



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

## PRINCIPY ÚDRŽBY METODOU TPM

PRINCIPLES OF MAINTENANCE OF THE TPM METHOD

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Lukáš Zahradníček

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Hana Opočenská

BRNO 2018



# Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student:	<b>Bc. Lukáš Zahradníček</b>
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Kvalita, spolehlivost a bezpečnost
Vedoucí práce:	<b>Ing. Hana Opočenská</b>
Akademický rok:	2017/18

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:

## Principy údržby metodou TPM

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

V současné době existuje řada moderních přístupů, které vedou ke zvyšování efektivity výrobního systému. Tento nepřetržitý proces zlepšování se týká i údržby, která má význam nejen pro zvyšování produktivity práce, ale i pro snižování nákladů.

### Cíle diplomové práce:

Proveďte obecný popis a rozbor metody TPM. Metodu TPM následně uplatněte při údržbě strojů v konkrétní firmě. Získané výsledky vyhodnoťte a navrhnete optimalizaci stávající údržby strojů.

### Seznam doporučené literatury:

ČSN EN 13306. Údržba - Terminologie údržby. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.

MYKISKA, Antonín. Bezpečnost a spolehlivost technických systémů. 1. vydání. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2006, 206 s. Učební texty ČVUT v Praze. Fakulta strojní. ISBN 80-01-028-8-2.

FAMFULÍK, Jan a Jana MÍKOVÁ. Teorie údržby. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2008, 1 CD-ROM. ISBN 978-80-248-1509-1.

LEGÁT, Václav. Systémy managementu jakosti a spolehlivosti v údržbě. 1. vyd. Praha: Česká společnost pro jakost, 2007, 192 s. ISBN 978-80-02-01949-7.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2017/18

V Brně, dne

L. S.

---

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

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

## **ABSTRAKT**

Tato diplomová práce je zaměřena na moderní metodu TPM používanou ve výrobních firmách k údržbě strojních zařízení. V teoretické části je nejdříve popsána obecně údržba a dále je podrobně rozebrána metoda TPM. Také je zde popsána technická diagnostika, na kterou byl kladen důraz v praktické části z hlediska využití vibrodiagnostiky v prediktivní údržbě. V praktické části je potom uveden návrh na zavedení metody TPM ve vyškovském závodě firmy SMC Industrial Automation s.r.o.

## **ABSTRACT**

This master thesis concerns modern method of TPM used in the production companies for maintenance of machinery. In the theoretical part, general maintenance is first described, as well as the TPM method. There is also described the technical diagnostics, which was emphasized in the practical part in terms of the use of vibrodiagnostics in predictive maintenance. In the practical part there is presented the proposal for introduction of the TPM method at the SMC Industrial Automation s.r.o. in Vyškov.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Totálně produktivní údržba, autonomní údržba, prediktivní údržba, technická diagnostika, vibrodiagnostika.

## **KEYWORDS**

Total productive maintenance, autonomous maintenance, predictive maintenance, technical diagnostics, vibrodiagnostics.



## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

ZAHRADNÍČEK, L. *Principy údržby metodou TPM*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2018. 81 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Hana Opočenská.





## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto děkuji paní Ing. Haně Opočenské za trpělivost a cenné připomínky a rady týkající se zpracování diplomové práce. Děkuji také své rodině za psychickou podporu při zpracovávání práce. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat zástupcům firmy SMC Industrial Automation s.r.o. za možnost zpracování praktické části práce.



## **ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením vedoucího práce a s použitím uvedené literatury.

V Brně dne 25.5.2018

.....  
Zahradníček Lukáš



# OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD</b>	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>ÚDRŽBA</b>	<b>17</b>
2.1	Údržba a provozní spolehlivost	18
2.2	Organizace údržby v podniku	19
2.3	Vývoj údržby	19
2.4	Průmysl 4.0 a údržba	20
2.5	Systémy údržby	21
2.5.1	Údržba po poruše	22
2.5.2	Plánovaná údržba	22
2.6	RCM – Údržba zaměřená na bezporuchovost	23
<b>3</b>	<b>TPM – TOTÁLNĚ PRODUKTIVNÍ ÚDRŽBA</b>	<b>25</b>
3.1	Historie a vývoj TPM	25
3.2	Cíle TPM	27
3.3	Základní pilíře TPM	28
3.3.1	Hodnocení celkové efektivnosti zařízení CEZ	29
3.3.2	Autonomní údržba	31
3.3.3	Plánovaná údržba	32
3.3.4	Management zařízení	33
3.3.5	Trénink a výcvik zaměstnanců	33
3.4	Vizuální management	33
3.5	Implementace TPM	34
<b>4</b>	<b>TECHNICKÁ DIAGNOSTIKA</b>	<b>35</b>
4.1	Diagnostické systémy	35
4.2	Metody technické diagnostiky	36
4.2.1	Tribodiagnostika	37
4.2.2	Termodiagnostika	37
4.2.3	Elektrodiagnostika	38
4.2.4	Vibrodiagnostika	38
<b>5</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST</b>	<b>43</b>
5.1	SMC Industrial Automation CZ s.r.o.	43
5.2	Současný stav údržby ve vyškovském závodě	44
5.2.1	Reaktivní údržba	45
5.2.2	Autonomní údržba	46
5.2.3	Preventivní údržba	48
5.2.4	Prediktivní a proaktivní údržba	49
5.2.5	Sledování efektivnosti zařízení	50
5.3	Návrh systému údržby dle TPM	51
5.3.1	Návrh pilíře sledování efektivnosti zařízení	52
5.3.2	Návrh pilíře autonomní údržby	52
5.3.3	Návrh pilíře preventivní údržby	54
5.3.4	Návrh pilíře prediktivní a proaktivní údržby	54
5.4	Analýza stavu stroje pomocí vibrodiagnostiky	56
5.4.1	CNC soustruh	56
5.4.2	Diagnostické prostředky a přehled měření	58
5.4.3	Měření hlavního vřetene	59

5.4.4	Měření zadního vřetene.....	65
5.4.5	Měření vlivu okolního prostředí .....	67
5.4.6	Návrh metodiky měření prediktivní údržby.....	68
5.4.7	Ekonomické zhodnocení.....	69
5.5	Budoucí vývoj systému TPM.....	70
<b>6</b>	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>71</b>
<b>7</b>	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....</b>	<b>73</b>
<b>8</b>	<b>SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK .....</b>	<b>77</b>
8.1	Seznam použitých zkratk.....	77
8.2	Seznam použitých symbolů.....	78
8.3	Seznam obrázků .....	78
8.4	Seznam tabulek .....	79
<b>9</b>	<b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>81</b>

# 1 ÚVOD

Údržba je v současnosti velmi aktuálním tématem a přikládá se jí čím dál větší význam. Výrobní společnosti si jsou vědomi skutečnosti, že údržba ovlivňuje konečnou produkci z hlediska kvality i kvantity. Kvalita vyrobených produktů může být ovlivněna špatným stavem stroje, což se projeví na nestabilitě výrobního procesu a může docházet k větší produkci neshodných kusů. Dále může být nedostatečnou údržbou ovlivněna produkce z hlediska náhlých odstávek způsobených poruchami, což znemožní výrobu na daném strojním zařízení. V konečném důsledku vždy dojde k finančním ztrátám a to je hlavní důvod, proč se firmy údržbě věnují.

Počátky údržby sahají do dávných dob a v průběhu let se tato snaha o udržování nástrojů v provozuschopném stavu vyvíjela až do dnešní podoby, kdy údržba je samostatnou disciplínou. V současné době se používají různé systémy údržby, např. údržba po poruše, údržba po prohlídce, plánovaná údržba ve formě pravidelné preventivní péče, údržba podle skutečného technického stavu. Avšak stále více se klade důraz na prediktivní a proaktivní systémy údržby, které umožňují odhalit vznikající poruchu nebo opotřebení ještě před jejich vznikem. Díky tomu mohou firmy naplánovat odstávky strojů a opravy poruch tak, aby byla produkce co nejméně ovlivněna a nedošlo k velkým finančním ztrátám.

Aktuálně se v mnohých firmách přistupuje ke komplexním systémům údržby, nejčastěji k metodě totálně produktivní údržby TPM. Cílem této metody je zapojení celého podniku a všech zaměstnanců do problematiky údržby. Tato metoda je spíše formou filosofie, kdy se na údržbu nehledí jen jako na opravu stroje, ale bere se v potaz i okolní prostředí, které ovlivňuje poruchovost a životnost strojního zařízení. Každá firma tuto metodu uchopí po svém a postaví ji na různých pilířích. Některá firma se věnuje jen pravidelné údržbě u stroje, zatímco větší korporace aplikují nejnovější metody technické diagnostiky a mají údržbu daleko více propracovanou. V každém případě jakýkoliv nastavený systém je vždy možné v rámci neustálého zlepšování na základě provedené analýzy optimalizovat. To může znamenat i zavedení nové technologie, která posune stávající systém údržby na vyšší úroveň.

Předmětem této diplomové práce je analýza současného stavu údržby ve výrobní firmě a její následná optimalizace s využitím metody TPM.





## 2 ÚDRŽBA

Dle normy ČSN EN 13306:2011 Údržba - Terminologie údržby je pojem údržba definován jako: „kombinace všech technických, administrativních a manažerských opatření během životního cyklu objektu zaměřených na jeho udržení ve stavu nebo jeho navrácení do stavu, v němž může vykonávat požadovanou funkci.“ [1]

Z výše uvedené definice vyplývá, že údržba je soubor činností, které mají vliv na provoz strojních zařízení. Nejsou to jen samotné činnosti u stroje, ale, co je možná důležitější, je to hlavně nastavení organizace a koncepce těchto činností s ohledem do budoucna. Je tedy skutečně důležité se problematikou údržby zabývat, protože správně nastavená údržba může ovlivnit používání výrobních zařízení a zlepšit jejich efektivitu.

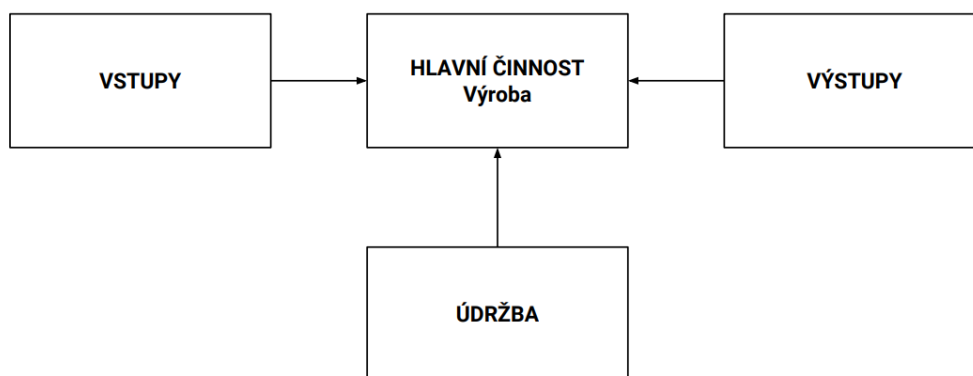
Úkolem údržby není jen opravovat poruchy na strojích, což je většinou vnímáno ve firmách, ale jejím hlavním úkolem je, aby k poruchám vůbec nedocházelo. Snahou tedy je, aby stroje fungovaly spolehlivě a efektivně. [2]

Cíle údržby se dají vyjádřit jako: [2]

- zajištění nepřetržitého provozu strojního zařízení po celou dobu jeho životnosti s co nejmenšími náklady,
- snaha o co nejvyšší využitelnost stroje s co nejmenšími odstávkami,
- zajištění bezpečného provozu,
- zajištění výroby v očekávané kvalitě.

Dobře nastavený systém údržby by měly firmy vnímat jako zisk konkurenční výhody a prostředek k zajištění stability výroby a plnění cílů výroby (Obr. 1). Správné udržování strojů vede k prodloužení spolehlivosti výrobních zařízení i k zajištění kvality vyráběných součástí, protože výrobní podmínky budou udržovány na stejné úrovni a nedojde k předvídatelnému ovlivnění kvalitativních parametrů výrobků. [3]

Další důvod pro vnímání důležitosti údržby by mělo být uvědomění si, že investice do pravidelných preventivních úkonů oddělení údržby se vrátí tím, že se minimalizují velké poruchy, které v konečném důsledku způsobí velké škody. Jednodušší je vyměnit jeden problematický díl, než kupovat celý nový stroj. [3]



Obr. 1) Hodnotový tok výrobní společnosti [4]

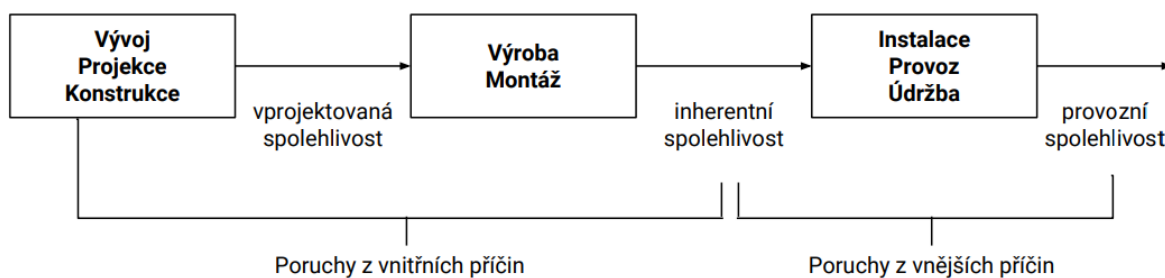
## 2.1 Údržba a provozní spolehlivost

Údržba je ve své podstatě nástroj k zajištění provozní spolehlivosti.

Provozní spolehlivost je vlastnost objektu, která mu dovoluje plnit požadované funkce v mezích přípustné tolerance. Je to období provozu, kdy je objekt používán ke stanovenému účelu. Následně se definují znaky spolehlivosti jako funkčnost, bezporuchovost, bezpečnost, udržitelnost, zajištěnost údržby a další. Z toho vyplývá, že zajištění provozní spolehlivosti je potřeba brát jako systémový problém. [5]

Spolehlivost se prolíná celým životním cyklem objektů. Mezi jednotlivými etapami životního cyklu jsou uplatňovány různé druhy spolehlivosti související s danou fází, jak lze vidět na Obr. 2. Jsou to: [4]

- **vprojektovaná spolehlivost** – spolehlivost navržená ve fázi vývoje,
- **inherentní spolehlivost** – spolehlivost, která je produktu vlastní a měří se v laboratorních podmínkách, které jsou stabilní a přesně definovány,
- **provozní spolehlivost** – spolehlivost, která se měří v reálném provozu a je ovlivněna negativními vlivy provozních podmínek.



Obr. 2) Spolehlivost v životním cyklu [4]

Na Obr. 2 je zaznačeno, které poruchy mohou v rámci životního cyklu nastat.

Mezi poruchy z vnitřních příčin patří: [4]

- poruchy konstrukční,
- poruchy výrobní,
- poruchy vyplývající z poddimenzování.

Mezi poruchy z vnějších příčin patří:

- poruchy způsobené stárnutím a opotřebením,
- poruchy plynoucí z nesprávného použití a zacházení.

Každý správně nastavený systém údržby musí být postaven na 3P: [4]

- preventivnost – provádění v předstihu,
- proaktivnost – hledání příčiny poruchy,
- produktivnost – brát ohled na produktivitu výroby.

## 2.2 Organizace údržby v podniku

K vykonávání údržby v podniku patří její řízení na úrovni managementu. Cílem systému údržby je uplatňování politiky údržby během všech činností prostřednictvím efektivní organizace. Všeobecně se dá říct, že pro větší počet strojních zařízení je potřeba propracovanější a důkladnější systém řízení údržby. S nástupem automatizace a robotizace se zvyšují nároky na údržbu a také nároky na kvalifikaci jednotlivých pracovníků. [3]

V podniku lze nastavit různé formy organizace údržby. Jednotlivé typy se liší v tom, v jakém oddělení je údržba zakomponovaná. Základní typy jsou: [4]

- **centralizovaná údržba** – veškeré údržbářské a opravárenské činnosti jsou zajišťovány samostatnou jednotkou, která se zabývá pouze touto oblastí,
- **decentralizovaná údržba** – údržba je kompletně zajišťována výrobními pracovníky,
- **kombinovaná údržba** – jednoduché činnosti zajišťují výrobní pracovníci a složitější věci vykonávají pracovníci z oddělení údržby,
- **externí (outsourcovaná) údržba** – využití externí firmy k vykonávání údržby.

