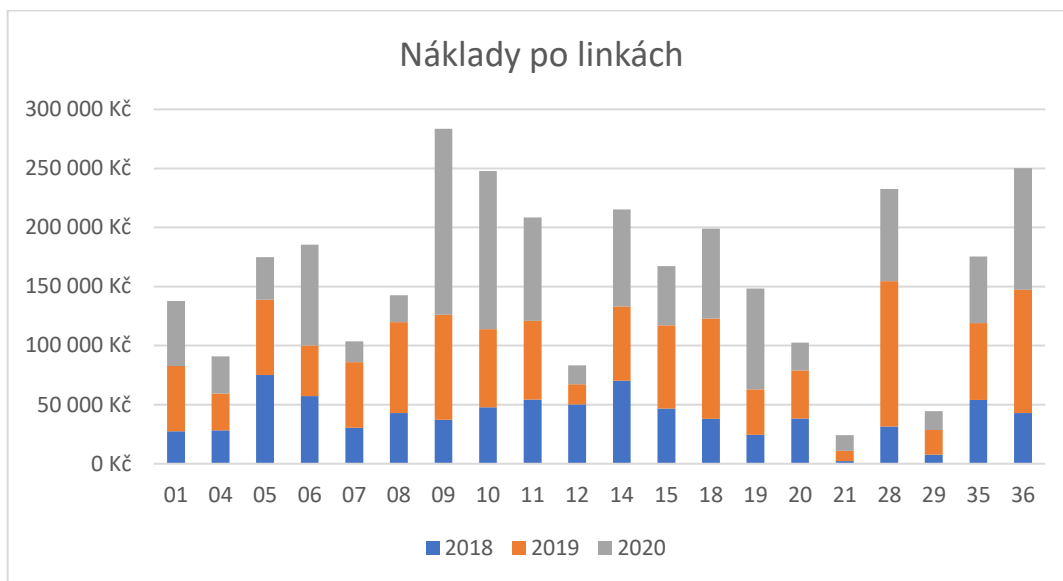
Graf 5 Náklady na středisku SE – Pohled podle finálního produktu



Zdroj: Vlastní analýza současného stavu, 2021

Dále jsem se zabýval pouze jedním střediskem, a to nejprve pohledem na rozdělení nákladů na údržbu podle finálního produktu z výroby. Zde je největší položkou hlavní produkt a vlastně jediný produkt společnosti. Ostatní výroby pouze doplňují některé polotovary, které se nenakoupí a jsou možné vyrobit v továrně. SEFM je výroba důležitého prvku finálního produktu, nicméně stroje na tento výrobek jsou údržbově nenáročné, a proto se budu zabývat pouze hlavním produktem.

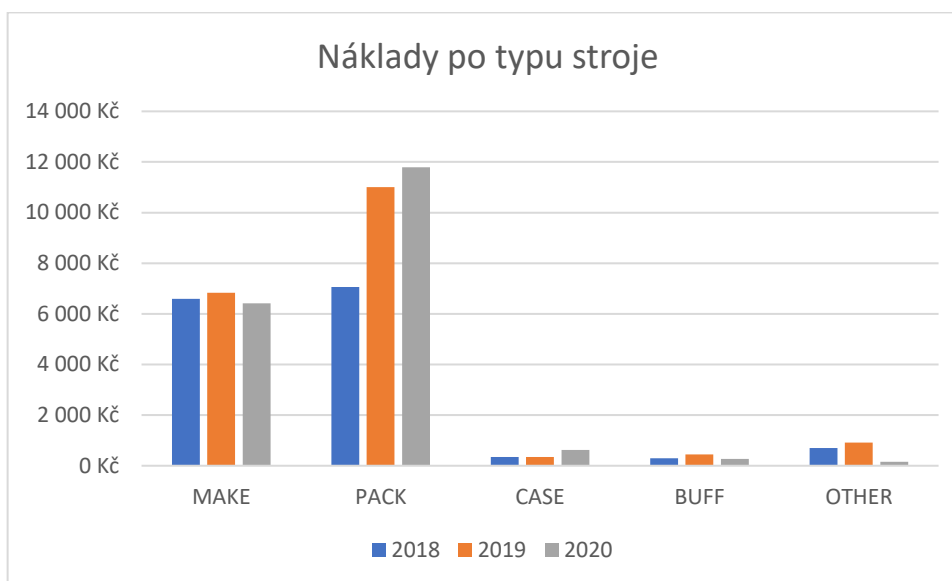
Graf 6 Náklady po linkách



Zdroj: Vlastní analýza současného stavu, 2021

Další pohled na výrobním středisku byl náklady na údržbu na jednotlivých linkách. Tento pohled již ukazuje na dvě linky, které experti podniku stanovili již při diskusích. A je patrné, že nejvíce nákladů připadá na linku číslo 9 a 10. Tyto linky mají stoprocentní vytížení, a tedy je prioritou tady náklady snížit. Linka 36 má sice také vysoké náklady, ale tyto náklady nejsou náklady na údržbu, ale spíše na modifikaci linky. Linek je v podniku okolo 20, nicméně aktivních linek je přibližně polovina a v průběhu roku se střídají podle potřebného formátu finálního produktu. Podnikový popis linek je dán historicky, proto některé čísla linek chybí.

