



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

# OPTIMALIZACE PROCESŮ A MANAGEMENTU ÚDRŽBY LINKY VE VÝROBĚ LOŽISEK

MAINTENANCE PROCESSES AND MANAGEMENT OPTIMALIZATION OF A PRODUCTION LINE IN  
BEARING PRODUCTION

## DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Martin Podešva

## VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jan Strejček, Ph.D., MBA

BRNO 2019

# Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie  
Student: **Bc. Martin Podešva**  
Studijní program: Strojní inženýrství  
Studijní obor: Strojírenská technologie a průmyslový management  
Vedoucí práce: **Ing. Jan Strejček, Ph.D., MBA**  
Akademický rok: 2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

## Optimalizace procesů a managementu údržby linky ve výrobě ložisek

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Úkolem studenta je zhodnotit současný způsob údržby linky ve výrobě valivých ložisek a vypracovat návrh pro optimalizaci managementu údržby.

### Cíle diplomové práce:

1. Zhodnocení současného způsobu údržby.
2. Analýza kritických míst linky, nejčastějších poruch, rizik a jejich důsledků pro výrobu a údržbu.
3. Navržení možných nápravných opatření.
4. Navržení způsobu managementu údržby linky.
5. Zhodnocení technicko-ekonomických přínosů navrhovaných opatření.

### Seznam doporučené literatury:

KUBÍK, Roman a Jan STREJČEK. Technologické projekty a manipulace s materiálem. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2015. ISBN 978-80-214-5260-2.

HLAVENKA, Bohumil. Projektování výrobních systémů: technologické projekty I. Vyd. 3. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005. ISBN 80-214-2871-6.

Projektovanie výrobných systémov pre 21. storočie. Žilina: Žilinská univerzita, 2000. ISBN 80-7100-553-3.



Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19.

V Brně, dne 19. 10. 2018



prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

---

## ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá údržbou výrobní linky složené ze dvou brousicích strojů ve výrobě ložisek. V první části práce je provedeno obecné shrnutí oboru řízení průmyslové údržby. V druhé části je pak proveden rozbor údržby samotné výrobní linky. Zde je navrhnut způsob kalkulace umožňující vyčíslení nákladů odstávky vzniklé poruchou stroje a tím posouzení efektivnosti investice do diagnostického systému stroje. Na závěr jsou navržena možná opatření pro optimalizaci údržby linky.

### Klíčová slova

průmyslová údržba, řízení údržby, údržba obráběcích strojů, náklady odstávky, ekonomika prediktivní údržby

## ABSTRACT

This master thesis scrutinizes maintenance of production line made of two grinding machines used in bearing production. In the first section of the work, general principles of industrial maintenance are summarized. In the following practical section, maintenance of the production line is analysed. A calculation for determining production line downtime costs caused by machine failure is designed enabling an analysis of the effectiveness of investment into the diagnostic system of the machine. Lastly, possible measures for optimization of the production line's maintenance are proposed.

### Key words

industrial maintenance, maintenance management, maintenance of machining machines, downtime costs, economics of predictive maintenance

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

PODEŠVA, Martin. *Optimalizace procesů a managementu údržby linky ve výrobě ložisek* [online]. Brno, 2019 [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/116620>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Jan Strejček.

---

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Optimalizace procesů a managementu údržby linky ve výrobě ložisek** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

---

Datum

Bc. Martin Podešva

---

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji mojí rodině, přítelkyni a přátelům za vytrvalou podporu a pomoc během mého studia.

Dále děkuji pánům ze společnosti Alfa, kteří mi věnovali svůj cenný čas.

V neposlední řadě děkuji Ing. Strejčkovi, Ph.D, MBA za věcné připomínky k této práci.

---

# OBSAH

ÚVOD.....	7
1 PRŮMYSLOVÁ ÚDRŽBA.....	8
1.1. Metody managementu údržby .....	9
1.2. Reaktivní údržba .....	9
1.3. Proaktivní údržba .....	10
1.4. Preventivní údržba .....	11
1.5. Prediktivní údržba .....	12
2 ŘÍZENÍ ÚDRŽBY.....	16
2.1. Plánování údržby .....	17
2.2. Organizování údržby .....	20
2.3. Outsourcing údržby .....	22
3 EKONOMIKA ÚDRŽBY .....	24
3.1. Rozpočet údržby .....	24
3.2. Investice do prediktivní údržby.....	25
4 ROZBOR MANAGEMENTU ÚDRŽBY VE VYBRANÉ SPOLEČNOSTI.....	29
4.1. Popis společnosti .....	29
4.2. Organizace údržby .....	30
4.3. Plánování a řízení údržby .....	32
5 ÚDRŽBA OBRÁBĚCÍCH STROJŮ .....	33
5.1. Plánování údržby obráběcích strojů.....	33
5.2. Údržba linky O.ERRE.PI.....	36
5.3. Technická diagnostika strojů .....	43
6 OPTIMALIZACE ÚDRŽBY VE VYBRANÉ SPOLEČNOSTI.....	49
6.1. Ekonomické zhodnocení pořízení diagnostického systému.....	49
6.2. Optimalizace diagnostického systému .....	59
6.3. Změna konstrukce fortuny .....	60
6.4. Výroba vlastního ozubení převodu fortuny.....	61
ZÁVĚR.....	62
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....	64
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	67

---

## ÚVOD

Téměř každá výrobní společnost se snaží maximalizovat svůj ekonomický zisk. Značné množství strojírenských firem, zejména těch českých, však nemají možnost ovlivnit cenovou hladinu nabízeného produktu. Výnosy z prodeje zboží jsou tak limitovány a aby mohl být maximalizován provozní zisk, na management firem je vyvíjen tlak snižovat náklady na produkci. Tento tlak se stupňuje o to více, produkuje-li firma výrobky s nízkou přidanou hodnotou.

Výrobní náklady jsou tvořeny cenami výrobních faktorů. Hlavními výrobními faktory jsou z mikroekonomického hlediska práce, kapitál a půda. Práce je cílevědomá lidská činnost zajišťující výrobu přeměňováním vstupů ve výstupy. Kapitál je tvořen výrobními prostředky jako takovými a financemi. V kontextu strojírenských výrobních firem výrobní faktor práce zahrnuje veškerou lidskou práci zaměstnanců firmy. Kapitál představuje výrobní zařízení, jako jsou například obráběcí stroje a veškerá zařízení zabezpečující výrobu, výrobní haly, ale také technologické know-how a veškeré finanční zdroje.

Cena těchto zdrojů je většinou pevně daná situací na trhu. I přes to, že cena práce v české republice patří k těm nejnižším v EU, má velké množství firem problémy dosahovat přijatelných zisků. V současnosti vlivem nízké nezaměstnanosti, která dosahuje řádu pouhých procent, navíc cena práce roste. [1] Firmy vytvářející nízkou přidanou hodnotu, často subdodavatelé do automobilového průmyslu, se tak mohou dostávat do pozice, kde je těžké si udržet konkurenceschopnost na zahraničních trzích.

Snižování výrobních nákladů je tak nutno realizovat optimálním nakládáním s těmito zdroji a zejména pak se zvyšováním produktivity práce. Ta vyjadřuje objem vyprodukovaných hodnot připadající na jednotku spotřebované práce za určité období. Nominální hodnota produktivity, vyjadřující přidanou hodnotu v eurech na pracovníka, ekonomiky České republiky je pouhých 42 % produktivity Německa. Samotná výroba aut a příslušenství, tedy produkce velké části českého strojírenství jakožto subdodavatelské entity do automobilového průmyslu, dosahuje jen 38 % německé produktivity. [2]

Obecně je produktivita zvyšována automatizací a digitalizací výrobních procesů. Automatizace práce jako taková má však svá technická a technologická omezení. U mnohých výrobních systémů také implementace technologií pro vyšší stupeň automatizace nedává ekonomický smysl. Způsob, jak maximalizovat produktivitu výrobního systému při konstantním objemu výrobních faktorů je optimalizace výrobních procesů a zejména zajištění maximální dostupnosti výrobních zařízení eliminací časů, kdy stroj z technických důvodů nemůže pracovat. Toho je dosahováno systematickou prací údržby.

V první části této práce jsou popsány základní pojmy z oboru průmyslové údržby. V druhé části je pak proveden rozbor údržby vybraného podniku společně s možnými optimalizacemi.



---

# 1 PRŮMYSLOVÁ ÚDRŽBA

V průběhu životního cyklu téměř každého zařízení je potřeba jej udržet v optimálním stavu, aby mohlo vykonávat svou požadovanou funkci. Tento optimální stav je zajištěn vhodným používáním a správnou údržbou. Ta představuje kombinaci veškerých technických, administrativních a manažerských aktivit zaměřených na udržení optimálního stavu nebo jeho navrácení do takového stavu. [3]

Především v oblasti strojírenské výroby je obor průmyslové údržby komplexní disciplínou vyžadující koncepční přístup s ohledem na minimalizaci nákladů a maximalizaci dostupnosti, způsobilosti a produktivity výrobních zařízení.

Průmyslová údržba je multidisciplinární obor, neboť vyžaduje nejen technické znalosti o funkcionalitě jednotlivých zařízení v celém výrobním systému, ale také schopnost plánovat a řídit různé činnosti s ohledem na strategii společnosti. [4]

Velmi často je však údržba chybně vnímána, obzvláště středním managementem, jako nezbytné zlo a pouhou nákladovou položkou. Hlavní funkcí údržby je nesprávně považováno pouhé opravování porouchaných zařízení. Údržba je mnohdy dokonce viněna za vznik těchto poruch a je hodnocena pouze podle schopnosti rychle tyto poruchy opravit. Přitom výrobní oddělení má stejnou odpovědnost za spolehlivost výrobního systému. To vede k tomu, že značná část pracovníků údržby vnímá svou práci negativně a jen zlomek z nich má pocit, že je jejich práce dostatečně doceněna. Těmito okolnostmi je tak zbytečně ztracen potenciál, který údržba pro podnik může přinést. [4, 5]

Hlavním cílem údržby tedy není pouhé opravování vzniklých poruch, ale především zajistit [3, 4]:

- optimální dostupnost výrobních zařízení,
- optimální životnost stroje,
- snížení negativních důsledků poruch,
- minimální množství náhradních dílů na skladě a
- maximální využití zdrojů údržby.

Údržba je na základě jejich výše uvedených cílů jedním z dominantních procesů, které ovlivňují produktivitu. Pokud je systém údržby správně nastaven a plní veškeré cíle, může údržba dokonce vytvářet přidanou hodnotu a konkurenční výhodu pro celou společnost.

Rozvoj technologií v předešlých letech umožňuje stále snadnější sběr a zpracování velkého množství dat z výroby, které by měly zefektivnit řízení a regulaci veškerých procesů výroby včetně údržby samotné. Jak se však v mnohých případech ukázalo, najít reálnou hodnotu v těchto monitorovacích systémech není vždy tak přímočaré, jak by se mohlo zdát. [4, 6] (6) (4)

Odhaduje se, že okolo 3 % tržeb průmyslových podniků je ročně utraceno za náklady údržby. Podle velikosti společnosti tak mohou být roční náklady na údržbu až v řádu desítek milionů korun. Z toho plyne, že i procentuální zlepšení procesů údržby může vést ke statisícovým až milionovým úsporám. Průzkumy ukazují, že například správně fungující program proaktivní údržby mohou přinést úspory ve výši 8–12 %. [3, 7]

Pro efektivní plánování a řízení údržby je tedy potřeba nejprve důkladně pochopit její základní principy a metody, aby mohly být tyto nástroje plně využity. Daná

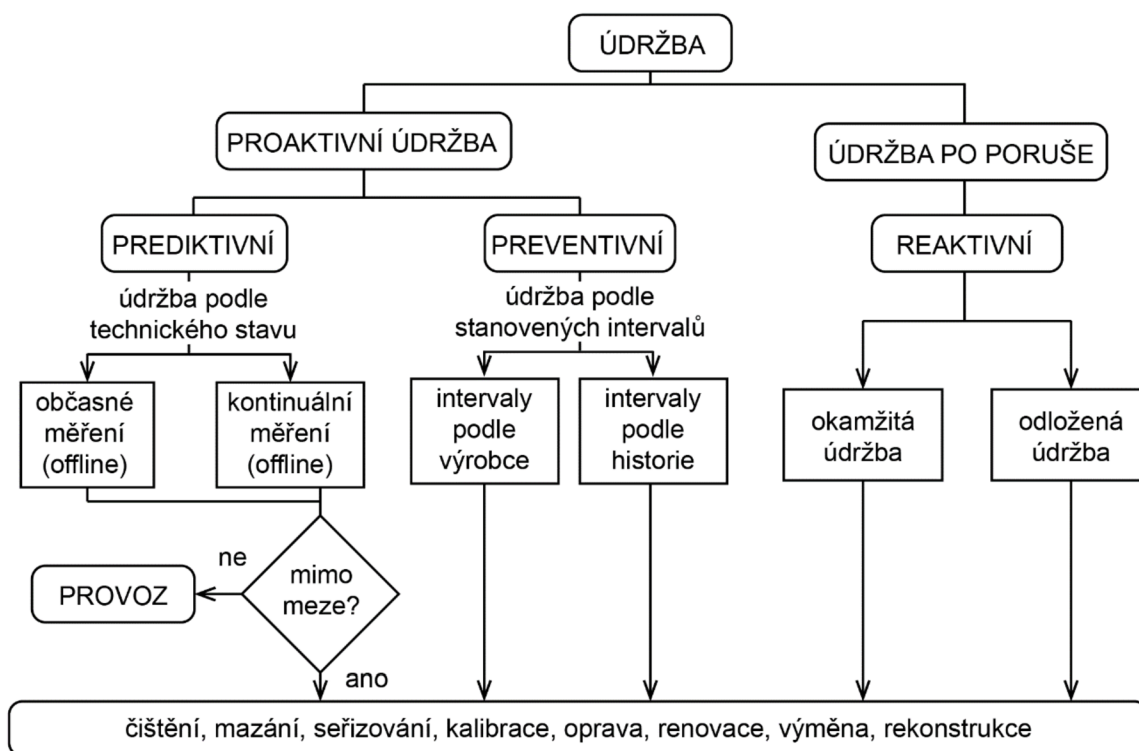
problematika údržby je v této práci vztažena na kontext průmyslové údržby strojírenských výrobních podniků. Například v dopravním, leteckém a energetickém průmyslu jsou sice dané techniky a principy údržby používány stejně, je zde však většinou legislativně kladen daleko větší důraz na bezpečnost a spolehlivost provozu než u výrobních strojírenských systémů.

S ohledem na praktickou část této práce, kde je analyzována údržba výrobní linky tvořena dvěma obráběcími stroji, většina principů údržby je v následujících kapitolách vysvětlována právě na údržbě obráběcích strojů.

### 1.1. Metody managementu údržby

V obecné hladině lze řízení údržby rozdělit na údržbu reaktivní, kdy jsou jednotlivé poruchy řešeny až po jejich vzniku a údržbu proaktivní, která se snaží podle hlavních cílů údržby poruchám předcházet včasným zásahem dříve, než je ovlivněna funkčnost daného zařízení. Toto dělení je zobrazeno na obrázku 1. [8, 3]

Samotné rozdělení a terminologie reaktivní a proaktivní údržby s v různých zdrojích liší. V konečném důsledku však ale hovoří prakticky o stejných principech. Vedle tohoto dělení se také často hovoří o komplexní produktivní údržbě, údržbě zaměřené na bezporuchovost, anebo třeba o asset managementu.



Obrázek 1 Rozdělení přístupů k údržbě a schématické znázornění procesu daného typu údržby – podle [3].

### 1.2. Reaktivní údržba

Definice reaktivní údržby je jednoduchá: strojní zařízení je opraveno až poté, co se objeví významná porucha a zařízení ztratí schopnost plnit svou funkci. Tento přístup údržby prakticky ani nelze označit jako techniku managementu údržby. Jedná se totiž o řešení nahodilých problému, které nelze plánovat, natož tak řídit. [4]

---

Reaktivní údržba je však jakýmsi nevyhnutelným základem, který je součástí každého systému průmyslové údržby, protože k poruchám vlivem lidského pochybení, vady konstrukce nebo materiálu může dojít kdykoliv. Strategii výrobních podniků by však měla být implementace údržby proaktivní, která umožňuje těmto událostem z velké části předejít.

Pokud je program údržby založen pouze na údržbě reaktivní, klade to velké nároky na pracovníky údržby, neboť musí být neustále v pozornosti a připraveni rychle jednat. Významný problém pak může vzniknout, pokud se stane větší množství poruch v jednom okamžiku a kapacita údržby není schopna řešit tyto problémy najednou. V tento moment je nutné jednotlivé opravy prioritizovat podle požadavků výroby. Pracovníci údržby se mohou dostat do velkého tlaku, což může vést k unáhleným rozhodnutím, které nevedou k nejrychlejšímu a optimálnímu vyřešení daného, často velmi komplexního, problému a tím zvýšení důsledků a nákladů neplánované odstávky. Útvar údržby se pak dostává do jakési smyčky neustálého řešení problémů, ze které je těžké uniknout.

Zabezpečení optimálního chodu výrobního zařízení pouze reaktivní údržbou je nejen velmi pracné, ale zároveň nákladné. Náklady na reaktivní údržbu tak mohou být až třikrát vyšší než při údržbě proaktivní. Hlavními náklady spojenými s tímto způsobem údržby jsou převážně [3, 9]:

- náklady na nákup a skladování velkého množství náhradních dílů a funkčních celků strojů,
- redundance výrobních zařízení,
- přesčasy pracovníků,
- dlouhé odstávky strojů, zajištění náhradní výroby v kooperaci,
- nízká způsobilost strojů,
- ušlý zisk vlivem vadné produkce.

Redundance celého výrobního zařízení a náklady na nákup náhradních dílů do zásoby a jejich skladování mají však i druhou stránku. V nevyužitých strojích a dílech je vázán finanční kapitál, který by mohl být jinak investován a zhodnocován. [10]

Na druhou stranu, pokud dané náhradní díly nejsou skladovány, je uživatel stroje vázán na dodavatele. Dodací lhůta některých kritických dílů však může být několik týdnů a vlivem vysoké vytiženosti servisních specialistů může zdánlivě malá porucha vést k několikátýdenní odstávce.

### **1.3. Proaktivní údržba**

Nejefektivnějším způsobem zajištění maximální dostupnosti strojů je eliminací neplánovaných odstávek. Ty vznikají náhlou poruchou. Tím, že na ně není údržba připravena, oprava může trvat hodiny, dny až týdny, například kvůli čekání na dodání náhradního dílu.

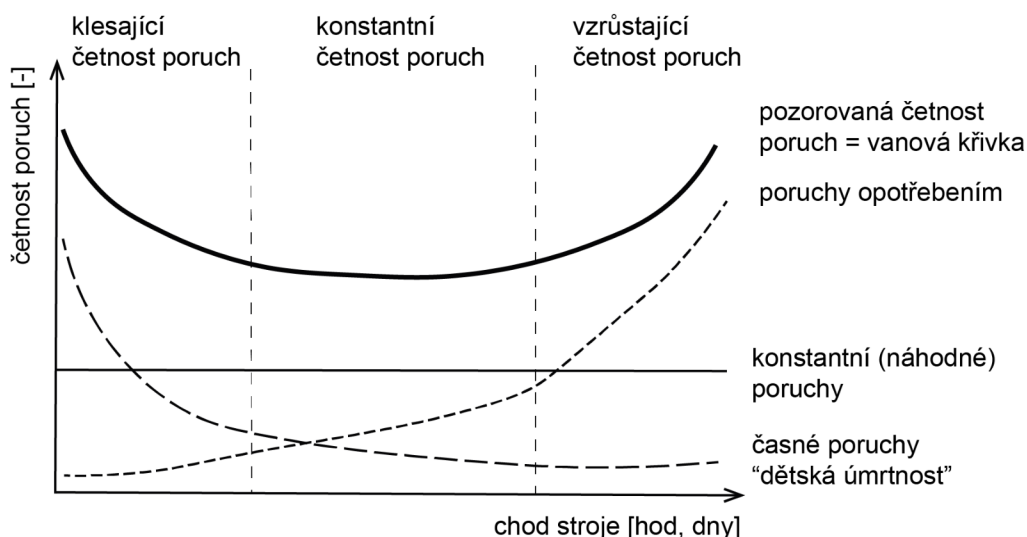
Předcházet těmto neplánovaným odstávkám, které způsobují značnou finanční ztrátu, lze proaktivním způsobem údržby. Jedná se o vykonávání patřičných zásahů a činností, aby se předešlo snížení či úplné ztrátě funkčnosti zařízení. Tyto zásahy mohou být preventivní nebo prediktivní. I přes určitou podobnost těchto dvou způsobů se jejich provedení velmi liší.

## 1.4. Preventivní údržba

Program preventivní údržby je založen na periodické údržbě jako je mazání nebo drobné přenastavování. Často je však vyměněna celá strojní komponenta nebo provedena generální oprava stroje pro předejití selhání funkčnosti stroje. Tyto preventivní zásahy jsou tak řízeny časem podle předem specifikovaného rozvrhu. [3, 11]

Tento časový rozvrh může být definován na jedné straně výrobcem daného zařízení, například na základě únavových charakteristik materiálu konstrukce, testů, anebo pomocí statistického přístupu. Na straně druhé může být časový rozvrh definován samotnou údržbou na základě záznamů o historii poruch spravovaných zařízení. Statistické stanovení střední doby mezi poruchami (MTBF – mean-time-between-failures) však vychází z předpokladu, že je k dispozici dostatečné množství dat shromážděné dlouhodobým zaznamenáváním veškerých poruch a jejich důsledná analýza. [4, 12]

V praxi je nejčastěji střední doba do poruchy určována podle tzv. vanové křivky. Ta, jako nástroj spolehlivostního inženýrství, určuje četnost poruch během životnosti daného systému. Četnost poruch nebo také intenzita poruch je možné vypočítat jako převrácenou hodnotu střední doby mezi poruchami (MTBF). Název „vanová“ je odvozen od tvaru křivky připomínající vanu, jak je vidět na obrázku 2. [12]



Obrázek 2 Vanová křivka určující četnost poruch zařízení v závislosti na stáří zařízení – podle [13].

Podle vanové křivky je pozorovaná četnost poruch v úvodní fázi životního cyklu z počátku vysoká a postupně klesá. Tato vysoká četnost časných poruch neboli „dětská úmrtnost“, je u výrobních strojů zapříčiněna například vadnou montáží komponent, anebo vadou materiálu. V rané fázi po pořízení zařízení tak uživatel nemá prakticky možnost těmto poruchám předejít. Právě toto je důvod, proč je u systémů, kde je potřeba zajistit maximální bezpečnost a spolehlivost, prováděno důsledné testování dříve, než je zařízení dodáno uživateli. V druhé fázi životního cyklu je pozorovaná četnost poruch konstantní. Toto období je hlavním technickým životem zařízení. Během této fáze postupně roste intenzita poruch vlivem opotřebením. Během poslední fáze, zvané „stárnutí“, je sledován růst četnosti poruch způsobených zejména opotřebením. Právě znalost počátku tohoto období je stěžejní informací pro plánování preventivních zásahů údržby. [13]

---

Může se zdát, že preventivní údržba může zajistit stabilní dostupnost zařízení za optimálních nákladů. Není to však úplná pravda. Podstatným nedostatkem tohoto způsobu proaktivní údržby je, že není zohledněn reálný technický stav komponenty nebo stroje. To může vést k plýtvání, pokud je komponenta vyměněna například v polovině své životnosti. Nevýhodou určování střední doby do poruchy na základě statistického přístupu a vanové křivky je to, že pro stejnou komponentu se tato doba může zásadně lišit podle způsobu zatěžování. [11, 4]

Dalším problémem je zvýšení rizika poruchy přímým vlivem samotného preventivního zásahu. Při výměně komponenty může lidským faktorem vzniknout chyba, která po montáži nové komponenty způsobí havárii. Opravy komplexních výrobních zařízení, jako jsou například obráběcí stroje, vyžaduje přesné dodržení montážních postupů. Špatné dotažení šroubů, napnutí řemene nebo nesprávná montáž ložiska nezkušeným pracovníkem povede k poruše i přesto, že je daná komponenta nová. Z tohoto důvodu je vhodné řídit se pravidlem: „pokud to není porouchané, neopravuj to“ a rozebírat dané funkční celky pouze pokud jsou porouchány. Teorie vanové křivky platí nejen na celé stroje, ale také na poruchovost jednotlivých komponent. U nově vyměněné komponenty je tak větší riziko poruchy než u původní komponenty, která mohla být stále ve fázi svého technického života.