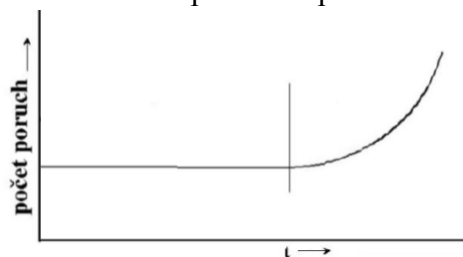
## 2.3 Vývoj údržby

Počátky údržby sahají až ke vzniku prvních nástrojů. Údržba v současném pojetí začala vznikat s využíváním strojů. Původně byla údržba stroje v rukách jeho obsluhy, což bylo výhodné z hlediska dobré znalosti okamžitého technického stavu stroje a nebylo potřeba dalších pracovníků. Kvůli nárůstu požadavků na intenzitu využívání strojů, bylo nutné zavedení specializovaného oddělení údržby a údržbářských pracovníků, kteří se nejdříve starali pouze o opravy poruch, což ale nemohlo zajistit spolehlivost a bezpečnost strojů. Časem se začalo s řízením údržby a organizačních plánů, díky čemuž bylo možné předcházet neočekávaným poruchám a výpadkům výroby. [3]

V 30. letech 20. století se začíná rozvíjet matematická statistika a její analýza pro využití hodnocení spolehlivosti strojů. Po 2. světové válce se objevuje výzkum zaměřený na vznik poruch a jejich příčin, což vede k novému oboru – technické diagnostice. Časem se začala technická diagnostika využívat na prevenci proti vzniku poruch, z čehož vychází systém produktivní údržby. [6]

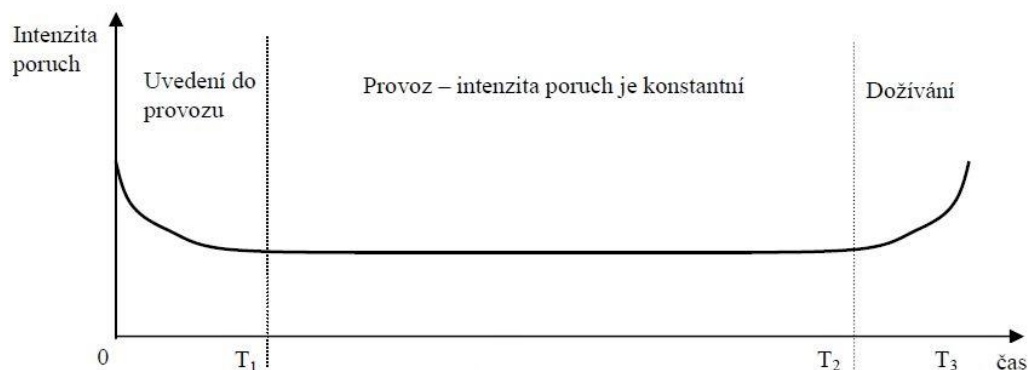
Z historického hlediska je možné vývoj údržby rozvrhnout do 4 generací: [3]

- **1. generace (reaktivní údržba, údržba po poruše)** – údržba byla založená pouze na odstraňování vzniklých poruch. Časový průběh poruchovosti je znázorněn křivkou úmrtnosti (Obr. 3). Je vidět, že po delším čase bezporuchovosti se intenzita poruch exponenciálně zvyšuje.



Obr. 3) Křivka úmrtnosti [3]

- **2. generace (plánovaná údržba)** – začínají vznikat složitější zařízení, u kterých se dbá na pohotovost a životnost a je snaha o snížení nákladů. Proto se zavádí principy preventivních opatření pomocí plánovaných kontrol zařízení. Průběh poruch je možné popsat vanovou křivkou (Obr. 4). Vanová křivka udává závislost mezi intenzitou výskytu poruch  $\lambda$  a časem životnosti zařízení  $t$ . Lze vidět, že na začátku vznikají prvotní poruchy způsobené nedostatky například v konstrukci, výrobě nebo montáži, poté následuje období konstantní poruchovosti a nakonec jsou poruchy způsobené stárnutím.



Obr. 4) Vanová křivka [6]

- **3. generace (proaktivní údržba)** – bere se ohled i na další oblasti týkající se provozu, jako je kvalita produktů, dopad na životní prostředí, bezpečnost práce při současném snižování nákladů. Více se aplikuje technická diagnostika a snaha o monitorování aktuálního stavu stroje. Údržba začíná být vnímána jako činnost, která ovlivňuje kvalitu a spolehlivost výrobku a významně rozhoduje o konečné ceně produktu.
- **4. generace (strategická údržba)** – je spojená s novými strategiemi k řízení údržby jako RCM (Údržba zaměřená na bezporuchovost) a TPM (Totálně produktivní údržba). Souvisí také s nástupem nové revoluce Průmyslu 4.0 a využíváním automatizace a umělé inteligence.

## 2.4 Průmysl 4.0 a údržba

Průmyslem 4.0 je označován současný trend digitalizace a automatizace výroby, což povede ke změnám na trhu práce, které v důsledku nastanou. Základ vychází z dokumentu představeného na veletrhu v Hannoveru roku 2013. [7]

Smysl této změny je vznik tzv. chytrých (inteligentních) továren, ve kterých jednoduchou manuální práci vykonávanou člověkem převezmou kyberneticko-fyzikální systémy. Stroje bude možné ovládat na dálku, produkty dostanou čipy, bude využíváno 3D tisku, stroje budou provádět automatické zásahy atd. V jednoduchosti, vše bude zautomatizováno, což povede k transformaci výrobních procesů a bude potřeba nových kvalifikovaných pracovníků. [7]

„Průmysl 4.0 je informace potřebná tady a teď, informace a reakce.“ [8]

Dle vizi Průmyslu 4.0 se dají dopady na údržbu shrnout do těchto kroků: [9]

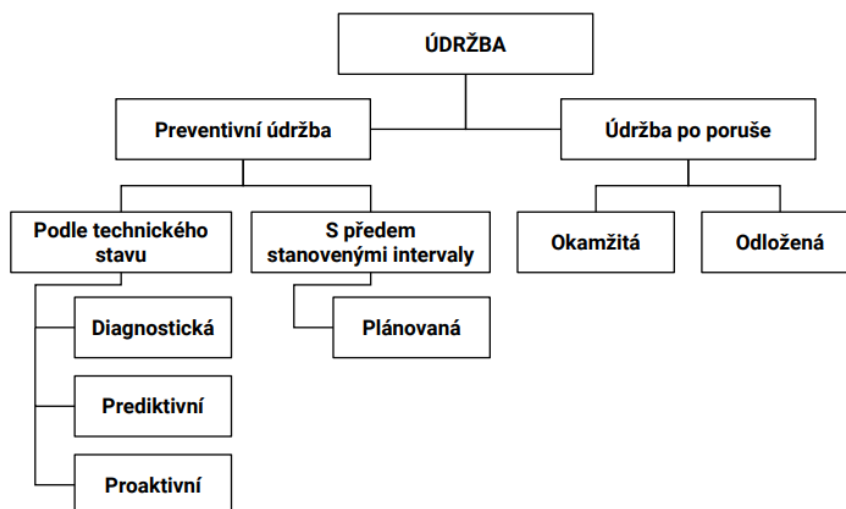
1. **Prediktivní údržba:** Využití prediktivní údržby je vnímáno jako základ 4. průmyslové revoluce. Sbíráni všech dostupných dat o strojích a výrobním procesu a jeho využití k prediktivní údržbě.
2. **Vzdálená prediktivní údržba:** Prediktivní údržba je zajišťována externí firmou na základě dat ze snímačů. Hlavním z důvodů bude nedostatek kvalifikovaných lidí, takže zkušení diagnostici budou mít na starost větší množství strojů.
3. **Automatická diagnostika:** Celá diagnostika je automatická, takže programy samostatně hodnotí získaná data a rozhodují, v jakém stavu se stroj nachází. Člověk pouze provádí opravy, nákupy náhradních dílů a jejich výměnu.
4. **Počítačová komunikace:** Stroje, výrobky a celé výrobní úseky už spolu komunikují skrze internet věcí. Diagnostika probíhá neustále a v případě problému systém sám zasáhne a ještě objedná náhradní díl a opravu. Úkolem člověka bude pouze provedení konkrétní opravy. Počítačová komunikace by měla nahradit mezilidskou komunikaci.
5. **Člověk** už je jen v pozici vývojáře systému a snaží se zajistit bezpečnost. Náhradní díly nemusí vyměňovat člověk, ale systém to zvládne pomocí robotů.

## 2.5 Systémy údržby

Vývoj údržby je nekončící dynamický proces, který vždy zhodnocuje aktuální stav a pokračuje nastavením zlepšujících se kroků a rozvojem. Údržba nikdy neztratí své opodstatnění na jakékoli úrovni provozu. Její nezastupitelnost v poslední době narůstá kvůli ekonomickým tlakům na snižování nákladů na výrobu. Naplňování výrobních cílů proto vyvolává změny strategií v přístupu k údržbě. [4]

V jednotlivých generacích docházelo ke změnám v přístupu k údržbě. Nejdříve se prováděla pouze údržba po poruše a později se začalo přemýšlet i do budoucna a zásahy údržby byly předem plánovány.

Rozdělení systémů údržby dle normy ČSN EN 13306 lze vidět na Obr. 5.



Obr. 5) Typy údržby [1]

### 2.5.1 Údržba po poruše

Jde o historicky nejstarší systém údržby. K opravě poruchy dochází až po jejím vzniku. Údržbu poruše lze dělit na okamžitou a odloženou podle dvou faktorů. V případě okamžité údržby je oprava prováděna ihned po její detekci hlavně z důvodu, aby stroj pracoval a vyráběl. Pokud problém není akutní, nebo je problém v dostupnosti náhradních dílů a lidských zdrojů potřebných k provedení opravy, dochází k odložené údržbě. [4]

Cílem tohoto systému je, aby porucha byla v co nejkratší době opravena. Používá se převážně u prvků a dílů, u kterých nelze, nebo by bylo složité odhadnout míru jejich opotřebení, např. elektronické součástky. Někdy se tato údržba označuje jako nápravný systém, protože poruchy jsou pouze opravovány a neexistuje plánovaný a systémový přístup pro jejich předcházení. Forma inspekce a identifikace problému je založena na zkušenostech obsluhy nebo údržbáře. [4]

### 2.5.2 Plánovaná údržba

Systém plánované údržby se snaží pomocí různých nástrojů a technik předcházet poruchám. Probíhá buď pomocí předem stanovených časových intervalů, nebo na základě technického stavu zařízení. [4]

Údržba s předem stanovenými intervaly obsahuje preventivní prohlídky a kontroly prováděné ve stanoveném termínu, nebo po stanovené době používání (provozní hodiny, pracovní cykly). Délka jednotlivých intervalů bývá navržena výrobcem. Po nějaké době, jak se pracovníci seznámí se strojem více, už jsou intervaly upraveny na základě zkušeností. Tento systém není natolik efektivní, protože nesleduje aktuální technický stav stroje a mnohdy mohou být prohlídky náročné a v konečném důsledku zbytečné. [4]

Efektivnějším přístupem je údržba podle technického stavu, kterou lze rozdělit na: [4]

- **diagnostickou (mezní)** – údržba se provádí na základě skutečného technického stavu, který se určí pomocí metod technické diagnostiky, nebo pomocí průběžného monitorování. Údržba jednotlivých prvků se vykoná v případě, dosáhne-li opotřebení mezní hranice některých funkčních charakteristik, nebo se tato hranice překročí,
- **prediktivní (prognostická, eliminační)** – spoléhá se na skutečný technický stav určený pomocí metod technické diagnostiky a získaných diagnostických parametrů. Tato data jsou dále využita k prognóze určení zbytkové životnosti. Tento systém na základě dat získaných z diagnostiky a společně s expertními znalostmi dokáže předpovídat stav jednotlivých dílů do budoucna a upozornit na možné poruchy či havárie,
- **proaktivní** – v současné době se začala uplatňovat proaktivní údržba, která kombinuje preventivní, diagnostickou a prediktivní údržbu. Cílem proaktivní údržby není jen detekovat projevy poruch, ale hlavně zjistit jejich kořenovou příčinu pomocí různých inženýrských metod. Ve výsledku to znamená, že se stanoví opatření v podobě technologické (např. změna otáček) nebo konstrukční změny, aby k dalším poruchám kvůli této příčině nedocházelo.

Z hlediska strategického nastavení údržby ve firmách se objevují nové filosofie zaměřené na údržbu, které zvyšují produktivnost výroby. Velice rozšířené jsou systémy RCM (Údržba zaměřená na bezporuchovost) a TPM (Totálně produktivní údržba).

## 2.6 RCM – Údržba zaměřená na bezporuchovost

RCM je zkratka pro Reliability Centered Maintenance, tedy v překladu – údržba zaměřená na bezporuchovost.

Tento systém byl poprvé aplikován v 70. letech 20. století v USA. Nejdříve byl využíván v leteckém průmyslu, dnes se však používá v mnoha průmyslových odvětvích. Pomocí metody RCM je možné rozhodnout o požadavcích na preventivní údržbu u strojních zařízení a také o zásazích managementu na základě provozních, ekonomických a bezpečnostních následků poruch. Výsledkem je pokyn k provedení údržbářského úkolu, změna návrhu nebo jiné alternativy pro zlepšení. [3]

Jde o velmi systematický přístup, pomocí kterého je možné zajistit potřebnou spolehlivost zařízení. Vytvoření RCM systému je založeno na podrobné analýze daného zařízení (např. pomocí metody FMEA). Na základě této analýzy se navrhnu taková opatření, které zajistí požadovanou pohotovost, bezpečnost a ekonomičnost provozu. [3]

Koncept RCM je velmi jednoduchý, jde o systematický přístup založený na analýze zařízení a následném návrhu programu údržby. Má 4 základní principy: [3]

1. Zachování funkce systému.
2. Identifikace všech možných způsobů poruch daných komponent, které by mohly způsobit další nežádoucí funkční poruchy.
3. Klasifikace daných způsobů poruchy podle logického stromu.
4. Hledání jednoduchých a efektivních preventivních opatření.

Analýza probíhá v několika krocích, které vedou k vypracování programu preventivní údržby založené na RCM. Nejprve je důležité nadefinovat hranice systému nebo subsystémů a jejich funkce. V těchto systémech/subsystémech se identifikují funkčně významné prvky, u nichž se určí možné příčiny jejich poruch a možné následky těchto poruch s pravděpodobností jejich výskytu. [10]

Po provedené analýze a kategorizaci jednotlivých možných poruch se přistoupí ke stanovení odpovídajících údržbářských úkonů. Podstatou tohoto kroku je nalezení použitelného a efektivního údržbářského zásahu, který zabrání vzniku identifikované poruchy. Pro volbu těchto zásahů se používá analýzy s použitím stromu logického rozhodování. Tato metoda je založena na algoritmizovaných otázkách a odpovědích, díky kterým se dospěje k tomu, zda zvolený údržbářský zásah je efektivní. [10]

V normě ČSN EN 60300-3-11:2010 Management spolehlivosti. Část 3-11: Pokyn k použití – Údržba zaměřená na bezporuchovost je uveden podrobný návod na zavedení metody RCM.





### 3 TPM – TOTÁLNĚ PRODUKTIVNÍ ÚDRŽBA

TPM je zkratka pro Total Productive Maintenance, tedy v překladu – totálně produktivní údržba. Jde o velmi rozšířenou strategii managementu údržby ve výrobních firmách.

TPM je jeden ze základních prvků ve štíhlém podniku. Tato metoda se zaměřuje na dosažení vysoké produktivity výrobních zařízení pomocí určitých nástrojů k eliminaci ztrát, kdy nedochází k přidávání hodnoty. [3]

Jedná se o filosofii aplikovanou na celou firmu přes management až k řadovým zaměstnancům. Sice je tato filosofie pojmenována jako údržba, ale zodpovědnost za plnění hlavního cíle TPM není jen věcí oddělení údržby. TPM nerozlišuje mezi pracovníky, kteří na daném stroji pracují a pracovníky, kteří stroj opravují. Vychází se z toho, že pracovník, který stroj obsluhuje, jej zná nejlépe a dokáže zachytit abnormality v jeho chování a případně dokáže detekovat zdroje budoucích poruch. Proto se v TPM velká část klasických diagnostických a údržbářských činností přenáší z kompetencí údržbářských pracovníků do rukou výrobních pracovníků a výrobních úseků. Standardně to znamená, že se pracovník stará o pořádek na pracovišti, pravidelné čištění strojů a kontrolu stavu důležitých částí stroje (šrouby, kryty, kabely, mazání a čištění třecích ploch). Pracovník se musí naučit porozumět svému stroji, jako by byl jeho vlastní a také tak k němu přistupovat. [18]

Zavedení TPM vede k celkové přeměně kultury organizace tím, že se nejprve pozmění pracovní prostředí, což má vliv na práci jednotlivých operátorů a údržbářů. Postupně se tento vliv projeví ve změně přístupů pracovníků k jejich práci. A pomocí těchto malých krůčků se mění celá kultura podniku. Každopádně jde o neustále se vyvíjející proces, ve kterém se mění náhled na spolupráci mezi oddělením údržby, výroby a dalšími útvary, kteří se podílejí na bezproblémovém chodu výrobního procesu. [11]

#### 3.1 Historie a vývoj TPM

Metoda TPM vznikla kolem 50. let 20. století v Japonsku. Autorem je Seichi Nakajima, který studoval v 50. a 60. letech minulého století systémy pro preventivní a produktivní údržbu v USA a v Evropě. Tyto metody dále rozvíjel a analyzoval. Velkou část života strávil přímo jako konzultant a učitel metody TPM a údržby. [18]

Implementace a rozvíjení metody TPM probíhalo pod dozorem Seichiho Nakajimy ve firmě Nippondenso (patřící do skupiny Toyota). Tato firma používala širokospektrální preventivní údržbu od roku 1960. Kvůli rozvoji automatizace ve firmě se stala údržba problémem, protože byla potřeba stále víc a víc pracovníků údržby. Management firmy rozhodl, že základní úkoly údržby budou plnit operátoři. Následovala modifikace zařízení pro zvýšení spolehlivosti. To vedlo k zavedení preventivní údržby, která pomocí preventivních úkonů a zlepšováním provozuschopnosti strojů vyvinula produktivní údržbu. Cílem produktivní údržby bylo maximalizovat efektivnost zařízení i samotné firmy. Díky tomu byla firma Nippondenso oceněna Japonským institutem pro podnikovou údržbu (JIPM) a obdržela první TPM certifikát. [12]

V roce 1971 byla filosofie TPM definována Japonským institutem pro podnikovou údržbu (JIPM) v 5 hlavních bodech: [13]

1. TPM se především soustředí na zvyšování celkové efektivnosti zařízení.
2. TPM využívá preventivní údržbu v celém životním cyklu zařízení.
3. TPM je zavedena ve všech útvarech podniku.
4. TPM do svých činností zapojuje všechny pracovníky, od managementu až po výrobní pracovníky.
5. TPM je založena na produktivní údržbě, která vychází především z motivace všech zapojených lidí.