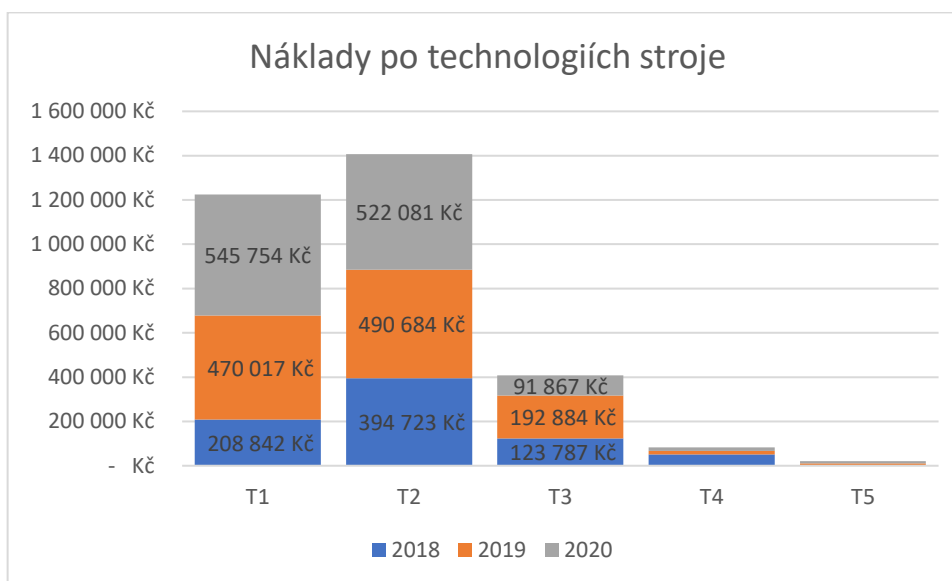
Graf 7 Náklady po typu stroje



Zdroj: Vlastní analýza současného stavu, 2021

Make, pack, case a buff jsou označení pro stroje, které jsou v lince. Jak je vidět linky v podniku jsou velmi jednoduché, kdy údržba je převážně potřeba u prvních dvou. Po diskusi s experty a s ohledem na zobrazené informace jsem zvolil dalším cílem pro rozbor stroj s názvem pack. Tento stroj je také úzkým místem ve výrobě, kdy je ze všech nejpomalejší, proto by údržba tohoto stroje měla být prioritou číslo jedna. Dalším důvodem, který ukazuje pro Pack jsou meziročně se zvyšující náklady. Náklady označené jako Other jsou náklady, které nejsou přiřaditelné konkrétnímu stroji. Zvýšené náklady odpovídají strategii podniku, a to jeho zaměření na výkonnost daného stroje, nicméně je potřeba tyto náklady optimalizovat.

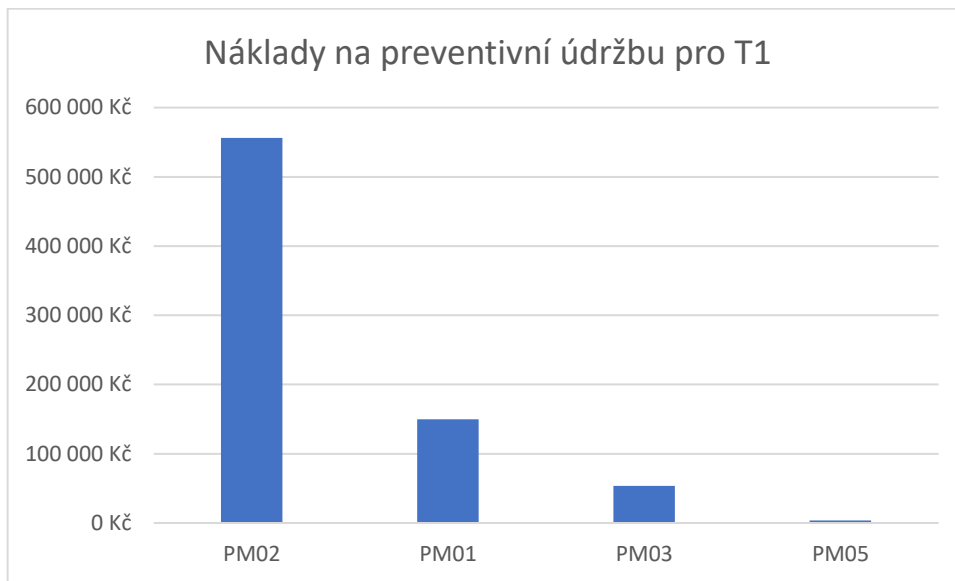
Graf 8 Náklady po technologiích stroje



Zdroj: Vlastní analýza současného stavu, 2021

Poté jsem zjišťoval, jaká technologie je nejnáročnější na údržbu. Nejvíce v celkovém čísle vyšla technologie T2, což je dáno mimo jiné tím, že je zde soustředěna skoro polovina ze všech strojů. Typu technologie T1 se týká pouze třetina strojů a náklady má celkem podobné. Ostatní jsou v malých počtech. Stroje T2 jsou již velmi staré stroje, které se v budoucnosti budou nahrazovat technologií T1. Technologie T3 je používána na jiný formát produktu. T4 a T5 jsou technologie na pokraji vyřazení. Nejdražší v přepočtu na jeden stroj je velmi výrazně T1, jelikož těchto strojů je polovina oproti T2, a přitom náklady mají podobně vysoké.

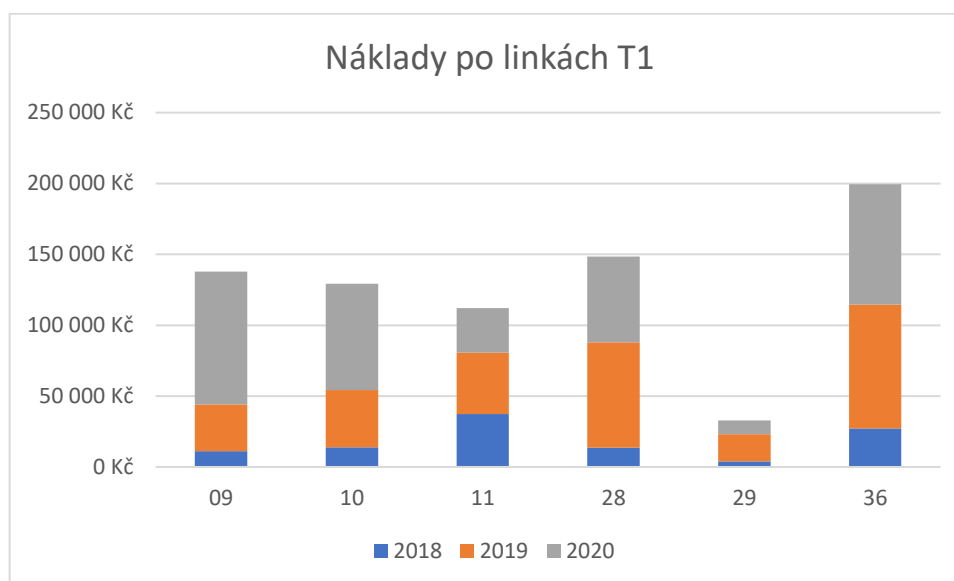
Graf 9 Náklady na preventivní údržbu pro T1



Zdroj: Vlastní analýza současného stavu, 2021

Detailněji jsem se zaměřil na technologii T1 a vrátil jsem se k rozložení jednotlivých údržeb. Je vidět, že trend zůstává podobný jako u celkového přehledu. Při pozornějším porovnání je vidět nárůst PM01 tedy havárií. Jeden z důvodů je, že stroje jsou v podniku relativně nové a mechanici ještě nemají dostatečné zkušenosti s údržbou těchto strojů. Nicméně trend plánovat ručně zde zůstává, což není dobře. Tato technologie je sice budoucností podniku, ale současné stanovení priorit na údržbu je pro kritické linky tedy spíše technologie T2, a tak by zde měla být velká část nákladů PM03. Důvodem může být, že se tým, který řeší výkonnost linek zaměřil na snížení počtu přerušení práce na lince, tím pádem se neplánovanými údržbami řeší spíše zlepšení výkonnosti než dlouhodobá efektivita, což je velké nebezpečí. Pokud se pouze odstraňují defekty a stroj se neudržuje průběžně, pak hrozí větší problém.