Hlavními výhodami programů preventivní údržby tak jsou [4]:

- termíny preventivních zásahů mohou být plánovány podle dostupnosti náhradního dílu,
- standardizace procesů údržby, jejich časového trvání a nákladů,
- rozvrhování kapacit údržby podle potřeby,
- snížení zásoby náhradních dílů, neboť mohou být dodávány dodavateli až v termín preventivního zásahu,
- eliminace přesčasů pracovníků údržby.

Mezi nevýhody pak patří [4]:

- riziko vzniku chyby při výměně komponenty a s tím související dětská úmrtnost nově nainstalovaných dílů,
- velké množství použitých komponent, není zohledněn reálný stav vyměňované komponenty,
- při vysokém vytížení výrobní linky může být těžké dostat povolení na provedení plánované odstávky.

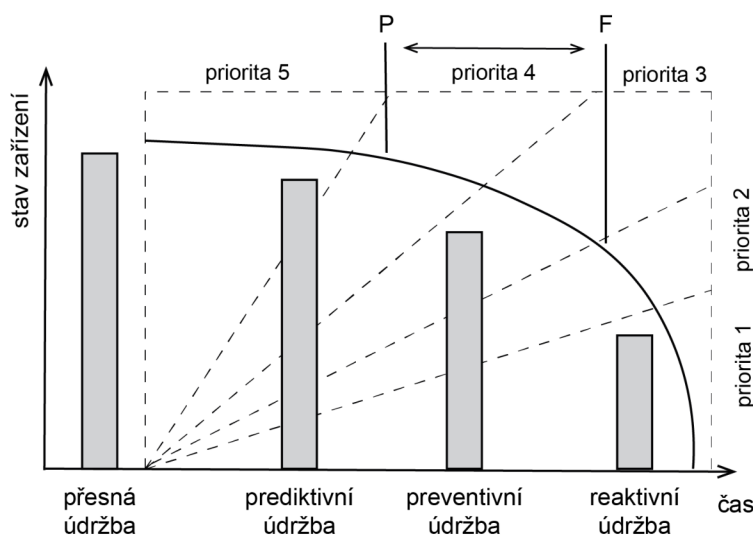
S ohledem na to, že investice do nového dílu je provedena dříve, než je potřeba, kvůli inflaci jsou náklady na nový díl vyšší, než kdyby byl náhradní díl nakoupen až v čase poruchy. Pokud však náklady způsobené ztrátou funkčnosti stroje jsou větší než tyto náklady, preventivní údržba má v tomto ohledu své opodstatnění. [4, 9]

### **1.5. Prediktivní údržba**

Oproti údržbě preventivní, program prediktivní údržby je založen na pečlivém sledování technického stavu zřízení. Servisní zásahy tak nejsou řízeny časem, ale skutečným stavem komponenty. Znalost reálného technického stavu neboli kondice, tak umožňuje předpovězení zbytkové životnosti a maximalizaci životnosti dané strojní komponenty včasnou údržbou.

Určování kondice strojů je realizováno převážně pomocí nástrojů technické diagnostiky. Ta je založena na měření různých parametrů stroje a vyhodnocování těchto dat. Je však důležité pochopit, že pouhým použitím nástrojů technické diagnostiky se ihned nejedná o prediktivní údržbu. Právě až důkladná analýza kondice na základě dat z technické diagnostiky a samotné plánování údržby je považováno za prediktivní údržbu jako takovou. Technologie a metody technické diagnostiky jsou podrobněji popsány v kapitole 5.3. [4, 14]

Porucha zařízení je většinou chybně vnímána jako náhlá událost. Až na výjimky, kdy k poruše dojde vlivem špatného použití zařízení například jeho přetížením nebo třeba kolizí nástroje s obrobkem u obráběcího stroje, je však samotný vznik poruchy spíše procesem, nikoliv náhlou událostí. Právě nepřetržitě sledování kondice pomocí nástrojů technické diagnostiky umožňuje tento proces sledovat a předvídat rozvoj poruchy. Křivka na obrázku 3 znázorňuje pokles kondice zařízení v čase. Bod P na křivce určuje okamžik, kdy je možné poprvé detekovat, že porucha je v bezprostřední časové blízkosti. Bod F je pak okamžik, kdy dochází k poruše a zařízení plně ztrácí svou funkci. [8]



Obrázek 3 PF křivka sloužící pro stanovení vhodného času servisního zásahu – podle [8].

Samotný tvar křivky vychází z poslední fáze vanové křivky, kde exponenciálně stoupá četnost poruch. To je zapříčiněno právě radikálním poklesem kondice zařízení. Znalost polohy bodů P a F v čase je pak účinným nástrojem údržby, který umožňuje plánování, prioritizaci a včasnou opravu zařízení. Jak je vidět, technická diagnostika umožňuje detekovat poruchu dříve, než nastane bod P, a tím snížit nejistotu ve výrobním procesu.

### 1.5.1. Implementace programu prediktivní údržby

Implementace programu prediktivní údržby ve větším rozsahu je složitý a nákladný proces. Aby byl samotný program vůbec úspěšně naplánován a schválen musí být explicitně kvantifikován poměr nákladů a výhod, které program prediktivní údržby přinese. Předtím, než jsou tedy stanoveny cíle a očekávané přínosy implementace prediktivní údržby, je potřeba zhodnotit současný stav definovaný současnými náklady na údržbu a dalšími parametry, které budou sloužit jako jakási startovací čára pro srovnání se stavem budoucím. Už samotné stanovení nákladů je pro mnohé společnosti problém, neboť nemají potřebná historická data pro přesné posouzení



---

současného stavu. Právě správné určení cílů na základě důsledné analýzy současného stavu umožňuje úspěšnou implementaci. Mnoho programů prediktivní údržby však bylo zrušeno v rozmezí 18 až 24 měsíců po implementaci, protože nebyly přesně stanoveny cíle, kterých má být dosaženo. Po pěti letech je pouhých 23 % projektů úspěšných. [4, 7]

Bez ohledu na různé parametry současného stavu, pro řádné nastavení a řízení programu prediktivní údržby musí být zohledněny splněny následující funkční požadavky [4]:

- **Podpora managementu.** Implementace programu prediktivní údržby vyžaduje velké množství jak finančních, tak lidských zdrojů. Management společnosti musí proto být ochotný všechny tyto potřebné zdroje financovat. Zároveň musí zabezpečit, aby údržba měla přístup k všem potřebným informacím z jiných oddělení, které ovlivňují tento program. Vedle prvotní investice kapitálu do pořízení systému pro sledování kondice strojů a řízení prediktivní údržby musí být dále investovány zdroje do školení pracovníků, podpora od konzultantů a případně nábor nových zaměstnanců.
- **Vytvoření specializovaného a zodpovědného týmu.** Řízení programu prediktivní údržby musí být zastřešeno zodpovědnými pracovníky, kteří se programu věnují ideálně na plný úvazek. Pokud není určen zodpovědný tým nebo osoba, která bude zodpovídat za program, je zde velké riziko, že dojde k selhání programu.
- **Výběr vhodných zařízení, která budou sledována.** Diagnostická zařízení jsou relativně drahá, a tak těmito systémy nemohou být osazeny všechny stroje. Je proto nutné učinit rozhodnutí, které stroje budou sledovány permanentně online diagnostikou, která alespoň pochůzkovou diagnostikou a které nebudou sledovány vůbec a budou opravovány pouze reaktivně. V praxi jsou tak většinou vybrány pouze klíčové stroje a jejich kritické komponenty. Jsou to většinou jednoúčelová zařízení, u kterých nelze snadno přenést výrobu na jiný stroj nebo je jejich oprava časově velmi náročná z důvodu komplexnosti zařízení, anebo dlouhé dodací lhůty náhradních dílů.

Při rozhodování, který stroj a kterou komponentu sledovat je nutné zvážit následující parametry [3]:

- frekvenci a nahodilost poruch,
- potřebu opakujících se oprav,
- čas potřebný na opravu,
- dodací lhůtu náhradní komponenty,
- vliv snížení funkčnosti komponenty stroje na jakost,
- rizika spjatá se snížením výkonu stroje,
- náklady na implementaci systému technické diagnostiky,
- ztráty způsobené neplánovanou odstávkou stroje,
- potřebné kapacity údržby na opravu stroje.

Na základě těchto parametrů lze kategorizovat podle kritičnosti veškerá zařízení na následující kategorie [4]:

---

**Kategorie I** – Zařízení, která musí být neustále k dispozici. Pokud dojde k poruše jednoho z těchto strojů, zastaví se celá výroba. Oprava těchto zařízení je vysoce nákladná a časově náročná.

**Kategorie II** – Zařízení, která výrazně ovlivňují kapacitu výroby. Porucha takového zařízení sníží dostupnou kapacitu výroby o 30 % a více. Zařízení, která mají chronickou historii poruch, jejichž odstranění je velmi nákladné.

**Kategorie III** – Zařízení, která nemají významný vliv na chod výroby, ale podílí se významně na nákladech údržby. Patří zde zejména redundantní systémy, jejichž porucha výrazně neovlivní výrobu, ale zvýší náklady údržby.

**Kategorie IV** – Ostatní zařízení, které mají podloženou historii poruch a mají vliv na výrobu a náklady údržby. U této skupiny je nutné zhodnotit, zda se vyplatí sledování kondice pomocí technické diagnostiky nebo je lepší mít danou komponentu na skladě.

Obdobně jako u údržby preventivní je tedy nutné mít podrobný historický záznam o typu a délce trvání poruch pro objektivní vyhodnocení potřeby diagnostického systému. Jedině tak je možné porovnat náklady za investici do diagnostického systému a ušetřené náklady, pokud je eliminována neplánovaná odstávka. S ohledem na volbu monitoringu různých zařízení musí být z organizačního hlediska zohledněny i kapacity údržby. Implementace programu prediktivní údržby a zejména pak sledování kondice zařízení je časově náročné. Proto musí být zváženo, zda investovat do online monitoringu, který pracuje autonomně, anebo do pochůzkové diagnostiky, která však zabere velké množství času již tak často vytížených pracovníků údržby. Další možností je technickou diagnostiku outsourcovat jako službu poskytovanou společnostmi specializující se na technickou diagnostiku. [3, 15]

Možnost predikce stavu zařízení eliminuje velkou část nevýhod preventivní údržby. Znalost detailních parametrů chodu stroje má však i přesah přes údržbu samotnou. Tyto informace mohou sloužit jako nástroj optimalizace výroby a zvyšování jakosti. Například znalost kondice ložisek vřetene obráběcího stroje umožňuje lepší řízení jakosti, neboť vadné ložisko má přímý vliv na jakost obráběné plochy. Zároveň tak mohou být určeny optimální technologické podmínky, při kterých není stroj zbytečně přetěžován. Prediktivní údržba je tedy způsob zvyšování produktivity, kvality produktu a celkové efektivity výroby. [4, 16]

Neboť je prediktivní údržba proaktivním přístupem k údržbě stejně jako ta preventivní, sdílí valnou část výhod. Program prediktivní údržby však oproti programu údržby preventivní umožňuje [3, 8]:

- eliminovat množství použitých náhradních dílů,
- snížit množství potřebných odstávek a tím zvýšit dostupnost stroje,
- zmenšit riziko poruchy stroje vlivem dětské úmrtnosti nových dílů,
- pomocí znalosti aktuální kondice stroje řídit jakost výroby,
- celkově snížit náklady na údržbu a chod výrobních zařízení.

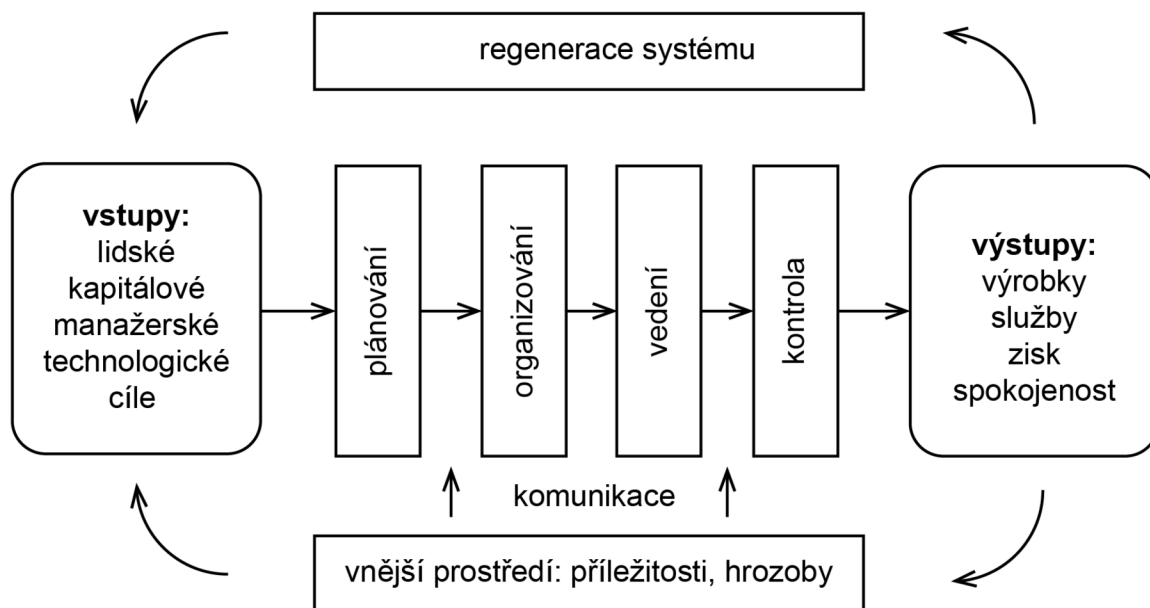
Implementace a provozování programu prediktivní údržby se sebou nesou určité požadavky a překážky, které je potřeba překonat. Jsou to například [4]:

- relativně vysoké vstupní náklady na pořízení diagnostických systémů,
- technické vzdělání a znalost pracovníků údržby, ale také pracovníků výroby,
- změna smýšlení všech pracovníků společnosti a zejména managementu.

## 2 ŘÍZENÍ ÚDRŽBY

Bez ohledu na to, jaký program údržby je provozován, údržba musí být systematicky řízena. Pokud by práce údržby nebyla řízena, jen stěží by bylo možné plnit cíle údržby. Může se zdát, že automatizace výroby a digitalizace mnohých procesů snižuje potřebné množství lidských pracovníků ve výrobě a tím snižuje potřebu schopnosti vedení pracovníků. Z hlediska ovládání a obsluhování strojů během výroby toto sice může být pravda, pro údržbu těchto zařízení však nikoliv. Tyto automatizované systémy jsou oproti výrobním zařízením a linkám používanými v minulosti daleko komplexnějšími a technicky složitějšími. Například údržba obráběcích strojů s CNC řízením a robotickým zakládání obrobků a propojením na další systémy výrobní linky vyžaduje daleko větší množství práce než u klasických obráběcích strojů. V minulosti býval běžný podíl pracovníků údržby ve společnosti zaměřené na výrobu 5–10 % z veškerých provozních pracovníků. V dnešní době je však k zajištění chodu automatizovaných systémů potřeba stále větší množství pracovníků údržby. [3, 17]

Stejně jako u obecné teorie managementu, řízení (management) údržby je složeno z funkcí plánování, organizování, vedení a kontroly, tak jak je zobrazeno na obrázku 4. Na základě cílů, strategie a dostupných zdrojů celé společnosti jsou s ohledem na podmínky stavu výrobních zařízení plánovány cíle a strategie údržby samotné. Tyto plány stanovují, jaké aktivity budou vykonány a jaké zdroje budou využity. Zároveň je tvořen harmonogram prací a jednotlivé aktivity jsou přidělovány daným pracovníkům. [18]



Obrázek 4 Proces managementu údržby – podle [19].

Dobře sestavený plán je nástrojem efektivního kontrolování výstupů údržby a v konečném důsledku snižuje plýtvání. Pro efektivní kontrolu a neustálé zlepšování je nutné definovat klíčové ukazatele výkonnosti (KPI z anglického key performance indicator), na základě kterých lze objektivně porovnávat dosažený stav s plánem.

U údržby mohou být tyto ukazatele například [3]:

- počet a délka plánovaných odstávek,
- počet a délka neplánovaných odstávek,

- 
- množství použitých náhradních dílů,
  - přesčasy pracovníků údržby,
  - náklady na údržbu obecně,
  - zmetkovitost výroby a další.

Je zřejmé, že se velká část těchto ukazatelů týká výroby samotné. Údržba je totiž podpůrným procesem výroby a tyto dva procesy od sebe nelze oddělit.

Řízení a plánování údržby se v každé společnosti liší v závislosti na druhu výroby, jaký je aktuální stav zařízení, jaké jsou cíle výroby, ale také jaké jsou kapacity a zkušenosti údržby. Strategií některých firem tak může být plné soustředění se pouze na tzv. core business, kdy se pracovníci firmy zabývají pouze vývojem a výrobou daného produktu a část podpůrných procesů, jako je například údržba, outsourcují. Vše je vždy zastřešeno rozpočtem, který například diktuje, která zařízení mohou být sledována technickou diagnostikou, ale také kolik pracovníků údržby může být ve společnosti zaměstnáno. Nízká nezaměstnanost popsána v úvodu této práce má dopad i na týmy údržby. Těm chybí pracovníci a při stálém zvětšování objemu výroby vzniká na údržbu neustále větší tlak. Manažeři údržby tak musí zvyšovat účinnost a efektivitu práce týmu údržby, aby byly dosaženy nízké ztráty cenných zdrojů (práce údržby, náhradní díly, energie, čas) a aby byly maximálně dosahovány cíle údržby. [3]

## 2.1. Plánování údržby

Sestavování plánu údržby se týká pouze programů proaktivní údržby. U reaktivní údržby, kdy jsou poruchy opravovány až při jejich výskytu, zde není žádná možnost cokoliv plánovat. Odstranění těchto poruch může být zahrnuto nanejvýš do krátkodobých (denních či týdenních) plánů údržby. Jedná se však spíše o prioritizaci úkolů. Pro smysluplné plánování proaktivní údržby je podle obrázku 4 nutné znát veškeré vstupy vstupující do procesu řízení údržby. Bez znalosti těchto parametrů je obtížné sestavovat plány vedoucí k dosažení potřebných cílů.

Vstupními údaji pro plánování údržby jsou [3]:

- Strategie a cíle podniku.** Pokud je cílem společnosti například zvyšování produkce, výstavba nové výrobní haly, změna či rozšíření druhů výrobních technologií, rozšíření portfolia výrobků nebo právě naopak omezení produkce a celkové snížení investic do rozvoje podniku z důvodů ztráty pozice na trhu nebo poklesu ekonomiky, je potřeba tyto faktory zahrnout do plánu údržby.
- Finanční zdroje.** V návaznosti na první bod je většinou stanovován roční finanční rozpočet údržby. Ten pak určuje, jaké preventivní zásahy budou v následujícím období provedeny, zda budou implementovány technologie technické diagnostiky pro program prediktivní údržby, zda dojde ke generálním opravám určitých zařízení apod. V současné době nízká nezaměstnanost vede k růstu mezd, a tak během tvorby plánu údržby musí být zvažováno, zda budou některé úkony vykonávány lidskými pracovníky, anebo raději budou automatizovány. [20]
- Pracnost údržbářských operací.** Ačkoliv je těžké některé údržbářské úkony změřit a kvantifikovat, pro plánování je potřeba znát pracnost neboli počet pracovních jednotek potřebných k opravě daného zařízení nebo provedení preventivního zásahu. Jednotkou pracnosti je pak většinou člověkohodina.

- 
- d. **Potřebný objem údržbářské práce.** Množství práce, které je potřeba vykonat pro udržení výrobních zařízení v chodu a dosažení všech cílů údržby. Tento objem činností je závislý na rozsahu (množství strojů), současném stavu (kondice zařízení) a komplexnosti (robotizovaná linka složená z obráběcích strojů oproti jednoduchému systému vzduchotechniky) udržovaného systému. Požadovaný objem údržbářských činností je vyjádřen v jednotkách množství, času, pracnosti nebo například v jednotkách peněžních.
- e. **Kapacita týmu údržby.** Objem práce, který je tým údržby schopen vykonat během daného časového období, je závislý na počtu pracovníků údržby a časovém fondu údržby. Dále na produktivitě práce odvíjející se od zkušenosti pracovníků, schopností vedoucího údržby, ale také dostupných nástrojů údržby (speciální nářadí, nástroje technické diagnostiky, software pro řízení údržby a další).
- f. **Historie poruch.** Jak již bylo popsáno u obou druhů proaktivní údržby, stěžejním podkladem pro plánování údržby je znalost provozní historie jednotlivých výrobních systémů. Veškeré záznamy o poruchách a servisních zásazích by měly být zaznamenávány do databáze umožňující zpětnou analýzu, na základě které lze stanovit a plánovat očekávanou potřebu servisních zásahů a množství náhradních dílů.
- g. **Servisní smlouvy, podklady od výrobce výrobního zařízení.** Pro vytvoření časového plánu je potřeba znalost veškerých servisních smluv, které upravují zejména finanční a časové podmínky dodání náhradních dílů, provedení servisních zásahů nebo třeba provedení technické diagnostiky. Dále je potřebné mít veškeré podklady od výrobce výrobního zařízení, které stanovují doporučené servisní zásahy, potřebné náhradní díly a intervaly těchto zásahů.
- h. **Zkušenosti s údržbou daného systému.** Součástí procesu sestavování plánu údržby může být velké množství pracovníků zastupující různá oddělení (oddělení údržby, oddělení nákupu, oddělení plánování, oddělení výroby atd.). Je však důležité, aby u plánování byla osoba, která má dostatečné zkušenosti z údržby daného systému. Tento pracovník může reflektovat na základě svých zkušeností, zda je reálné dosáhnout plánovaných cílů.

Na základě všech těchto parametrů a faktorů jsou pak sestavovány roční, měsíční, týdenní ale i denní plány údržby. Podrobný roční plán údržby slouží jako nástroj pro sestavení rozpočtu a definice potřebných zdrojů. Informace obsažené v plánu umožňují určení potřebného počtu údržbářů, outsourcovaných služeb, nářadí, náhradních dílů, materiálu a potřeby plánovaných odstávek. Tyto potřebné zdroje a informace jsou pak porovnávány s dostupnými zdroji v podniku a je hledáno optimální řešení.

Obecně plány údržby definují [3]:

- které zařízení bude opravováno,
- který pracovník provede danou práci,
- rozsah servisních úkonů, předpokládaná pracnost,
- potřebné náhradní díly, materiál a nářadí, technologický postup,
- termíny a délku trvání servisních zásahů,
- plánované náklady.

---

Plány údržby pak vznikají většinou roční, měsíční, týdenní či denní. Tyto plány mezi sebou musí korespondovat, aby vedly ke stejnému cíli. S ohledem na délku plánovaného období se však liší v charakteru prováděných činností a dosahovaných cílů. Plány údržby jsou pak následující [3]:

- **Roční plán** V ročním plánu jsou definovány postupy pro dosažení strategických cílů údržby jako je rozvoj a implementace nových technologií (například pořízení nového stroje, implementace systému technické diagnostiky atd.), provedení generálních oprav strojů nebo provedení preventivních zásahů. Jsou zde určeny zodpovědné týmy a osoby za průběh jednotlivých projektů včetně jejich termínů.
- **Měsíční plán** Tento plán operativního charakteru určuje sekvenci jednotlivých preventivních zásahů, seřízení a kontroly strojů nebo provádění měření technické diagnostiky apod. Tyto plánované úkony by neměly přesáhnout přibližně 70 % plánovaného časového fondu údržby. Musí zde totiž být rezerva pro práci na dlouhodobých projektech, nedokončenou práci, a hlavně na údržbu reaktivní.
- **Denní a týdenní rozvrhy** Tyto rozvrhy vznikají většinou na začátku týdne či na ranních poradách, kde je koordinována činnost pracovníků údržby pro daný den, směnu či týden. Jedná se o operativní plánování reagující na současný stav výrobního systému. Tento rozvrh reflektuje náhlé změny výroby nebo na nečekané poruchy (reaktivní údržba) a určuje zodpovědného pracovníka, který musí daný problém vyřešit.