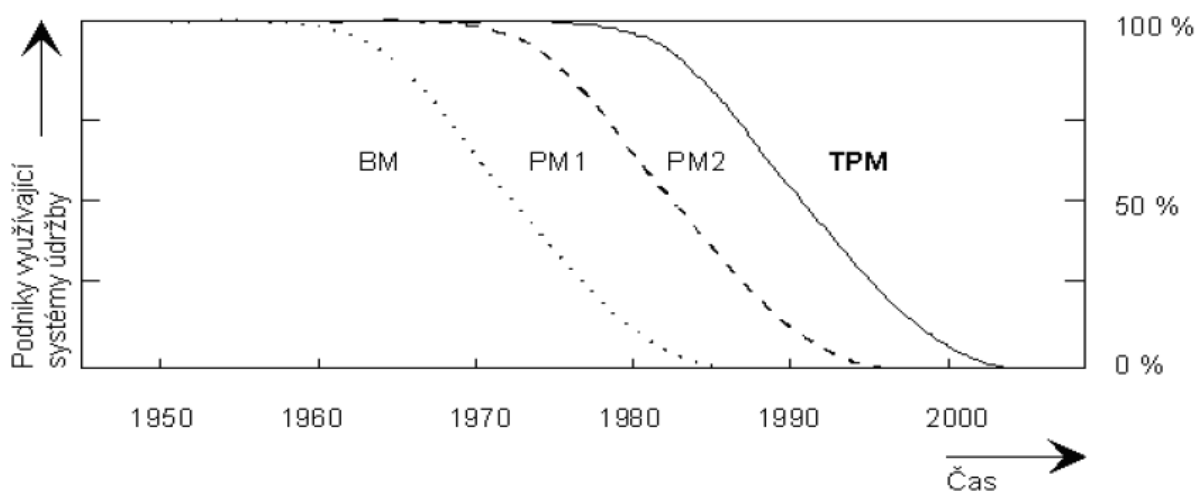
Postupně byla definice upravována a v roce 1989 vydal JIPM aktualizovanou definici, která obsahovala další aspekty pro úspěšné uplatnění TPM v podniku: [13]

1. Základem pro úspěšné zavedení TPM je zapojení pracovníků na všech úrovních, především vrcholného managementu. Ten má jít příkladem pro ostatní a informovat všechny pracovníky o významu implementace TPM.
2. TPM se důkladně věnuje celému systému tak, aby se předešlo všem ztrátám na pracovišti, nebo zařízení. Usiluje o dosažení nulových ztrát, k čemuž využívá malé autonomní týmy na odhalení všech slabých míst.
3. TPM ovlivňuje i aktivity mimo výrobu, takže se zavádí v celém podniku, vč. nákupu, vývoje, prodeje apod.

Podle současného chápání údržby patří metoda TPM už mezi základní nástroje a také díky většímu používání komunikačních a informačních technologií ve výrobě je základem moderního systému řízení údržby.

Zavedení TPM však předcházely jednotlivé systémy údržby tak, jak je znázorněno na Obr. 6. Jednotlivé fáze jsou pojmenovány pomocí anglických zkratk:

- **BM** (breakdown maintenance) – údržba po poruše,
- **PM1** (preventive maintenance) – preventivní údržba,
- **PM2** (productive maintenance) – produktivní údržba,
- **TPM** (total productive maintenance) – totálně produktivní údržba.



Obr. 6) Vývojové etapy systémů údržby [14]

### 3.2 Cíle TPM

Hlavním cílem metody TPM je minimalizace nákladů, avšak současně i zvyšování objemů výroby s hlavním důrazem na kvalitu. Pojí se s tím i další cíle jako splnění termínů dodávek, zlepšení morálky a bezpečnosti na pracovišti a celkové zlepšení pracovního prostředí. [3, 22]

Pro TPM je důležitá prevence, což znamená, že je snaha dosáhnout eliminace prostojů a poruch zařízení a všech ztrát výrobních zařízení a výrobních procesů. Mezi základní zásady prevence patří provoz strojních zařízení při optimálních podmínkách jako prevence před zhoršením stavu (pravidelné čištění, kontrola přesnosti) a taktéž včasné odhalení abnormalit. Abnormalita může být zpozorována během provozu buď pomocí lidských smyslů, senzorů nebo pravidelnou kontrolou. Potřebná je také okamžitá reakce operátorů a pracovníků údržby na vzniklé abnormality. [3, 22]

Mezi nejčastější důvody pro zavedení TPM do současného výrobního scénáře firem patří: [15]

- uspokojení požadavků globálních zákazníků a dosažení trvalého organizačního růstu,
- udržení nebo zvýšení konkurenceschopnosti,
- zlepšení pracovní kultury a celkového myšlení organizace,
- zvýšení kvality a produktivity výroby,
- identifikace a využití příležitostí na snížení nákladů na údržbu,
- minimalizace investic do nových technologií a maximalizace návratnosti,
- regulace zásob a dodací doby náhradních dílů, snížení aktuálních skladových zásob,
- optimalizace nákladů na životní cyklus,
- odstranění vnitřních problémů organizace jako je např. nízká produktivita, reklamace zákazníků, nedodržování dodacích termínů, nedostatek kvalifikace pracovníků, velký počet poruch, vysoké ztráty,
- odstranění vnějších problémů jako je např. tvrdá konkurence, zvyšující se globalizace, vyšší náklady na suroviny a energie,
- zajištění efektivnějšího využívání lidských zdrojů, podpora jejich osobního růstu, získávání odborných kompetencí prostřednictvím školení a komplexní rozvoj pracovníků v různých oblastech,
- snížení a postupná likvidace tzv. „nevyřešených úkolů“, což znamená čas potřebný na odstranění poruch, nastavení a seřízení stroje,
- dosažení vyšší bezpečnosti a kvality práce,
- snaha o využití zaměstnaneckých dovedností, tj. aby zaměstnanci pracovali raději chytře než tvrdě,
- dosažení globální konkurenceschopnosti.

Tyto body jsou zároveň i přínosy úspěšného zavedení TPM do firmy.

### 3.3 Základní pilíře TPM

Metoda TPM nespočívá jen v předcházení poruchám, ale do popředí klade i redukcii krátkodobých prostojů, eliminaci chyb a zkracování doby potřebné na přestavení. [3]

Ztráty ve výrobě jsou nejčastěji způsobovány třemi činiteli: [3]

- opotřebením (25%) – opotřebení třením, teplotou, tlakem, lomy,
- člověkem (33%) – neznalost, nedbalost, špatné zaškolení, slabá motivace,
- znečištěním (42%) – třísky, prach, maziva, oleje.

Celá metoda byla původně postavena na 5 základních pilířích (Obr. 7): [18]

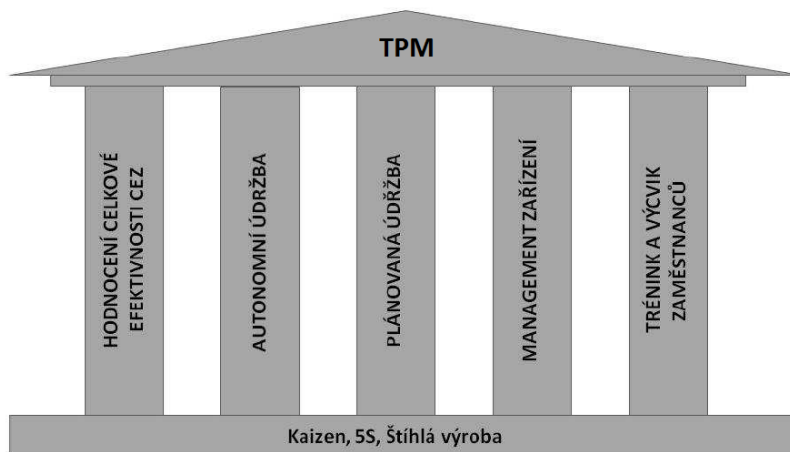
- celková efektivnost zařízení,
- autonomní údržba,
- plánovaná údržba (preventivní a prediktivní),
- management zařízení,
- trénink a výcvik zaměstnanců.

Dnes se již hovoří o 8 základních pilířích (autonomní údržba; plánovaná údržba; neustálé zlepšování zařízení a procesů; vzdělávání a trénink; sledování životního cyklu stroje; 5S v administrativě; kvalita, bezpečnost a environment; materiálový tok). Avšak pojmenování jednotlivých pilířů není striktně dané a každá firma se podle svých potřeb rozhodne, na jakých pilířích postaví svůj systém TPM.

Dle Obr. 7 lze vidět, že celková metoda a její jednotlivé pilíře stojí na základech dalších metod, jako jsou: [3, 22]

- Kaizen – metoda se snahou o neustálé zlepšování pomocí malých „zlepšováků“,
- 5S – metoda založená na pořádku a přehledném uspořádání pracoviště,
- LEAN managementu – filosofie štíhlé výroby, kde dochází k identifikaci a eliminaci plýtvání v různých částech výrobního procesu z hlediska finančního, časového, logistického atd.

Všechny metody mají společný cíl a to zvyšování konkurenceschopnosti firmy. Zavedením všech těchto metod se firma dostává do celosvětové špičky, protože se zavazuje k neustálému růstu a využívání lidského potenciálu.



Obr. 7) Pilíře metody TPM [16]

### 3.3.1 Hodnocení celkové efektivnosti zařízení CEZ

Koeficient celkové efektivnosti zařízení neboli CEZ, v angličtině OEE (Overall Equipment Effectiveness) se vyhodnocuje u jednotlivých strojů na základě dat o jejich provozu. Výsledný koeficient je ovlivněn šesti hlavními ztrátami a počítá se pomocí ukazatelů využitelnosti, výkonnosti a kvality. [18]

V praxi se lze často setkat s některými chybami při výpočtu CEZ. V některých firmách se snaží vykazovat co nejlepší (nejvyšší) hodnotu CEZ, a proto mají už v metodice výpočtu přehlíženy časové ztráty na přestavby, opravy atd. Pro management a akcionáře jde o dobrou zprávu, jak produktivně jsou jejich zařízení využita, ale doopravdy si tím pouze zastírají možnost redukce daných časových ztrát. [18]

Metodika výpočtu CEZ by měla být zvolena dle cíle dané firmy a daného důvodu pro sledování CEZ. Neměly by se přebírat postupy z knih či jiných firem. Platí, že jednoduchý, přehledný a rychlý systém je důležitější než příliš komplikovaný. Některé firmy sledují i logistické prostoje nebo prostoje z důvodu nepřítomnosti pracovníka na pracovišti. Vše ale záleží na tom, jaký je cíl sledování CEZ. [3]

Velice často se koeficient CEZ sleduje, aniž by byla snaha o jeho zvyšování. Je proto otázka, zda má takové sbírání údajů smysl, pokud se hodnoty CEZ používají jen pro účely dokladování při auditech nebo na manažerských mítincích. Pokud má být vyhodnocování CEZ využito na systematické zvyšování produktivity musí být sběr dat, jejich vyhodnocování a vizualizace řízeným procesem vedoucím k opatřením na zvyšování CEZ. [3]

Další otázkou je, zda je potřeba sbírat data a vyhodnocovat CEZ na všech zařízeních. Výhodnější je zaměřit se pouze na úzká místa, popřípadě na nestabilní zařízení, kde je nekvalita a variabilita ve výrobním procesu, nebo které vykazují velkou poruchovost. [3]

Občas bývá problém v samotném sběru údajů pro vyhodnocení CEZ od pracovníků, kteří mají obavy, že konečné výsledky budou použity proti nim. Údržbáři si schválně upravují čas doby, než přijdou k zařízení a opraví poruchu, operátoři zase rádi pracují při snížených rychlostech v oblastech, kde dochází k přirozeným poruchám (např. trhání materiálu v papírenském průmyslu). Při sledování CEZ je proto potřeba celý projekt správně definovat, aby se jen uměle nevytvářela výborná čísla pro management. Celý smysl vyhodnocování produktivity je v odkryvání rezerv a jejich systematická náprava. [3]

Dále jsou uvedeny vzorce pro výpočet jednotlivých parametrů a ukazatelů. [3]

Koeficient celkové efektivnosti zařízení CEZ se počítá dle vzorce (1):

$$CEZ = Dostupnost \cdot Výkonnost \cdot Kvalita = D \cdot V \cdot K \quad [-] \quad (1)$$

kde:  $D$  – ukazatel využitelnosti (dostupnost zařízení) [-]

$V$  – ukazatel výkonnosti (míra výkonnosti) [-]

$K$  – míra kvality, tzn. podíl shodných výrobků v celkové produkci [-]

Dostupnost  $D$  (označována také jako pohotovost) vypovídá o podílu pracovní doby, kdy je zařízením vyráběn produkt. Dostupnost se vypočítá dle vzorce (2):

$$D = \frac{\text{plánovaný čas provozu} - (\text{plánované} + \text{neplánované prostoje})}{\text{plánovaný čas provozu}} \quad [-] \quad (2)$$

Výkonnost  $V$  vypovídá o vlivu neplnění výkonnostních norem. Pro výpočet se používá skutečný čas provozu bez prostojů (plánovaných i neplánovaných). Vypočítá se dle (3):

$$V = \frac{\text{plánovaný čas provozu na jeden kus} \cdot \text{celkový počet vyrobených kusů}}{\text{plánovaný čas provozu} - (\text{plánované} + \text{neplánované prostoje})} \quad [-] \quad (3)$$

Součinitel kvality  $K$  udává poměr shodných vůči celkovým (shodným i neshodným) vyrobeným dílům. Vypočítá se dle (4):

$$K = \frac{\text{celkový počet vyrobených dílů} - \text{počet neshodných výrobků}}{\text{celkový počet vyrobených dílů}} \quad [-] \quad (4)$$

Někdy se proto sledují a vyhodnocují koeficienty TEEP (Total Effective Equipment Productivity), který se vypočítá dle vzorce (5) a NEE (Net Equipment Effectiveness), ten se vypočítá dle vzorce (6). [3]

$$TEEP = \text{Stupeň využití} \cdot CEZ \quad [-] \quad (5)$$

Stupeň využití znamená využitelnost dané směny a vypočítá se jako poměr skutečného času provozu k celkovému teoretickému času provozu (1 den = 24 h). [3]

$$NEE = \text{Provozní dostupnost} \cdot V \cdot K \quad [-] \quad (6)$$

Provozní dostupnost se počítá podobně jako dostupnost  $D$ , akorát se počítá poměr k dostupnému času provozu, což znamená, že se ve jmenovateli zlomku odečítá čas plánovaných prostojů. [3]

Jednotlivé parametry avšak ovlivňují různé negativní vlivy, které jsou identifikovány během provozu zařízení a to má v konečném důsledku vliv na CEZ. V tabulce Tab. 1 jsou uvedeny negativní vlivy a jejich vztah s jednotlivými parametry koeficientu CEZ. [17]

Tab 1) Negativní vlivy působící na CEZ [17]

CEZ	Dostupnost	Výkonnost	Kvalita
Negativní vlivy	Ztráty času	Výpadky výkonnosti	Nekvalita
	Přestavby a seřízení	Krátká přerušení	Vícepráce
	Výměna nářadí	Chod naprázdno	Zmetky
	Výpadky po poruše	Rozdíl mezi skutečnou a teoretickou rychlostí	Ztráty v důsledku náběhu
	Organizační prostoje		

Standardy TPM na celosvětovém trhu dosahují hranice 90% dostupnosti, 95% výkonnosti a 99% kvality vyráběných dílů. Hodnota CEZ rovna 85% je pak považována za světovou třídu. [17]

Organizace údržby metodou TPM však úzce souvisí se ztrátami, které vzniknou na zařízení v průběhu jeho provozu. Ztráty jsou různé podle daného způsobu výroby, provozu a údržby zařízení a také na základě lidských chyb. Při provozu strojních zařízení je tedy nutné počítat s těmito ztrátami: [18]

- plánované prostoje,
- neplánované prostoje,
- ztráty rychlosti,
- ztráty kvality.

Tyto ztráty pak následně ovlivňují produktivitu a celkovou efektivitu zařízení a v zásadě to jsou: [17]

- **prostoje** – vyplývají z poruch (ztráty funkce) strojů, ale také z neplánovaného prostoje (nepřítomnost pracovníka, nedostatek materiálu),
- **čas potřebný na seřízení a nastavení parametrů** – změna materiálu, výměna nástroje, nastavení výroby pro nový rozměr polotovaru,
- **ztráty způsobené přestávkami ve výkonu zařízení** – poruchy omezující funkci zařízení a snižující výkon, chod naprázdno způsobující dočasné problémy,
- **ztráty rychlosti v průběhu výrobního procesu** – rozdíl mezi naplánovanou a reálnou rychlostí,
- **kvalitativní následky procesních chyb** – ztráty na kvalitě z důvodu nesprávného provozu stroje,
- **snížení výkonu v rozběhu výrobního procesu** – ztráty ve výkonu při technologických zkouškách.