Graf 10 Náklady po linkách T1



Zdroj: Vlastní analýza současného stavu, 2021

Největší náklady jsou na linkách 36 a 28, což je způsobené několika faktory. Jsou to linky, které častěji mění formát výroby a tím se automaticky zvyšují náklady, aniž by byly porovnatelné, také tyto linky vyrábějí mnohem složitější produkt a je potřeba více údržby pro udržení kvality. Jediné dvě linky, které se dají porovnávat, protože mají stejný unikátní formát a obě linky mají využití na 100 %, jsou linky 9 a 10. Linka číslo 11 je momentálně předělávána, takže by nebylo jednoduché testovat data. Po delší diskusi s experty v podniku jsem došel k závěru, že se zaměřím na linku číslo 10.

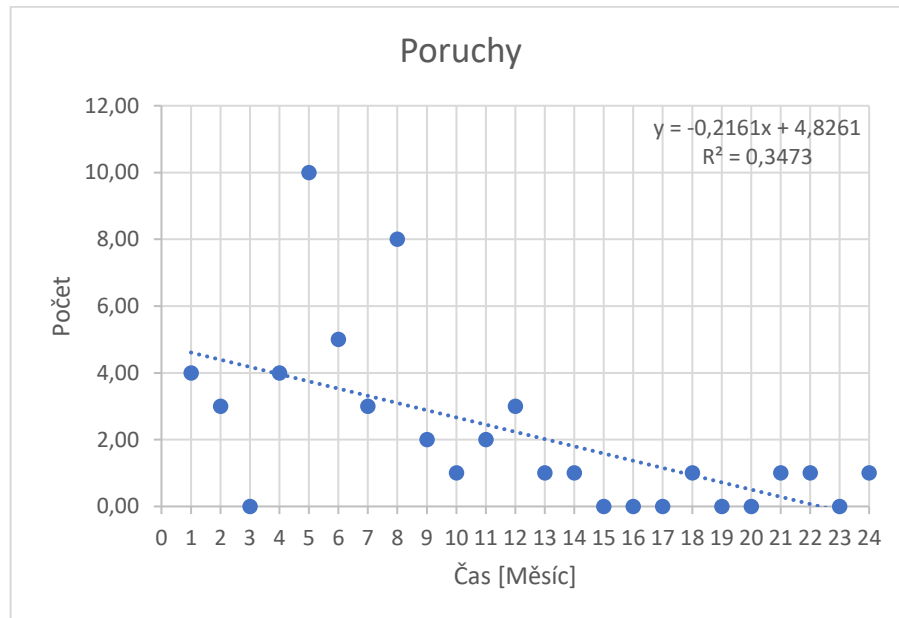
Při analyzování technologie T1 jsem narazil na porovnání této technologie ve všech továrnách v Evropě, kde bylo vidět, že česká továrna je jedna z nejhorších, po stránce nákladů na údržbu. Samozřejmě toto porovnání není úplně vypovídající, jelikož T1 je velmi flexibilní, takže je schopna vyrábět různé formáty produktu, ale pořád je zde reálná možnost snížit náklady přibližně o polovinu.

3.4 Analýza vybraného stroje

V detailní analýze jsem se zaměřil pouze na jeden stroj na lince číslo 10. Tento stroj byl vybrán po pečlivé diskusi s experty z továrny. Pro stroj jsem si zajistil z databáze jak data ohledně údržby a oprav, tak finanční vyjádření. Dále jsem si vyhledal důležité indikátory výkonu, které se v podniku sledují v rámci

výkonnosti linek a zároveň jsou ukazateli důležitými i pro samotné správce techniky. Data jsou za období dvou let. Z dat je vidět velká změna v myšlení podniku co se týče údržby, ale hlavně změna v přístupu k výkonnosti jednotlivých linek.

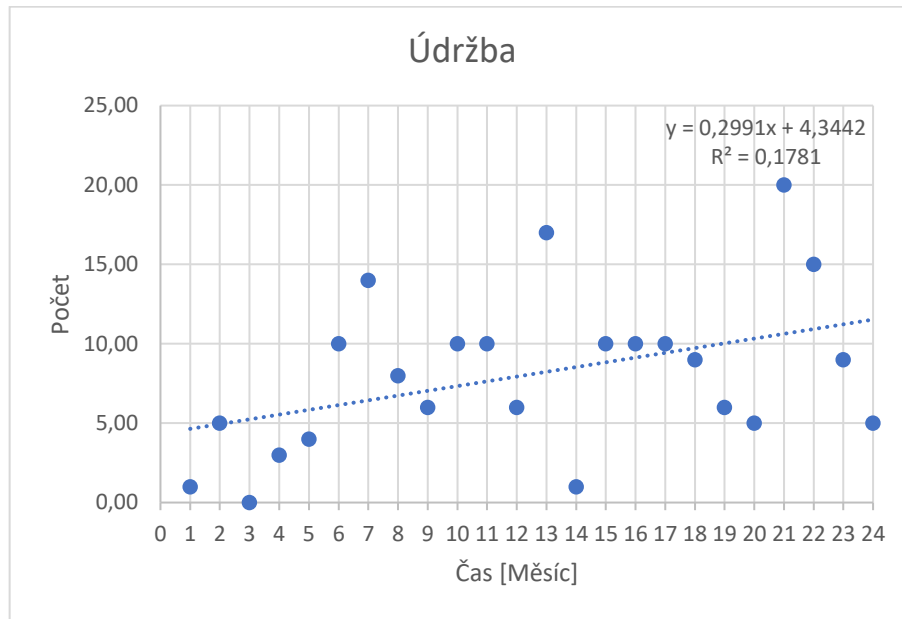
Graf 11 Poruchy



Zdroj: Vlastní analýza současného stavu, 2021

Při detailnější analýze stroje je možné vidět posun v počtu poruch. Za zkoumané období dvou let klesl velmi blízko k nule. Za celý rok 2020 bylo pouze 6 poruch, což je významně nižší než v předchozím roce, kdy jich bylo 45. To je velmi slibný meziroční posun, nicméně cílem údržbového týmu je 0, takže je potřeba se ještě zlepšit a odhalit havarijní stav ještě dříve.