## CMMS systémy

Důležitým a často používaným nástrojem pro řízení jsou CMMS systémy (Computerized Maintenance Management System). Tento software umožňuje systematické řízení veškerých aktivit a zdrojů údržby. Právě ve spojitosti s preventivní a prediktivní údržbou je tento nástroj vhodný, neboť umožňuje relativně snadno zaznamenávat veškeré informace o údržbě jednotlivých zařízení, na základě jejíž analýzy lze plánovat a rozvrhovat údržbu. [21]

Problémem však je, že zejména pro malé a středně velké podniky, je pořízení a implementace CMMS systému velmi nákladná záležitost. Tyto podniky se tak dostávají do situace, kdy sice mají potřebu a vůli zefektivňovat procesy údržby, ale nemůžou si CMMS systém dovolit. Na druhou stranu, v současnosti jsou dostupné online systémy, které jsou daleko dostupnější a je možné si je pořídit za poplatek v řádu tisíců korun měsíčně. [22]



---

## 2.2. Organizování údržby

Poté, co jsou sestaveny plány, následuje organizace práce. Organizace práce startuje proces implementace plánu definováním pracovních pozic a veškerých pracovních souvislostí. Funkcemi organizování je zejména přerozdělování a specializování prací, delegování pravomocí a vytváření organizačních struktur včetně definování jejich velikostí. Každý úkol, který je v rámci plánu údržby potřeba splnit, je delegován odpovědné osobě nebo oddělení. Zároveň je přidělena pravomoc neboli právo činit vše nezbytné ke splnění tohoto úkolu. Musí však také být přesně určeny výsledky, kterých musí být dosaženo. [23]

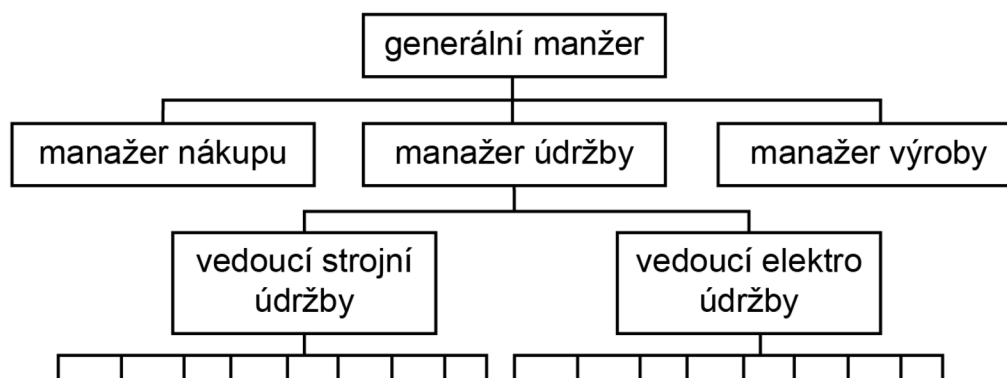
Z pohledu celé společnosti jsou pak podle způsobu, jakým jsou různé části společnosti formálně uspořádány, tvořeny organizační struktury. Tyto struktury charakterizují, jakým způsobem jsou jednotlivé aktivity řízeny, aby bylo dosaženo cílů společnosti. V rámci tohoto procesu organizace jsou určena pravidla, role a odpovědnosti jednotlivých pracovníků v daném oddělení. Správně vytvořená organizační struktura definuje práci každého zaměstnance a jeho pozici v celkovém systému a zvyšuje efektivitu řízení. [24]

Organizace údržby a její pozice ve společnosti je ovlivněna zejména typem průmyslového odvětví, cíli společnosti a velikostí společnosti. Nejčastěji se můžeme setkat s následujícími typy organizační struktury údržby [3, 25]:

- centralizovaná struktura údržby,
- decentralizovaná struktura údržby,
- kombinovaná struktura údržby.

### Centralizovaná struktura údržby

V rámci centralizované struktury údržby se všichni pracovníci údržby zodpovídají centrálnímu manažerovi údržby, který je odpovědný za fungování celé údržby v podniku, jak je zobrazeno na obrázku 5. Tato organizační struktura je nejvhodnější pro malé až střední podniky (podle definice mají malé podniky většinou do 50 zaměstnanců, střední podniky pak do 250 zaměstnanců). [25, 26]



---

Výhodami centralizované organizace údržby jsou [3, 25]:

- vysoká technická vybavenost pracovníků (specializované nářadí a přístroje),
- lepší dosahování cílů údržby díky vysoké schopnosti pracovníků vlivem specializace práce a možnosti školení,
- vyšší flexibilita,
- efektivnější dohled nad týmem údržby a jeho řízení.

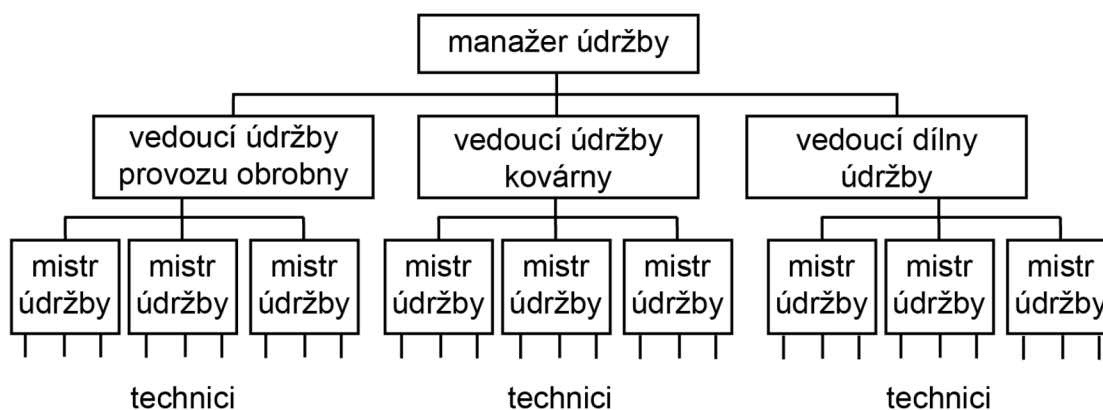
Nevýhodami pak ale může být [3, 25]:

- dlouhá reaktivní doba na změny prostředí, neboť může dojít ke zpoždění během rozhodovacího procesu,
- špatná horizontální koordinace mezi jednotlivými odděleními výroby.

Centralizované většinou zůstávají: centrální dílenské činnosti, speciální technické služby, jako je například technická diagnostika strojů, údržbářské projekty a konstrukce, generální opravy a obstarávání náhradních dílů a materiálu.

### Decentralizovaná struktura údržby

U decentralizované struktury údržby jsou pracovníci organizováni v týmech s potřebnou profesní skladbou (například mechanici, elektrikáři, specialisté na obráběcí stroje apod.) a tyto týmy jsou následně zařazeny do jednotlivých útvarů výroby, tak jak je zobrazeno na obrázku 6. Tímto způsobem organizování mají být organizovány především činnosti, u kterých je rozhodující znalost procesu podmínek výroby. [25]



Obrázek 6 Decentralizovaná struktura údržby – podle [25].

Výhodami decentralizované struktury jsou [3, 25]:

- dobrá znalost výroby pracovníky údržby, pracovníci údržby se stávají prakticky součástí výrobního týmu a tím cítí větší odpovědnost za řešení vzniklých problémů,
- dobrá komunikace a koordinace mezi odděleními údržby a výroby.

Nevýhodami ale jsou [25]:

- nejednotné odborné vedení a tím horší využití pracovníků,
- nižší flexibilita struktury,

- 
- pracovníci jsou úzce specializováni a nejsou tak schopni řešit komplexní problémy,
  - riziko velké administrativní zátěže.

**Kombinovaná struktura údržby** je pak kombinací organizační struktury centralizované a decentralizované. Vhodnou kombinací těchto dvou přístupů může být využito výhod jednotlivých přístupů a zároveň mohou být eliminovány určité nedostatky těchto přístupů. [3, 25]

### 2.3. Outsourcing údržby

Už při plánování údržby je určeno, jaké množství zdrojů bude potřeba pro zajištění všech prací údržby a dosažení vytyčených cílů. Při organizování údržby pak management musí rozhodnout, jakým způsobem zajistí potřebné zdroje. Pokud firemní zdroje nestačí, je na výběr buď to rozšířit vnitropodnikové zdroje najmutím více pracovníků, anebo uzavřít dohodou s jinou firmou, aby dané aktivity vykonávala. V tomto případě mluvíme o outsourcingu. [27]

Pokud se podnik uvažuje nad outsourcingem údržby, musí [3, 25, 28]:

- určit, jak velké množství práce údržby bude outsourcováno,
- stanovit proces výběrového řízení pro určení vhodného dodavatele, vytvořit servisní smlouvy,
- stanovit veškeré specifikace a požadavky,
- porovnat krátkodobé a dlouhodobé náklady,
- vytvořit proces přechodu od současného stavu ke stavu, kdy je údržba outsourcována.

Obecně je vhodné outsourcovat práce [3, 28]:

- které mají strategický i nestrategický význam pro podnik, ale nejsou vykonávány konkurenceschopně (zároveň by však mělo platit, že na trhu těchto služeb panuje konkurenční prostředí – rizikem mohou být vysoce specializované práce, které jsou nabízeny malým množstvím firem, a tak je jejich cena vysoká),
- které jsou vykonávány na rutinní bázi, ale jsou vysoce specializované a vyžadují drahá a jedinečná zařízení (například měření technické diagnostiky),
- které mohou z legislativního hlediska mohou vykonávat pouze oprávněné osoby a organizace,
- u kterých je finančně výhodnější najímat externí pracovníky, než nabírat nové zaměstnance (zde však musí být podmínka dostupnosti pracovníků v požadovaném časovém období). Příkladem této situace může být krátkodobé posílení kapacit během plánované závodní odstávky.

Rozsah outsourcovaných prací údržby se může lišit podle požadavků na doplnění vnitropodnikových zdrojů a strategie podniku. Jestliže uvažujeme o procesu managementu údržby jako posloupnost fází: identifikace problému, plánování, organizování, vykonávání prací, zaznamenávání informací a jejich analýza, tak se nabízí následující dvě možnosti. První je outsourcovat pouze fázi vykonávání prací a zbylé fáze mít plně pod svojí kontrolou. Tento případ může například představovat již zmiňované krátkodobé posílení kapacit během větší odstávky. V druhém případě

---

jsou outsourcovány všechny fáze kromě identifikace problému a závěrečné analýzy dat. Dodavatel tak rozhoduje, kdy budou práce vykonány. Zadavatel však určuje, jaké práce budou provedeny. Pokud se podnik rozhodne soustředit pouze na část svého podnikání, které tvoří nejvyšší přidanou hodnotu, může se rozhodnout pro nákup komplexní údržby. V tomto případě dodavatel zajišťuje veškerou údržbu v daném podniku. Implementace této strategie je však velmi náročná a musí být vytvořeny komplexní kontrakty, které přesně definují požadované cíle, kterých má být dosaženo. Veškerá rozhodnutí a vykonávání prací údržby je následně prováděna dodavatelskou společností. [3]

Hlavními důvody, proč se rozhodnout pro outsourcing údržby jsou [3, 25]:

- úspora nákladů na údržbu,
- vyšší flexibilita,
- snížení počtu kmenových zaměstnanců,
- zvýšení kvality vykonávané práce údržbou,
- nedostatek kvalifikovaných pracovníků,
- nedostatek speciálních zařízení a nářadí,
- krátkodobé navýšení nebo doplnění kapacit údržby.

Outsourcing údržby však se sebou nese i jistá rizika a negativa [3, 25]:

- ztráta kontroly nad údržbářskými pracemi,
- složitost definice požadavků na zadání během výběrového řízení a s tím spjatá administrativní zátěž,
- vytvoření závislosti na dodavateli služby,
- riziko úniku výrobního know-how či obchodního tajemství,
- potřeba řízení a kontrola dodavatele.

---

## 3 EKONOMIKA ÚDRŽBY

Asi nejdůležitější částí plánování a organizování údržby je stanovení finančního rozpočtu. Velké množství manažerů, kteří o finančním rozpočtu údržby rozhodují, však často plně nerozumí funkci a smyslu údržby a nemají tak pochopení potřeby přidělení patřičných finančních zdrojů. Tvorba přidané hodnoty údržbou, jako podpůrného procesu výroby, není totiž na první pohled zřejmá jako u procesů výrobních. To vede k tomu, že je údržba často vnímána jako pouhá nákladová položka výroby a její výkonnost je posuzována pouze na základě schopnosti nepřekročit rozpočet pro dané období. Rozpočet údržby je tak velmi citlivým a diskutovaným tématem. [4]

Zjednodušeně řečeno může být financování údržby vnímáno jako hledání optimálního poměru mezi finančními ztrátami vzniklých neplánovanými prostoji výroby, úrovní jakosti produkce a dalších ztrát způsobených špatnou kondicí strojů a celkovými finančními zdroji vynaloženými na údržbu.

### 3.1. Rozpočet údržby

Stanovení rozpočtu údržby je většinou prováděno extrapolací nákladů na údržbu z minulých let a očekávanými plánovanými investicemi do rozvoje údržby. Neboť jsou tyto náklady zároveň i jedním z faktorů na základě kterých je posuzována výkonnost údržby, norma EN 15 341 Údržba – klíčové indikátory údržby definuje tyto hlavní nákladové položky [29]:

- mzdy a přesčasy veškerých pracovníků údržby, dodatečné náklady k těmto mzdám, jako jsou daně, sociální a zdravotní pojištění apod.,
- náklady na náhradní díly a spotřební materiál, které jsou účtovány na vrub údržby.
- náklady na potřebné nářadí a zařízení,
- náklady na dodavatele, pronajaté zařízení a konzultační služby,
- náklady na administrativní činnost údržby,
- náklady na vzdělávání a školení,
- náklady na činnosti údržby, které jsou vykonány pracovníky výroby,
- náklady na dokumentaci, CMMS a plánovací systémy,
- náklady na energie a technické vybavení a další.

Nejsnazší je vyčíslení nákladů externích, které lze jednoduše vyjádřit jako sumu vyfakturovaných služeb, dodaného materiálu a energií od externích dodavatelů. Na druhou stranu, náklady vzniklé uvnitř podniku není vždy tak snadné vyčísřit a přiřadit do rozpočtu údržby. Například náklady na činnosti údržby vykonané pracovníky výroby nebo náklady na administrativní činnosti je náročné zpětně analyzovat a následně zhodnotit v plánovaném rozpočtu údržby. [3]

Stanovený rozpočet údržby tak musí pokrýt veškeré náklady na fungování údržby. Vzhledem k tomu, že velká část finančních zdrojů musí být během daného období obětována údržbě po poruše, které nelze plánovat, musí být ve finančním rozpočtu rezerva, která tyto události pokryje. Stanovení této rezervy vychází ze zkušeností pracovníků údržby, kteří jsou schopni na základě statistického zpracování historie

---

poruch stanovit, jak velké množství finančních zdrojů je pro tuto reaktivní údržbu nutné vyhradit. V praxi bývá tato rezerva okolo 25–30 % z celkového rozpočtu údržby. [3]

### 3.2. Investice do prediktivní údržby

Pokud se společnost rozhodne implementovat program prediktivní údržby, musí být investice do zavedení tohoto programu být součástí strategického podnikatelského plánu stanovující dlouhodobé cíle podniku. Investice jsou vynaložené zdroje, které budou přinášet peněžní příjmy během delšího období. V případě investice do prediktivní údržby tyto peněžní příjmy přináší zejména eliminace ušlého zisku vzniklého zastavením výroby vlivem nezpůsobilosti zařízení.

Může se jevit, že vyčlenění části finančních zdrojů na pořízení nástrojů technické diagnostiky umožňující prediktivní údržbu, musí být samozřejmou věcí. Vždyť výzkumy ukazují, že správně fungující prediktivní údržba může [7]:

- zajistit úspory ve výši 8 % až 12 %,
- snížit náklady na údržbu až o 30 %,
- snížit počet poruch až o 70 %,
- snížit prostoje o 35 % až 45 %,
- zvýšit výrobu o 20 % až 25 %.

Obecně je však plánování investic jednou z nejsložitějších činností podnikového managementu. Zejména plánování a obhajování investice do drahých monitorovacích zařízení pro program prediktivní údržby je velmi náročné. Pro objektivní zhodnocení přínosu této investice musí být dostupná veškerá historická data o minulých poruchách, na základě kterých lze určit frekvenci a nahodilost těchto oprav, čas potřebný na jejich provedení a veškeré náklady, které s těmito poruchami vedoucí k neplánované odstávce souvisely. Dále je potřeba vyjádřit ušlý zisk vzniklý nejakostní produkcí, anebo úplným zastavením výroby. Co více, některé náklady lze jen stěží vyjádřit. Například náklady obchodního oddělení na to, aby napravili obchodní vztahy se svými zákazníky poté, co nebyli schopni dodat objednané zboží, které nebylo možné vyrobit vlivem poruchy. Pokud jsou všechny tyto informace k dispozici, stále je náročné alokovat tyto náklady na dané zařízení, aby mohla být posouzena smysluplnost investice do monitorovacího zařízení. Pouze pokud se na základě těchto informací podaří vyjádřit finanční úspory a přínosy, které implementace prediktivní údržby přinese, je možné přesvědčit vedení společnosti, aby do ní investovala. [4]

Stejně jako u každé jiné investice i u investice do prediktivní údržby je nutné zhodnotit jaká bude efektivnost využití investovaných finančních zdrojů (a z jakých zdrojů bude investice hrazena). Mezi hlavní posuzovací kritéria patří [10]:

- **výnosnost** neboli poměr mezi výnosy, které investice za období svého trvání přinese a náklady, které její opatření a provoz stojí,
- **rizikovost** neboli míra nebezpečí, že nebude dosaženo očekávaných výnosů,
- **doba splácení** neboli čas během, kterého se náklady do investice přemění zpět na peněžní formu.

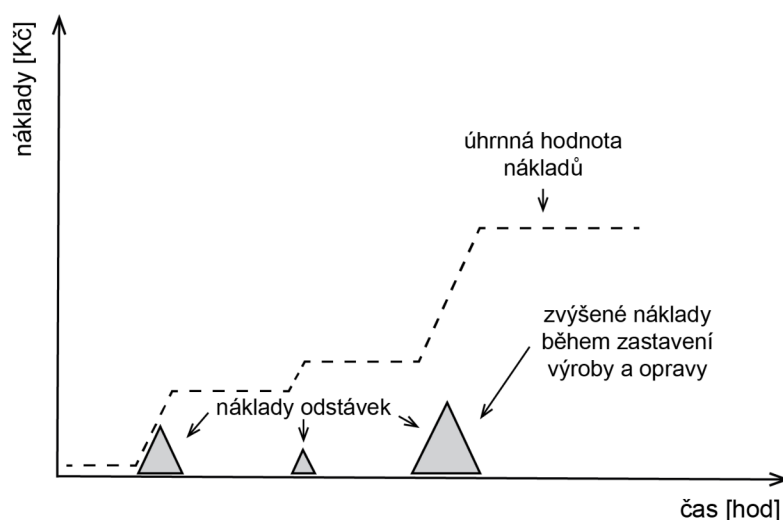
Plánování investic probíhá v různých fázích. V té první, předinvestiční, fázi je v počátku provedena identifikace investičních příležitostí tzv. opportunity study. V této studii jsou shrnuty různé investiční příležitosti, které by mohly být výnosné pro podnik,



ať už se jedná například o investici do rozšíření výroby, vstup na nové trhy nebo právě o zvedení programu prediktivní údržby. V druhém kroku předinvestiční fáze je proveden předběžný výběr projektů, které jsou po technické a ekonomické stránce nejvhodnější tzv. pre-feasibility study. Posledním krokem této fáze je důkladné technicko-ekonomické zhodnocení jednotlivých projektů a jejich variant, například které stroje budou osazeny technickou diagnostikou. Na základě tohoto zhodnocení jsou pak vybrány investiční projekty, které budou realizovány. V následující, investiční, fázi je vypracována detailní dokumentace pro daný projekt a je provedena samotná investice. V této fázi je vybrán dodavatel a je podrobně zpracováno, které stroje a komponenty budou sledovány, jaká technologie bude použita a tak dále. Zároveň je celý systém implementován. V následující provozní fázi investici je už daná investice využívána a udržována. [10]

Aby bylo možné vyhodnocovat ekonomickou efektivnost investic do prediktivní údržby, je důležité porozumět, jakým způsobem může prediktivní údržba ovlivnit náklady výrobního podniku.

Typický průběh nákladů vzniklých zastavením výroby je na obrázku 7. Veškeré náklady na neplánovanou odstávku zde reprezentují jednotlivé trojúhelníky. Ty jsou tvořeny potřebnými finančními zdroji spotřebovanými údržbou na rychlé odstranění poruchy a ušlým ziskem v důsledku zastavení výroby. Velikost těchto nákladů je závislá na délce neplánované odstávky, množství vadné a neprovedené výroby během opravy stroje, ceně práce údržby a náhradních dílů.



Obrázek 7 Úhrnná hodnota nákladů způsobená neplánovanými odstávkami – podle [4].

Pokud je na tyto události nahlíženo samostatně, tyto náklady se mohou jevit minoritní až zanedbatelné. Úhrnná hodnota těchto nákladů však může být v dlouhodobém časovém horizontu vysoká a může významně ovlivnit ekonomiku podniku. Pokud jsou k dispozici veškerá historická data, aby bylo možné tyto události vykalkulovat a zohlednit při rozhodování o investici do prediktivní údržby, stále je těžké určit pravděpodobnost, frekvenci a trvání podobných budoucích událostí. [4]

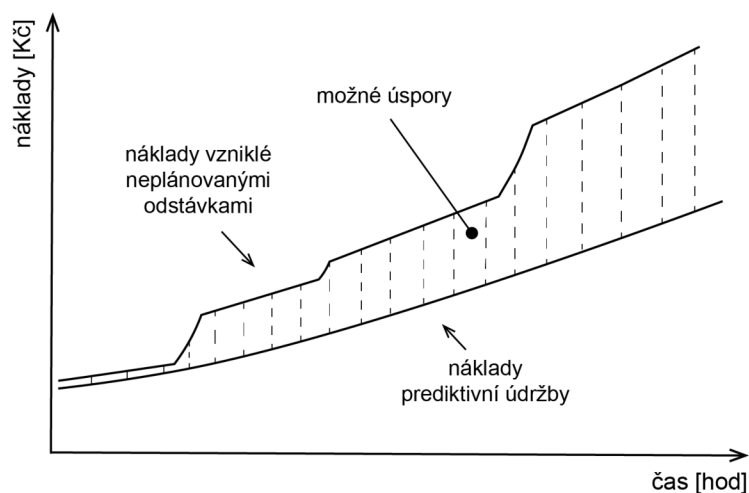
Růst nákladů na údržbu daného zařízení v průběhu jeho životního cyklu je znázorněn na obrázku 8. Jak zařízení stárne, náklady na preventivní údržbu, při které jsou vyměňovány jednotlivé komponenty, rostou. To je zapříčiněno rostoucím opotřebením jednotlivých komponent vedoucí k vyšší četnosti poruch. Náklady na odstranění těchto stále častějších poruch korespondují s vanovou křivkou vysvětlenou v kapitole 1.4. Náklady na údržbu tak ve fázi stárnutí zařízení rostou nejrychleji. Celkové náklady jsou

občas navýšeny o neplánované opravy, kterým nebylo možné předejít pouhou preventivní údržbou.