### 3.3.2 Autonomní údržba

Pilíř autonomní údržby se snaží o optimalizaci systému člověk – stroj. Jde o přenesení některých drobných úkonů údržby z pracovníků údržby na operátory a obsluhu stroje, kteří znají „svůj“ svěřený stroj nejlépe. Potom se může oddělení údržby zaměřovat na komplikovanější opravy vyžadující speciální odbornou kvalifikaci. [18]

Pro správně fungování autonomní údržby je však nutné, aby obsluha znala dokonale stroj. Málo činností je intuitivních, a proto by mělo proběhnout zaškolení v rámci organizovaných školení a tréninků. Další zkušenosti budou přibývat časem. Mezi základní úkoly autonomní údržby lze zařadit čištění strojů, eliminaci zdrojů znečištění, mazání a kontrolu stavu, monitorování a identifikování možných zdrojů poruch, podílení se na zlepšování z hlediska prevence poruch, provádění jednoduchých oprav (výměny, utahování uvolněných částí), poskytování podpory specialistům při větších opravách. [18]

Autonomní údržba tedy znamená, že: [18]

- obsluha stroje provádí některé údržbářské činnosti samostatně,
- obsluha stroje se účastní na údržbě a pomáhá zlepšovat její organizaci,
- obsluha je spoluzodpovědná za provozuschopnost stroje.

Autonomní údržba se zavádí v sedmi krocích: [18]

1. Počáteční čištění.
2. Eliminace zdrojů znečištění.
3. Normy čištění a mazání.
4. Všeobecná kontrola.
5. Autonomní kontrola.
6. Organizace a počátek.
7. Rozvoj autonomní údržby.

Těchto sedm kroků se dá rozdělit do tří bloků: [18]

- Schopnost objevovat poruchy, porozumět principům a metodám zlepšování.
- Znalost funkcí a struktury zařízení.
- Znalost vztahu mezi přesností zařízení a kvalitou produkce.

### 3.3.3 Plánovaná údržba

Plánovaná údržba se využívá k minimalizaci potřeb reaktivní údržby (údržby po poruše). Cílem plánované údržby je dosažení minimální ceny údržby, zlepšení spolehlivosti a životnosti stroje, snížení potřeb skladových zásob náhradních dílů, ale hlavně předcházení poruchám jejich včasným odhalením a odstraňováním možných příčin jejich vzniku. Nástrojem plánované údržby jsou preventivní prohlídky, které jsou předem naplánované a vedou k preventivním opravám či výměnám dle zjištěných výsledků prohlídek. Plánovaná údržba se rozlišuje z hlediska náročnosti na: [3]

- preventivní údržbu,
- prediktivní údržbu.

**Preventivní údržba** je vhodná pro činnosti, které jsou závislé na čase, jako je pravidelné mazání, doplňování kapalin nebo výměna jednoduše opotřebovatelných součástí. Tato preventivnost by neměla přerůst do takového stavu, kdy se budou tyto operace provádět zbytečně, tzn. dlouho před skutečnou potřebou provedení. Potom jsou tyto opatření nákladné jak finančně, tak i časově, jelikož je nutné odstavit stroj. Ten nemůže vyrábět, skladové zásoby mohou být přehnaně velké a zabírat volné kapacity pro další výroby. [3]

Plánování preventivní údržby je nejčastěji realizováno dle návodů výrobce daných strojů. Výrobce většinou v návodu k použití uvede co a jak často by se mělo kontrolovat, nebo jaké součástky je nutné pravidelně vyměňovat (např. těsnění). V průběhu času se personál seznámí se strojem, takže už dokáže zanalyzovat, kde dochází k poruše, případně vyhodnotit, že v daném plánovaném intervalu ještě není stav natolik vážný. Na základě těchto zkušeností si oddělení údržby upraví jednotlivé preventivní plány dle praktických zkušeností. [3]

Před prvotním zavedením preventivní údržby je nutné provést následující kroky: [3]

- vybrat zařízení, na kterých bude prováděna preventivní údržba,
- určit specifické údržbářské operace pro daný stroj v rámci preventivní údržby,
- určit časovou pravidelnost těchto operací pro daný stroj,
- vytvořit a řídit záznamy provedených údržbářských operací.

**Prediktivní údržbou** se myslí strategická údržba spojená především s technickou diagnostikou, která pomocí získaných dat dává podněty k provádění údržby. Jde o přívětivější přístup pro výrobu, protože není nutné při měření odstavit stroj. Sběr dat může probíhat neustále, čímž se získá velký objem dat pro následné analýzy. [3]

Ze získaných dat z diagnostických prostředků potom mohou odborníci vyhodnotit aktuální stav dané součásti a navrhnout, zda je potřeba výměna či ne. Velkou výhodou je, že analýzou těchto dat lze sledovat vývoj stavu součásti během času, tudíž lze jednoduše objevit vznik poruchy v rané fázi a navrhnout tak výměnu ještě před možným budoucím selháním. Tímto se zabrání neplánovanému selhání, což by mnohdy vedlo k daleko větším ztrátám. [3]

Prediktivní údržba je oproti preventivní údržbě výhodnější v tom, že sleduje aktuální stav zařízení. Je více efektivní, protože navrhuje zásah do zařízení až v případě problému, což může značně prodloužit provozní dobu a nemusí se provádět pravidelné odstávky. To je i důvod, proč je méně finančně náročná v průběhu využívání. [3]

K získávání dat o stroji se používají jednotlivé disciplíny technické diagnostiky, jako jsou vibrodiagnostika, termodiagnostika, tribodiagnostika, elektrodiagnostika apod.



### 3.3.4 Management zařízení

Cílem tohoto pilíře je využití všech znalostí v oblasti údržby a jejich využití při nakupování nových strojů nebo zavádění nového výrobního procesu tak, aby nebylo nutné provádět celý proces znovu. Potom je také potřeba získané praktické zkušenosti aplikovat na daná zařízení tak, aby byla údržba jednodušší a efektivnější. [18]

Dále je také důležité věnovat se managementu náhradních dílů a to proto, aby byl správný díl k dispozici ve správný čas. Celý proces je potřeba řídit tak, aby náhradní díly byly objednávané, skladované v optimálním počtu a vydávány v systematickém řádu. [18]

### 3.3.5 Trénink a výcvik zaměstnanců

Základem pro fungování jakéhokoliv systému je podřízení se všech zapojených lidí společnému cíli. To znamená, že každý jednotlivý pracovník musí být dokonale seznámen s celým konceptem a v ideálním případě se podílet na jeho zlepšování. Základem TPM je tedy proškolení všech zaměstnanců se všemi principy této metody, aby věděli, co a proč se dělá. Praktickými zkušenostmi jsou potom jejich znalosti prohlubovány, čehož mohou využít pro návrhy podnětů ke zlepšení procesů. Tento postup je využíván v metodě Kaizen. [3]

Operátor zařízení je zapojován do každodenní péče o svěřený stroj v rámci autonomní údržby, kdy částečně přebírá zodpovědnost údržbářů. Postupně se učí a vzdělává ve specializovaných odborných oblastech a je tak schopnější řešit nečekané problémy osobním zásahem. [3]

Technik údržby se zase více rozvíjí v diagnostických metodách a získává povědomí o jejich problematice a použitelnosti. Dále získává hlubší technické znalosti o funkci a konstrukci strojů, může se zapojovat do provádění analýz rizikovosti a poruchovosti a podílet se na odstraňování velikých problémů a poruch na strojích. [3]

## 3.4 Vizualní management

Dále se často aplikuje tzv. vizuální management. To znamená, že všechny požadavky na provádění údržby jsou vizuálně znázorněny, aby byly úkony snadně pochopitelné pro obsluhu. Nejčastěji bývají používány kartičky s popisy, tabulkami a obrázky umístěné u stroje, které pracovníkům pomáhají v udržování svého pracoviště čistého a uspořádaného. [3]

Na Obr. 8 je znázorněn příklad vizualizace z praxe. Na první pohled je pro pracovníka jasné, jestli je aktuální stav správný (zelené pole) nebo není (červené pole). Odpadá tu nutnost hledání rozmezí dané veličiny, kdy by mohlo dojít k přehlédnutí.



Obr. 8) Příklad vizualizace [19]

### 3.5 Implementace TPM

Pokud chce nějaký podnik zavést do své výroby metodu TPM, musí vytvořit a následně udržovat prostředí, které bude tyto iniciativy podporovat. Hlavní úkol v tomto leží na vrcholném managementu. Zavedení TPM má význam tam, kde managementu záleží na eliminaci ztrát a zvýšení produktivity výroby. Jedná se o dlouhodobý proces, který je zapotřebí neustále zdokonalovat a jeho výsledky se dostávají až postupně s časem. Celé zavedení vyžaduje značné úsilí zaměstnanců (od managementu, přes výrobu až po údržbu), které na počátku přináší více práce jak užítku. [20]

Hlavním principem implementace TPM je spolupráce operátorů s pracovníky údržby, která je zaměřená na postupnou eliminaci prostojů a neplánovaných oprav. Důležitá je také správná motivace lidí, které je bezpochyby potřebné dosáhnout i dobře nastaveným systémem odměňování. Nemělo by záležet na počtu hodin strávených odstraňováním poruch, ale na počtu hodin, kdy jsou stroje provozuschopné a vyrábějí kvalitní výrobky. [20]

Samotná implementace TPM má několik fází a ve skutečnosti může celý projekt trvat až 3 roky, než je možno prohlásit, že TPM ve firmě funguje tak, jak má. Seiji Nakajima uvádí 12 základních kroků (Tab. 2), které provází zavedení TPM. [20]

Tab 2) Základní kroky implementace TPM [13]

Fáze	Krok	Detaily, nástroje
<b>Příprava</b>	1. Oznámení vrcholného managementu o zavedení TPM	Přednášky, články o výhodách TPM ve firemním newsletteru
	2. Start vzdělávání o smyslu TPM	Manažeři – kurzy a semináře, vzájemná setkávání
	3. Vytvoření organizační jednotky pro propagaci TPM	Speciální komise na všech úrovních pro propagaci TPM
	4. Vytvoření vize a politiky TPM a jeho cílů	Analýza stávajícího stavu, určení cílů
	5. Sestavení hlavního plánu pro zavedení TPM	Detailní implementační plán
<b>Předběžná implementace</b>	6. Zahájení implementace TPM	Workshop se zákazníky a dodavateli
<b>Implementace TPM</b>	7. Zlepšení výkonnosti každého zařízení	Výběr modelových zařízení, vytvoření projektových týmů
	8. Navržení programu autonomní údržby	Zaškolení pracovníků a vytvoření metod pro ověřování znalostí
	9. Navržení programu plánované údržby	Preventivní a prediktivní údržba, management náhradních dílů
	10. Zahájení tréninku pro zlepšení odbornosti údržbářských pracovníků	Společná školení vedoucích, sdílení informací s podřízenými
	11. Vytvoření časového programu managementu zařízení	Preventivní údržba
<b>Stabilizace</b>	12. Zlepšování TPM a rozšiřování jeho aplikace	Vyhodnocování, zvyšování cílů

## 4 TECHNICKÁ DIAGNOSTIKA

Technická diagnostika je samostatný vědní obor zabývající se zjišťováním poruch a celkovým hodnocením technického stavu zařízení. Toto diagnostikování probíhá většinou pomocí bezdemontážních a nedestruktivních prostředků a metod. Snahou technické diagnostiky je v rámci možností identifikovat a odhalit skryté závady, lokalizovat je a určit jejich rozsah. Pomocí této snahy je možné určit příčiny i následky závad, což napomáhá ke zvyšování spolehlivosti stroje, optimalizace nákladů na provoz a zajištění bezpečnosti provozu. Technická diagnostika je nezbytnou součástí správného řízení a plánování údržby, proto se využívá skrze monitorování jako nástroj prediktivní údržby. [4]

V technické diagnostice se rozlišují stavy zařízení a to: [22]

- **bezvadný stav** – nastává, když všechny parametry zařízení jsou v předem dané toleranci a zařízení spolehlivě plní danou funkci,
- **provozoschopný stav** – nastává, když v dané toleranci jsou pouze hlavní parametry zařízení,
- **poruchový stav** – nastává v okamžiku, kdy zařízení částečně nebo úplně ztratí svou provozuschopnost.

Se špatným stavem zařízení souvisí nejčastěji opotřebením jeho důležitých součástí. V důsledku toho pak tyto změny mají vliv na přesnost a účinnost celého zařízení, narůstají vibrace, hlučnost, teplota a hlavně spotřeba energií. Také dochází ke zhoršení kvality vyráběných výrobků a hrozí, že opotřebením může přejít v horší poruchu, což by znamenalo velké finanční náklady a také by se zvýšilo riziko ohrožení na zdraví pracovníků nebo na životním prostředí. [23]

### 4.1 Diagnostické systémy

V technické diagnostice se provádí měření pomocí diagnostických prostředků. Dále je potřeba obsluha a soubor pracovních postupů. Společně s diagnostikovaným objektem se vše dohromady označuje jako tzv. diagnostický systém. Pomocí diagnostického systému se získají výsledky o stavu zařízení. Podle typu výsledků se diagnostické systémy rozlišují na deterministické (vztah příčina-následek) a pravděpodobnostní (práce s neurčitými daty). [22]

Deterministické systémy jsou založeny na jednoznačném rozpoznávání vztahu příčina/následek a patří do nich systémy založené na způsobu průběhu samotných měření, které probíhají buď jako: [21]

- **on-line diagnostika** – neustálé monitorování, sběr dat a jejich vyhodnocování probíhá za provozu zařízení, diagnostické prostředky jsou obvykle zabudovány v daném zařízení,
- **off-line diagnostika** – data jsou nejprve nasbírána a poté vyhodnocena. Nejde o neustálé monitorování, ale provádí se po daných časových intervalech většinou v době, kdy zařízení není v provozu,
- **dálková diagnostika** – jde o diagnostiku „na dálku“. Diagnostik se např. pomocí internetu připojí ke stroji a podle interních dat ze stroje, které se mu zobrazí, zanalyzuje oblast závady.

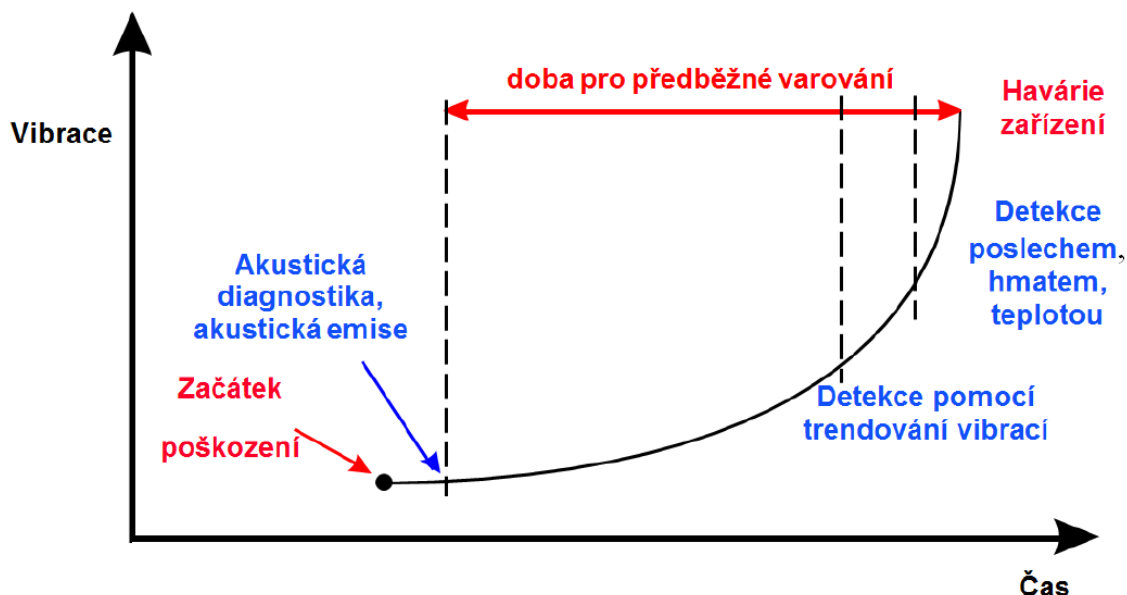
## 4.2 Metody technické diagnostiky

Úkolem metod technické diagnostiky je včasná identifikace vznikajících poruch pomocí vyhodnocování diagnostických veličin. Měření jsou založena na různých fyzikálních jevech a jejich výstup je v určitých fyzikálních jednotkách dle metody diagnostiky. Pro správné určení aktuálního technického stavu je však také nutné znát hodnotu (toleranční mez) nebo trend vývoje dané diagnostické veličiny. Pak lze s jistotou říci, že stav už je kritický a je nutné zasáhnout. [4]

Diagnostické metody lze rozdělit do dvou skupin. První skupina zahrnuje metody, které jsou využívány při vytváření systému údržby daného strojního zařízení. Patří sem: [4]

- tribodiagnostika,
- termodiagnostika,
- vibrodiagnostika,
- zvuková (akustická, hluková) diagnostika,
- elektrodiagnostika.