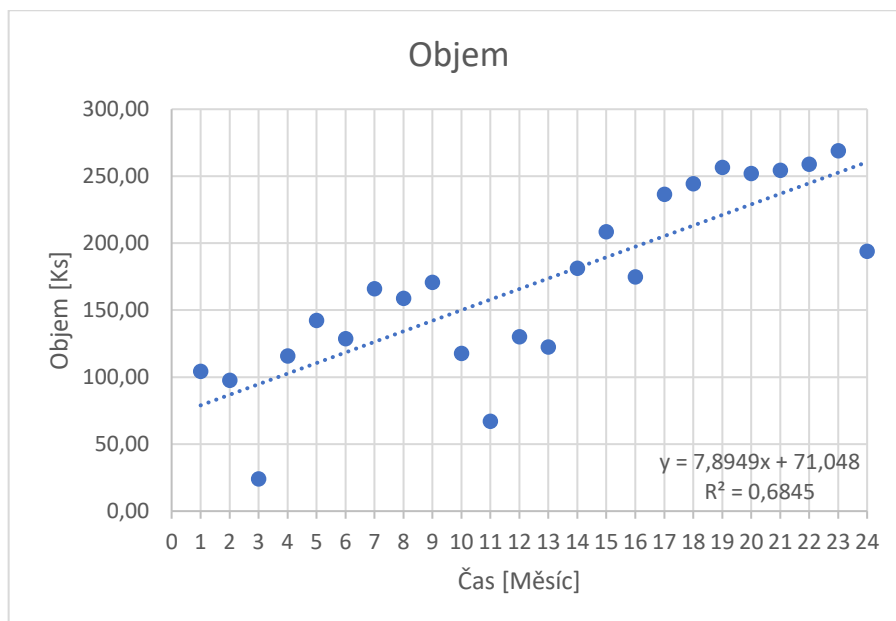
Graf 12 Údržba



Zdroj: Vlastní analýza současného stavu, 2021

Menší počet hlášených poruch znamenal nárůst počtu údržby což je jistě výhodnější, nicméně se nesmí pouze nedostatečně bránit poruchám, ale údržba musí být důsledná, jinak může do budoucna podnik očekávat velký problém. Pouhé bránění poruch není dostatečné.

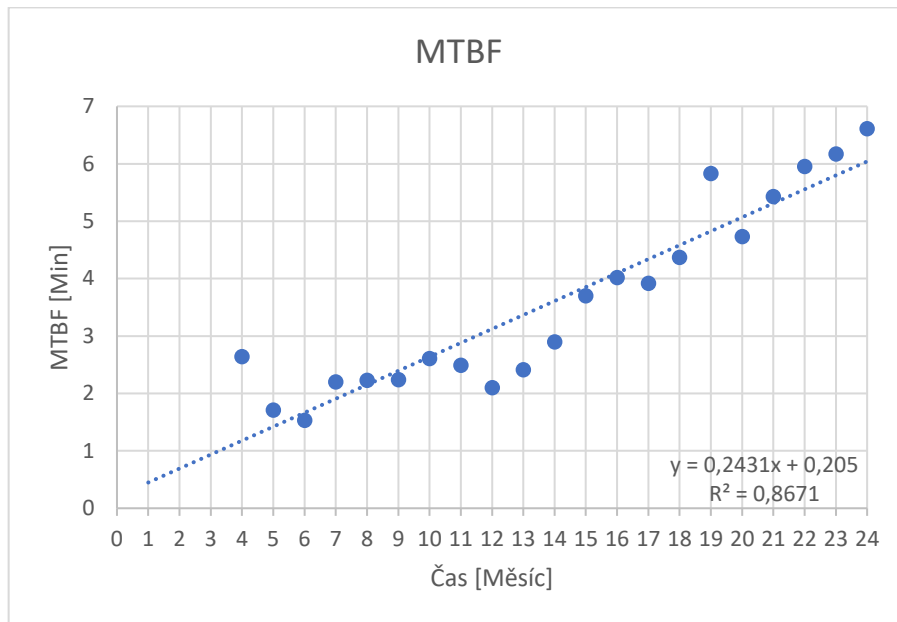
Graf 13 Objem



Zdroj: Vlastní analýza současného stavu, 2021

Menší počet poruch se promítl ve vyrobeném množství. Je zde také vidět důraz na výkonnost. Zásadní vliv měla i koronavirová pandemie. Tento vliv byl na objemu továrny pozitivní, jelikož od organizace dostali pokyn vyrábět do zásoby a zároveň získali objem přerozdělením z ostatních továren, které museli zavřít na delší dobu.

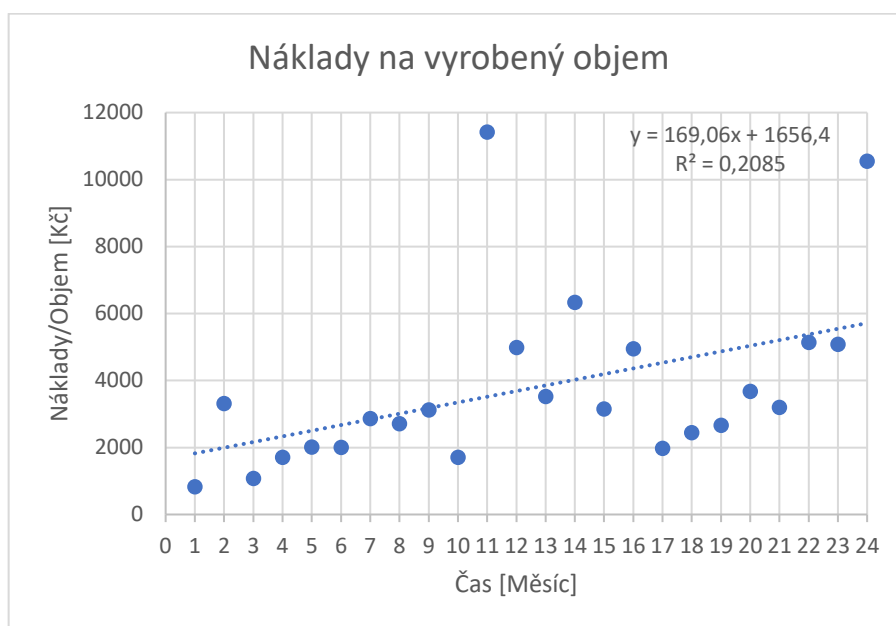
Graf 14 MTBF



Zdroj: Vlastní analýza současného stavu, 2021

Z pohledu údržby je nejdůležitější indikátor výkonosti MTBF, který znamená střední dobu mezi poruchami (Mean time between failures). V podnikové praxi se počítá každá neplánovaná stopa, tedy čím méně se do stroje zasahuje tím lepší tento indikátor je. MTBF se v podniku nesleduje příliš dlouho a u tohoto stroje se sleduje od druhého čtvrtletí 2019. Za sledované období se velmi výrazně zlepšil, cíle jsou však mnohem vyšší, proto je potřeba i v oblasti údržby optimalizovat jejich zásahy.