Obrázek 8 Růst nákladů na údržbu během životního cyklu stroje – podle [4].

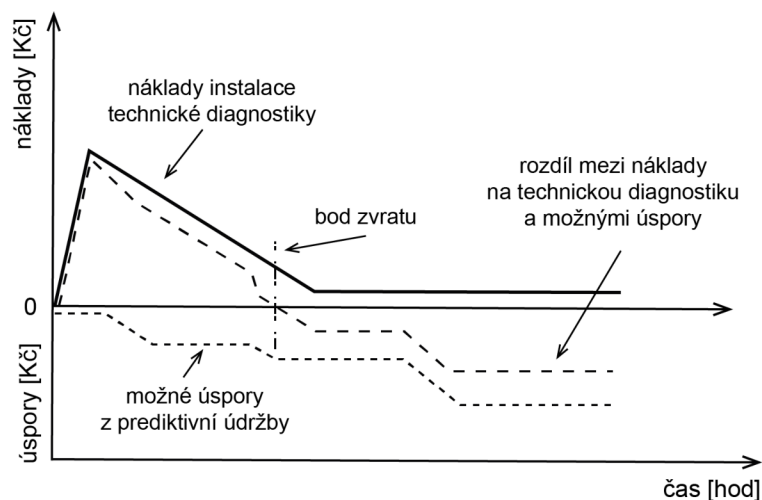
Pokud je implementován funkční program prediktivní údržby využívající nástrojů technické diagnostiky, je možné dosáhnout značných úspor. Průběh nákladů na údržbu zařízení je podobný jako ten u preventivní údržby s tím rozdílem, že zde prakticky nejsou náhlé nárůsty nákladů vzniklých nahodilými poruchami, neboť jim je předejito. Dále v poslední fázi životního cyklu stroje nedochází k tak rapidnímu růstu nákladů z důvodu lepší znalosti kondice zařízení, a tak možnosti provádět patřičná opatření. Průběh těchto nákladů je znázorněn spodní křivkou na obrázku 9. Úspory vzniklé prediktivní údržbou jsou pak rozdílem těchto nákladů a nákladů vzniklých zastavením výroby definované horní křivkou z obrázku 8. Je zřejmé, že vzniklé úspory se projeví zejména v úsporách ve výrobě, nikoliv však přímo snížením nákladů na údržbu.



Obrázek 9 Možné úspory jako rozdíl nákladů vzniklých neplánovanými odstávkami a náklady na prediktivní údržbu – podle [4].

Prvotní náklady při implementaci systému pro sledování kondice zařízení jsou definovány cenou samotného diagnostického zařízení a cenou instalace na zprovoznění systému dodavatelem. Zároveň může vzniknout ušlý zisk, pokud musí být zařízení kvůli instalaci zastaveno. Tomu se dá předejít, pokud je instalace provedena

například během výměny výroby, v čase mezi směnami, anebo během plánované odstávky v závislosti na složitosti instalace. Dalším prvotním nákladem může být školení pracovníků. Následnými operativními náklady jsou hlavně náklady na lidské zdroje neboli práci pracovníků údržby, kteří s danými systémem budou pracovat. Pokud jsou však pracovníci řádně proškoleni a mají dostatečné zkušenosti s těmito systémy a instalovaný systém vede k usnadnění jejich práce, operativní náklady jsou vybalancovány úsporou času pracovníků. Typický průběh nákladů za instalaci a udržování systému pro sledování kondice je znázorněn horní křivkou na obrázku 10. Jestliže je diagnostický systém pouze pronajat, prvotní náklady implementace systému jsou nižší a pronájem se stane operativním nákladem. [3]



Obrázek 10 Náklady investice do diagnostického systému a bod zvratu, při kterém dojde k vyrovnání těchto nákladů a výnosů vzniklých eliminací neplánovaných odstávek – podle [4].

Jestliže má management společnosti potřebné informace o tom, jaké úspory přinese zavedení prediktivní údržby, je provedeno hodnocení efektivity investice. Zjednodušeně řečeno je investice efektivní, jestliže jsou příjmy z investice vyšší než náklady na ni vynaložené.

Příklady metod určení efektivity investice a praktická kalkulace je uvedena v kapitole 6.1.2.

Závěrem lze tedy konstatovat, že i přes zřejmé benefity programu prediktivní údržby není rozhodnutí o provedení investice snadným procesem. Vyžaduje to velké množství informací, zkušeností a znalosti výrobních systémů, aby mohl být posouzen přínos a rizika investice do implementace tohoto programu.

---

## 4 ROZBOR MANAGEMENTU ÚDRŽBY VE VYBRANÉ SPOLEČNOSTI

V této části práce je proveden rozbor managementu údržby vybrané společnosti na základě poznatků popsanych v předešlých kapitolách. V první části je zhodnocen způsob managementu údržby, především jakým způsobem je údržba organizována, plánována a řízena. Dále je věnována pozornost údržbě jedné z výrobních linek. U této linky je popsán způsob klasické a preventivní údržby. Protože má jedno zařízení této linky chronickou historii poruch jedné z hlavních komponent, je nastíněn obecný rozbor příčin těchto poruch a následků pro údržbu a výrobu. Tento stroj byl v minulosti osazen online diagnostickým systémem, který monitoruje hlavní komponenty tohoto stroje za účelem prediktivní údržby. V další části je provedena rámcová technicko-ekonomická analýza investice do pořízení a provozování tohoto diagnostického systému. Dále jsou navržena možná zlepšení pro údržbu dané linky.

### 4.1. Popis společnosti

Společnost Alfa je obchodní společností, jejíž hlavním předmětem činnosti je vývoj, výroba a distribuce axiálních a radiálních soudečkových ložisek a speciálních velkorozměrových ložisek od průměru 400 mm do 1600 mm pro energetický, těžební, metalurgický, zpracovatelský, železniční a automobilový průmysl. Tato ložiska jsou dodávána do celého světa. Příklad takových ložisek je na obrázku 11. V roce 2017 byl průměrný počet zaměstnanců společnosti 241. Jedná se tedy o středně velký podnik. V roce 2017 dosáhla společnost tržeb 326 mil. Kč. [30]



Obrázek 11 Velkorozměrné ložisko vyrobené ve společnosti Alfa.

Výroba hlavních dílčích komponent ložisek (vnější a vnitřní kroužky, klece, valivé elementy) a následná montáž je prováděna přímo v sídle společnosti. Samotná výroba je realizována za pomoci převážně obráběcích strojů (soustružení, broušení, vrtání), tvářecích strojů (lisování valivých elementů a klecí) a zařízení pro chemicko-tepelné zpracování polotovarů.

## 4.2. Organizace údržby

Údržba výrobních zařízení je zajištěna dvanáctičlenným týmem údržby, kteří se zodpovídají jednomu manažerovi údržby. Z pohledu organizační struktury údržby se tedy jedná o centralizovanou strukturu. Tak jak je pro tuto strukturu typické, jednotliví pracovníci jsou specializováni. V tomto případě s oborovým zaměřením:

- na elektrické systémy (elektrikáři) – 4 pracovníci,
- na mechanické systémy (mechanici, strojní zámečníci) – 6 pracovníků.

Dále je zde jeden pracovník, který má na starosti správu výrobních budov. Těchto výrobních objektů (mimo správní a administrativní budovy a sklady) je zde celkově pět. Výroba je v těchto halách rozdělena podle technologického a komponentového hlediska podle tabulky 1.

Tabulka 1 Výrobní haly společnosti.

Označení haly	Hlavní technologie	Vyráběné komponenty ložiska	Průměrná směnnost výroby
OB4	obrábění	kroužky	1
OB5	broušení	kroužky	2
OB6	tepelné zpracování	vše	3
OB6 – S3	soustružení, tváření	kroužky, valivé elementy	1
OB17	obrábění, tváření	mosazné klece	1

Jednotliví pracovníci mají trvalé přiřazení k individuálním výrobním provozům, respektive halám. Výrobní zařízení v hale OB4 jsou udržována dvěma strojními zámečníky a dvěma elektrikáři. Další dva strojní zámečníci sídlí a obstarávají halu OB5. Kalírnu neboli halu OB6 obstarávají dva elektrikáři a jeden strojní zámečník. Toto rozdělení však není fixní. Jednotliví pracovníci podle potřeby vypomáhají s opravami a údržbou zařízení v dalších halách. Údržba zařízení v hale OB6-S3 a OB17 je obstarávána všemi pracovníky údržby kombinovaně.

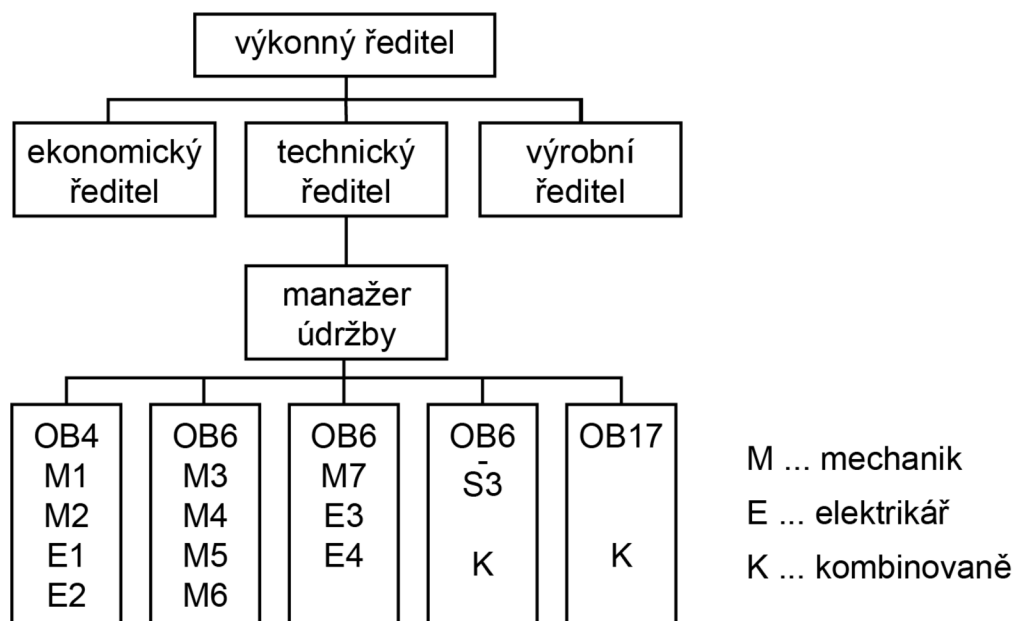
Přiřazení pracovníků údržby k jednotlivým halám, včetně počtu a zaměření těchto pracovníků, je shrnuto v tabulce 2.

Tabulka 2 Organizace pracovníků údržby podle výrobní haly a jejich specializace.

Označení haly	Technické zaměření, počet pracovníků		
	Strojní zámečník	Elektroúdržbář	Správa budovy
OB4	2	3	1
OB5	4	-	-
OB6	1	2	-
OB6 – S3	kombinovaně		
OB17	kombinovaně		

Veškeré výrobní linky jsou tvořeny zejména obráběcími stroji, kterých je 241 kusů s tím, že více než 70 % z nich aktivně vyrábí. Dále jsou zde desítky dalších výrobních zařízení, ať už zařízení pro tepelné zpracování, strojů tvářecích, strojů jednoúčelových a dalších.

Umístění oddělení údržby v organizační struktuře společnosti a organizace údržby v jednotlivých výrobních halách včetně počtu jednotlivých pracovníků je znázorněno na obrázku 12.



Obrázek 12 Umístění organizační struktury v celkové organizační struktuře společnosti.

I přesto, že větší část výroby funguje na dvousměnný provoz, pracovníci údržby, s výjimkou pracovníků údržby provozu tepelného zpracování, nepracují na směny. Je však držena tzv. pohotovost, která zajišťuje, že v pracovní dny v čase od 6:00 hod do 18:00 hodin je vždy přítomen alespoň jeden pracovník, aby bylo možné rychle reagovat na náhlé poruchy. Běžná pracovní doba pracovníků údržby má však klasických 8 hodin od 6:00 hodin do 14:00 hodin, a proto vždy jeden z pracovníků chodí do práce po dobu jednoho týdne od 10:00 hodin do 18:00 hodin. Na této „odložené“ směně se v týdenních intervalech jednotliví pracovníci periodicky střídají. Tak je možné pokrýt alespoň část druhé směny. Pokud některý z provozů vyrábí i přes víkend, je držena pohotovost pracovníky údržby z provozu tepelného zpracování nebo je případně vyžádána extra směna, kdy musí jeden z pracovníků daného provozu přijít i o víkendu. Odpracovaný čas v rámci této extra směny je pak následně proplacen pracovníkovi formou odměny.

Společnost byla nucena z ekonomických důvodů a změny výrobního sortimentu v minulých letech snížit počet zaměstnanců. V minulosti bylo oddělení údržby tvořeno až 40 pracovníky. Nízké personální kapacity údržby tak v současnosti umožňují prakticky pouze reaktivní údržbu. Cílem společnosti je však zvyšovat produktivitu práce a za pomoci nových technologií zabezpečit údržbu strojů současným počtem údržbařů.



---

### 4.3. Plánování a řízení údržby

#### Plánování údržby

S ohledem na nízké kapacity údržby, která neumožňuje implementaci programu proaktivní údržby, je dominantní část údržby vykonávána reaktivně. Řízení a plánování údržby je tedy zejména operativního charakteru. Operativní plán údržby, neboli které zařízení musí být opraveno, vychází vždy z aktuálního stavu a poruch výrobních zařízení. Tento plán je sestavován na základě priorit výroby. Ty jsou stanovovány a komunikovány s údržbou denně na pravidelných poradách, které se konají každé ráno a v poledne. Na těchto poradách, nazývaných „výrobní dispečink“, se vždy sejdou zástupci jednotlivých oddělení a středisek. Jsou zde tak přítomni mistři jednotlivých dílen, vedoucí oddělení údržby, nákupu, ekonomického a výrobního úseku včetně výrobního ředitele. Při ranní poradě jsou definovány největší problémy, určeny priority a sestaven operativní plán denního až týdenního charakteru pro odstranění těchto problémů. Během polední porady je následně provedeno zhodnocení proběhlých aktivit.

Dlouhodobé plánování je ročního charakteru. Na začátku roku je sestaven investiční plán, který vychází ze zkušenosti o poruchovosti jednotlivých strojů. Tento plán zahrnuje hlavně střední a velké opravy, generální opravy a modernizace strojů a pořízení nových strojů. Rozpočet pro údržbu na daný rok vychází zejména z objemu peněz, který je přiřazen celé výrobě.

Během tohoto roku probíhá pilotní testování preventivních oprav strojů. V současnosti jsou prováděny preventivní opravy dvou vybraných zařízení každý měsíc. Informace a zkušenosti obdržené během těchto pilotních preventivních oprav budou sloužit k rozhodnutí o rozsahu a náročnosti implementace programu preventivní údržby v následujícím roce.

Vedle plánu na implementaci programu preventivní údržby jsou v současnosti osazena technickou diagnostikou pilotně čtyři výrobní zařízení. Na těchto zařízeních je tedy cílem aplikovat principy prediktivní údržby. Údržba jednoho z těchto zařízení je předmětem následujících kapitol.

#### Řízení údržby

Organizační struktura oddělení údržby centralizovaná, a jeho chod je řízen vedoucím pracovníkem údržby. Ten každé ráno, na základě výstupů z ranní porady, osobně obchází jednotlivé pracovníky a přiděluje jim úkoly, které je během daného dne potřeba vykonat. Během dne pak následně vykonání těchto úkolů kontroluje.

Určitým nedostatkem pro plánování a řízení údržby je absence jakéhokoliv informačního systému (například systému CMMS) pro zaznamenávání poruch a chodu údržby. To vede k menšímu přehledu o současném stavu veškerých zařízení, ale hlavně nízké znalosti historie poruch, které by měly sloužit pro samotné plánování údržby. Pokud dojde k poruše, tak je mistrem dané dílny vypsán poruchový lístek, který je následně předán na zpracování a slouží jako podklad pro vykonání údržby. V minulosti zde byl pracovník, který veškeré tyto události zaznamenával do patřičného modulu systému SAP. V současnosti však nejsou tyto poruchové lístky zaznamenávány v digitální podobě, což prakticky znemožňuje jakoukoliv zpětnou analýzu těchto událostí. Na druhou stranu, implementace a využívání takového systému představuje určitou administrativní zátěž pro pracovníky údržby. I přesto, že by takový systém v současnosti usnadnil práci pracovníků údržby, jeho implementace se s ohledem na současné vytížení údržby jeví jen těžko dosažitelná.

---

## 5 ÚDRŽBA OBRÁBĚCÍCH STROJŮ

Výroba na obráběcích strojích patří k jedné z nejpřesnějších ve výrobním průmyslu. Aby bylo možné dosahovat požadované přesnosti, jsou kladeny na konstrukci obráběcích strojů vysoké nároky. Systém polohování nástroje a obrobku musí vykazovat vysokou statickou a dynamickou tuhost a vysokou odolnost proti veškerým formám chvění. Posuvová soustava tvořená lineárními pohony a vedeními jednotlivých celků musí zajišťovat plynulý a stabilní pohyb v celém regulačním rozsahu pracovních rychlostí zachováním minimálních vůlí v kinematickém řetězci. Uložení vřetene ve vřeteníku musí být dostatečně tuhé a teplotně stabilní, aby byl zajištěn přesný chod vřetene. Veškeré tyto mechanické subsystémy společně s hydraulickými, pneumatickými, chladicími, odměřovacími, řídicími a regulačními a dalšími systémy tvoří obráběcí stroje náročné na údržbu. [31]

Údržba obráběcích strojů vyžaduje hlubokou znalost všech těchto systémů, ale také porozumění fungování obráběcího stroje jako celku. Porucha jedné systémové komponenty totiž může ovlivnit funkčnost celého stroje a lokalizace této poruchy nemusí být na první pohled zřejmá. Například poškozená pumpa centrálního mazacího systému může způsobit nedostatečné mazání převodového ústrojí vřeteníku vedoucí ke zvýšené hladině vibrací vřetene snižující kvalitu výroby. Z tohoto důvodu musí být většina oprav a větších preventivních zásahů prováděna specializovanými pracovníky servisního týmu výrobce stroje, anebo pracovníky servisní společnosti třetí strany. I přesto však samotný uživatel stroje musí obráběcí stroj důsledně udržovat, aby nedošlo ke zbytečnému opotřebením, poruše a ztrátě přesnosti a funkčnosti stroje.

### 5.1. Plánování údržby obráběcích strojů

Podle periodicity údržby je možné údržbu obráběcích strojů rozdělit následovně:

#### Denní a týdenní údržba

Základní kontrola jednotlivých systémů obráběcího stroje by měla být kontrolována denně přímo obsluhou či údržbou daného zařízení. Tyto dílčí kontroly jednotlivých komponent se mohou trochu lišit v závislosti na konstrukci stroje (soustruh, frézovací stroj, obráběcí centrum atd.). Obecně by se však mělo na začátku a konci každé směny či pracovního dne [32]:

- zkontrolovat tlak hydraulického systému, zda nedochází k úniku hydraulické kapaliny ze systému,
- zkontrolovat provozní kapaliny, zda nejsou znečištěny a zda je jich v jednotlivých systémech dostatek,
- kontrola funkce chladicího systému,
- kontrola tlaku a funkce automatického mazacího systému,
- provést úklid třísek, aby nedošlo k ucpání dopravníku třísek,
- provést základní čištění stroje (stačí jednou týdně) apod.

Je vhodné, aby jednoduchý návod na provedení těchto činností byl zpracován formou dokumentu s rutinními procedurami údržby.



---

## Periodická údržba

Důkladnější údržbářské zásahy jsou prováděny podle intervalu stanoveného výrobcem stroje. Většinou se jedná o interval 500–1000 hodin práce stroje. V praxi by se tak každý měsíc (v závislosti na vytížení stroje a směnnosti provozu) měly provést následující aktivity [33]:

- kontrola dotažení mechanických jednotek,
- mazání příslušných funkčních celků,
- kontrola potrubí a spojek pneumatického, hydraulického, mazacího a chladicího systému (případná výměna kapalin),
- kontrola dopravníku třísek,
- kontrola dotažení svorek elektronických komponent rozvaděče,
- kontrola čistoty senzorů stroje,
- kontrola, čištění a případná výměna filtrů apod.

Neboť se jedná o složitější operace, tyto aktivity by měly být prováděny výhradně kvalifikovanými pracovníky údržby.

## Roční údržba

Přibližně jednou ročně se provádí důsledná kontrola a údržba hlavních celků stroje. Specializovanými servisními technikami mohou být provedeny zkoušky podle řady norem ČSN 230 Zásady zkoušek obráběcích strojů. (34)

Mezi tyto zkoušky patří [35]:

- geometrická přesnost strojů pracujících bez zatížení nebo za kvazistatických podmínek,
- určení přesnosti a opakovatelnosti nastavení polohy v číslicově řízených osách,
- určení tepelných vlivů,
- zkoušky kruhové interpolace u číslicově řízených obráběcích strojů,
- určení emise hluku, určení přesnosti nastavení polohy na diagonálách tělesa a stěn,
- geometrická přesnost os rotace,
- určení měřicích vlastností snímacích systémů číslicově řízených obráběcích strojů.

Na základě těchto zkoušek a testů jsou pak následně opravovány jednotlivé konstrukční celky. Například výměna ložisek vřetene, výměna řemene pohonu vřetene nebo vyrovnání vodicích ploch suportu, saní, smykadla apod.

## Generální opravy, modernizace a retrofitting

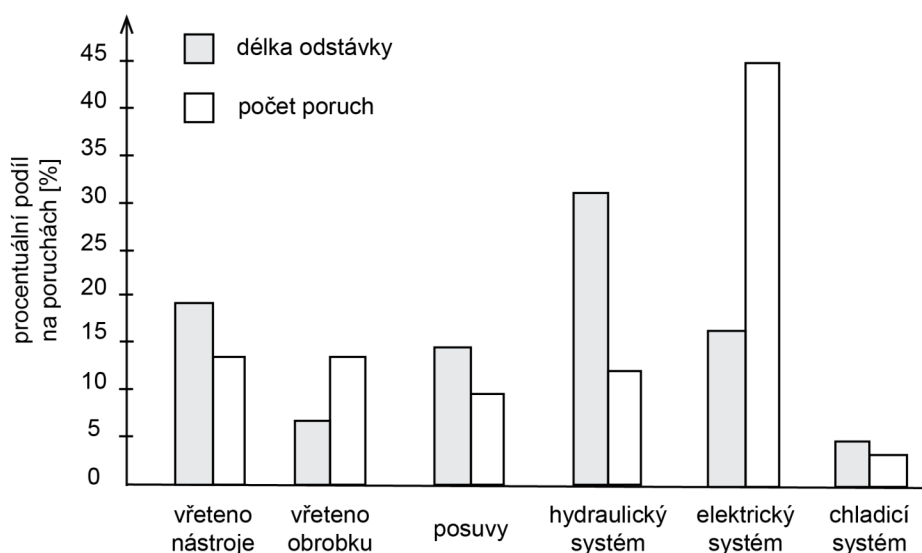
Jestliže se blíží konec životnosti daného stroje, je možné, místo pořízení stroje nového, provést generální opravu. Během generální opravy je celý stroj rozebrán a opotřebované díly jsou renovovány (vrácení opotřebovanému dílu jeho původní geometrický tvar a rozměr – tzv. repase), případně vyměněny za díly nové. Provádí se zejména oprava vodicích ploch, výměna většiny ložisek, výměna pohybových šroubů, výměna ozubených kol a převodů, výměna mazacích a elektrických systémů a nová

povrchová úprava zařízení. Tím je navracena původní funkčnost zařízení a prodloužena jeho životnost. Zároveň je možné zvážit modernizaci stroje neboli tzv. retrofitting, v rámci kterého může být starý obráběcí stroj podle úrovně retrofitingu dovybaven CNC řízením, pohonem a odměřováním jednotlivých os. Dále může být stroj například dovybaven systémem pro automatiku výměny nástrojů nebo diagnostickými systémy pro prediktivní údržbu. Tato rekonstrukce zásadně zvyšuje technickou hodnotu stroje. [32]

### 5.1.1. Nejčastější poruchy obráběcích strojů

Znalost nejrizikovějších komponent obráběcích strojů může usnadnit plánování preventivních zásahů údržby. Informace o tom, které komponenty selhávají nejčastěji, by měly být pečlivě zaznamenávány v servisní dokumentaci stroje a v informačním systému údržby.