Na Obr. 9 je znázorněna konečná fáze vanové křivky. Můžeme zde vidět, že metody technické diagnostiky lze využít pro odhalení vznikající poruchy. Například pomocí akustické diagnostiky lze odhalit teprve vznikající poruchu ještě před jejím projevem na povrchu materiálu. Tato vznikající porucha se projevuje vysokofrekvenčním signálem, který je možné zachytit použitím akustické diagnostiky. Často ale dochází k ovlivnění okolním prostředím, proto se spíše využívá vibrodiagnostických metod (např. SEE nebo jiné vysokofrekvenční metody). S tím, jak poškození postupuje dále, se zvyšují vibrace a poruchu lze odhalit pomocí trendování vibrací. Na konci, jak se blíží havárie zařízení, se už porucha detekuje pouhým poslechem, hmatem, nebo teplotou. [4]



Obr. 9) Možnost identifikace havárie [4]

Dále se používají další diagnostické metody jako: diagnostika deformace, tlaku, výšky hladiny, množství tepla, průtoku, koncentrace a další.

Do druhé skupiny diagnostických metod se řadí především metody na určení geometrické přesnosti. Tyto metody se řídí normami řady ISO 230. Patří mezi ně: [24]

- **měření kruhové interpolace** – měří se pohyb po kružnici o známém poloměru, kdy rozdíl mezi naprogramovanou a reálnou dráhou pohybu ukáže přesnost CNC obráběcího strojního zařízení. Také se dá využít k zjištění kruhovitosti,
- **měření upínací síly** – měří se, zda není síla upnutí obrobku snížena, což by mělo za následek nedosažení požadované kvality obrobku nebo i poruchu vřetene stroje,
- **laserová interferometrie** – používá se k měření přesnosti polohování stroje, kdy lze měřit odchylky polohy, přímosti, rovnoběžnosti, sousostí či kolmosti lineárních vedení. Nestandardní odchylka polohování se určí na základě laserového paprsku dopadajícího na senzor.

#### 4.2.1 Tribodiagnostika

Tribodiagnostika má základ v tribologii, což je vědní obor zabývající se chováním povrchů těles při vzájemném pohybu. Tribotechnická diagnostika je pak dle definice jednou z metod bezdemontážní diagnostiky, která používá maziva jako prostředky pro získávání informací o procesech a mechanických změnách v technických systémech, ve kterých jsou maziva aplikována. Také vyhodnocuje stav a kvalitu samotného maziva, čehož se dále využívá pro stanovení intervalů jeho výměny. [4]

Princip tribodiagnostiky je založen na zjišťování a vyhodnocování přítomnosti nečistot v mazivu. Provozem stroje dochází u jednotlivých součástí k postupnému opotřebení a z materiálů se uvolňují malé částičky. Tím, jak je do třecích uzlů přiváděno mazivo, jsou tyto malé částičky mazivem odváděny a dále kolují v mazací soustavě. Zjišťování množství a druhu těchto nečistot se sleduje a zaznamenává s postupem času a díky sledování trendu je možné zaznamenat jejich nadlimitní koncentraci, případně odhalit budoucí poruchu. Analyzováním typu částic je možné také určit místo jejich zdroje a odhalit lokalizaci budoucí poruchy. [4]

#### 4.2.2 Termodiagnostika

Termodiagnostika je druh technické diagnostiky, která se zabývá sledováním teploty jako parametru, pomocí kterého je možno charakterizovat aktuální technický stav zařízení. Většina poruch součástí se projevuje právě zvýšením teploty. U mechanických prvků se teplota zvyšuje především při opotřebenosti a způsobují ji větší pasivní odpory a tření. Dále se také může jednat o špatné ustavení strojů nebo zahřívání rotačních a kmitajících prvků. [25]

Pro samotné měření teploty se v praxi používá dvou způsobů měření a to dotykové a bezdotykové. Při dotykovém měření teploty je daný přístroj (teploměr) v přímém kontaktu s měřeným objektem či prostředím. Pro bezdotykové měření se používají pyrometry (infračervené teploměry) nebo termokamery. Termokamery snímají teplotní pole objektu a měří rozložení teploty na jeho povrchu. Používají se na diagnostická a inspekční měření např. pro prevenci poruchových stavů. [25]

### 4.2.3 Elektrodiagnostika

Elektrodiagnostika je metoda, která se ještě stále rozvíjí. V oblasti elektrických strojů jako jsou transformátory, elektrické točivé stroje nebo v oblasti elektrických izolací je diagnostika elektrické energie celkem rozšířená a využívaná, avšak u obráběcích strojů tato metoda téměř nelze použít. U těchto strojů se přistupuje pouze k měření základních elektrických veličin, jako je proud a napětí. Nejčastěji toto měření probíhá současně s měřením vibrací, protože mezi těmito dvěma metodami je určitá korelace. Rostoucím opotřebením strojních součástí se totiž zvyšují jak vibrace, tak i spotřeba elektrické energie. [31]

Určité opodstatnění má měření kvality elektrické energie, protože pokud je distribuovaná energie negativně ovlivňována všemi připojenými stroji, dochází ke kolísání elektrických veličin. Toto může mít za následek výpadky výroby, nižší životnost zařízení nebo energetické ztráty, což se pak negativně projevuje z finančního hlediska závodu. [31]

### 4.2.4 Vibrodiagnostika

Vibrodiagnostika je nejčastěji používaná metoda technické diagnostiky při monitorování stavu rotačních strojů. Velká výhoda vibrační diagnostiky je v tom, že jde o bezdemontážní a nedestruktivní diagnostiku a díky tomu má snadné použití v praxi. Správně provedená vibrační diagnostika dokáže zjistit druh poruchy na strojním zařízení, určit jeho příčinu a zdroj a závčas na ni upozornit. [2]

Velmi často se na rotujících strojích během provozu objevuje určitá forma špatného ustavení stroje či nevyváženosti, například z důvodu špatné montáže. Tyto nepřesnosti potom generují odstředivé síly, které vyvolávají fyzikální odezvy a vznikají tak vibrace. Vibrodiagnostika je založená na charakterizování a měření vibrací neboli chvění stroje a následné analýze naměřeného signálu pomocí různých metod. [2]

Normy týkající se názvosloví a metod vibrodiagnostiky jsou:

- ČSN ISO 13373-1: Monitorování stavu a diagnostika strojů – Monitorování stavu vibrací – Část 1: Obecné postupy.
- ČSN ISO 13373-2: Monitorování stavu a diagnostika strojů – Monitorování stavu vibrací – Část 2: Zpracovávání, prezentace a analýza vibračních dat.
- Soubor norem ČSN ISO 10816: Vibrace – Hodnocení vibrací strojů na základě měření na nerotujících částech.

Ve vibrodiagnostice se sledují tři veličiny a to: zrychlení, rychlost, výchylka, Tyto veličiny jsou navzájem matematicky propojeny a lze mezi nimi přepočítávat z jedné veličiny na druhou. [2]

**Frekvence**  $f$  kmitavého pohybu je vyjádřena vztahem (7): [2]

$$f = \frac{1}{T} \text{ [Hz]} \quad (7)$$

kde:  $T$  – perioda (tzn. doba, za kterou proběhne jedna celá rotace) [s]

**Úhlová frekvence** se potom vyjádří podle vztahu (8): [2]

$$\omega = 2\pi f \text{ [rad} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (8)$$

Pokud zanedbáme tlumení, těleso kmitá z rovnovážné polohy o výchylce  $x(t)$ . V praxi je **výchylka** o amplitudě  $X$  v hodnotách v řádu mikrometrů a v jednodušší podobě je popsána vztahem (9): [2]

$$x(t) = X \cdot \sin(\omega t) \quad [\mu\text{m}] \quad (9)$$

**Rychlost**  $v(t)$  je potom první derivací podle času této výchylky udávaná v milimetrech za sekundu a je popsána vztahem (10): [2]

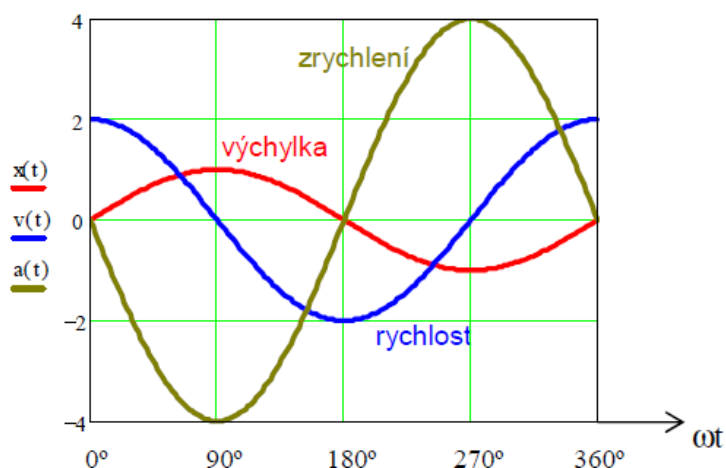
$$v(t) = \frac{dx}{dt} = X \cdot \omega \cdot \cos(\omega t) \quad [\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (10)$$

Rychlost vibrací se využívá pro identifikaci poruch vyskytujících se ve frekvencích od 2 Hz – 1000 Hz. Nejčastěji jde o špatné ustavení stroje nebo nevyváženost. [2]

**Zrychlení** je druhá derivace podle času výchylky nebo první derivací času podle rychlosti a je udávané v milimetrech za kvadrát sekundy a je popsáno vztahem (11): [2]

$$a(t) = \frac{d^2x}{dt^2} = \frac{dv}{dt} = -X \cdot \omega^2 \cdot \sin(\omega t) \quad [\text{mm} \cdot \text{s}^{-2}] \quad (11)$$

Mezi těmito veličinami lze přepočítávat i zpětně (ze zrychlení na rychlost či výchylku) a to pomocí integrace. Z toho vyplývá, že teoreticky stačí znát jen jednu veličinu a zbývající už lze dopočítat. Z Obr. 10 je patrné, že fázový posuv mezi těmito veličinami je  $90^\circ$ . [2]



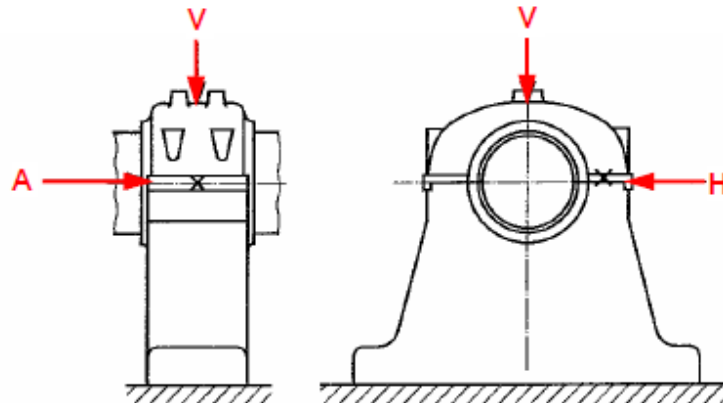
Obr. 10) Fázový posuv veličin [2]

Pro měření vibrací stroje je potřeba speciální technické vybavení. Pro zaznamenání vibrací se používají snímače. Existují různé typy snímačů o různých parametrech podle toho, která veličina bude měřena: [2]

- snímače pro měření zrychlení (akcelerometry),
- snímače pro měření rychlosti (volumetry),
- snímače výchylky.

S použitím snímačů souvisí jejich umístění a upevnění na měřené části, které ovlivňuje efektivnost celého měření. Obecně se doporučuje umístění snímačů v blízkosti ložisek (nejlépe na ložiskových domcích), protože zde se přenášejí síly z rotační části na statorové části. Pro efektivní sledování změn v čase je důležité, aby byla opakovaná měření prováděna vždy na stejném místě. Toho se dosáhne například nalepením podložky, která má závit pro snímač, nebo třeba vytvořením čisté a rovné plošky pro umístění magnetu. [2]

Jednotlivé snímače se na měřenou část umisťují podle potřeby v 1 až 3 směrech dle Obr. 11 do vertikálního (V), horizontálního (H) a axiálního (A) směru.



Obr. 11) Umístění snímačů do 3 směrů [2]

Pro zaznamenávání dat získaných ze snímačů se následně používají různé přístroje, ať už jednoduché kompaktní měřidla celkových hodnot vibrací, tak i složité vícekanálové analyzátory s mnohými funkcemi pro analýzu naměřených dat.

### Vyhodnocování vibrací

Úkolem diagnostiky není jen měřit, ale hlavně hodnotit aktuální stav zařízení. U vibrodiagnostiky existuje mnoho metod, jak naměřený signál analyzovat a vyhodnotit následně nějaké závěry. [2]

V praxi jde nejčastěji o: [2]

- **analýzu v časové oblasti,**
  - veličiny popisující mechanické vibrace,
  - statistické výpočty,
  - kinetická dráha – orbita.
- **analýzu ve frekvenční oblasti (Fourierova transformace),**
  - významné frekvence,
  - obálková metoda,
  - metody pro analýzu ultrazvukových frekvencí.

Výše vypsané metody se používají v praxi, každá v různých případech. Záleží na závažnosti problému, kdy je například potřeba použít pokročilejší metodu pro zjištění příčiny vibrací. Také záleží, co všechno dokáže změřit diagnostické zařízení, které je k dispozici. [2]

### Analýza vibrací v časové oblasti

Měřením se primárně získává signál kinematické veličiny v závislosti na čase. Analýzou tohoto signálu lze snadno získat pomocí příslušného softwaru **okamžitou hodnotu, efektivní hodnotu, střední hodnotu, maximální špičku** (peak), **rozpětí špiček** (peak-peak) a další ukazatele. [2]

Efektivní hodnota  $x_{ef}$ , uváděná také jako **RMS** (root mean square), je nejčastěji vyhodnocovaná veličina naměřeného signálu vibrací. Vypočítá se podle vztahu (12): [2]

$$x_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt} \quad (12)$$



Vyhodnocování vibrací je popsáno v normě ČSN ISO 10816-1 Vibrace – Hodnocení vibrací strojů na základě měření na nerotujících částech – Část 1: Všeobecné směrnice, kde jsou mimoto popsány i základní principy pro měření. V dalších částech ČSN ISO 10816–2 až 8 jsou uvedeny hodnocení podle typu stroje. Pro měření vibrací na obráběcích strojích se používá norma ČSN 20 0065:1992 Obráběcí stroje na kovy. Metody měření a hodnocení mechanického kmitání. Mezní hodnoty kmitání, která udává kritickou efektivní hodnotu rychlosti vibrací 1,2 mm/s. Pokud jsou naměřeny vibrace o vyšší hodnotě, je potřeba zasáhnout. [26]

### Analýza ve frekvenční oblasti

Mnohem používanější a efektivnější je analýza naměřeného signálu ve frekvenční oblasti, kde se analyzují jednotlivá frekvenční spektra. Tyto frekvence se z časového signálu získají pomocí nástroje zvaného Fourierova transformace (FFT). Pomocí ní lze získat celkové kmitání rozložené na jednotlivé složky dané jejich amplitudami, frekvencemi a počáteční fází. Díky grafickému vyjádření je pak možné přehledně vidět, jaké frekvence nejvíce přispívají k celkovému kmitání a určit tak původ budící síly, která je tvořena touto frekvencí. [2]

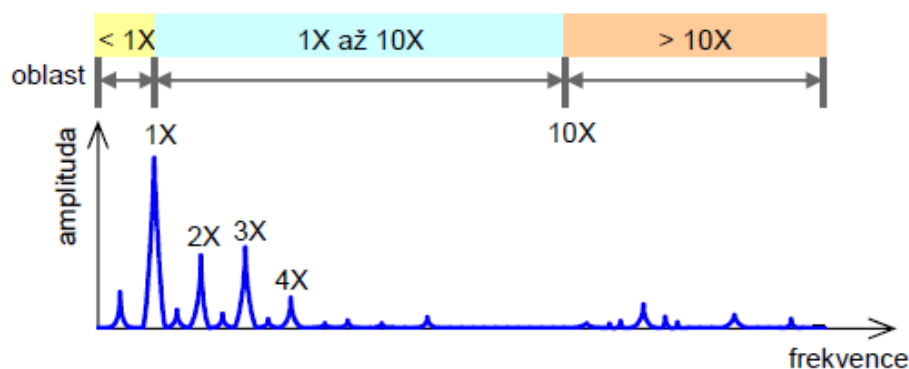
### Diagnostika rotačních strojů a projevy jejich závad

Rotační stroje jsou zařízení přeměňující mechanickou energii na elektrickou, což jsou generátory. Nebo přeměňují elektrickou energii na mechanickou, to jsou motory. Tyto stroje sestávají z dvou hlavních částí: rotor a stator.

Při vyhodnocování stavu rotačních strojů pomocí vibrodiagnostiky je důležité brát v úvahu jejich konstrukční a provozní charakteristiky: [2]

1. Při otáčení rotoru působí na stroj odstředivé síly. Tomu odpovídají odezvy na otáčkové frekvenci a jejich násobcích, ale i například síly generované spojením hnací a hnané části.
2. Každý stroj má jinou provozní funkci a jí odpovídají i provozní síly. Například jiné síly jsou u čerpadel a jiné u elektrických strojů.
3. Každý stroj má jiné specifické komponenty. Jiné síly působí na kluzná ložiska, jiné na valivá ložiska, převodovky, řemenové pohony.
4. Tyto charakteristiky mohou být dále významně ovlivněny uložením stroje. Zvláště v důsledku nízké tuhosti uchycení vzniklé např. mechanickým uvolněním.