Graf 15 Náklady na vyrobený objem



Zdroj: Vlastní analýza současného stavu, 2021

Z grafu je patrné, že cesta, kterou se podnik vydal je dražší. Neplánovaná údržba sice vykazuje nižší počet poruch, ale aby nedocházelo k zbytečným ztrátám finančním, musí údržba probíhat dostatečně efektivně.

Při jednoduchém porovnání finálních dat z roku 2019 a 2020 jsem narazil na celkem zajímavé informace. Celkové náklady byly skoro 3x vyšší v roce 2020 než v roce předešlém. Pokud bych tuto informaci vztáhl na objem, tak ten se meziročně zvedl o 86 %, což poměrově neodpovídá nárůstu nákladů. Pokud vezmu tzv. maintenance rate, která se počítá jako poměr nákladů k vyrobenému objemu, tak zde se nárůst nákladů projevil také výrazně a to 40 % vzestupem. Takovéto zvýšení nákladů souvisí velmi pravděpodobně s nastavenou strategií údržby, protože ačkoliv se počet zásahů do stroje nezměnil, velmi výrazně se snížil počet poruch, kdy v roce 2019 bylo 45 poruch a v roce následujícím bylo poruch pouze 6. Ačkoliv je to výsledek mnohonásobně lepší neznamenal to nižší náklady, ale naopak vyšší.

Vyšší náklady jsou ale také způsobené poměrovým rozložením mezi manuálně plánovanými preventivními údržbami a systémově plánovanými údržbami. V roce 2019 to bylo 43 ručně plánovaných zásahů a 34 systémově plánovaných zásahů, oproti tomu v roce 2020 je tento poměr mnohem více ve prospěch

ručních a to 101 ku 16 systémových. Ačkoliv je snaha plánovat systémově je vidět, že je potřeba plánovat i ručně. Plánování ruční má určité výhody, jelikož je zde velká snaha zlepšit výkonnost jednotlivých linek. Manuální plánování je velkým pomocníkem pro individuální potřeby jednotlivých linek. V podniku se manuální plánování používá pro vložení údržby do pravidelných odstávek linek. Nicméně nesmí to být odstraňování pouze defektů na úkor systémově plánovaných údržeb. To sice v krátkém období je neškodné, ale dlouhodobě je to je velmi nebezpečné, vzniká riziko zanedbání údržby některé z méně viditelných součástí, což ve výsledku náklady zvýší.

Jak jsem již několikrát zmínil, je tu snaha podniku zlepšit výkonnost linek, což se meziročně podařilo, uptime stroje se zvedl ze 43.5 % na 61.3 %. To znamená, že za stejný čas vyrobí více produktu. Nicméně s vyšším produktivním časem nastupují vyšší náklady na údržbu, je zapotřebí provést kvalitní, ale zároveň rychle provedenou údržbu.

Z času mezi jednotlivými preventivními údržbami je vidět jasný trend prodlužování této doby. Plánované rozložení mezi jednotlivými preventivními údržbami je nastavené na 1250 hodin a daná strategie se neměnila za sledované období. V roce 2019 byl průměrný čas v motohodinách stroje 1080 hodin, tedy údržba se prováděla dříve, než byla plánována. Naopak v roce 2020 se dělala preventivní údržba každých 1797 motohodin, což je výrazně vyšší číslo právě ukazující na zaměření na výkonnost strojů bez ohledu na jejich budoucnost.

3.5 Lidský faktor při údržbě

Lidský faktor se objevuje jak v prostředí u stroje, tak i v zapisování dat do systému. Člověk není stroj, který by bez chyby prováděl stanovené úkony, nicméně je možné do určité míry přispět ke zlepšení. Nejprve rozebereme zapisování dat do systému. Podnik má celkem vyspělé informační systémy a sbírá data ze všech možných úkonů. Ačkoliv většina z nich je sbírána automaticky, bez možnosti přepsání, jsou v podniku činnosti, které se do systému zapisují ručně či částečně ručně. Jedna z těchto činností je údržba. Na strojích jsou čítače odpracovaných hodin, které se automaticky

zapisují do systému, ale je na zaměstnancích údržby, zda nastaví údržbu plánovanou automatem či udělají ručních zásah a provedou plánovanou údržbu dle jejich zvážení.

Problém v zapisování dat nastává ve chvíli, kdy se tato údržba provede (ať je plánovaná automatem či ručně) je potřeba v systému potvrdit a upravit data, aby formálně odpovídala. Pokud je plán údržby proveden přes automat, data se propíšou většinou správně, nicméně pokud se plán údržby nastavil ručně, je potřeba data do systému vložit manuálně. Prvním problémem je formální nesourodost dat a je tedy těžké s nimi dále pracovat. Záleží také na zapisovateli a jeho zkušenosti. Každý nemusí mít stejné instrukce či tyto instrukce nemusí stejně pochopit, poté je velmi pravděpodobné, že se data mohou lišit a bude problém se v nich vyznat. Další překážkou může být nedůslednost jedince, je potřeba zapsat a vyplnit všechny požadované údaje a nehodnotit jejich důležitost pro budoucí srovnatelnost dat. U ručně plánovaných zásahů je nutné dbát na správnost zapsaných dat. Nesprávná data nejenom, že nelze jednoduše odhalit, ale také ovlivňují podnikové analýzy, které pak nemusí být přesné.

Při analýze dat jsem objevil mnoho chyb, které se ale daly odfiltrovat. Nicméně jeden příklad celkem zásadní chyby, bylo špatné načtení odpracovaných motohodin. Tento fakt může ovlivnit následující údržby, které pak že nebyly provedeny včas či mohly naopak být provedeny předčasně. Dalším příkladem lidské chyby byl chybný zápis do jednotlivých rámečků a bylo potřeba nastavit mechanismus, který mi tyto zápisy sjednotil pro účel analýzy. Bylo vidět, že každý jednotlivý mechanik se drží nějaké příručky, které se ale alespoň v jedné věci se lišili. Bylo by proto vhodné zajistit pravidelné školení zápisu do databází či přednastavit zápisy s možností výběru, protože tato nejednotnost ovlivňuje výsledky.

4 Návrhová část

Podnik má velké zásoby dat, které mohou být velmi přínosné při správném užití. Samozřejmě s velkým množstvím dat přichází i větší počet chyb, takže je potřeba nastavit mechanismus, který tato chybná data odstraní či alespoň odfiltruje z výběru.

Návrh koncepčního nástroje pro oblast údržby je pro takto velký podnik složitý. Nejprve je potřeba zpracovat veškerá data, která se v podniku sbírají, poté je potřeba data očistit od chybných či nesprávně zadaných údajů. Při zpracování dat jsem hledal vztahy mezi jednotlivými prvky a zároveň konzultoval s experty podniku, zda tyto vztahy dávají smysl po praktické stránce.