Průzkum těchto dat od uživatelů obráběcích strojů vedl k analýze, při které byly jednotlivé komponenty přiřazeny do patřičných subsystémů obráběcího stroje.



Obrázek 13 Četnost poruch a délka odstávek hlavních funkčních celků CNC brousících strojů podle studie provedené na velkém množství strojů – podle [36].

U těchto subsystémů byla následně sledována relativní četnost poruch, ale také délka nutné odstávky, tak jak je znázorněno na obrázku 13. S ohledem na praktickou část této práce je zobrazena analýza poruchovosti CNC brousících strojů. Jak je vidět, nejvíce poruch stroje je zapříčiněno shořením pojistky nebo zkratem v elektronickém systému. Nejdelší dobu opravy vyžaduje hydraulický systém vřeteníku, u kterého je nejporuchovější samotné vřeteno a jeho pohon složený většinou z motoru a řemenového převodu. Ve většině poruch bylo příčinou selhání daných komponent, nikoliv špatné použití stroje. [36]

Pomocí nástrojů technické diagnostiky pak lze rozvoj těchto poruch sledovat a predikovat. Pomocí tribotechnické diagnostiky je možné sledovat hydraulické systémy, pomocí termodiagnostiky elektrické systémy a pomocí vibrační lze sledovat poruchy vřeteníku a posuvů. [14]

---

## 5.2. Údržba linky O.ERRE.PI

Linka O.ERRE.PI, jejíž údržba je předmětem této práce, slouží pro obrábění oběžných drah vnějších kroužků soudečkových valivých ložisek vnějšího průměru 90 mm až 200 mm. Tato linka je tvořena dvěma CNC bruskami italského výrobce O.ERRE.PI, specializujícího se na výrobu brousících a honovacích strojů pro výrobu ložisek. [37] Chod linky je plně automatizován, a tak je její součástí i pásový dopravník zajišťující dopravu polotovarů do prvního stroje, mezi stroji samotnými a z druhého stroje na manipulační paletu. Tato linka je obsluhována jedním operátorem. Linka je umístěna ve výrobní hale OB4, ve které se vyrábí vnitřní a vnější kroužky ložisek.

Oba stroje jsou modelem O.ERRE.PI MTI 250, na obrázcích 14 a 15, umožňující opracování obrobku o vnějším průměru 70 mm až 250 mm a šířce obrobku 10 mm až 90 mm. Model strojů MTI je specializován na obrábění vnitřních průměrů obrobku.



Obrázek 14 Linka O.ERRE.PI na opracování oběžných drah vnějších kroužků valivých ložisek. MTI 250 DRD (blíže na obrázku) a MTI 250 CUP (dále na obrázku).

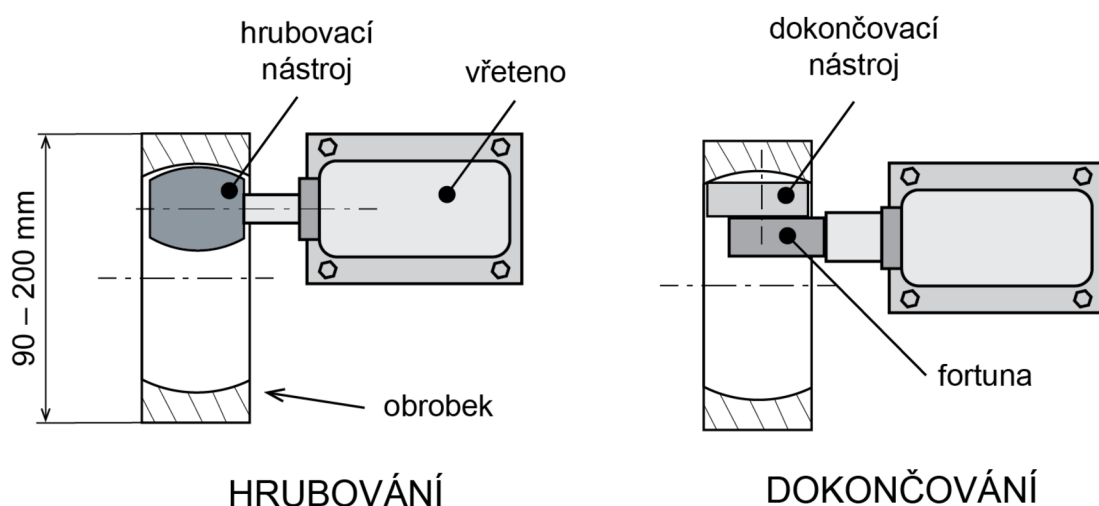
První z dvou strojů nese plné označení O.ERRE.PI MTI 250 DRD a slouží k broušení vnitřní oběžné dráhy na hrubo tvarovým nástrojem. Druhý stroj nese označení O.ERRE.PI MTI 250 CUP a slouží k broušení oběžné dráhy na hotovo.



Obrázek 15 Pohled na rozvaděče obou strojů a zařízení pro čištění chladicí emulze, které má každý stroj vlastní.

U obou strojů je upnutí obrobku na vřetenu obrobku realizováno na magnetickém talíři v opěrkách. U obou strojů jsou jako vřetena nástroje použita elektro-vřetena. U hrubovacího stroje je nástroj upnut ve sklíčidle přímo na samotném vřeteni – což je symbolizováno v označení stroje písmeny DRD. Rotační osa nástroje je tak rovnoběžná s rotační osou obrobku.

Rotační osa brousícího nástroje u broušení na hotovo je však kolmá na rotační osu obrobku, a proto je nástroj upnut v tzv. fortuně – označení stroje CUP, která je spojena s elektro-vřetenem a umožňuje vyosení nástroje o 90°, tak jak je schématicky zobrazeno na obrázku 16.



Obrázek 16 Schématické znázornění polohy orientace os nástroje a obrobku při hrubování (vlevo) a při dokončování (vpravo).

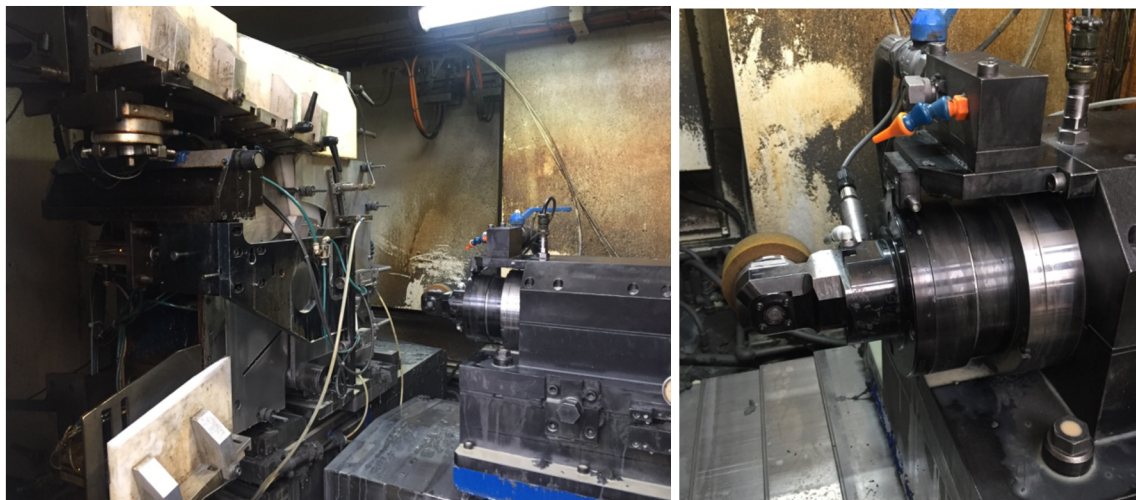
Tyto fortuny jsou používány dvojí velikosti. Ta menší slouží na broušení kroužků o vnějším rozměru 90 mm až 150 mm a ta větší pro rozměry 160 mm až 200 mm podle tabulky 3.

Tabulka 3 Používané fortuny podle obráběného rozměru.

Vnější průměr obrobku	Typ fortuny	Počet používaných fortun
90 až 150 mm	malá	2 ks
160 až 200 mm	velká	2 ks

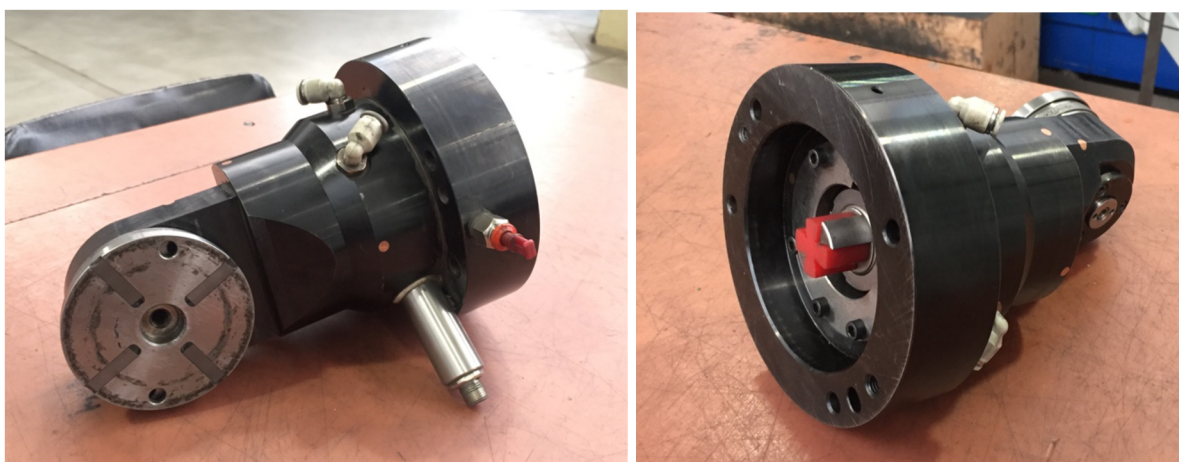


Fortuna tedy slouží k vyosení nástroje, tak jak je vidět na obrázcích 17 a 18, a přenosu kroutícího momentu z elektro-vřetene na nástroj pomocí ozubeného převodu. Fortuny jsou měněny podle potřeby výroby operátorem stroje.



Obrázek 17 Pracovní prostor stroje (vlevo) a fortuna připevněná na elektro-vřeteni (vpravo).

Konstrukčně je fortuna připevněná na elektro-vřeteno šrouby přes přírubu fortuny. Přenos kroutícího momentu z elektrovřetene je realizován skrze hřídel se spojkou. Tato hřídel pohání ozubené soukolí tvořené kuželovými koly s přímými zuby.



Obrázek 18 Demontvaná fortuna. Pohled na plochu pro upevnění nástroje (vlevo) a připojovací přírubu s připojovací hřídelí a spojkou (vpravo).

Právě poruchovost ozubení a ložisek fortuny na druhém stroji je nejpálčivějším problémem této výrobní linky. Během posledních pěti let selhala funkčnost minimálně pěti fortun, což vedlo k neplánovanému zastavení výroby a vysokým nákladům na opravu.

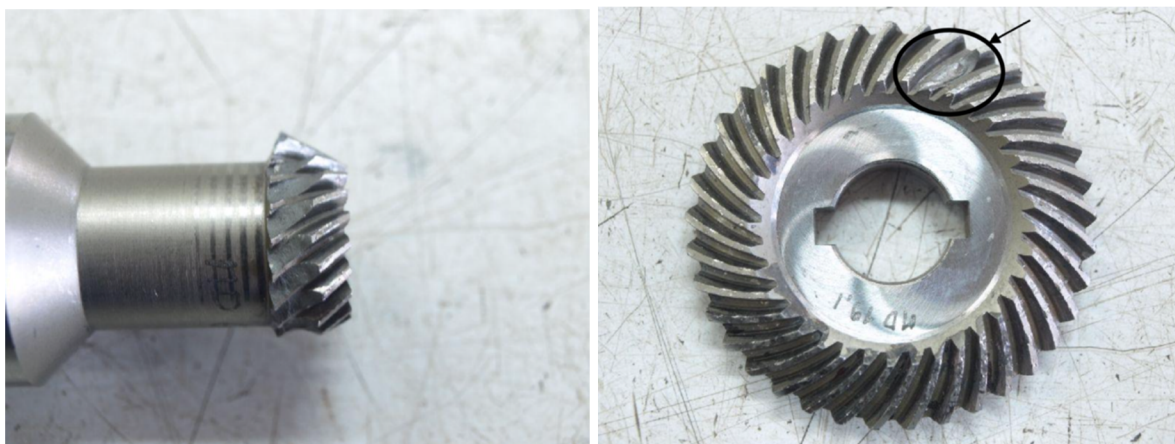
---

### 5.2.1. Poruchy fortun

Největším problémem fortuny je nízká životnost ozubení a ložisek. Zejména selhání ozubení způsobuje značné potíže, neboť na rozdíl od výměny ložisek, které lze provést přímo v údržbářské dílně pomocí výměny snadno dostupných ložisek, porucha ozubení vede k reklamaci nebo pořízení nové fortuny v hodnotě 160 000 Kč u dodavatele stroje O.ERRE.PI.

Vzhledem k neochotě společnosti O.ERRE.PI fortunu reklamovat při jedné z poruch, byl proveden odborný posudek, aby byla analyzována příčina porušení ozubení kuželového ozubení fortuny.

U pastorkového kola během poruchy došlo na polovině obvodu k odlámaní zubů, obrázek 19 vlevo. Tyto lomy byly náhlé. Prohlídkou lomových ploch nebyly nalezeny na žádné lomové ploše znaky únavového šíření trhliny. Povrch ostatních zubů byl poškozen odlomenými částmi zubu kola a zubů pastorků. [38]



Obrázek 19 Ulomené zuby pastorku (nalevo) a ulomený zub kola (vpravo) [38].

U kola kuželového převodu došlo k ulomení jednoho zubu, obrázek 19 vpravo. Stejně jako u pastorkového kola, povrch ostatních zubů byl poškozen odlomenými částmi zubu kola a zubů pastorku. Hlavní příčinou poškození ozubeného převodu bylo nevhodné tepelné zpracování. Důsledkem použití vysoké kalící teploty vznikla nevhodná mikrostruktura, která měla nižší mechanické hodnoty než mikrostruktura kalená ze správné teploty. Z těchto příčin došlo nejprve k odlomení zubů pastorku mechanizmem náhlého lomu a následně vlivem nestandardního chodu ozubení došlo k odlomení zubu kola únavovým lomem. [38]

### 5.2.2. Průběh odstávky

Průběh odstávky je při poruše ložisek nebo ozubení fortuny velmi podobný. Liší se však zásadně délkou této odstávky. V tabulce 4 je popsána posloupnost kroků vedoucí k odstranění poruchy ložisek fortuny.

Tabulka 4 Průběh odstávky linky O.ERRE.PI při selhání ložisek fortuny.

Krok	Popis	Vykonává	Časové trvání
1.	zjištění poruchy	obsluha stroje	0,5 až 2 hodiny
2.	zastavení stroje		
3.	informování o poruše		
4.	vypsání poruchového lístku	mistr výroby	
5.	předání poruchového lístku		
6.	lokalizace problému	údržba	
7.	demontáž fortuny ze stroje		
8.	určení příčiny poruchy		
9.	výměna ložisek		
10.	potvrzení poruchového lístku		
11.	předání fortuny obsluze stroje	obsluha stroje	0,5 až 1 hodina
12.	instalace fortuny		
13.	zprovoznění stroje		
<b>Celková délka odstávky</b>			<b>5 až 9 hodin</b>

Délka odstávky způsobené poruchou ložisek je 5 až 8,5 hodin neboli přibližně jedna pracovní směna. Délka opravy fortuny (krok 5. až 9.) závisí na tom, zda jsou k dispozici náhradní ložiska. Jedna sada je většinou skladem na dílně údržby, jinak je však jejich dodání 2 týdny. Zároveň je zde předpokládáno, že oprava fortuny je stanovena jako prioritní oprava. Jestliže pracovníci údržby musí řešit jiný problém s vyšší prioritou, tento interval se může několikanásobně prodloužit.

Pokud dojde k poruše během občasné víkendové směny, odstávka může být ještě delší. A to i přes to, že jsou ve výrobě vždy přítomni alespoň pracovníci údržby z kalírní. Opravu fortuny však musí provádět pracovníci údržby za haly OB4, kteří s touto údržbou mají zkušenosti.

Paralelně s tímto procesem opětovného zprovoznění stroje probíhá komunikace s výrobním oddělením, neboť zastavení této linky má vliv na celkovou produkci ložisek.

Selže-li ozubení převodového ústrojí fortuny, průběh odstávky je prakticky totožný, až na to, že po identifikaci příčiny selhání fortuny je potřeba objednat fortunu novou, tak jak je popsáno v tabulce 5.

Tabulka 5 Průběh odstávky linky O.ERRE.PI při selhání převodového ústrojí fortuny.

Krok	Popis	Vykonává	Časové trvání
1.	zjištění poruchy	obsluha stroje	0,5 až 2 hodiny
2.	zastavení stroje		
3.	informování o poruše		
4.	vypsání poruchového lístku	mistr výroby	
5.	předání poruchového lístku		
6.	lokalizace problému	údržba	
7.	demontáž fortuny ze stroje		
8.	určení příčiny poruchy		
9.	požadavek na nákup		

10.	objednání fortuny	nákup	cca 5 pracovních dní
11.	doručení fortuny	údržba	
12.	předání fortuny obsluze stroje	údržba	
13.	instalace fortuny	obsluha stroje	0,5 až 1 hodina
14.	zprovoznění stroje		
<b>Celková délka odstávky</b>			<b>5 až 6 dní</b>

S ohledem na neochotu dodavatele fortuny, italského výrobce strojů O.ERRE.PI, je při poruše ozubení fortuny nakoupena nová. Dodání fortuny trvá přibližně 5 pracovních dní, pokud je u dodavatele na skladě. Jestliže však fortuna není na skladě, její výroba může trvat až 14 týdnů.

Délka takovéto odstávky je tak v řádu dnů, což výrazně ovlivňuje celou výrobu.

Z důvodu kritičnosti této komponenty a její vysoké četnosti poruch je používána redundantní fortuna, viz tabulka 3. Pro každou velikost fortuny je tedy k dispozici fortuna redundantní.

I přes toto opatření však dochází k neplánovaným odstávkám vlivem selhání obou fortun během stejného času.

Aby bylo možné těmto neplánovaným odstávkám předcházet, byl na stroj implementován diagnostický systém, který by měl předem informovat o zhoršujícím se stavu fortuny. Tento systém je popsán v následující kapitole.

### 5.2.3. Další problémy linky

Mimo poruchovost fortun nedochází pravidelně k dalším významným poruchám.

Jediným větším problémem bylo selhávání funkčnosti elektromotoru orovnávacího zařízení hrubovacího stroje. Ten nebyl dostatečně chráněn od proudu chladicí kapaliny během obrábění a docházelo tak ke zkratu a zničení motoru. Životnost motoru byla tedy přibližně 6 měsíců. Tento problém však byl vyřešen novým krytováním motoru eliminující vystavení motoru chladicí kapalině.

Dále občas dojde k selhání některého ze senzorů dopravníku, což zastaví celou linku. Většinou k tomu však dojde vlivem znečištění senzoru a odstranění této poruchy je tak velmi snadné.

Jednou došlo také k poškození odměřovacího zařízení Marposs, jehož oprava trvá 6 týdnů a dodání nového kusu 8 až 10 týdnů.

Drobným, z hlediska údržby stroje však podstatným, problémem je velmi nízký tlak v pistolí stlačeného vzduchu a v pistolí s čistící emulzí. Ty mají sloužit k čištění pracovního prostoru stroje. Tlak čistící emulze je velmi nízký a umožňuje pouhý nástřik emulze na znečištěné místo, nikoliv však čištění tlakovou kapalinou. Tlak stlačeného vzduchu je také velmi nízký. Čištění pracovního prostoru stroje je tak nesmírně zdlouhavé a s ohledem na to, že obsluha nemá vyhrazen dostatek času na čištění stroje, je samotné čištění zanedbáváno. Toto znečištění však následně může vést ke ztrátě funkčnosti některých komponent.



### 5.2.4. Dostupnost náhradních dílů

Dostupnost vybraných komponent linky a jejich cena je uvedena v tabulce 6. Jak je vidět, kromě samotné fortuny je možné považovat i měřidlo Marposs jako rizikovou komponentu s ohledem na dlouhou dodací dobu nového kusu nebo délku opravy.

Tabulka 6 Dostupnost klíčových dílů linky O.ERRE.PI.

Komponenta	Dostupnost	Cena
fortuna	skladem u výrobce v Itálii, dodání do 5 pracovních dní	6 200 EUR (cca 160 000 Kč)
ozubené soukolí	výroba do 5 týdnů	25 000 Kč při odběru 5 ks
ložiska fortuny	2 sady skladem, do 2 týdnů nové	-
motor orovnávacího zařízení	1 ks skladem, do 2 týdnů nový, převinutí motoru do 3 pracovních dní	nový motor 3 653 Kč
kuličkový šroub	oprava kuličkového šroubu do 7 pracovních dní	-
měřidla Marposs	oprava 6 týdnů, nové 8 až 10 týdnů	-
snímače všeobecně	nové 2 až 14 dnů	-

### 5.2.5. Plán údržby linky

Na základě podkladů od výrobce stroje a zkušeností pracovníků údržby byl sestaven denní, týdenní, měsíční a roční plán údržby pro linku O.ERRE.PI, tabulka 7.

Tabulka 7 Denní, týdenní, měsíční a roční plán údržby linky O.ERRE.PI.

<b>Časový interval: denně</b>	<b>Údržbu vykonává: obsluha</b>
<b>část/komponenta stroje</b>	<b>popis</b>
klimatizace rozvaděče	kontrola funkce
pneumatický systém	kontrola tlaku, funkce
automatický mazací systém	kontrola tlaku, funkce
automatický mazací systém	kontrola hladiny oleje
mazání olejovou mlhou	kontrola hladiny oleje
chladicí soustava	kontrola tlaku, funkce
stroj	čištění funkčních ploch
<b>Časový interval: týdně</b>	<b>Údržbu vykonává: obsluha</b>
<b>část/komponenta stroje</b>	<b>popis</b>
automatický mazací systém	kontrola hladiny oleje, dolití
mazání olejovou mlhou	kontrola hladiny oleje, dolití
stroj	čištění celého stroje
<b>Časový interval: měsíčně</b>	<b>Údržbu vykonává: údržba</b>
<b>část/komponenta stroje</b>	<b>popis</b>
celý stroj	kontrola dotažení mechanických jednotek
celý stroj	mazání
odsávání	kontrola účinnosti, čištění
vzduchové filtry	kontrola průchodnosti
<b>Časový interval: rok</b>	<b>Údržbu vykonává: údržba + odborný servis</b>
<b>část/komponenta stroje</b>	<b>popis</b>
pneumatické válce	kontrola
hnací řemeny	kontrola opotřebení, napnutí
servomotory	kontrola
zařízení na filtraci oleje	kontrola

---

Obsluha má tedy denně a týdně kontrolovat funkčnost hlavních systémů stroje a čistit stroj. Problémem však je, že s ohledem na plnění norem výroby není vyhrazen téměř žádný čas na čištění stroje, které zabere velké množství času (navíc s nedostatečným tlakem v pistoli stlačeného vzduchu a čisticí emulze). To vede k tomu, že je tato údržba částečně zanedbávána. V minulosti přitom bývaly vyhrazeny 2 hodiny pouze na úklid stroje během páteční směny.