Hodnocení stavu rotačních strojů je tedy založeno na analýze frekvenčních spekter naměřeného signálu. Toto spektrum se obvykle rozdělí na oblast nízkých frekvencí a oblast vyšších frekvencí (Obr. 12). Každé oblasti připadají jiné zdroje vibrací. [2]



Obr. 12) Rozdělení spektra na významné oblasti [2]

**Oblast pod frekvencí otáčení** se nazývá subsynchronní oblast a vyskytují se v ní obvykle nebezpečné problémy jako např. víření oleje v ložisku.

**Oblast nízkých frekvencí** odhaluje problémy, které souvisejí s otáčkami hřídele a jejími harmonickými násobky. Projevují se zde mechanické závady, mezi které patří nevyváženost, ohyb hřídele, rezonance a nesouosost ustavení. [2]

**Oblast vyšších frekvencí** odpovídá závadám souvisejícím s ložisky nebo ozubenými převody. U kluzných ložisek se projevuje nadměrná vůle hřídele nebo problémy s mazáním. U valivých ložisek jsou vibrace způsobeny na frekvencích ložiskových závad, které se většinou vyskytují v oblasti 500 – 2 000 Hz. Podle lokalizace závady se rozdělují na: [27]

- **BPFI** – závada na vnitřním kroužku,
- **BPFO** – závada na vnějším kroužku,
- **BSF** – závada na valivém tělese,
- **FTF** – závada na kleci.

První důvod, proč se v praxi používá vibrodiagnostika je diagnostika poruchového stavu stroje a zjištění příčiny poruchy. V tomto případě se provede komplexní měření vibrací. Následně je provedena analýza, nejčastěji frekvenčního spektra, pomocí které je možné velice spolehlivě určit příčinu vibrací. Poté, když je známý původ vibrací, může dojít k samotné demontáži a výměně porušené strojní součásti. [2]

Druhý případ využití vibrodiagnostiky je dlouhodobé monitorování vibrací strojů. V tomto případě se sleduje vývoj jednotlivých ukazatelů, které nejlépe vypovídají o sledovaném stroji, v čase. Na základě tohoto se sledují a vyhodnocují změny ve velikostech vibrací vůči předem stanovené hodnotě vibrací, která byla určena při bezvadném provozním stavu v ustálených provozních podmínkách. Pokud se velikost vibrací znatelně zvýší nebo sníží je nutné upozornit a hledat důvod této změny. V provozu se u dlouhodobého monitorování stanovují provozní meze poplachu. Tyto meze bývají ve formě varování při překročení definované hodnoty. Druhá mez je na kritické hodnotě, při jejímž překročení dojde k přerušení provozu, protože by mohla nastat havárie. [2]

## 5 PRAKTICKÁ ČÁST

Cílem této diplomové práce je optimalizace, tedy návrhy na zlepšení, systému údržby ve výrobní firmě. Touto firmou je SMC Industrial Automation CZ s.r.o., která má výrobní závod ve Vyškově. Ve firmě bude provedena analýza současného stavu systému údržby a následný návrh na optimalizaci systému údržby dle principů metody Total productive maintenance (TPM). Dále budou uvedeny návrhy na možná zlepšení či zavedení některých metod, které ve firmě nejsou využívány.

### 5.1 SMC Industrial Automation CZ s.r.o.

Založení společnosti SMC Corporation se datuje od roku 1959, kdy Yoshiyuki Takada v Tokyu v Japonsku zahájil ve své firmě výrobu filtračních vložek pro průmyslové filtry. Používala se k tomu technologie práškové metalurgie, kdy docházelo k výrobě pomocí spékání bronzového prášku. Odtud plyne název SMC – Sintered Metal Corporation (volně přeloženo jako „společnost vyrábějící ze spékaných kovů“). V roce 1961 byla společností představena první řada pneumatických prvků na úpravu stlačeného vzduchu a v roce 1970 bylo výrobní portfolio rozšířeno o výrobu válců. [28]

Společnost SMC má hlavní sídlo v Tokyu, ale je rozšířena do všech světových kontinentů. Celosvětově má společnost obchodní zastoupení skrze více než 500 poboček v 83 zemích. Zajímavostí je, že zakladatel Yoshiyuki Takada je stále ve vedení společnosti i ve svém velmi pokročilém věku a stále je schopen navštěvovat výrobní závody společnosti po celém světě. [28]

SMC vyrábí jak sériové prvky, tak i speciální řešení pro zákazníky. Mezi největší investice v Evropě patří výrobní závod ve Vyškově (Obr. 13). V této lokalitě jsou postaveny dvě haly. Důvodem je skutečnost, že vyškovská pobočka byla vybrána jako strategický závod pro Střední Evropu. [28]



Obr. 13) Výrobní závod ve Vyškově [28]

## 5.2 Současný stav údržby ve vyškovském závodě

V této kapitole bude popsán současný stav údržby ve výrobním závodě firmy SMC ve Vyškově.

V tomto závodě se soustřeďuje výroba standartních prvků, jako jsou pneumatické válce, ventilové bloky a elektrické pohony. První výrobní hala byla postavena v roce 2011 o celkové rozloze 31 000 m<sup>2</sup> a v roce 2015 byla zahájena výstavba druhé haly. Všechny produkty, které jsou zde vyráběny, podléhají nejpřísnějším požadavkům japonských norem kvality. Procesy jsou řízeny tradičními japonskými principy Kaizen a Gemba (sledování procesu na vlastní oči ve výrobě a následné nápady na zlepšení). Hlavním záměrem výrobního závodu ve Vyškově je dodržování čistého pracovního prostředí, bezpečnosti práce a schopnosti dodržování nejkratších možných termínů výroby. Závod je certifikován dle norem ISO 9001 (systémy managementu kvality) a ISO 14001 (systémy environmentálního managementu). [28]

Ve firmě jsou 2 hlavní výrobní oddělení: montáž a obrobna. Inženýrskou a manažerskou podporu nad nimi zajišťuje engineering.

Předmětem této závěrečné práce bude popis a analýza systému údržby na oddělení obrobny. Na tomto oddělení se nachází velká obráběcí centra, frézky a soustruhy. Každý stroj má při jeho provozu na starost operátor či seřizovač. Určité údržbářské úkony provádějí tito zaměstnanci v rámci autonomní údržby. Pro každý stroj je vytvořen inspekční list, ve kterém je uvedeno, jaké úkony je potřeba provádět při každém spuštění a vypnutí stroje. Tyto úkony jsou právě v rukách těchto pracovníků, kteří stroj obsluhují každý den.

Údržba jako taková je na tomto oddělení zajišťována jedním pracovníkem údržby, který má na starosti opravy poruch (údržba po poruše) a provádění preventivních prohlídek jednou až dvakrát ročně (preventivní údržba). Další náplní práce tohoto údržbáře je např. podpora pro operátory při nesrovnalostech v údržbě, řešení příčiny nevyhovující kvality výrobků nebo podpora pro externí servisní pracovníky. [40]

Samotný kontakt s obchodním zastoupením výrobců obráběcích strojů a zajišťování servisu provádí pracovníci z engineeringu. Tito pracovníci se právě v současné době zaměřují na zavádění prediktivní údržby. Aktuálně byl zakoupen převodník vibrací, který bude používán k vibrodiagnostice. Avšak hovoří se i o jiných metodách technické diagnostiky.

Na základě analýzy současného stavu údržby ve vyškovském závodě lze konstatovat, že systém údržby je zde položen na určitých prvcích metody TPM, avšak tato metoda není plošně zavedena. Ve firmě jsou zatím úspěšně implementovány tyto typy údržby:

- reaktivní údržba,
- autonomní údržba,
- preventivní údržba.

Další prvky jsou teprve v prvotní fázi a nejsou ještě plně zavedeny. Jsou to:

- prediktivní a proaktivní údržba,
- sledování efektivity zařízení.

### 5.2.1 Reaktivní údržba

Základním typem údržby používaným v SMC ve Vyškově je reaktivní údržba neboli údržba po poruše. V praxi to vypadá tak, že vyskytne-li se porucha, která je odhalena např. obsluhou stroje, je přivolán pracovník údržby, který danou poruchu začne řešit. Pokud je údržbář schopen tuto poruchu opravit, vyřeší ji svépomocí. Ve složitějších případech je využit externí servis výrobce stroje, který má se svými stroji větší zkušenosti.

Tento servis probíhá tak, že servisní technici přijedou do firmy, zanalyzují závadu a snaží se ji opravit. V některých případech je možné využít tzv. **dálkové diagnostiky**. Tato služba je poskytována výrobcí obráběcích strojů a je využívána jako levné a spolehlivé analyzování stroje zákazníka „na dálku – online“ většinou prostřednictvím internetu. Diagnostikovi se zobrazí data z interních diagnostických prvků v řídicím systému a s pomocí dialogu s obsluhou může analyzovat oblast závady na stroji. Velká výhodou této funkce je získání přehledu o stavu stroje bezprostředně po oznámení závady zákazníkem, čímž se vyloučí možné nepřesnosti v popisu problému, což by odvedlo servis od skutečné příčiny poruchy. Cílem dálkové diagnostiky je především přesné určení vzniklé poruchy. Následně je servisní činnost přesně cílená, což má příznivý vliv na dobu odstávky stroje a tím i na redukci ztrát zákazníka. [29]

Pokud však údržbář dokáže sám určit příčinu poruchy, stačí většinou pouze vyměnit vadný díl za náhradní a stroj může pracovat dál. Obyčejné tzv. spotřební materiály (gumičky, těsnění apod.) uchovává údržbář u sebe. Pokud je potřeba složitější náhradní díl, tak je objednan od výrobce, jelikož ve firmě není veden sklad náhradních dílů. V tomto případě je ale docela časté, že dodací doba náhradního dílu je dlouhá a mezitím stroj pouze stojí neopraven. Někdy také dochází k situaci, že výrobce z důvodu obchodního tajemství nechce dodat samostatný náhradní díl, ale požaduje, aby mu byl poslán celý složitější subjekt, který opraví sám u sebe. Zde je znovu velká časová náročnost. Než tyto subjekty přeletí přes celý svět, mohou uplynout týdny či měsíce. [40]

Po úspěšném vyřešení poruchy je tento záznam vždy zapsán do **provozního deníku**. Tento deník je vytvořen pro každý stroj a je umístěn na viditelném místě. V tomto deníku jsou uchovány důležité informace o stroji, jako jsou poruchy, výměny, záznamy ze seřizování atd.

### 5.2.2 Autonomní údržba

Dalším typem údržby, který je ve vyškovském závodě firmy SMC používán, je autonomní údržba. Tato údržba se snaží o optimalizaci systému člověk – stroj. Ve své podstatě jde o provádění jednoduchých údržbářských úkonů pracovníky obsluhy stroje. Hlavní přínos autonomní údržby je ve smyslu tzv. „přivlastnění si stroje“, kdy každý operátor pečuje o svěřený stroj, jako by byl jeho vlastní. V praxi to tedy funguje tak, že operátor zná chování stroje nejlépe a jakékoliv abnormality v jeho chování (ať už zvýšené vibrace, změna vydávaného zvuku atd.) spolehlivě pozná. V okamžiku, kdy obsluha u stroje rozpozná jakoukoliv abnormalitu, dá podnět údržbáři, že něco není v pořádku. Údržbář zkoumá možnou poruchu, kdy využije svých zkušeností, nebo pokud se mu nepodaří zjistit příčinu, kontaktuje externí servis.

V současnosti je ve firmě zavedena autonomní údržba v podobě každodenních údržbářských úkonů. Jednotlivé úkony jsou popsány v **Inspekčním listu** (Obr. 14), který je vytvořen pro každý stroj. Na každý měsíc se tiskne nový list, který se umístí na viditelné místo přímo na stroji. Do tohoto listu obsluha následně zapisuje provedené úkony. V případě, že obsluha identifikuje jakoukoliv nesrovnalost, zaznamená ji a okamžitě volá údržbáře. [30]

V Tab. 3 jsou vypsány jednotlivé činnosti, které jsou prováděny v rámci autonomní údržby obsluhou stroje, v tomto případě CNC soustruhu. Tyto činnosti jsou prováděny v různých časových intervalech. Buď jednou denně před začátkem směny, jednou týdně v pondělí nebo v delších intervalech. [30]

Tab 3) Kroky autonomní údržby [30]

<b>Kontrola 1x denně</b>
Uvedení do chodu po zapnutí hlavního zdroje
Zapsání množství chladicí emulze, koncentrace
Kontrola tlaku na vstupu
Kontrola nahromadění špon ve filtru chlazení
Zapsání množství lubrikačního oleje VG68
Zapsání množství hydraulického oleje VG32 v zásobníku
Kontrola trysek v pozici pro obrábění
Kontrola zanesení sacího filtru chladicí kapaliny
Kontrola abnormalit za automatického chodu (pohyb, zvuk, vibrace)
<b>Kontrola 1x týdně – pondělí</b>
Zapsání množství oleje hlavního vřetena VG2
Vyndání a vyčištění vedlejšího vřetene
<b>Kontrola 1x měsíčně – pondělí 1. týden</b>
Vyčištění kluzného vedení a kleštiny hlavního vřetene
Kontrola úniku vzduchu či oleje z potrubí zařízení
Kontrola poškození tlakové měrky
<b>Kontrola každé 2 měsíce – každý lichý měsíc</b>
Kontrola znečištění chladicího ventilátoru
<b>Kontrola 2x ročně – březen/září</b>
Namazání kolenové páky





### 5.2.3 Preventivní údržba

Třetím typem údržby ve firmě je preventivní údržba. Tato údržba probíhá pravidelně v plánovaných termínech. Na starosti ji má jediný pracovník údržby na oddělení obrobny. Tento údržbář provádí jednotlivé údržbářské úkony, které jsou vypsány v listu roční údržby v intervalech taktéž uvedených v listu roční údržby. Jednotlivé termíny preventivní údržby jsou plánovány sice na rok dopředu, ale v praxi dochází ke konzultaci údržbáře s vedoucími jednotlivých středisek. Spolu se dohodnou na přesném termínu, protože je nutné odstavit stroj, aby na něm mohla být provedena preventivní údržba, a v tuto dobu tedy není možné vyrábět. Proto je nutná spolupráce těchto pracovníků, aby termín odstávky nezasahoval do doby, kdy je potřeba intenzivně vyrábět např. kvůli velké zakázce. [40]

V Tab. 4 jsou uvedeny jednotlivé údržbářské operace prováděné na CNC soustruzích.

Tab 4) Kroky preventivní údržby [30]

<b>Kontrola 2x ročně – únor/srpen</b>
Namazání kolenové páky vřetene (hlavní, vedlejší)
<b>Kontrola 1x ročně – dle plánu roční údržby</b>
Výměna chladicí emulze, vyčištění vany
Vytažení a vyčištění pásu pro odvod třísek
Kontrola znečištění rozvodové skříně
Kontrola házivosti vřetene (hlavní, vedlejší)
<b>Kontrola 1x za 3 roky – dle plánu roční údržby</b>
Výměna baterie PLC v podavači

Tyto listy vypadají stejně jako Inspekční listy autonomní údržby a mají také stejnou funkci. Pokud je nalezena nějaká závada, je v listu zaznamenána a okamžitě řešena.

Údržbářské úkony preventivní údržby jsou zpracovány pro jednotlivé stroje na základě doporučení od výrobce, které uvádí v manuálu ke stroji. Každý rok v listopadu však dochází k revidování těchto listů a na základě praktických zkušeností s údržbou stroje se upravují či přidávají údržbářské operace na daném stroji. Příklad úpravy plánu roční údržby na konkrétní pile je uveden na Obr. 15 a Obr. 16. Lze vidět, že během 2 let se změnil plán roční údržby velmi markantně. Na základě zkušeností s provozem a údržbou této pily byl v roce 2015 prováděn v rámci preventivní údržby jednou ročně jeden údržbářský úkon a oproti tomu v roce 2017 už bylo prováděno sedm úkonů. [40]

<b>Rok</b>	2015	<b>Měsíc</b>	Duben	<b>Značka</b>
<b>Označení stroje</b>		<b>Divize</b>	Machining	<b>SE01</b>
<b>Typ stroje</b>	PILA	<b>Zpracováno dne</b>	11.8.2014	
<b>No.</b>	<b>Kontrola 1x ročně - dle plánu roční údržby</b>	<b>Hodnota</b>	<b>Způsob/položky</b>	
1	Opotřebení řemenů	V pořádku	Vizuálně	Zkontroloval

Obr. 15) Příklad roční údržby v roce 2015 [30]

<b>Rok</b>	2017	<b>Měsíc</b>	Květen	<b>Značka</b>
<b>Označení stroje</b>		<b>Divize</b>	Machining	<b>SE01</b>
<b>Typ stroje</b>	PILA	<b>Zpracováno dne</b>	24.5.2017	
<b>No.</b>	<b>Kontrola 1x ročně - dle plánu roční údržby</b>	<b>Hodnota</b>	<b>Způsob/položky</b>	
1	Kontrola opotřebení řemenů	V pořádku	Vizuálně	
2	Vyčištění vnitřních částí stroje od špon	Čisté	Manuálně	
3	Vyčištění ventilátoru chlazení hlavního motoru	Čisté	Manuálně	
4	Vyčištění ventilátoru chlazení motoru odsávání	Čisté	Manuálně	
5	Vyčištění filtru odsávání a odsávání	Čisté	Manuálně	
6	Promazání kuličkového šroubu podavače	Promazáno	Manuálně	
7	Výměna filtrů ventilace rozvaděče	Čisté	Manuálně	

Obr. 16) Příklad roční údržby v roce 2017 [30]



### 5.2.4 Prediktivní a proaktivní údržba

Prediktivní údržba ve formě pravidelných měření pomocí metod technické diagnostiky se ve firmě nepoužívá. Avšak zavedení takového systému je aktuálním tématem. V současné době se ve firmě zabývají analýzou všech možných druhů technické diagnostiky a promýšlí jejich potenciální využití do prediktivní údržby.