U návrhu analytického nástroje se jedná pouze o koncept, jelikož na vývoj plně funkčního a přesného nástroje by bylo potřeba mnohem více času. Nástroj je navržený pomocí Microsoft Excel, který je používán hlavně pro jeho výpočetní kapacitu. Úkolem bylo vytvořit analytický nástroj, který bude schopný vypočítat ze zadaných parametrů, výsledné hodnoty, které je možno na konci roku předpokládat. To je dáno účelem. Nástroj má pomáhat manažerům údržby stanovit dlouhodobou strategii údržby a každoročního plánování.

Obr. 1 Náhled na celý návrh nástroje

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
1																					
2																					
3																					
4																					
5																					
6																					
7																					
8																					
9																					
10																					
11																					
12																					
13																					
14																					
15																					
16																					
17																					
18																					
19																					
20																					
21																					
22																					
23																					
24																					
25																					
26																					
27																					
28																					
29																					
30																					
31																					
32																					
33																					
34																					
35																					
36																					
37																					
38																					
39																					
40																					
41																					
42																					
43																					
44																					
45																					
46																					
47																					

Zdroj: Vlastní návrh koncepčního analytického nástroje

Náhled na celý návrh nástroje ukazuje obr. 1. Navržený byl pro jednoduché dopočítání dopadů jednotlivých cílů, které se podnik snaží plnit. Návrh jsem vytvořil tak, aby byl velmi přehledný, ale zároveň splňoval veškeré potřebné náležitosti. Dalším cílem je vytvořit uživatelsky jednoduchý a přehledný nástroj, při samotném používání, jsou viditelné pouze první dvě tabulky barevně označené. Pro účel diplomové práce jsem nechal z důvodu jasnosti postupu vše odkryté.

Obr. 2 Volba vstupních a výstupních parametrů

Zvolí se vstupní hodnoty, které již předem známe.	Název	Zadání
	Průměrné MTH [h]	1250
	Uptime [%]	72,5
	Celkové PM	120
	Celkové Náklady [Kč]	7990370
	Údržbový poměr	3300
Zde se vypočítají výsledky zvolených parametrů pakliže se zadají všechny potřebné vstupní hodnoty	Název	Výsledek
	PM03	78
	Celkové MTH [h]	4500
	Objem [ks]	2421
	PRÁZDNÉ	
	PRÁZDNÉ	

Zdroj: Vlastní návrh koncepčního analytického nástroje

Uživatel uvidí v mém návrhu dvě tabulky, které mají odlišné účely. První tabulka ve světle modrém rámečku je pro vstupní hodnoty. Ve sloupci Název je možné vybrat, které parametry se budou zadávat. Druhá tabulka vypočítá potřebnou hodnotu při řádném zadání všech parametrů. Výpočet probíhá v jiných částech excelu pro lepší názornost. V obou tabulkách se dá zvolit „PRÁZDNÉ“, pokud není daný řádek potřebný a nástroj tento řádek ve výpočtech vynechá. Pokud nějaký vstupní parametr chybí pro výpočet výsledků objeví se hlášení „Chybí VP“.

Obr. 3 Funkce dropdown list

Zvolí se vstupní hodnoty, které již předem známe.	Název	Zadání
	Průměrné MTH [h]	1250
	PM02	72,5
	PM03	120
	Objem [ks]	7990370
Údržbový poměr	3300	
Uptime [%]		
Průměrné MTH [h]		
Celkové PM	Výsledek	
PRÁZDNÉ		
	PM03	78
	Celkové MTH [h]	4500
	Objem [ks]	2421
	PRÁZDNÉ	
	PRÁZDNÉ	

Zdroj: Vlastní návrh koncepčního analytického nástroje

Výběr všech parametrů je možný díky tzv. dropdown listu. Tento postup byl zvolený také z důvodu odlišností v popisech, které by mohly ve funkcích excelu (např. VLOOKUP) působit problém a chybu.

Obr. 4 Návod pro vybírání parametrů

NÁVOD	hodnoty nutné pro výpočet:		
Celkové Náklady [Kč]	Objem	Údržbový poměr	
Celkové MTH [h]	Uptime		
PM01	Pokud není zadáno jinak, počítá se s nula poruchami.		
PM02	Průměrné MTH	Celkové PM	
PM03	Průměrné MTH	Celkové PM	
Objem [ks]	Celkové náklady	Údržbový poměr	
Údržbový poměr	Celkové náklady	Objem	
Uptime [%]	Celkové MTH		
Průměrné MTH [h]	PM03	Celkové PM	
Celkové PM	PM02	PM03	PM01 je nastaveno na 0, pokud jinak tak je potřeba zadat i PM01

Zdroj: Vlastní návrh koncepčního analytického nástroje

Pro tento případ jsem vytvořil návod, které parametry jsou potřeba zadat pro výpočet potřebných výsledků. Nástroj je navržen tak, že lze velmi jednoduchým způsobem přidat řádek jak ve vstupních parametrech,

tak ve výsledcích. Ze zkušenosti vím, že je přehlednější vidět změny ve všech parametrech pro porovnání.

Obr. 5 Shrnující tabulka všech vstupních a vypočtených hodnot

Název	Volba	Vstup	Výpočet	Výsledek
Celkové Náklady [Kč]	VSTUP	7990370		7990370
Celkové MTH [h]	VÝSTUP		4 500	4500
PM01	PRÁZDNÉ			0
PM02	PRÁZDNÉ		42	42
PM03	VÝSTUP		78	78
Objem [ks]	VÝSTUP		2421	2421
Údržbový poměr	VSTUP	3300		3300
Uptime [%]	VSTUP	72,5		73
Průměrné MTH [h]	VSTUP	1250	1 250	1250
Celkové PM	VSTUP	120	120	120

Zdroj: Vlastní návrh koncepčního analytického nástroje

Zde je hlavní část mého návrhu nástroje. Sloupec volba je přidán pro přehlednost tabulky. Tabulka je poté naformátována tak, aby barevně odlišovala volby „VSTUP“, „VÝSTUP“ A „PRÁZDNÉ“. Podle toho se také dále používá vzorec pro výpočet pouze tam kde je potřeba. Ve sloupci výsledek je souhrn veškerých dat.

Obr. 6 Výpočetní část

Uptime [%]		Celkové MTH [h]			
Hledaná hodnota	72,5	Hledaná hodnota			
Nejbližší rozsah	75	Nejbližší rozsah			
Uptime [%]	40	50	60	67,5	75
Celkové MTH [h]	6500	6000	5500	5000	4500
MTH/uptime [h/%]	160	120	90	75	60

Zdroj: Vlastní návrh koncepčního analytického nástroje

Zde je vidět jeden ze způsobů výpočtu. Vychází, že poměr mezi motohodinami stroje a jeho uptimeem je exponenciálního charakteru. Pro stanovení hodnoty se vezme hledaná hodnota a z této tabulky se najde nejbližší hodnota.