### 5.3. Technická diagnostika strojů

Technická diagnostika je obor zabývající se metodami a prostředky zajišťování technického stavu zařízení. Tímto stavem neboli kondicí je myšlena provozuschopnost zařízení za daných provozních podmínek. Hlavními úkoly technické diagnostiky je detekce, lokalizace, specifikace a predikce. Během detekce jsou odhaleny první příznaky vznikající poruchy. Lokalizací jsou určeny vadné konstrukční celky. Specifikací jsou určeny příčiny vznikající poruchy na základě analýzy diagnostických veličin. Tyto veličiny jsou většinou ve formě surových dat (například vibrace, teplota apod.). Jejich vhodné zpracování pak dává informaci o technickém stavu zařízení. [15]

Technický stav systému je vyhodnocován diagnostickým systémem, který se skládá z diagnostického zařízení a diagnostických prostředků a metod, které slouží k vyhodnocení technického stavu zařízení. Diagnostické metody lze rozdělit na subjektivní a objektivní. Subjektivní metody využívají lidských smyslů. Je patrné, že ač se jedná o nejdostupnější metodu, přesnost určení reálného technického stavu tímto způsobem je velmi nízká a vyžaduje velmi zkušeného pracovníka. Na druhé straně objektivní metody využívají diagnostických systémů měřící jednotlivé fyzikální veličiny, na základě kterých lze exaktně určit kondici zařízení. Tyto systémy se skládají ze senzorů jednotlivých fyzikální veličin, sběrnice dat a výpočetního zařízení s diagnostickým softwarem, který usnadňuje pracovníkovi data zpracovat. Tyto diagnostické systémy mohou být permanentně nainstalovány na stroji a sledovat jednotlivé parametry nepřetržitě a určovat jejich kondici automatizovaně. V tomto případě hovoříme o online monitoringu. Pokud je měření prováděno manuálně pomocí přenosných zařízení, hovoříme o off-line monitoringu. V české terminologii se také často používá termín pochůzková diagnostika. [15]

Mezi nejpoužívanější metody technické diagnostiky patří vibrační analýza (vibrodiagnostika), termodiagnostika, tribotechnická diagnostika a vizuální kontroly. Termodiagnostikou je prováděna nejčastěji inspekce elektronických zařízení, kdy jsou pomocí teploty hledány vadné a přetěžované elektronické okruhy a komponenty. Tribotechnickou diagnostikou je analyzováno mazivo, kterým jsou mazány sledované konstrukční celky. Vibrodiagnostika, termodiagnostika i tribotechnická diagnostika jsou diagnostickými metodami nedestruktivními a zároveň mohou být prováděny bez demontáže a zastavení daného zařízení. Naproti tomu, vizuální kontrola většinou vyžaduje alespoň částečnou demontáž zařízení, a tím zastavení stroje. [15]

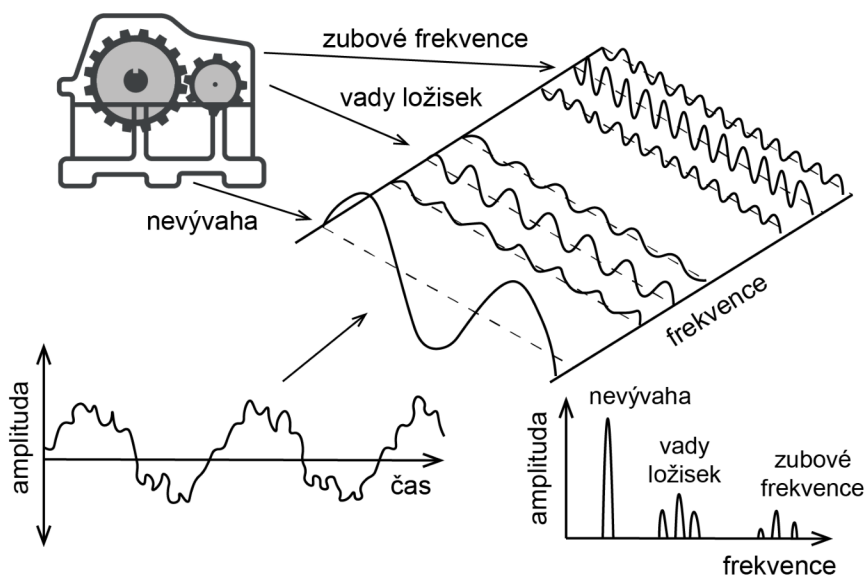
#### Vibrační analýza

Vibrační analýza je založena na měření vibrací sledovaných konstrukčních uzlů. Tyto vibrace jsou způsobeny zejména dynamickým namáháním stroje, kondicí ložisek, převodovek, hřídelí a ostatních rotačních součástí. Tato diagnostická metoda vychází z toho, že každý poruchový stav má svou rozlišitelnou vibrační frekvenci, kterou lze z měřeného signálu vibrací izolovat a přiřadit k dané komponentě, a že amplituda

těchto vibrací zůstává konstantní, jestliže se nemění dynamika pohonu stroje (nemění se otáčky, zatížení). [4]

Vibrace předznamenávající poruchu ložisek a převodovek vznikají vlivem mechanického opotřebení jednotlivých částí těchto komponent. U valivých ložisek dochází poškození vnějšího či vnitřního kroužku nebo samotných valivých elementů vlivem únavy materiálu (pitting), mechanickým poškozením vlivem nedostatečného mazání, zatížení vlivem nesouososti uložení, špatnou montáží nebo plastickou deformací valivých elementů zapříčiněných vysokým statickým nebo dynamickým zatížením ložiska. U převodovek dochází vedle poškození samotných ložisek také k poškození ozubených kol. [16]

Senzory vibrací umístěné v bezprostřední blízkosti sledovaného uzlu však neměří pouze vibrace, například daného ložiska nebo ozubení. Signál ze senzoru totiž obsahuje data o vibracích celé komponenty a stroje. To je způsobeno tím, že vibrace se přes celý stroj, jakožto kovovou mechanickou soustavu, šíří, a tak může být měření na daném místě ovlivněno zdrojem vibrací například na druhém konci hřídele. Signál ze senzoru je proto zpracován nejčastěji pomocí rychlé Fourierovy transformace (FFT – Fast Fourier Transformation). Tato matematická transformace rozkládá signál na soubor harmonických funkcí, které se liší amplitudou, úhlovou frekvencí a svou počáteční fází. Princip Fourierovy transformace je zjednodušeně graficky znázorněn na obrázku 20. [3, 16]



Obrázek 20 Princip Fourierovy zjednodušené transformace – podle (16).

Tato analýza slouží zejména k odhalení kořenové příčiny poruchy. Na základě znalosti poruchových frekvencí tak lze určit, které ložisko je poškozeno a o jakou poruchu se jedná. Může tak být například určeno, že na daném ložisku dochází k pittingu na vnitřním kroužku. Stejně tak znalost kinematických poměrů ozubení umožňuje určit, které ozubené kolo je poškozeno a lze odhadnout příčinu tohoto poškození. Další používané metody jsou pak dále například obálková metoda, modální analýzy v různých frekvenčních spektrech a další. Pokud se jedná o užití vibrační analýzy pro potřeby prediktivní údržby, jednou z nejdůležitějších metod je tendování intenzity vibrací, které umožňuje sledovat růst vibrací v čase předznamenávající zhoršující se technický stav zařízení. Porovnávání aktuální hodnoty vibrací s předchozí hodnotou umožňuje objektivně určit technický stav zařízení. Grafické vyjádření funkční závislosti intenzity vibrací v čase koresponduje s vanovou křivkou, na základě které lze

---

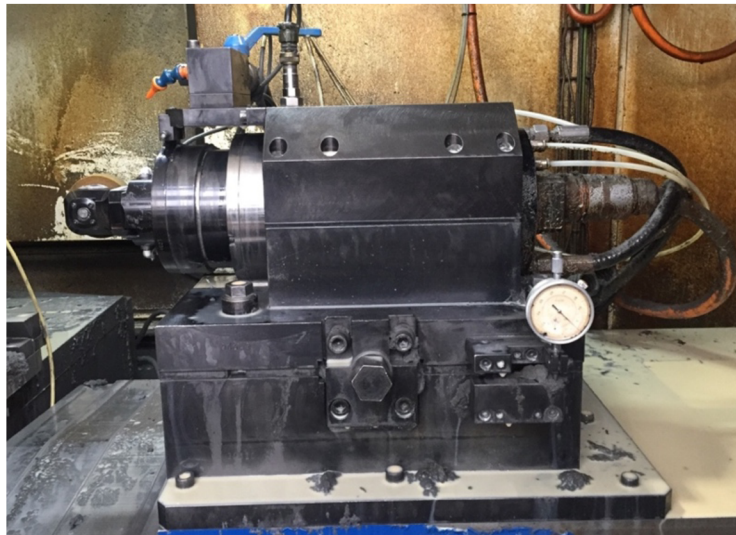
odhadovat zbytkovou životnost dané komponenty dopočítáním průběhu trendu do limitní hodnoty. [4, 16]

Právě limitní hodnoty vibrací jsou stěžejní pro rozhodování pracovníků údržby. Tyto limitní hodnoty jsou většinou určeny odpovídající normou a předpisy, výrobcem zařízení anebo na základě matematicko-statistických metod. Tyto limitní hodnoty se však v průběhu času mění s měnící se kondicí celého stroje. Limitní hodnoty následně dělí celý rozsah možných vibrací na intervaly definující kondici stroje. Tyto intervaly mohou být například: dobrý stav, bdělost, výstraha, nebezpečí a porucha.

### 5.3.1. Diagnostický systém linky O.ERRE.PI

S ohledem na poruchovost brusného a unášecího vřetene stroje byl koncem roku 2017 implementován diagnostický systém společnosti 4dot Mechatronic Systems. Ten se skládá z diagnostické jednotky se senzory instalovaných na stroji a následné analýze a interpretaci dat formou vzdálené služby. Diagnostická jednotka na stroji je ve vlastnictví uživatele stroje, samotná diagnostika kondice zařízení je však outsourcována.

Brusné vřeteno a unášecí vřeteno jsou sledovány vibrační analýzou, která umožňuje na základě zvýšení hladiny vibrací odhalit první příznaky rozvoje poškození ložisek ve vřetenech či poškození převodového ústrojí fortuny. Unášecí vřeteno je sledováno pomocí jednoho jednoosého senzoru vibrací, což umožňuje určit kondici ložisek vřetene. Fortuna je se svým ozubeným převodovým ústrojím komplexnějším kinematickým řetězcem, jejíž kondice je sledována pomocí dvou senzorů vibrací, viz obrázek 21.



Obrázek 21 Brousící vřeteno s fortunou. V horní části senzor vibrací.

Senzory vibrací jsou na měřených místech přišroubovány na přípojném bodu, který je trvale přilepen přímo na danou komponentu, viz obrázek 22. Tento způsob připojení senzorů umožňuje snadnou montáž a demontáž senzorů v případě výměny fortuny při změně výroby, anebo při nutnosti servisního zásahu. Z důvodu, že je fortuna měněna v závislosti na typu výroby, obě používané fortuny jsou vybaveny těmito přípojnými body. Při změně fortuny tak obsluha stroje pouze odpojí dané senzory z první fortuny a po instalaci fortuny druhé opět senzory připojí. Aby diagnostický systém rozpoznal jednu fortunu od druhé, jsou jednotlivé fortuny vybaveny elektronickými značkami.



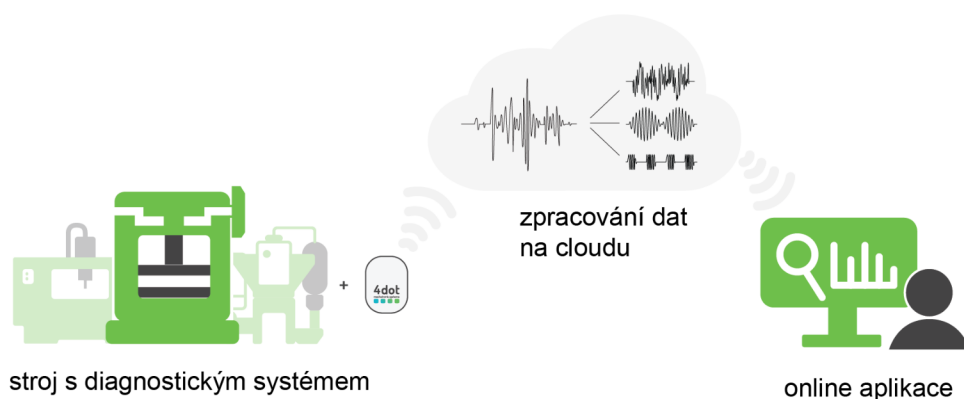


Obrázek 22 Senzor vibrací měřící vibrace vřetene a fortuny.

Tento diagnostický systém je na stroji instalován a měří vibrace obou komponent permanentně. Jedná se tedy o online diagnostický systém. Funkčnost systému je následující:

1. Diagnostická jednotka nepřetržitě snímá vibrace jednotlivých komponent.
2. Data jsou odesílána na server dodavatele, kde jsou analyzována a interpretována formou informace o efektivní úrovni vibrací a dalších parametrech umožňující sledování kondice stroje.
3. Tyto informace jsou znázorněny ve webové aplikaci.

Toto probíhá nepřetržitě. Schématické znázornění funkčnosti systému je na obrázku 23.

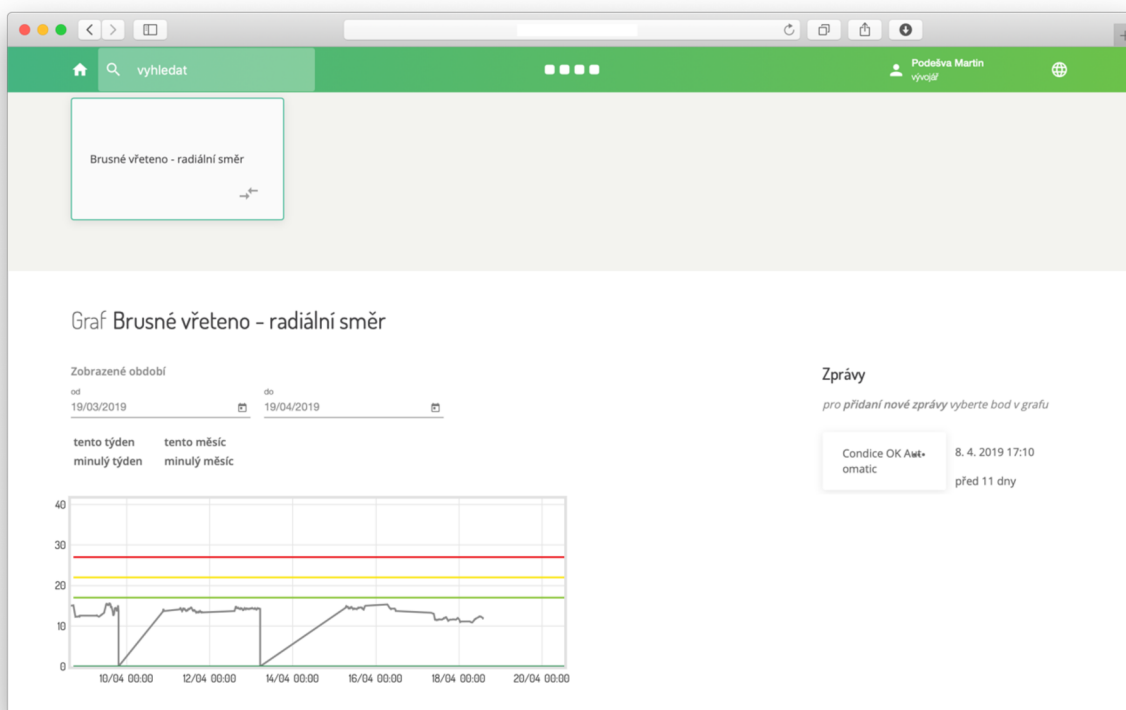


Obrázek 23 Schématické znázornění cloudového řešení služby monitoringu stroje [39].

Výhodou tohoto cloudového řešení je prakticky úplná autonomie systému. Jelikož jsou měřená data vyhodnocována dodavatelem, údržba společnosti není zatížena ani samotným měřením, ani zpracováním dat. I přesto, že investice do tohoto systému byla vyšší než při pořízení běžného přenosného zařízení, převažuje tuto cenu značná úspora času (a tedy i nákladů) pracovníků údržby. Ti by totiž museli být proškoleni a museli by pravidelně dané komponenty měřit a následně naměřená data vyhodnocovat. Vzhledem ke kritičnosti daného stroje a vytíženosti pracovníků údržby byl zvolen tento autonomní diagnostický systém.

### 5.3.2. Výstupy diagnostického systému

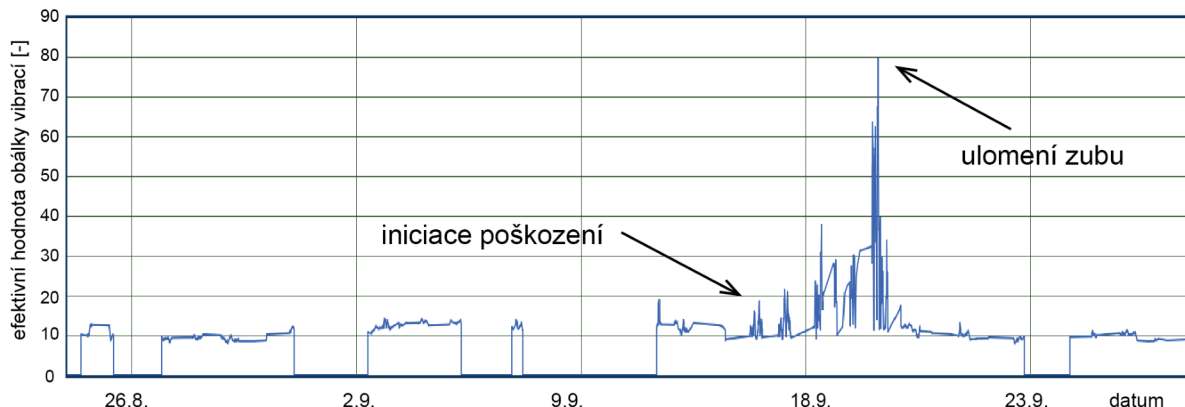
Kromě samotného zpracování dat dodavatel poskytuje i technickou podporu, při které pravidelně validuje funkčnost systému, ale také nastavuje limitní hodnoty vibrací, a v případě nestandardního chodu stroje nebo poruchy lokalizuje poruchu a určí příčinu poruchy. Výstupy monitoringu a analýz jsou k dispozici ve webové aplikaci, jejíž náhled je na obrázku 24. Tato aplikace umožňuje sledovat kondici jednotlivých komponent, ale také přiřazovat k datům jednotlivé poznámky, které umožňují lepší zpětnou analýzu. Pokud tak na stroji dojde například k výměně ložiska, výměně oleje, změně nástroje nebo jakékoliv jiné významné události, je možné tuto informaci přiřadit přímo ke změně sledovaného parametru. Zpětně je tak možné analyzovat vliv těchto událostí na chod a kondici stroje. Dále tento systém umožňuje sledovat vytížení stroje. Tato webová aplikace je však ve společnosti k dispozici pouze krátce, a tak tato funkcionality není zatím hojně využívána.



Obrázek 24 Webová aplikace IDA sloužící k monitoringu kondice stroje.

Tato aplikace zároveň umožňuje sledovat kondici dalších strojních zařízení, která jsou vybavena diagnostickým systémem. V současnosti jsou vedle stroje O.ERRE.PI pilotně osazeny další tři zařízení.

Výstupy z analýz diagnostického systému jsou zobrazeny na obrázcích 25 a 26. V prvním případě, na obrázku 25, došlo k poškození pastorkového kola ozubeného převodu fortuny. Po iniciaci poškození, během kterého došlo k nalomení zubu, stroj neustále vyráběl po dobu minimálně jedné směny, dokud nedošlo k úplnému ulomení zubu. Během této doby byly vyráběny vadné kusy.



Obrázek 25 Ulomení zubu pastorkového kola fortuny [40].

V druhém případě, na obrázku 26, došlo k ulomení malého kusu jednoho ze zubů pastorku. Během prvního dne tak bylo vyráběno při zvýšené hladině vibrací fortuny. Tyto vibrace však neměly zásadní vliv na jakost obrobku. Během druhého dne však došlo k dalšímu rozvoji poškození vedoucí k vyšší hladině vibrací fortuny způsobující nízkou jakost obrobku.



Obrázek 26 Ulomení zubu pastorkového kola fortuny a její výměna [41].

V obou těchto případech byla analýza provedena až zpětně, a tak nebylo zabráněno výrobě zmetků. V minulosti však podobná data sloužila jako podklad při úspěšné reklamaci jedné z fortun.

Vznik poškození byl nejspíše zapříčiněn náhlým odlomením materiálu. Propagace tohoto poškození je tedy daleko rychlejší, než když by docházelo k postupnému poškození vlivem rozvoje pittingu.

Diagnostickým systémem tedy není možné plně odhalit tento druh poškození, v budoucnu by však měl alespoň vést k zastavení stroje, aby nedocházelo k výrobě zmetků. Cílem je však zjistit příčiny vedoucí k poškození fortun.

## 6 OPTIMALIZACE ÚDRŽBY VE VYBRANÉ SPOLEČNOSTI

### 6.1. Ekonomické zhodnocení pořízení diagnostického systému

Aby bylo možné zhodnotit úspory vzniklé pořízením diagnostického systému umožňující prediktivní údržbu, je v první řadě nutné určit strukturu nákladů, které vznikají během poruchy stroje a následné odstávky.

#### 6.1.1. Kalkulace nákladů odstávky

Náklady odstávky vzniklé poruchou stroje jsou složeny z jedné strany z výdajů, které je potřeba vynaložit na opětovné zprovoznění stroje, a finančních ztrát způsobených zastavením výroby na straně druhé.

Náklady na opravu stroje a znovuzprovoznění stroje lze relativně snadno vyčíslit. Jedná se o sumu cen náhradních dílů a nákladů spjatých s prací pracovníků údržby (mzdové náklady, režie atd.), které se odvíjí od objemu práce, která musí být vynaložena na odstranění poruchy.

Kalkulace nákladů tvořených ztrátami vlivem zastavení výroby je poněkud složitější. Zjednodušeně jsou však tyto náklady tvořeny ušlým ziskem vzniklým nevyrobením příslušného množství kroužků a nemožností dodat zkompletovaná ložiska zákazníkovi.

Tento ušlý zisk úzce souvisí se strukturou jednicové ceny ložiska, podle tabulky 8. Tato cena je tvořena variabilními náklady a příspěvkem na úhradu fixních nákladů a ziskem. Variabilní náklady závisí na objemu výroby. Patří zde zejména energie na chod stroje, mzdy operátorů, opotřebení stroje a další přímé náklady jako náklady na materiál výrobku a opotřebení potřebných nástrojů apod. [9, 10]

Příspěvek na úhradu fixních nákladů a zisku je rozdílem mezi prodejní cenou výrobku a variabilními náklady výrobku. Tento příspěvek tvoří výnos, který pokrývá fixní režijní náklady. Fixní režijní náklady se ve sledovaném období nemění se změnami objemu výroby. Část z nich však nelze jednoznačně přiřadit jednotlivým výrobkům a obvykle slouží k zajištění chodu podniku jako celku. Mezi tyto náklady patří například odpisy stroje a výrobní haly, náklady na administrativu, údržbu apod. Částka, která je nad tyto režie, je rovna zisku z prodeje jednoho výrobku. [9]

Tabulka 8 Struktura nákladů výroby ložiska – podle [9].

cena výrobku – ložiska			
variabilní náklady		příspěvek na úhradu fixních nákladů a zisku	
přímé náklady	variabilní režie	fixní režie	zisk
	režie		

Jestliže tedy není možné ložiska dodat zákazníkovi a tržbou pokrýt tyto náklady, vznikají finanční ztráty závislé na objemu nedodané dodávky.