Zatím se na úrovni managementu rozhodlo, že se v rámci prediktivní údržby vyzkouší využití vibrodiagnostiky. Z tohoto důvodu byl firmou zakoupen převodník vibrací C8.5-USB (Obr. 17). Jedná se o dvoukanálový přístroj, který slouží ke zpracování signálu z připojených snímačů zrychlení vibrací (akcelerometrů). Po připojení k PC je tento přístroj schopen převádět signál ze snímačů do digitální podoby. V přiloženém softwaru je poté možné daný signál vyhodnotit a získat potřebné informace o vibracích stroje. [35]



Obr. 17) Převodník vibrací C8.5-USB [35]

V rámci prediktivní údržby se ve firmě velice sporadicky využívá některých metod technické diagnostiky. To však pouze v případě, kdy je na stroji závada již znatelná, ale není snadné přesně určit příčinu této poruchy. V takovém případě se použije buď externí služba, nebo se využije zařízení, které je ve firmě dostupné.

Několikrát se stalo, že bylo využito tribologického rozboru olejů externí firmou pro zjištění závady na závitovačce. Další případ se týká využití vibrodiagnostiky, kdy byl úspěšně využit zakoupený převodník vibrací pro zjištění příčiny vibrací na CNC obráběcím centru. Pomocí tohoto přístroje se zjistilo, že bylo vadné ložisko na vřetenu, takže potom k vyřešení této poruchy stačilo toto ložisko vyměnit. [40]

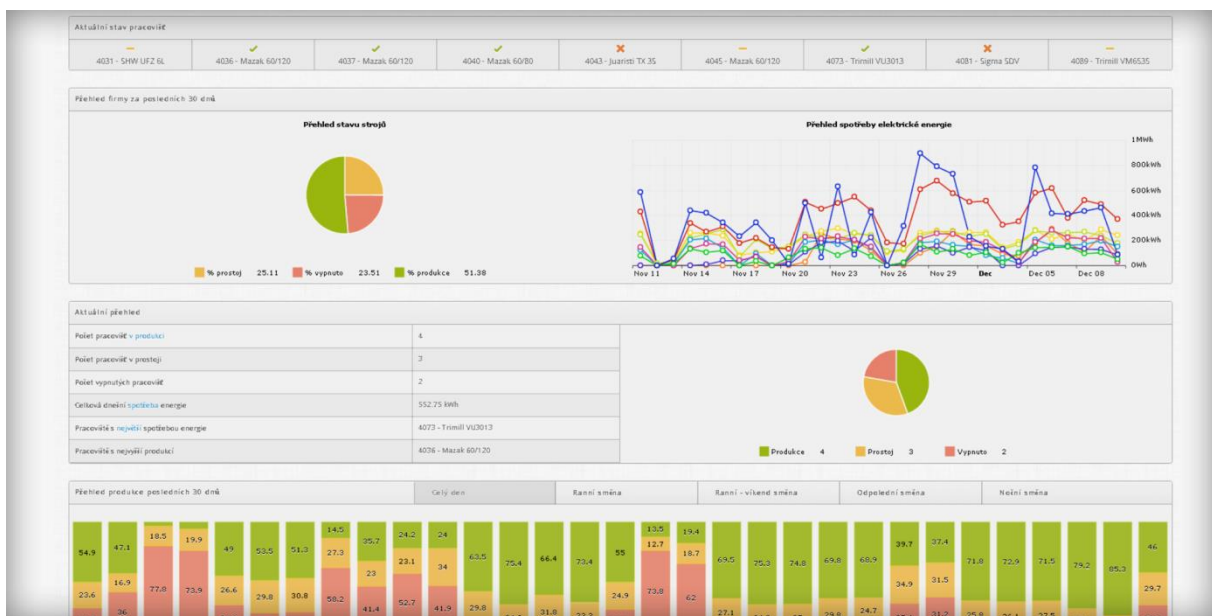
## 5.2.5 Sledování efektivity zařízení

Sledování efektivity zařízení je ve firmě teprve v prvotní fázi ladění. Vybrané stroje jsou napojeny na systém Zapsi, který umožňuje rozmanité monitorování výrobních a provozních strojů.

Systém Zapsi je na strojích instalován v rozvaděčové skříni, kde je na něj připojen měřič spotřeby a signály značící stav stroje. U soustruhů se tyto stavy určují podle toho, jestli stroj vyrábí (zelená), je v prostoji (oranžová) nebo je vypnutý (červená). Jednotlivé časy a procentuální rozložení je pak zobrazeno v základní obrazovce softwaru Zapsi (Obr. 18).

Pomocí systému Zapsi je možné sledovat mnoho důležitých informací o stroji a výrobě jako např.: [37]

- aktuální stav strojů,
- přehled spotřeby energie,
- statistika jednotlivých pracovišť za směnu,
- statistika vybraných strojů za vybraný čas (strojní hodiny, využití, počet vyrobených kusů, spotřeba energie),
- statistika připojených signálů (např. teplota oleje),
- statistika jednotlivých typů neshodně vyrobených kusů,
- statistické grafy prostojů,
- grafická reprezentace dat (např. Paretův diagram),
- grafické znázornění jednotlivých dat (např. vážení kusů),
- výpočet CEZ.



Obr. 18) Základní přehled o strojích v Zapsi [37]

### 5.3 Návrh systému údržby dle TPM

V této kapitole bude proveden návrh systému údržby pro vyškovský závod firmy SMC dle principů metody TPM.

Z provedené analýzy stávajícího stavu údržby ve firmě SMC Industrial Automation CZ s.r.o v závodě ve Vyškově uvedené v kap. 5.2 bylo doporučeno postavit systém údržby dle TPM na těchto šesti pilířích (Obr. 19):

1. Sledování efektivity zařízení (CEZ).
2. Autonomní údržba.
3. Preventivní údržba.
4. Prediktivní a proaktivní údržba.
5. Management zařízení.
6. Trénink a výcvik zaměstnanců.

Pomyslným základem celého systému bude aplikace filosofí Kaizen, 5S, Lean.

Z těchto pilířů vyplývá komplexní údržba strojů se zapojením všech pracovníků:

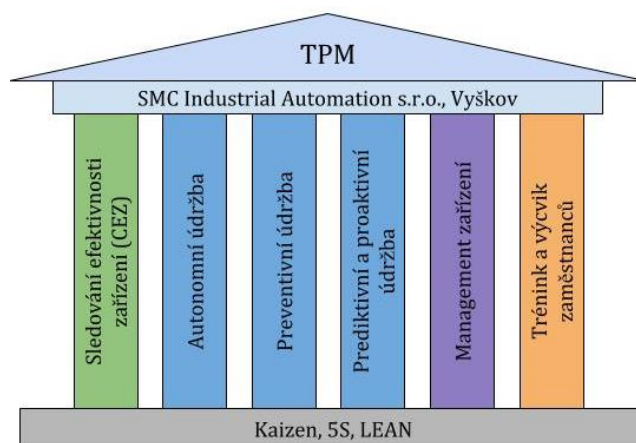
- autonomní údržba – operátoři,
- preventivní údržba – oddělení údržby,
- prediktivní a proaktivní údržba – oddělení údržby nebo engineering.

Hlavním cílem tohoto systému údržby bude co největší eliminace poruch a z nich plynoucích ztrát výrobního procesu. K vyhodnocování produktivity jednotlivých strojů bude sloužit pilíř k hodnocení celkové efektivity zařízení (CEZ). Nezbytným prvkem pro správné fungování celého systému bude pravidelná komunikace napříč celým závodem. Tímto se bude zabývat pilíř Výcvik a trénink zaměstnanců. K ověření dodržování nastavených pravidel budou prováděny audity systému TPM.

Jelikož zavedení systému údržby dle TPM není ze dne na den, bylo firmě doporučeno se v první fázi zaměřit na zavedení těchto pilířů:

- sledování efektivity zařízení (CEZ),
- autonomní údržba,
- preventivní údržba,
- prediktivní a proaktivní údržba.

Jednotlivé pilíře budou vycházet z toho, co už je ve firmě úspěšně zavedeno a budou dále vylepšeny. Až se tento systém osvědčí v praxi, přijde na řadu zavedení ostatních pilířů.



Obr. 19) Návrh pilířů systému TPM ve firmě SMC Vyškov

### 5.3.1 Návrh pilíře sledování efektivity zařízení

Prvním pilířem, na kterém bude postaven systém údržby TPM ve firmě, je sledování efektivity zařízení pomocí ukazatele celkové efektivity zařízení (CEZ). Tento princip je považován za základ celého systému TPM. Díky ukazateli CEZ lze na první pohled určit, v jakém stavu je výrobní podnik. Tento parametr ukazuje nejen to, jak je strojní zařízení využíváno, ale vypovídá i o kvalitě výroby či správném používání pracovních metod.

Tento pilíř bude vycházet z aktuálního stavu ve firmě, což znamená, že ke sbírání údajů ze strojů bude využíváno systému Zapsi, které sledování CEZ umožňuje. Budou sbírána data jako:

- čas výroby,
- čas strávený seřizováním a nastavováním,
- odstávky způsobené poruchami,
- prostoje způsobené čekáním (např. na materiál),
- vyrobené díly,
- neshodné kusy.

Pro firmu bude podstatné nastavit si cílovou hodnotu CEZ, které by mělo být dosaženo. V rámci neustálého zlepšování se po dosažení cílové hodnoty nastaví nový cíl. Po úspěšné realizaci TPM bude možné dosáhnout úrovně CEZ až 85% [38].

Aby bylo možné dosáhnout požadované hodnoty CEZ bude nutné zavést některé metody, které dokáží redukovat ztráty ovlivňující efektivity zařízení. Mezi tyto metody patří např.:

- SMED – pro zkrácení časů seřizování a přestaveb,
- prediktivní údržba – pro eliminaci odstávek zařízení díky předcházení poruchám,
- Lean metody – pro zeštíhlení procesu výroby, což znamená eliminaci prostojů, ale také zeštíhlení plánované údržby z hlediska časové náročnosti.

### 5.3.2 Návrh pilíře autonomní údržby




Druhým pilířem systému údržby TPM bude autonomní údržba. Principem tohoto typu údržby je zapojení obsluhy stroje do pravidelného provádění jednoduchých údržbářských úkonů.

Tento pilíř systému TPM bude využívat stávajícího stavu, který už je ve firmě zaveden. To znamená, že pro každý stroj bude sestaven Inspekční list, ve kterém budou vypsány jednotlivé úkony autonomní údržby. Do tohoto listu bude obsluha zaznamenávat, jaké zásahy vykonala, a případně zapisovat nalezené závady.

Další zodpovědností obsluhy stroje bude sledovat chování stroje a při neobvyklých projevech informovat pracovníka údržby.

#### **Námět na zlepšení stávajícího stavu:**

Zavedení grafických návodek autonomní údržby pro obsluhu (tzv. TPM karty), kde by byly standardizovány a přehledně znázorněny pomocí obrázků jednotlivé údržbářské úkony. Toto by usnadnilo práci obsluhy a pomáhalo v zaškolení nových pracovníků. Ukázka návrhu této karty je na Obr. 20, celá karta je v Příloze 1.

Plán údržby stroje - TPM karta						
Číslo stroje:	Název, typ: Úroveň:	Popis	soustruh			
			denní	Provádí:	Termin	Způsob / položky
Bod čís.			Hodnota			
1	LT17	Uvedení do chodu po zapnutí hlavního zdroje	správné nastartování	před začátkem směny	vizuálně (bez abnormalit)	
2		Zapsat množství chladicí emulze, koncentrace 	emulze - mezi min/max konc. - min.6%/optim.10-20%	před začátkem směny	kontrola měřky/refraktometru/doplnit	
3		Zkontrolujte tlak na vstupu 	mezi zelenými šipkami	před začátkem směny	vizuálně	
4		Nahromadění špon ve filtru chlazení 	žádné špony / vyčistit	před začátkem směny	vizuálně	

Obr. 20) Návrh TPM karty

### **5.3.3 Návrh pilíře preventivní údržby**

Třetím pilířem systému údržby TPM bude preventivní údržba. Podstatou této údržby je pravidelné provádění kontrol kritických částí stroje a popřípadě pravidelná výměna součástí, které se často opotřebovávají.

Také tento pilíř bude využívat stávajícího stavu zavedené preventivní údržby ve firmě. Pracovník údržby bude provádět pravidelné kontroly a výměny dle listu roční údržby. Tyto listy budou vytvořeny pro každý stroj na základě doporučení od výrobce a pravidelně revidovány a upravovány dle získaných zkušeností.

Pro termíny provádění preventivní údržby jednotlivých strojů bude sestaven plán roční údržby. Tyto termíny se ale mohou v závislosti na vytížení stroje měnit, proto bude velice důležitá komunikace údržbáře s vedoucím výroby, aby se dohodli na vhodném termínu.

#### **Námět na zlepšení stávajícího stavu:**

Podobně jako u autonomní údržby je vhodné vytvořit standardizované postupy pro jednotlivé kroky preventivní údržby v přehledné grafické podobě. V případě, že by stávající údržbář odešel, by bylo složitější zaškolení nového pracovníka, protože odcházející údržbář by si odnesl svoje know-how.

Další námět se týká skladování náhradních dílů. Bylo by potřeba si ekonomicky vyhodnotit, zda by se vyplatilo skladovat některé náhradní díly. Týkalo by se to zejména nejrizikovějších částí na stroji, tak aby v případě, že dojde k poruše, byla umožněna rychlá výměna bez nutnosti čekání na dodávku z druhého konce světa.

### **5.3.4 Návrh pilíře prediktivní a proaktivní údržby**

Čtvrtým pilířem systému údržby TPM bude prediktivní a proaktivní údržba. Jedná se o moderní typy údržby, které se snaží o predikci budoucích poruch pomocí nedestruktivních metod technické diagnostiky. Aktuálně nejsou tyto typy údržby ve firmě zavedeny.

Níže je navržena metodika měření pro využití prediktivní údržby. Uvedená metodika bude později případně upravena dle potřeb a praktických zkušeností.

Pro systém prediktivní údržby byla vybrána vibrodiagnostika, která dokáže určit příčiny vibrací na strojích. Tato metoda technické diagnostiky byla vybrána v první fázi z toho důvodu, že ve firmě je zakoupen přístroj na měření vibrací. Do budoucna je možné využít i ostatní metody technické diagnostiky jako jsou např. termodiagnostika, tribodiagnostika, elektrodiagnostika aj.

#### **Metodika měření prediktivní údržby:**

Před návrhem metodiky měření je nutné si odpovědět na následující otázky:

1. Čím se bude měřit a vyhodnocovat?
2. Kdo bude měřit a vyhodnocovat?
3. Kde se bude měřit?
4. Co se bude vyhodnocovat a pravidelně sledovat?
5. Kdy a jak často se bude měřit a vyhodnocovat?

ad 1) Pro měření a vyhodnocování vibrací je potřeba přístroj, který dokáže ze snímačů vibrací převést signál do digitální podoby. Jelikož je ve firmě zakoupený přístroj na převod vibrací, byl tento převodník navržen jako prostředek k diagnostice. Na základě zkušebních měření bylo však zjištěno, že tento přístroj není vhodný k provádění komplexní analýzy stavu výrobních zařízení. Jeho použití do průmyslové výroby je značně složité, jelikož jde pouze o převodník, který převádí analogový signál do digitální podoby. Následně je nutné pomocí softwaru (např. Matlab) tento signál zpracovat, což vyžaduje další znalosti z programování. Z tohoto důvodu byl nakonec pro provádění vibrodiagnostiky vybrán profesionální analyzátor od firmy Adash s označením A4400 VA4 Pro II. K tomuto přístroji budou připojeny snímače vibrací – akcelerometry, z toho důvodu, že sledování zrychlení vibrací je nejvíce vypovídající o stavu stroje.

ad 2) Osoba, která provádí vibrodiagnostiku, by měla být v této metodě vyškolená. K samotnému měření vibrací není důležité mít hluboké znalosti z vibrodiagnostiky, avšak k analýze výsledků je potřeba, aby osoba, která tyto výsledky vyhodnocuje, znala vibrodiagnostiku velice dobře. V ideálním případě je tedy potřeba jedna osoba, která vibrace měří i vyhodnocuje. K proškolení v této oblasti je na trhu nabízeno nespočet kurzů zabývajících se tematikou vibrodiagnostiky. Jednou takovou společností, která nabízí kurzy z vibrodiagnostiky je např. Asociace technických diagnostiků ATD ČR, z.s.

ad 3, 4) K tomu, aby bylo možné určit, co přesně se bude pomocí vibrodiagnostiky pravidelně sledovat je nejdříve potřeba provést na daném stroji (pokud je ve firmě více stejných strojů, tak na jednom zástupci) komplexní analýzu chování stroje v celém spektru provozních otáček. Z této analýzy vyplynou kritické části stroje, na kterých je důležité pravidelně monitorovat vypovídající veličiny vibrací.

ad 5) Interval jednotlivých měření bude v prvotní fázi nastaven na 1x měsíčně. Z každého měření budou vyhodnoceny určené sledované veličiny. Tyto výsledky budou s průběhem času trendovány. Do tohoto trendu budou nastaveny meze, při jejichž překročení bude nutné interval zkrátit např. na 1x týdně. Tímto se odhalí, zda byla náhlá změna v hodnotě sledované veličiny náhodná, nebo má hodnota vibrací stoupající tendenci. S postupem času se ověří, zda je interval 1x měsíčně vhodný a popřípadě dojde k jeho upravení.