Obr. 7 Výpočetní část 2

Celkové PM		Průměrné MTH [h]					
Hledaná hodnota	1250	Hledaná hodnota					
Nejbližší rozsah	1250	Nejbližší rozsah					
Průměrné MTH [h]	900	1050	1250	1400	1550	1700	1850
Celkové PM	120	120	120	120	120	120	120
PM01	0	0	0	0	0	0	0
PM02	6	24	42	60	78	96	114
PM03	114	96	78	60	42	24	6
	900	1050	1250	1400	1550	1700	1850
	0,05	0,2	0,35	0,5	0,65	0,8	0,95
	0,95	0,8	0,65	0,5	0,35	0,2	0,05

Zdroj: Vlastní návrh koncepčního analytického nástroje

Dalšími vztahy jsou dopočítané preventivní údržby a jejich rozdělení. Z dat vyplývá, že je souvislost mezi počtem neplánovaných hodin preventivní údržby a průměrné MTH mezi zastávkami.

Příklad

Obr. 8 Návod pro vybírání parametrů – příklad

NÁVOD	hodnoty nutné pro výpočet:		
Celkové Náklady [Kč]	Objem	Údržbový poměr	
Celkové MTH [h]	Uptime		
PM01	Pokud není zadáno jinak, počítá se s nula poruchami.		
PM02	Průměrné MTH	Celkové PM	
PM03	Průměrné MTH	Celkové PM	
Objem [ks]	Celkové náklady	Údržbový poměr	
Údržbový poměr	Celkové náklady	Objem	
Uptime [%]	Celkové MTH		
Průměrné MTH [h]	PM03	Celkové PM	
Celkové PM	PM02	PM03	PM01 je nastaveno na 0, pokud jinak tak je potřeba zadat i PM01

Zdroj: Vlastní návrh koncepčního analytického nástroje

Uživatel potřebuje stanovit jaký počet plánovaných a neplánovaných preventivních údržeb je potřeba pro dosáhnout průměrně 1250 hodin mezi

jednotlivými údržbami. Pro zjištění potřebných vstupních parametrů může využít návod.

Obr. 9 Volba vstupních parametrů – Příklad

Zvolí se vstupní hodnoty, které již předem známe.	Název	Zadání
	Průměrné MTH [h]	1250
	Celkové PM	140
	PRÁZDNÉ	
	PRÁZDNÉ	

Zdroj: Vlastní návrh koncepčního analytického nástroje

Vybere ze seznamu potřebné parametry dle návodu a vyplní jejich hodnoty.

Obr. 10 Výpočetní část 2 - Příklad

Celkové PM		Průměrné MTH [h]						
Hledaná hodnota	1250	Hledaná hodnota						
Nejbližší rozsah	1250	Nejbližší rozsah						
Průměrné MTH [h]		900	1050	1250	1400	1550	1700	1850
Celkové PM		140	140	140	140	140	140	140
PM01		0	0	0	0	0	0	0
PM02		7	28	49	70	91	112	133
PM03		133	112	91	70	49	28	7

Zdroj: Vlastní návrh koncepčního analytického nástroje

V tomto případě probíhá výpočet zde. Hledaná hodnota je 1250 a její nejbližší hodnota odpovídající hodnotám v tabulce je také 1250. Pod hodnotou 1250 je možné vidět rozdělení jednotlivých preventivních údržeb. Procentuální vyjádření vychází z dat, které jsem v práci zpracoval.

Obr. 11 Shrnující tabulka všech vstupních a vypočtených hodnot – Příklad

Název	Volba	Vstup	Výpočet	Výsledek
Celkové Náklady [Kč]	PRÁZDNÉ			
Celkové MTH [h]	PRÁZDNÉ			
PM01	PRÁZDNÉ			
PM02	VÝSTUP		49	49
PM03	VÝSTUP		91	91
Objem [ks]	PRÁZDNÉ			
Údržbový poměr	PRÁZDNÉ			
Uptime [%]	PRÁZDNÉ			
Průměrné MTH [h]	VSTUP	1250	1 250	1250
Celkové PM	VSTUP	140	140	140

Zdroj: Vlastní návrh koncepčního analytického nástroje

Zde je celkový přehled jednotlivých vstupů a výstupu. V této tabulce také probíhají výpočty, tedy v našem příkladě zde probíhá přes funkci vyhledávání odpovídajícím hodnotám.

Obr. 12 Shrnutí výstupních parametrů – Příklad

Zde se vypočítají výsledky zvolených parametrů pakliže se zadají všechny potřebné vstupní hodnoty	Název	Výsledek
	PM03	91
	PM02	49
	PRÁZDNÉ	
	PRÁZDNÉ	
	PRÁZDNÉ	

Zdroj: Vlastní návrh koncepčního analytického nástroje

Finální výstupy se zobrazí také v tabulce výstupních parametrů pro rychlou orientaci lidí dostatečně neseznámených s nástrojem.

5 Závěr

V této části práce bude zhodnocen obsah všech předešlých kapitol. Diplomová práce byla zaměřena na návrh koncepčního analytického nástroje pro optimalizaci nákladů na opravu a údržbu strojních zařízení. Práce byla vytvořena pro podnik XYZ. Důvodem pro anonymizaci byla ochrana citlivých údajů. Hlavním cílem diplomové práce bylo vytvoření koncepčního návrhu analytického nástroje, který bude sloužit manažerům údržby při krátkodobém i dlouhodobém plánování.

Analytické nástroje jsou pro podniky důležitým pomocníkem. V současnosti je vysoká a kvalitní konkurence po celém světě, proto je potřeba dělat rozhodnutí na základě jasných dat, aby nedocházelo k velkým odchylkám od plánu. Analytické nástroje pomáhají podnikům se zpracováním dat do potřebného výsledku, ale tato data je nutno správně očistit. Pokud je podnik schopný zajistit správná data, poté už není tak obtížné samotný nástroj vytvořit na základě dle potřeb podniku.

5.1 Celkové zhodnocení

V úvodní části jsem vysvětlil důvod pro zvolení oblasti, kterou v této diplomové práci zpracovávám. Také jsem nastínil podnik, pro něhož je práce vytvořena. Dále jsem představil cíle diplomové práce a přiblížil jsem způsob jakým diplomovou práci budu zpracovávat.