Při poruše fortuny linky O.ERRE.PI je ztráta tvořena náklady spojenými výrobou vadných kusů (zmetků) a samotným zastavením výroby.

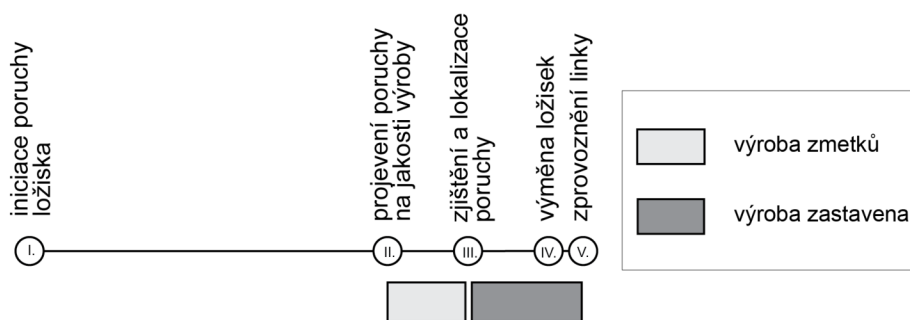
V případě výroby jednoho kusu zmetku je ztráta rovna prodejní ceně ložiska. Vyrobením ložiska totiž vzniká variabilní náklad (použitý materiál, nástroj, práce



operátora), ale zároveň vadný kus není možné opravit, a tudíž jej nelze prodat a pokrýt také příspěvek na úhradu fixních nákladů a zisku. K výrobě zmetků dochází poté, kdy rozvíjející poškození ložiska či ozubení fortuny začne mít vliv na jakost samotného výrobku, ale výroba není ihned zastavena. V praxi je toto zjištěno až při technické kontrole obrobku, anebo při zvýšené hlučnosti fortuny.

Jakmile je závada stroje odhalena a výroba je zastavena, vzniká ztráta, která je tvořena pouze příspěvkem na úhradu fixních nákladů a zisku. Variabilní složka nákladů jednoduše není ztrátou, neboť linka nevyrábí a není spotřebován žádný materiál, práce, energie apod.

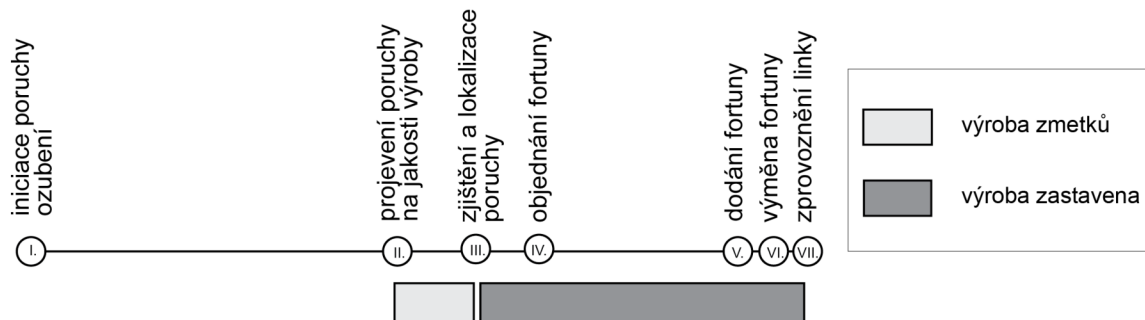
Při poškození ložiska fortuny jsou vyráběny zmetky od toho okamžiku, kdy vada ložiska začne mít vliv na jakost obráběné plochy. Tato snížená jakost se projevuje na vzhledu a drsnosti povrchu broušené plochy. Výroba zmetků je tedy odhalena až na technické kontrole. V praxi se stává, že dojde k úplnému zastavení chodu fortuny vlivem zadření ložisek. Tento časový interval je ohraničen událostmi II. a III. na obrázku 27. Tento obrázek zobrazuje časovou posloupnost událostí odstávky sestavených podle tabulky 4 v kapitole 5.2.2. Po zjištění poruchy fortuny probíhá její samotná oprava výměnou ložisek a opětovné zprovoznění chodu linky. Délka tohoto intervalu (III. až V.) je závislá na aktuálních kapacitách a prioritách údržby.



Obrázek 27 Časový průběh odstávky způsobené poruchou ložisek fortuny a její vliv na výrobu.

Pokud dojde k poškození ozubeného převodu, průběh intervalu, kdy dochází k výrobě zmetků, je podobný. Jestliže však není k dispozici náhradní fortuna, čas, kdy je výroba zastavena a vzniká ztráta způsobená neutřžením příspěvku na pokrytí fixních nákladů, je několikanásobně delší. V závislosti na času dodání fortuny od dodavatele může tato odstávka od objednání fortuny po zprovoznění stroje, na obrázku 28 znázorněn jako interval III. až VII., trvat až několik dní.

Tato situace popisuje však nejhorší možný scénář. Pokud by v praxi nebyla k dispozici náhradní fortuna, stále je možné použít druhou velikost fortuny (menší či větší) a vyrábět jiný rozměr kroužků. Jestliže je však nutné dodat určité množství určitého rozměru ložisek v blízkém termínu, je zde velké riziko, že zakázka nebude realizována a vzniknou ztráty z ušlého zisku.



Obrázek 28 Časový průběh odstávky způsobené poruchou ozubení fortuny a její vliv na výrobu.

Náklady odstávky  $N_{ODS}$  tak lze vyjádřit, podle vztahu 1, jako sumu nákladů na opravu stroje  $N_{OPR}$  a ztrát způsobených zastavením výroby  $N_{ZST}$ .

$$N_{ODS} = N_{OPR} + N_{ZST} \quad [\text{Kč}] \quad (1)$$

- Kde:  $N_{ODS}$  – náklady odstávky [Kč]  
 $N_{OPR}$  – náklady na opravu stroje [Kč]  
 $N_{ZST}$  – náklady způsobené zastavením výroby [Kč]

Náklady vynaložené na znovuzprovoznění stroje  $N_{OPR}$  jsou, podle vztahu 2, sumou celkové ceny náhradních dílů  $C_{ND}$  a součinu vynaloženého času pracovníků údržby pro opravu stroje  $t_{opr}$  a nákladů na hodinovou mzdu  $N_{mzd}$ . Při opravě poruchy způsobené poruchou fortuny je cena náhradních dílů rovna ceně náhradních ložisek fortuny, anebo ceně nové fortuny.

$$N_{OPR} = C_{ND} + t_{opr} \cdot N_{mzd} \quad [\text{Kč}] \quad (2)$$

- Kde:  $N_{OPR}$  – náklady na opravu stroje [Kč]  
 $C_{ND}$  – cena pořízení náhradních dílů [Kč]  
 $t_{opr}$  – vynaložený objem práce údržby [hod]  
 $N_{mzd}$  – hodinové mzdové náklady na pracovníka údržby [Kč/hod]

Zastavením výroby pak vzniká náklad (ztráta)  $N_{ZST}$ , který je podle vztahu 3 roven součtu ztráty způsobené výrobou zmetků vnějších kroužků a ztráty způsobené zastavením výroby. Ztráty způsobené výrobou zmetků jsou rovny součinu počtu vyrobených zmetků  $n_{zmt}$  a rozdílu prodejní ceny ložiska  $C_{lož}$  a variabilních nákladů na výrobu dalších komponent ložiska  $N_{VDK}$ . Tyto další komponenty ložiska, vnitřní kroužek a valivé elementy, totiž mohou být vyrobeny nezávisle na výrobě vnějšího kroužku a uskladněny do té doby, dokud nejsou vyrobeny vnější kroužky. Tím nevzniká ztráta v podobě variabilních nákladů na tyto komponenty (jestliže nejsou uvažovány náklady na jejich uskladnění). Ztráty způsobené zastavením výroby jsou rovny součinu počtu nevyrobených ložisek  $n_{nvr}$  a příspěvku na úhradu fixních nákladů a zisku  $P_{fnz}$ .

$$N_{ZST} = n_{zmt} \cdot (C_{lož} - N_{VDK}) + n_{nvr} \cdot P_{fnz} \quad [\text{Kč}] \quad (3)$$

Kde:

$N_{ZST}$	–	náklady způsobené zastavením výroby [Kč]
$n_{zmt}$	–	počet vyrobených zmetků [ks]
$N_{VDK}$	–	variabilní náklady na výrobu dalších komponent ložiska [Kč/ks]
$C_{lož}$	–	prodejní cena ložiska [Kč/ks]
$n_{nvr}$	–	počet nevyrobených ložisek [ks]
$P_{fnz}$	–	příspěvek na úhradu fixních nákladů a zisku [Kč/ks]

Množství vyrobených zmetků  $n_{zmt}$ , respektive množství nevyrobených kusů kroužků  $n_{nvr}$ , je podle rovnic 4 a 5, součinem průměrného množství vyrobených kroužků za hodinu  $n_{ppr}$  za jednotku času a délky intervalu, během kterého jsou vyráběny zmetky  $t_{zmt}$ , respektive intervalu, kdy je zastavena výroba  $t_{nvr}$ .

$$n_{zmt} = n_{ppr} \cdot t_{zmt} \quad [\text{ks}] \quad (4)$$

$$n_{nvr} = n_{ppr} \cdot t_{nvr} \quad [\text{ks}] \quad (5)$$

Kde:

$n_{zmt}$	–	počet vyrobených zmetků [ks]
$n_{nvr}$	–	počet nevyrobených ložisek [ks]
$n_{ppr}$	–	průměrný počet vyrobených kusů za hodinu [ks/hod]
$t_{zmt}$	–	čas od projevení poruchy fortuny na jakost obrobku do momentu kdy je porucha odhalena [hod]
$t_{nvr}$	–	čas, během kterého je zastavena výroba [hod]

Zjednodušující předpoklady kalkulace:

1. Při poruše fortuny není k dispozici fortuna náhradní.
2. V daný moment poruchy jednoho typu fortuny není možné přejít na výrobu pomocí druhého typu fortuny.
3. Termín neplánované odstávky koliduje s termínem dodání dodávky.
4. Čas potřebný pro vyrobení všech kusů dodávky je delší než doba trvání odstávky.

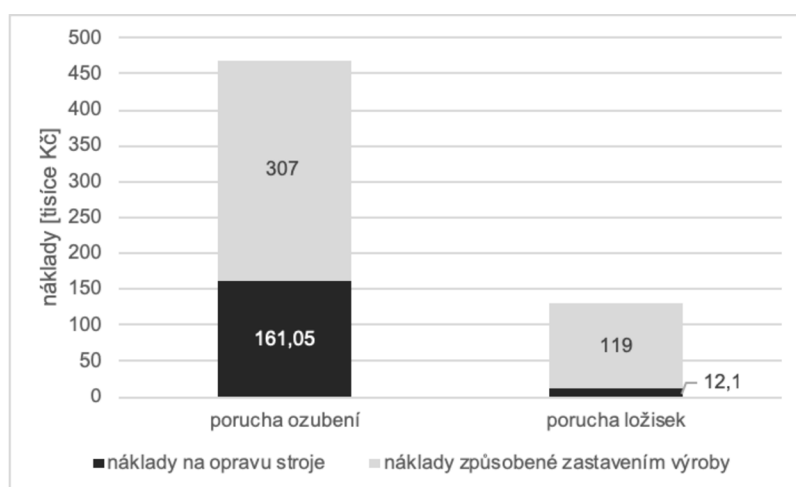
## Příklad kalkulace nákladů odstávky

V tomto příkladu, podle tabulky 9, je uvažováno, že během jedné hodiny je vyrobeno v průměru 40 ks ložisek s prodejní cenou 500 Kč/ks. Dále je uvažováno, že příspěvek na úhradu fixních nákladů a zisku tvoří přibližně tři desetiny prodejní ceny. Variabilní náklady na výrobu dalších komponent pak jednu šestinu prodejní ceny. V případě poruchy ozubení fortuny je počítáno se scénářem, kdy není k dispozici fortuna náhradní a je potřeba čekat 5 pracovních dnů (tzn. 5 osmihodinových směn) na doručení fortuny nové.

Tabulka 9 Náklady spjaté s poruchou ložisek fortuny.

popis	označení	fortuna	ložiska	jednotka
cena pořízení náhradních dílů	$C_{ND}$	160 000	10 000	Kč
vynaložený objem práce údržby	$t_{opr}$	3	6	hod
hodinové mzdové náklady na pracovníka údržby	$N_{mzd}$	350	350	Kč/hod
průměrný počet vyrobených kusů za hodinu	$n_{ppr}$	38	38	ks/hod
čas od projevení poruchy fortuny na jakost obrobku do momentu, kdy je porucha odhalena	$t_{zmt}$	5	5	hod
čas, během kterého je zastavena výroba	$t_{nvr}$	40	7	hod
počet vyrobených zmetků	$n_{zmt}$	190	190	ks
počet nevyrobených ložisek	$n_{nvr}$	1 520	266	ks
prodejní cena ložiska	$C_{lož}$	500	500	Kč/ks
variabilní náklady na výrobu dalších komponent ložiska	$N_{VDK}$	83	83	Kč/ks
příspěvek na úhradu fixních nákladů a zisku	$P_{fnz}$	150	150	Kč/ks
<b>náklady na opravu stroje</b>	<b><math>N_{OPR}</math></b>	<b>161 050</b>	<b>12 100</b>	<b>Kč</b>
<b>náklady způsobené zastavením výroby</b>	<b><math>N_{ZST}</math></b>	<b>307 167</b>	<b>119 067</b>	<b>Kč</b>
<b>celkové náklady odstávky</b>	<b><math>N_{ODS}</math></b>	<b>468 217</b>	<b>131 167</b>	<b>Kč</b>

Zastavení výroby na více dnů v tomto případě může vést až ke statisícovým ztrátám. Náklady způsobené poruchou ozubení fortuny jsou mnohonásobně vyšší oproti poruše ložisek fortuny, viz obrázek 29, zejména kvůli vysoké pořizovací ceně nové fortuny a dlouhé doručovací době nové fortuny.

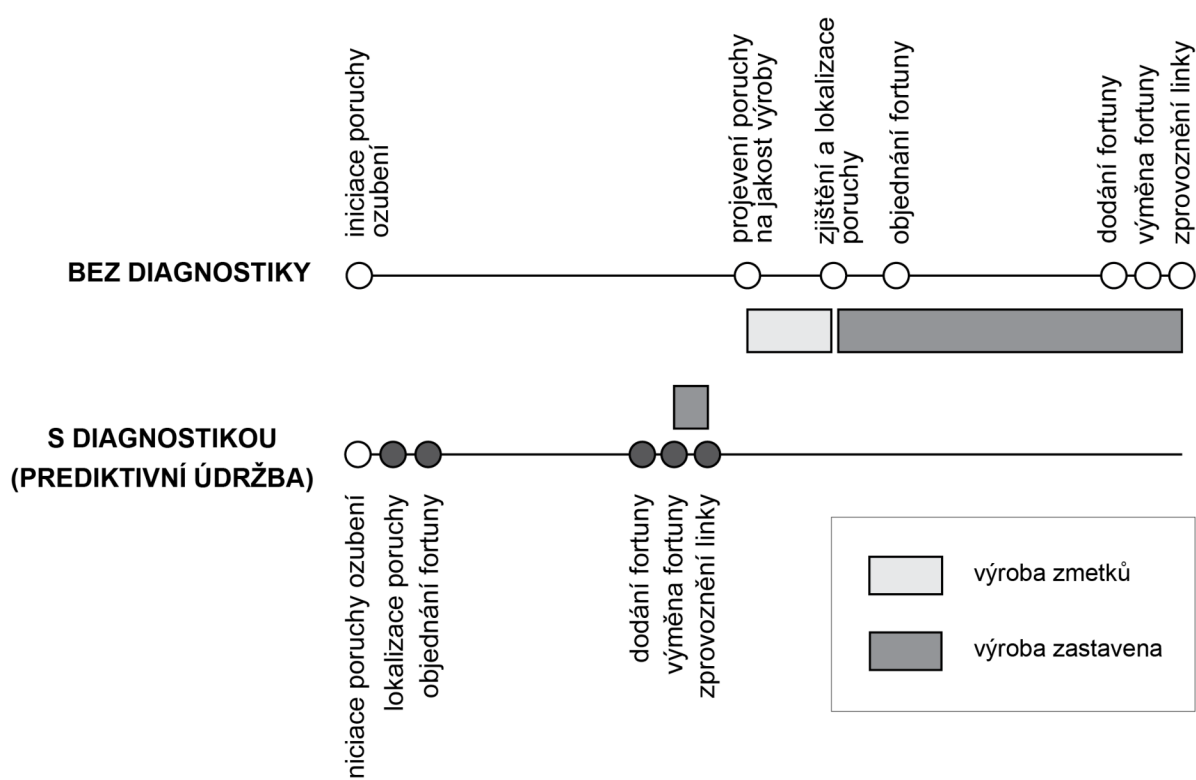


Obrázek 29 Srovnání nákladů odstávky poruch fortuny.

### 6.1.2. Efektivnost investice do diagnostického systému

Aby bylo možné posoudit efektivnost investice do diagnostického systému, který by měl umožnit predikci poruchy fortuny, je v první řadě nutné určit vzniklou úsporu plánovanou výměnou fortuny, a tím zkrácením doby odstávky.

Jestliže diagnostický systém umožní odhalit prvotní příznaky iniciace poškození ložiska nebo ozubení převodu fortuny, bude možné včas objednat fortunu od dodavatele. Doba mezi iniciací poškození a jeho projevením na jakost výroby totiž může trvat v řádu dnů až týdnů (pouze však v případě poškození vzniklého únavou materiálu, nikoli však poškození vzniklého vadnou výrobou komponent fortuny). Zároveň je možné do doby, než poškození fortuny ovlivní jakost produkce, kontrolovaně vyrábět. Takto je eliminována výroba zmetků a čas zastavení výroby je redukován pouze na interval pro výměnu fortuny a opětovné zprovoznění linky podle obrázku 30.



Obrázek 30 Průběh neplánované odstávky (nahore) a průběh plánované odstávky díky predikci poruchy diagnostickým systémem (dole).

Vzniklá úspora  $U_D$  je pak, podle vztahu 6, rozdílem nákladů vzniklých při neplánovaném zastavení stroje  $N_{ZST}$  a nákladů vzniklých zastavením výroby při predikci poruchy za pomoci diagnostického systému  $N_{ZSTD}$ .

$$U_D = N_{ZST} - N_{ZSTD} \quad [\text{Kč}] \quad (6)$$

- Kde:  $U_D$  – úspora při použití diagnostického systému eliminující jednu neplánovanou odstávku [Kč]  
 $N_{ZST}$  – náklady způsobené zastavením výroby [Kč]  
 $N_{ZSTD}$  – náklady způsobené zastavením výroby s predikcí poruchy [Kč]

Náklady způsobené zastavením výroby s predikcí poruchy  $N_{ZSTD}$  se podle vztahu 7 vypočítají prakticky stejně jako u zastavení výroby bez diagnostiky. Rozdíl je však v tom, že zde teoreticky nevzniká ztráta produkcí zmetků  $n_{zmt}$  a čas zastavení  $t_{nvrD}$  je zásadně kratší než čas  $t_{nvr}$ , neboť odpadá dlouhé čekání na dodání fortuny.

$$N_{ZSTD} = (n_{ppr} \cdot t_{nvrD}) \cdot P_{fnz} \quad [\text{Kč}] \quad (7)$$

Kde:  $N_{ZSTD}$  – náklady způsobené zastavením výroby s predikcí poruchy [Kč]  
 $n_{ppr}$  – průměrný počet vyrobených kusů za hodinu [ks/hod]  
 $t_{nvrD}$  – čas, během kterého je zastavena výroba v případě použití diagnostiky [hod]

### Příklad kalkulace vzniklých úspor při predikci poruchy

Jestliže budou pro tento příklad uvažovány výsledky z tabulky 9, vzniklá úspora při predikci poruchy ložisek a ozubení fortuny je uvedena v tabulce 10.

Tabulka 10 Možné úspory při predikci poruchy ložisek fortuny.

popis	označení	ozubení	ložiska	jednotka
průměrný počet vyrobených kusů za hodinu	$n_{ppr}$	38	38	ks/hod
čas, během kterého je zastavena výroba – s predikcí	$t_{nvrD}$	2	2	hod
příspěvek na úhradu fixních nákladů a zisku	$P_{fnz}$	150	150	Kč/ks
náklady způsobené zastavením výroby – bez predikce	$N_{ZST}$	307 167	119 067	Kč
<b>náklady způsobené zastavením výroby s predikcí poruchy</b>	<b><math>N_{ZSTD}</math></b>	<b>11 400</b>	<b>11 400</b>	<b>Kč</b>
<b>úspora při použití diagnostického systému eliminující jednu neplánovanou odstávku</b>	<b><math>U_D</math></b>	<b>295 767</b>	<b>107 667</b>	<b>Kč</b>

V další řadě je potřeba určit investovanou částku do pořízení diagnostického systému. Ta se v tomto případě skládá z ceny pořízení samotného diagnostického systému a jeho montáže  $C_D$  a následného měsíčního, respektive ročního poplatku za službu monitoringu stroje a zpracování dat  $C_{RP}$ , podle tabulky 11.

Tabulka 11 Cena pořízení a chod diagnostického systému stroje O.ERRE.PI

Popis		Cena [Kč]
diagnostický systém a jeho montáž	$C_D$	100 000
roční poplatek za monitoring stroje	$C_{RP}$	60 000

Následně je možné posoudit efektivnost investice, která se určuje na základě míry výnosnosti. V praxi se nejčastěji k hodnocení investičních projektů používají [10]:

- metoda doby splacení (Payback Method),
- metoda výnosnosti investic (Return on Investment – ROI),
- metoda čisté současné hodnoty (Net Present Value of Investment – NPV) a další.

Tyto metody vychází z určitých zjednodušujících předpokladů. Při dané analýze je předpokládáno, že finanční kapitál je vypůjčován za stejnou úrokovou míru, veškeré

---

peněžní toky se realizují na konci nebo na začátku investičního období a že výnosy jsou bez rizika neboli jisté.

### Metoda doby splacení

Doba splacení určuje počet let, které je potřeba k návratnosti dané investice. Během této doby tedy tok příjmů přinese hodnotu rovnající se původním nákladům na investici. Pokud jsou příjmy v každém roce životnosti stejné, pak dobu splacení DS je možné vypočítat podle vztahu [10]:

$$DS = \frac{\textit{náklady na investici}}{\textit{roční cash flow}} [\textit{roky}] \quad (9)$$

Roční cash flow neboli tok peněz, zde představuje reálnou roční úsporu. Během posledních tří let došlo k poruše fortuny více než třikrát, a tak je možné vytvořit předpoklad, že roční úspora je právě úspora při použití diagnostického systému eliminující jednu neplánovanou odstávku  $U_D$ . Od této částky je však nutné odečíst cenu ročního poplatku za monitoring stroje  $C_{RP}$ , aby bylo možné určit reálnou roční úsporu. Po dosazení do vztahu 9 je doba splacení investice do diagnostického systému stroje O.ERRE.PI definovaná vztahem 10. Náklady na investici jsou rovny ceně diagnostického systému a jeho montáže  $C_D$ .

$$DS = \frac{\textit{náklady na investici}}{\textit{roční cash flow}} = \frac{C_D}{U_D - C_{RP}} [\textit{roky}] \quad (10)$$

- Kde: DS – doba splacení [roky]  
 $C_D$  – cena diagnostického systému a jeho montáže [Kč]  
 $U_D$  – úspora při použití diagnostického systému eliminující jednu neplánovanou odstávku [Kč]  
 $C_{RP}$  – roční poplatek za monitoring stroje [Kč]

S delší dobou splacení je spojeno vyšší riziko investice než u kratší doby splacení. To implikuje, že čím je doba splacení kratší, tím je investice výhodnější. Nevýhodou této metody je zanedbání znehodnocení peněz vlivem inflace a to, že nejsou uvažovány výnosy po době splacení a samotné časové rozložení výnosů během splacení. Výhodou je však jednoduchost metody a snadné určení rizika investice na základě délky doby splacení.