Další částí mé diplomové práce byla teoretická část. V této kapitole jsem přiblížil problematiku údržby. Byl zde popsán značný vliv údržby na podnikový rozpočet. Dále zde byly popsány základní pojmy jako dostupnost, udržovatelnost či optimální provozní a jiné podmínky, nejčastější metody přístupu k údržbě strojů jako jsou metody „run to failure“, preventivní údržba a prediktivní údržba. Dále jsem se v teoretické části zabýval získáváním a zpracováním dat. Následované a vymezením základních pojmů jako je analytika, model a statistický model. Po vymezení pojmů jsem popsal proces přípravy a samotného tvůrčího procesu při vytváření modelu či konkrétněji návrhu programu preventivní údržby. Posledním bodem, který jsem v teoretické části zmínil je lidský faktor.

Analytická část je složena z několika, které se zabývají nejprve podnikem samotným, popisem výroby a procesů podniku, základní informace o podniku a jeho historii.

Další část se zabývala analýzou současného stavu. Pro analýzu současného stavu byl nutný sběr dat, což nebylo složité vzhledem k množství dat, které podnik pravidelně zaznamenává. Tento soubor dat bylo následně potřeba očistit od chybně zapsaných či jinak nevhodných dat. Poté proběhla samotná analýza pomocí sloupcových či jiných grafů, kdy hlavní účel analýzy byl výběr vhodného kandidáta pro další detailnější analýzu. K dané analýze jsem měl k dispozici i experty podniku, kteří mi některé výsledky okomentovali pro jejich lepší pochopení.

Třetí částí je detailní analýza vybraného představitele. Opět bylo nutno sesbírat data, nyní již přímo vztažená k jedinému stroji, a tedy byla analýza jednodušší. Nejprve proběhlo jednoduché porovnání dat meziročně či měsíčně, poté byl zkoumán trend jednotlivých indikátorů a byly stanoveny pomocné indikátory pro lepší pochopení výsledků.

Poslední kapitolou analytické části byl popis lidského faktoru vstupujícího do sběru a zpracování dat v podniku, jelikož každý, kdo obsluhuje jakýmkoliv způsobem stroj, je schopný ovlivnit data, což není žádoucí.

Návrhová část byla zaměřena na samotný návrh analytického nástroje pro podnik. Navržený nástroj je vytvořený pomocí aplikace Microsoft Excel. Jedná se o koncepční návrh analytického nástroje pro optimalizaci nákladů na opravu a údržbu strojních zařízení. Protože není možné vytvořit v tak krátkém časovém horizontu kvalitní a funkční analytický nástroj, je nástroj navržen tak, aby byl možný v budoucnu upravovat. Nástroj je použitelný nejenom pro konkrétní stroj, ale je možné ho využít pro plánování údržby či strategie údržby jakéhokoliv stroje v podniku. Cíl této diplomové práce byl splněn.

6 Seznam použitých zdrojů

- 1) MOBLEY, R Keith. *An Introduction to Predictive Maintenance*. 2. USA: Elsevier Science & Technology, 2002. ISBN 9780750675314.
- 2) WU, James a Stephen COGGESHALL. *Foundations of Predictive Analytics*. 1. USA: CRC Press, 2012. ISBN 9781439869468.
- 3) KELLY, Anthony. *Managing Maintenance Resources*. 1. London: Elsevier Science & Technology, 2006. ISBN 9780750669931.
- 4) YAN, Jihong. *Machinery Prognostics and Prognosis Oriented Maintenance Management*. 1. New Jersey: John Wiley & Sons, Incorporated, 2015. ISBN 9781118638729.
- 5) TOMLINGSON, Paul D. *Equipment Management: Key to Equipment Reliability and Productivity in Mining*. 2. New Jersey: Society for Mining, Metallurgy & Exploration, Incorporated, 2009. ISBN 9780873353151.
- 6) KISTER, Timothy C. a Bruce HAWKINS. *Maintenance Planning and Scheduling: Streamline Your Organization for a Lean Environment*. 1. USA: Elsevier Science & Technology, 2006. ISBN 9780750678322.
- 7) MÁRQUEZ, Adolfo Crespo, Vicente González-Prida DÍAZ a JuanFrancisco Gmez FERNNDEZ. *Advanced Maintenance Modelling for Asset Management: Techniques and Methods for Complex Industrial Systems*. 1. New York: Springer International Publishing, 2017. ISBN 9783319580449.
- 8) LAD, Bhupesh K., Divya SHRIVASTAVA a Makarand S. KULKARNI. *Machine Tool Reliability*. 1. New Jersey: John Wiley & Sons, Incorporated, 2016. ISBN 9781119038962.
- 9) SHEIKH, Nauman. *Mplementing Analytics: A Blueprint for Design, Development, and Adoption*. 1. London: Elsevier Science & Technology, 2013. ISBN 9780124016965.
- 10) MOBLEY, R.Keith. *Maintenance Fundamentals*. 2. USA: Elsevier Science & Technology, 2004. ISBN 9780080478982.

11)HAJDUK, Mikulás a Lucia KOUKOLOVÁ. *Industrial and Service Robotics: Selected, Peer Reviewed Papers from the 13th International Conference on Industrial, Service and Humanoid Robotics (ROBTEP 2014), May 15-17, 2014, High Tatras, Slovakia*. 1. Switzerland: Trans Tech Publications, Limited, 2014. ISBN 9783038352020.

7 Seznam použitých grafů a obrázků

Seznam grafů:

Graf 1 Náklady na jednotku oproti obtížnosti údržby	17
Graf 2 Faktory ovlivňující pracovní nasazení	25
Graf 3 Střediskové údržbové náklady	28
Graf 4 Náklady na středisku SE – Pohled na rozložení preventivní údržby	29
Graf 5 Náklady na středisku SE – Pohled podle finálního produktu	30
Graf 6 Náklady po linkách	31
Graf 7 Náklady po typu stroje	32
Graf 8 Náklady po technologiích stroje	33
Graf 9 Náklady na preventivní údržbu pro T1	34
Graf 10 Náklady po linkách T1	35
Graf 11 Poruchy	36
Graf 12 Údržba	37
Graf 13 Objem	37
Graf 14 MTBF	38
Graf 15 Náklady na vyrobený objem	39

Seznam obrázků:

Obr. 1 Náhled na celý návrh nástroje	43
Obr. 2 Volba vstupních a výstupních parametrů	44
Obr. 3 Funkce dropdown list	45
Obr. 4 Návod pro vybírání parametrů	45
Obr. 5 Shrnující tabulka všech vstupních a vypočtených hodnot	46
Obr. 6 Výpočetní část	46
Obr. 7 Výpočetní část 2	47
Obr. 8 Návod pro vybírání parametrů – příklad	47

Obr. 9 Volba vstupních parametrů – Příklad	48
Obr. 10 Výpočetní část 2 – Příklad	48
Obr. 11 Shrnující tabulka všech vstupních a vypočtených hodnot – Příklad	48
Obr. 12 Shrnutí výstupních parametrů – Příklad	49