## Příklad kalkulace doby splácení investice do diagnostického systému

Jestliže jsou uvažovány úspory podle tabulky 10, doba splatnosti investice do diagnostického systému pro případ jedné poruchy ložisek fortuny či ozubeného převodu fortuny je spočítána v tabulce 12.

Tabulka 12 Doba splácení diagnostického systému při jedné neplánované odstávce ročně způsobené poruchou ložisek fortuny.

popis	označení	fortuna	ložiska	jednotka
diagnostický systém a jeho montáž	$C_D$	100 000	100 000	Kč
roční poplatek za monitoring stroje	$C_{RP}$	60 000	60 000	hod
úspora při použití diagnostického systému eliminující jednu neplánovanou odstávku	$U_D$	295 767	107 667	Kč
<b>doba splácení při jedné neplánované odstávce ročně</b>	<b>DS</b>	<b>0,4</b>	<b>2,1</b>	<b>roky</b>

## Metoda výnosnosti investice

Výnosnost investice podle této metody určuje celkový zisk vygenerovaný investicí v poměru k finančním nákladům, které byly investovány. Předpokladem tedy je, že úspory, které investice do diagnostického systému stroje O.ERRE.PI přinese, se promítnou ve vyšším (v nechtěném případě nižším) zisku společnosti. Metodu výnosnosti investice neboli ROI lze spočítat podle vztahu 11 [10].

$$ROI = \frac{\check{C}Z}{IN} \quad (11)$$

- Kde: ROI – výnosnost investice [%]  
ČZ – průměrný čistý zisk (po zdanění) plynoucí z investice, který má skutečný přínos pro podnik [Kč]  
IN – náklady na investici [Kč]

Obdobně jako u výpočtu doby splácení je v tomto případě průměrný čistý zisk roven rozdílu úspory při použití diagnostického systému eliminující jednu neplánovanou odstávku  $U_D$  a ročního poplatku za monitoring stroje  $C_{RP}$ .

Po dosažení do vztahu 11 je možné výnosnost investice do diagnostického systému určit podle vztahu 12.

$$ROI = \frac{\check{C}Z}{IN} = \frac{U_D - C_{RP}}{C_D} \quad (12)$$

- Kde: ROI – výnosnost investice [%]  
 $C_D$  – cena diagnostického systému a jeho montáže [Kč]  
 $U_D$  – úspora při použití diagnostického systému eliminující jednu neplánovanou odstávku [Kč]  
 $C_{RP}$  – roční poplatek za monitoring stroje [Kč]

Výsledkem pak je, kolik procent přináší investice v průměru ročně. Výhodou tohoto ukazatele je, že je používán průměrný roční zisk. Tak lze srovnávat investiční projekty s různou dobou životnosti a s různou výší investičních nákladů. Oproti metodě doby



---

splácení je zohledněno znehodnocení peněz vlivem inflace. Nevýhodou však je, že jakožto statická metoda neuvažuje rozložení zisku v čase. [9]

### **Příklad kalkulace výnosnosti investice do diagnostického systému**

Jestliže jsou uvažovány úspory podle tabulky 10, výnosnost investice do diagnostického systému pro případ jedné poruchy ložisek fortuny či ozubeného převodu fortuny je spočítána v tabulce 13.

Tabulka 13 Výnosnost investice do diagnostického systému při jedné neplánované odstávce ročně způsobené poruchou fortuny.

<b>popis</b>	<b>označení</b>	<b>fortuna</b>	<b>ložiska</b>	<b>jednotka</b>
diagnostický systém a jeho montáž	$C_D$	100 000	100 000	Kč
roční poplatek za monitoring stroje	$C_{RP}$	60 000	60 000	hod
úspora při použití diagnostického systému eliminující jednu neplánovanou odstávku – porucha ložisek fortuny	$U_D$	295 767	107 667	Kč
<b>výnosnost investice při jedné neplánované odstávce ročně – porucha ložisek fortuny</b>	<b>ROI</b>	<b>2,358</b>	<b>0,477</b>	<b>%</b>

## 6.2. Optimalizace diagnostického systému

V současnosti diagnostický systém neumožňuje dostačující přesnost predikce poruchy tak, aby přinesl maximální možné úspory. To je způsobeno zejména tím, že pouze dvě fortune ze čtyř (jedna malá a jedna velká) jsou opatřeny elektronickou značkou, která umožňuje systému rozpoznat, se kterou fortunou se pracuje. Pro inženýry společnosti 4dot, kteří data zpracovávají, je tak často nemožné přiřadit data z měřených vibrací k jednotlivým fortunám.

Je tedy potřeba opatřit i zbylé fortune elektronickými značkami.

Pro zpřesnění funkčnosti systému je také důležité při zpracování dat pracovat s procesními daty, které umožní určit příčinu poruchy a v budoucnu lépe predikovat poruchu.

Na základě domluvy se společností 4dot a údržbou a operátory linky O.ERRE.PI byl sestaven formulář, viz obrázek 31, který umožní zaznamenávat datum a čas výměny fortune, číslo zakázky, označení fortune, rozměr vyráběného kroužku, počet vyrobených kusů a zapisovat poznámky o událostech, které by mohly mít vliv na životnost fortune.

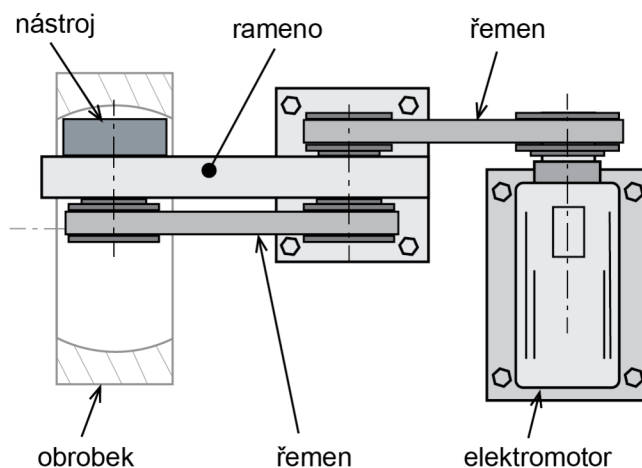
INFORMAČNÍ FORMULÁŘ – O.ERRE.PI MTI 250 CUP					
označení fortune: malá 1 (A), malá 2 (B), velká 1 (C), velká 2 (D)					
datum, čas	zakázka	fortuna	TPR	počet kusů	poznámky

Obrázek 31 Formulář pro zaznamenávání změn fortun na stroji O.ERRE.PI MTI 250 CUP.

Informace z tohoto formuláře zároveň dočasně odstraní problém s absencí elektronických značek, neboť bude možné na základě sesbíraných informací provést zpětnou analýzu dat.

### 6.3. Změna konstrukce fortuny

Jedním z možných nápravných opatření by mohla být změna konstrukce fortuny. Nejspolehlivější konstrukce fortuny, která je používána na ostatních linkách, je schematicky vyobrazena na obrázku 32. Přenos kroutícího momentu z elektromotoru je realizován dvěma řemenovými převody. Nástroj je upnut na hřídeli uložené ve vysunutém rameni. Hřídel nástroje je naháněna skrze řemen společnou hřídelí s řemenicemi.



Obrázek 32 Schematické znázornění fortuny s řemenovým převodem.

Relativní jednoduchost konstrukce zajišťuje robustnost tohoto řešení. Jelikož zde není ozubený převod, jenž musí být uzavřen v převodové skříni (tak jako u konstrukce fortuny použité na lince O.ERRE.PI), je možné pro uložení hřídele nástroje použít větší ložiska s větší životností při daném zatížení. Zároveň řemenový převod nepřenáší vibrace tak, jako ozubený převod. Zároveň je možné vzniklé vůle vymezit dopnutím samotných řemenů. Pokud tak dojde ke zvýšení vibrací například motoru, chod nástroje nemusí být zásadně ovlivněn.



Obrázek 33 Řemenová fortuna na jednom ze strojů výroby. Řemenový převod je uvnitř plechových krytů.

V minulosti byl rozpracován projekt nahrazení fortuny stroje O.ERRE.PI MTI 250 CUP právě touto konstrukcí fortuny. Nebyl však doposavad zrealizován.

---

#### 6.4. Výroba vlastního ozubení převodu fortuny

Další zvažovanou optimalizací je výroba vlastního ozubeného soukolí fortuny. Nabídnuté ceny od vybraného dodavatele pro různý počet soukolí jsou uvedeny v tabulce 14.

Tabulka 14 Cenová nabídka na výrobu paloidního soukolí KlingelInberk. [42]

Prototyp		
1 soukolí	76 300 Kč/sada	dodání cca 8 pracovních týdnů
2 soukolí	57 150 Kč/sada	
3 soukolí	48 600 Kč/sada	
Další výroba		
minimálně 5 soukolí	23 000 Kč/sada	dodání cca 5 pracovních týdnů

V případě poruchy ozubení fortuny by tak bylo vyměněno pouhé ozubení. Vznikla by tak úspora za samotnou opravu. Ta by byla rovna rozdílu ceny nové fortuny a ceně vyráběného ozubeného soukolí podle toho, kolik soukolí by bylo zakoupeno.

Pokud by byla soukolí na skladě a bylo by možné veškeré fortuny opravovat ihned pracovníky údržby, společně s plně funkčním diagnostickým systémem stroje umožňující včasnou predikci, bylo by možné eliminovat ztráty vzniklé zastavením výroby. Očekává se, že výměna ozubení fortuny by byla časově náročná stejně jako výměna ložisek fortuny.

Během prvního kvartálu tohoto roku byl testován první prototyp ozubení vyrobený touto společností. Došlo však bohužel k selhání pastorkového kola, nejspíše vlivem nesprávného tepelného zpracování obdobně jakou u originálního ozubeného soukolí. Vznikla tak ztráta ve výši 76 300 Kč.

---

## ZÁVĚR

Průmyslová údržba je komplexním a multidisciplinárním oborem kombinující znalosti managementu a detailního pochopení technických parametrů zařízení a strojů podniku. Správně fungující údržba využívající principy proaktivního přístupu může zásadně zvýšit produktivitu práce a snížit náklady podniku.

V této práci byl proveden rozbor managementu údržby ve vybraném podniku a údržby výrobní linky pro výrobu vnějších kroužků valivých ložisek. Z rozboru managementu údržby v podniku vyplívají následující závěry:

- Oddělení údržby podniku je tvořeno 12 pracovníky. Vysoká vytiženost pracovníků údržby neumožňuje vykonávat proaktivní údržbu v potřebné rozsahu. Cílem do budoucna je však zvyšovat produktivitu práce použitím nových technologií
- Oddělení údržby tvoří centralizovanou organizační strukturu. Veškerí pracovníci údržby se tedy zodpovídají hlavnímu manažerovi údržby.
- S ohledem na kapacity údržby je údržba plánována zejména v denním až týdenním horizontu, kdy jsou určovány priority, jaké servisní úkony a opravy budou provedeny.
- Řízení údržby, zejména pak delegování práce a její kontrola, je prováděno hlavním manažerem údržby, který každý den zadává a kontroluje práci jednotlivým pracovníkům.
- V současnosti není používán žádný software pro řízení údržby (CMMS apod.). Většina informací o poruchách a servisních událostech je tak zaznamenávána pouze v poznámkách pracovníků údržby, anebo není k dispozici vůbec.

Výrobní linka pro broušení oběžných drah vnějších kroužků valivých ložisek je tvořena dvěma broušícími stroji. Na základě analýzy údržby této linky je možné učinit následující závěry:

- Údržba této linky probíhá v denním, týdenním, měsíčním a ročním intervalu. Během denních a týdenních údržeb je prováděna zejména kontrola funkčnosti jednotlivých systému a čištění. S ohledem na plnění norem výroby však obsluha stroje nemá dostatek času tuto údržbu pečlivě provádět.
- Nejkritičtější komponentou linky je fortuna druhého stroje, na kterém probíhá dokončovací operace broušení. Tato fortuna, sloužící k vyosení nástroje oproti ose broušícího vřetene, vykazuje krátkou životnost ložisek a ozubeného převodu.
- Zejména nízká životnost ozubení způsobuje relativně časté zastavení linky. Nízká životnost ozubení je způsobena nesprávným technologickým postupem při výrobě těchto kol.
- Během posledních 3 let docházelo k 1 až 2 poruchám ročně. Podle dostupnosti fortuny může odstávka trvat v řádu hodin, jestliže je k dispozici fortuna náhradní, až v řádu dnů, jestliže je nutné objednat novou.
- Náklady odstávky způsobené poruchou fortuny jsou tvořeny cenou náhradních dílů, práce vynaložené na opravu stroje a ušlým ziskem způsobeným zastavením výroby. Ušlý zisk je závislý na množství vyrobených zmetků a množství ložisek, které nebylo možné vyrobit během odstávky.
- Při zastavení výroby vzniká ztráta, která je rovna součinu počtu nevyrobených ložisek a příspěvku na úhradu fixních nákladů a zisku z jednoho prodaného ložiska.

- 
- Fortuna je sledována diagnostickým systémem. Ten pomocí vibrační analýzy určuje aktuální kondici fortuny a zbytkovou životnost.
  - Funkčnost tohoto systému však zatím neumožňuje přesnou a včasnou predikci poruchy. To je způsobeno tím, že jsou na stroji používány celkově čtyři fortuny a relativně často se mění druh výroby (výroba jiného rozměru ložiska). Z tohoto důvodu byl navrhnut formulář, který usnadní zaznamenávání informací pro zdokonalení analýz prováděných společnostmi poskytující diagnostický systém.
  - Podle četnosti poruch fortun a zvolených finančních ukazatelů výroby může být návratnost investice do použitého diagnostického systému v řádu 6 až 25 měsíců. Výnosnost této investice pak může dosahovat řádu procent.
  - Eliminace tohoto problému je možná vlastní výrobou ozubeného soukolí nebo změnou konstrukce fortuny.



---

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. Kučera, Petr. Česká práce je devátá nejlevnější v EU. Projděte si nové porovnání států. Aktuálně.cz. [online] 10. 4 2018.  
<https://zpravy.aktualne.cz/finance/naklady-prace-porovnani-eu/r~882e950a3bed11e880d30cc47ab5f122/?redirected=1555440308>.
2. Pravec, Josef. Německo nelze dohnat škrtem pera. Hospodářské noviny (IHNEDE.cz). [online] 29. 11 2018.  
<https://byznys.ihned.cz/c1-66362320-nemecko-nelze-dohnat-skrtem-pera>.
3. Legát, Václav a kol. Management a inženýrství výroby. Praha: Professional Publishing, 2016. ISBN 978-80-7431-163-5.
4. Mobley, Keith R. An Introduction to Predictive Maintenance. s.l.: Butterworth-Heinemann, 2002. ISBN 0-7506-7531-4 .
5. Smelík, Lukáš. Asset management – údržba, byť zvaná jinak, bude prováděna stejně. Řízení a údržba průmyslového podniku. [online] Trade Media International, 1. 9 2015. [citace: 16. 4 2019.]  
<http://udrzbapodniku.cz/hlavni-menu/artikuly/artikul/article/asset-management-udrzba-byt-zvana-jinak-bude-provadena-stejne/>.
6. Bekker, Alex. Big data in manufacturing/ a guide on how to start. ScienceSoft. [online] 6. 5 2018.  
<https://www.scnsoft.com/blog/big-data-in-manufacturing-a-guide-on-how-to-start>.
7. Valent, Ondrej. Prediktivní údržba – výhody a úskalí. Řízení a údržba průmyslového podniku. [online] Trade , 22. 10 2010. [citace: 4. 2 2019.]  
<http://udrzbapodniku.cz/hlavni-menu/artikuly/artikul/article/prediktivni-udrzba-vyhody-a-uskali/>.
8. Munion, Mark C. Predictive vs. preventive/ The debate and the future. Plant Engineering. [online] 12. 5 2017. [citace: 5. 3 2019.]  
<https://www.plantengineering.com/articles/predictive-vs-preventive-the-debate-and-the-future/>.
9. Wöhe, Günter a Kislingerová, Eva. Úvod do podnikového hospodářství. Praha: C.H. Beck, 2007. ISBN 978-80-7179-897-2.
10. Synek, Miloslav a kolektiv. Manažerská ekonomika. Praha: Grada, 2011. ISBN 978-80-247-3494-1.
11. Fumagalli, Luca, Macchi, Marco a Giacomini, Alice. Orchestration of preventive maintenance interventions. ScienceDirect. [online] 7 2017.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896317332421>.
12. Novák, Petr. Problematika bezpečnosti řídicích systémů s IPC. [online] 2019.  
<http://akce.fs.vsb.cz/1999/asr99/Proceedings/papers/17/17.htm>.
13. Klutke, G. A., Kiessler, P. C. a Wortman, M. A. A critical look at the bathtub curve. IEEE, 2003.
14. Liška, Miroslav a Sládek, Zdeněk. Spolehlivost a technická diagnostika. Brno : Ediční středisko VUT Brno, 1989. ISBN 80-214-1047-7.
15. Johson, Doug. Start condition monitoring to stop machine failures. Machine Design. [online] 1. 3 2000.  
<https://www.machinedesign.com/markets/start-condition-monitoring-stop-machine-failures>.

- 
16. Helebrant, František a Ziegler, Jiří. Technická diagnostika a spolehlivost II. Vibrodiagnostika. Ostrava : Vysoká škola Báňská - Technická univerzita Ostrava.
  17. Michael, Chui. How will automation affect jobs, skills, and wages? McKinsey. [online] 3 2018. <https://www.mckinsey.com/featured-insights/future-of-work/how-will-automation-affect-jobs-skills-and-wages>.
  18. Kukreja, Sonia. Functions of Management. Management Study HQ. [online] 2019. <https://www.managementstudyhq.com/functions-of-management.html>.
  19. Veselý, Josef. Co je to management, jeho význam. [předmět Podnikový management II]. 2015.
  20. iROZHLAS. Česká ekonomika v roce 2019 poroste o 2,2 procenta. Mzdy se zvýší o 6,5 procenta. iROZHLAS. [online] 6. 1 2019. [https://www.irozhlas.cz/ekonomika/ekonomika-mzdy-nezamestnanost-deloitte\\_1901062019\\_pj](https://www.irozhlas.cz/ekonomika/ekonomika-mzdy-nezamestnanost-deloitte_1901062019_pj).
  21. IBM Watson. What is a CMMS? IBM Watson. [online] 2019. <https://www.ibm.com/internet-of-things/solutions/enterprise-asset-management/what-is-a-cmms>.
  22. UpKeep. UpKeep CMMS Pricing. [online] 2019. [https://www.onupkeep.com/pricing?selected\\_plan=starter](https://www.onupkeep.com/pricing?selected_plan=starter).
  23. What is an organizational structure? definition and meaning. BusinessDictionary.com. [online] 2019. <http://www.businessdictionary.com/definition/organizational-structure.html>.
  24. Kenton, Will. Organizational Structure Definition. Investopedia. [online] 12. 4 2019. <https://www.investopedia.com/terms/o/organizational-structure.asp>.
  25. Ben-Daya, Mohamed, Duffuaa, Salih a Knezevic, Jezdimir. Handbook of Maintenance Management and Engineering. Springer, 2009. 10.1007/978-1-84882-472-0.
  26. European Commission. What is an SME? Vnitřní trh, průmysl, podnikání a malé a střední podniky. [online] 2019. [https://ec.europa.eu/growth/smes/business-friendly-environment/sme-definition\\_cs](https://ec.europa.eu/growth/smes/business-friendly-environment/sme-definition_cs).
  27. Encyclopaedia Britannica. Outsourcing | economics. Britannica.com. [online] 2019. <https://www.britannica.com/topic/outsourcing>.
  28. Riggins, Nash. 20 Advantages and Disadvantages of Outsourcing from Your Small Business. Small Business Trends. [online] 21. 3 2017. <https://smallbiztrends.com/2017/02/advantages-and-disadvantages-of-outsourcing.html>.
  29. ČSN EN 15341. Údržba - Klíčové indikátory výkonnosti údržby. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
  30. Alfa. Výroční zpráva společnosti Alfa za rok 2017. [interní dokument]. 2018.
  31. Marek, Jiří a kolektiv. Konstrukce CNC obráběcích strojů. místo neznámé : MM publishing, s. r. o., 2010. ISBN 978-80-254-7980-3.
  32. Cammachine. CNC Machine Maintenance. Cam Machine. [online] 15. 1 2014. <https://cam-machine.co.uk/cnc-machine-maintenance/>.

- 
33. Williams, Robbie . HANDY CHECKLIST FOR PREVENTIVE MAINTENANCE. Okuma Open Possibilities. [online] 26. 6 2013.  
<https://www.okuma.com/handy-checklist-for-preventive-maintenance>.
  34. Vavřáč, Jakub. Komplexní údržba CNC obráběcích strojů. MM Spektrum. [online] 20. 10 2010.  
<https://www.mmspektrum.com/clanek/komplexni-udrzba-cnc-obrabcich-stroju.html>.
  35. ČSN ISO 230-6 (200300) Zásady zkoušek obráběcích strojů. 2003.
  36. Machine Tool Failure Data Analysis For Condition Monitoring Application. Saravanan, S., Yadava, G. S. a Rao, P. V. 11th National Conference on Machines and Mechanisms, 2003.
  37. O.ERRE.PI. O.ERRE.PI | MTI - Internal Grinding Machines. [Online] 2019.  
<https://www.oerrepi.com/en/internal-grinding-machines>.
  38. Alfa. ODBORNÝ POSUDEK 75. 18. [interní dokument]. 2017.
  39. 4dot Mechatronic Systems. Monitoring výrobních strojů. 2019.
  40. Alfa. Protokol o kondici stroje DDA-971\_333. [interní dokument]. 2017.
  41. Alfa. Protokol o kondici stroje DDA-921\_556. [interní dokument]. 2019.
  42. Alfa. Cenová nabídka číslo 04/06/2017. [interní dokument]. 2018.

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Popis
CMMS	Computerized maintenance management system – počítačový systém pro řízení údržby
KPI	Key performance indicator – klíčový ukazatel výkonnosti
MTBF	Mean time between failures – střední doba mezi poruchami

Symbol	Jednotka	Popis
ROI	[%]	výnosnost investice
$t_{nvr}$	[hod]	čas, během kterého je zastavena výroba
$t_{nvrD}$	[hod]	čas, během kterého je zastavena výroba v případě použití diagnostiky
$t_{opr}$	[hod]	vynaložený objem práce údržby
$t_{zmt}$	[hod]	čas od projevení poruchy fortuny na jakost obrobku do momentu, kdy je porucha odhalena
$C_D$	[Kč]	cena diagnostického systému a jeho montáž
$C_{lož}$	[Kč]	prodejní cena ložiska
$C_{ND}$	[Kč]	cena pořízení náhradních dílů
$C_{RP}$	[Kč]	roční poplatek za monitoring stroje
ČZ	[Kč]	průměrný čistý zisk (po zdanění) plynoucí z investice, který má skutečný přínos pro podnik
IN	[Kč]	náklady na investici
$N_{ODS}$	[Kč]	náklady odstávky
$N_{OPR}$	[Kč]	náklady na opravu stroje
$N_{ZST}$	[Kč]	náklady způsobené zastavením výroby
$N_{ZSTD}$	[Kč]	náklady způsobené zastavením výroby s predikcí poruchy
$U_D$	[Kč]	úspora při použití diagnostického systému eliminující jednu neplánovanou odstávku
$N_{mzd}$	[Kč/hod]	hodinové mzdové náklady na pracovníka údržby
$N_{VDK}$	[Kč/ks]	variabilní náklady na výrobu dalších komponent ložiska
$P_{fnz}$	[Kč/ks]	příspěvek na úhradu fixních nákladů a zisku
$n_{nvr}$	[ks]	počet nevyrobených ložisek
$n_{zmt}$	[ks]	počet vyrobených zmetků
$n_{ppr}$	[ks/hod]	průměrný počet vyrobených kusů za hodinu
DS	[roky]	doba splácení