## 5.4 Analýza stavu stroje pomocí vibrodiagnostiky

Pro analýzu stavu stroje a nastavení metodiky prediktivní údržby s využitím vibrodiagnostiky bylo provedeno první zkušební měření. Toto měření následně sloužilo ke komplexnímu rozboru aktuálního stavu vybraného obráběcího stroje. Následně došlo k vyhodnocení výsledků. Výstupem je identifikace kritických míst na stroji a určení kritických otáček stroje.

### 5.4.1 CNC soustruh

Pro vykonání první vibrodiagnostické analýzy stroje byl vybrán číslicově řízený CNC precizní automatický soustruh pod interním označením LT17.

Ve firmě jsou používány 3 řady těchto soustruhů od stejného výrobce. Jednotlivé řady se liší dle velikosti, čemuž odpovídá maximální možný obráběný průměr materiálu, výkon, maximální možné otáčky atd. Stroj označený LT17 je nejmenší variantou těchto soustruhů (Obr. 21) a jeho parametry jsou: [32]

- maximální průměr obráběného materiálu –  $\varnothing 12$  mm,
- rychlost hlavního vřetene – 200 až 12 000  $\text{min}^{-1}$  (pracovní max. 7000  $\text{min}^{-1}$ ),
- rychlost zadního vřetene – 200 až 12 000  $\text{min}^{-1}$  (pracovní max. 7000  $\text{min}^{-1}$ ),
- celková kapacita nástrojů – 17,
- rychlost rychloposuvu – 32 m/min,
- výkon motoru hlavního vřetena – 1,5/2,2 kW,
- výkon motoru zadního vřetena – 1,5/2,2 kW,
- hmotnost stroje – 1700 kg,
- rozměry stroje š x h x v – 1640 x 1080 x 1700 mm.



Obr. 21) CNC soustruh [32]



Na tomto stroji je možné soustružit, vrtat, upichovat atd. Ve firmě na něm probíhá obrábění tyčového polotovaru materiálu ČSN 12 050 o rozměrech  $\varnothing 8,9$  mm a  $\varnothing 10,8$  mm:

- nejdříve je tyčovina držena v předním vřetenu a nástrojem je sražena přední hrana,
- dále se materiál uchytí i do zadního vřetene a je upíchnut na potřebnou délku,
- nakonec je obrobek držen v zadním vřetenu a druhá hrana je sražena

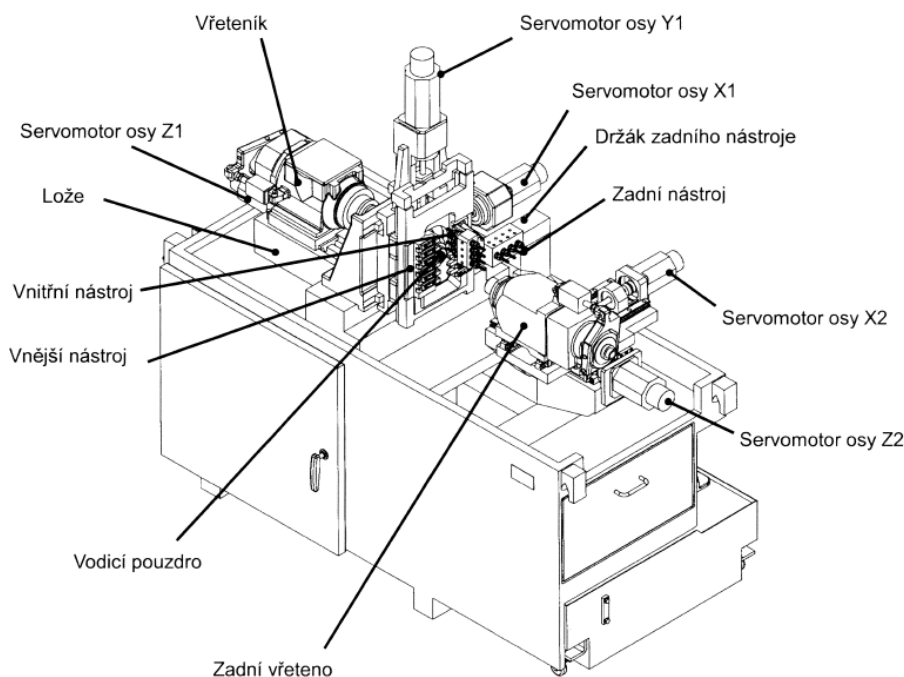
Hlavní části, ze kterých se stroj skládá, jsou: [32]

- vřeteník,
- hlavní vřeteno,
- zadní vřeteno,
- nástroje a jejich držáky,
- servomotory jednotlivých os.

S ohledem na provádění vibrodiagnostiky je důležité znát použitá ložiska. Na obou vřetenech jsou ložiska: [32]

- NTN:7911UCDB/G1P4 – kuličkové ložisko s kosoúhlým stykem jednořadé,
- NTN:7909UCDB/GLP4 – kuličkové ložisko s kosoúhlým stykem jednořadé,
- NTN:6911ZZ – kuličkové ložisko jednořadé zakryté plechem.

Na Obr. 22 jsou jednotlivé části stroje znázorněny.



Obr. 22) Části CNC soustruhu [32]

### 5.4.2 Diagnostické prostředky a přehled měření

Pro měření vibrací na stroji LT17 byl použit profesionální vibrační analyzátor A4400 VA4 Pro II od firmy ADASH (Obr. 24). Tento přístroj umožňuje měření současně až 4 kanálů. Dále umožňuje pohotovému vyhodnocení naměřeného signálu pomocí vestavěných modulů např. pro dynamické vyvažování, akustické a ultrazvukové měření a v neposlední řadě pro vibrační analýzu. Práce s tímto přístrojem je uživatelsky příjemná díky barevnému displeji a jednoduchému ovládní. Pro pokročilejší analýzu naměřeného signálu je možné použít software DDS (Digital Diagnostics System). [33]

Pro snímání vibrací byly použity akcelerometry AC104-1A od firmy CTC (Obr. 23), což jsou snímače zrychlení o citlivosti 100 mV/g. [34] Tyto snímače byly upevněny k rovným částem stroje pomocí speciálního magnetu.

Měření bylo prováděno za účelem zjištění celkového stavu stroje, tzn. v celém pracovním spektru otáček. Tyto otáčky byly zaznamenávány pomocí snímače otáček s laserem.

S využitím znalostí konstrukce stroje a s ohledem na proces výroby, byla na stroji provedena 3 měření:

1. Měření vibrací na poháněném hlavním vřetenu.
2. Měření vibrací na poháněném zadním vřetenu a nepoháněném hlavním vřetenu.
3. Měření vlivu okolního prostředí na stroj.

Jednotlivá měření, která budou popsána a vyhodnocena v následujících kapitolách poskytnou komplexní rozbor stavu CNC soustruhu.

U každého měření byla vyhodnocena efektivní hodnota rychlosti ve frekvenčním spektru 10 – 1000 Hz pro porovnání s normou ČSN 20 0065:1992 Obráběcí stroje na kovy. Metody měření a hodnocení mechanického kmitání. Mezní hodnoty kmitání. Dále byly vyhodnoceny efektivní hodnoty zrychlení ve frekvenčním spektru 10 – 25600 Hz. Pro odhad důvodu případných odchylek byly provedeny analýzy frekvenčních spekter.

Měření byla provedena dne 15. 2. 2018 a k tomuto datu bylo na stroji LT17 odpracováno 2300 provozních hodin.



Obr. 23) Snímač AC104-1A [34]



Obr. 24) Analyzátor A4400 VA4 Pro II [33]

### 5.4.3 Měření hlavního vřetene

První měření bylo provedeno pomocí snímačů umístěných na pevném domku hlavního vřetene (Obr. 25).

Charakteristika tohoto měření je:

- Snímač CH1 hlavní vřeteno SIDE .
- Snímač CH2 hlavní vřeteno TOP.
- Otáčky hlavního vřetene byly měněny po 500 ot./min, od 500 do 7000 ot./min.
- V hlavním vřeteně byl umístěn materiál, na kterém byly pomocí laseru snímače otáček měřeny otáčky (Obr. 26).

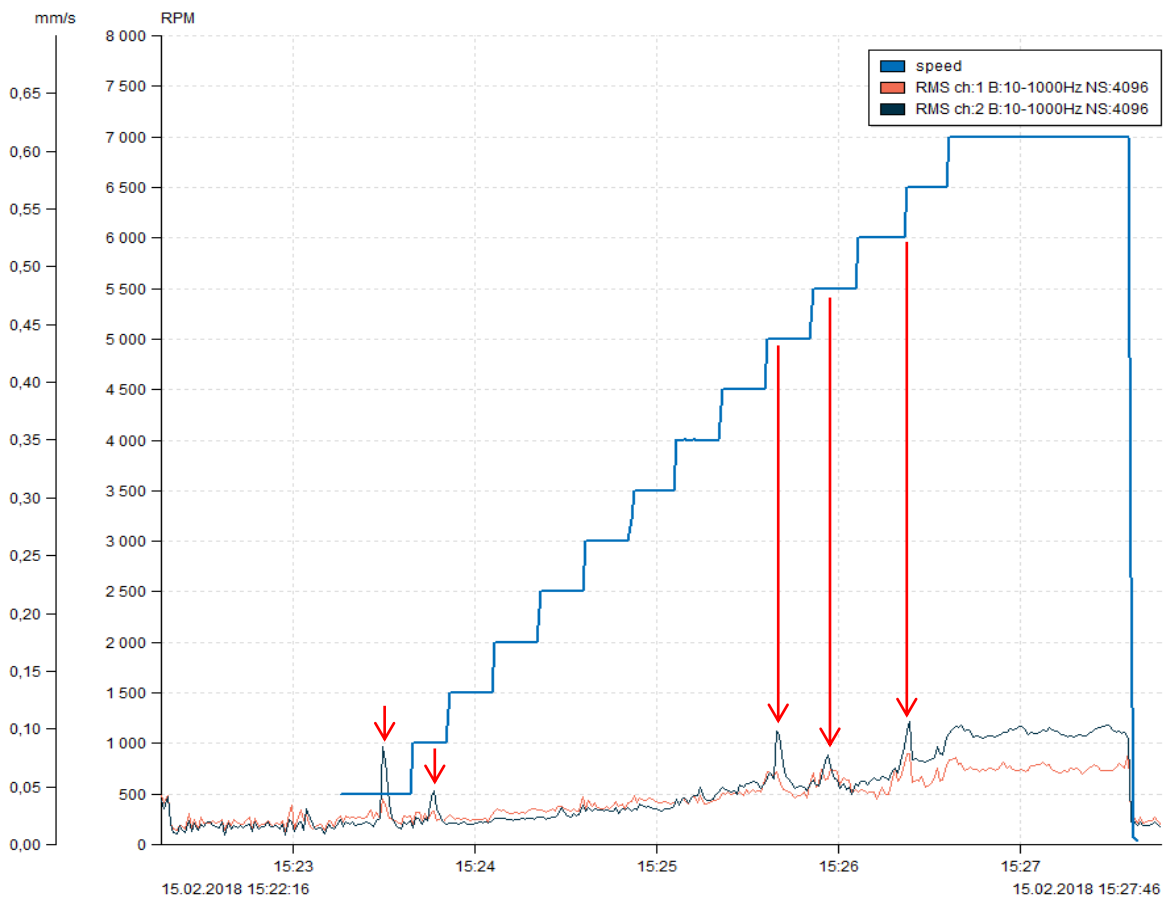


Obr. 25) Umístění snímačů vibrací u prvního měření



Obr. 26) Umístění snímače otáček u prvního měření

## Vyhodnocení rychlosti (10-1000 Hz)



Obr. 27) Vyhodnocení rychlosti vibrací (10-1000 Hz) prvního měření

Jako základní vyhodnocení vibrací se používá vyhodnocení rychlosti ve frekvenční oblasti od 10-1000 Hz. Na Obr. 27 lze vidět, jak změna otáček ovlivňuje rychlost vibrací. Na první pohled si lze všimnout dvou případů. Za prvé jsou zde viditelné náhodné peaky (špičky), které jsou vybudeny při konstantních otáčkách. Jednou se však špička vybudí při přechodu otáček na 6500 ot./min. Zde se jedná o zvýšení vibrací z důvodu přechodového děje. Za druhé, při přechodu na nejvyšší otáčky (7000 ot./min), dojde ke zřetelně vyššímu nárůstu vibrací, než při přechodech na nižších otáčkách.

Pro zjištění příčin těchto změn rychlosti vibrací je potřeba provést analýzu frekvenčního spektra.

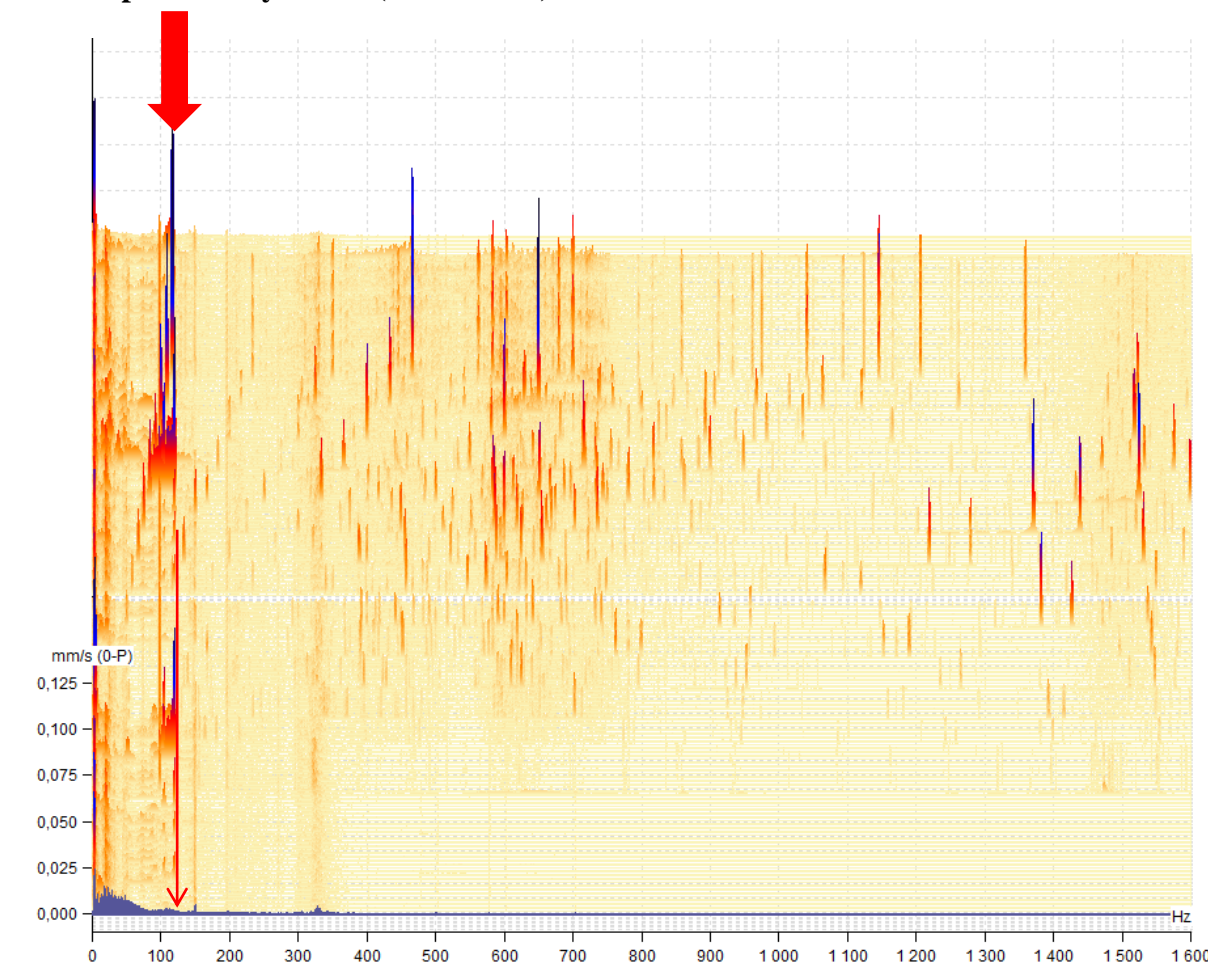
Získané efektivní hodnoty rychlosti vibrací se využijí pro vyhodnocení všeobecného stavu stroje porovnáním s normou ČSN 20 0065.

Maximální hodnoty při 7000 ot./min jsou:

- CH1  $v_{RMS} = 0,076$  mm/s,
- CH2  $v_{RMS} = 0,104$  mm/s.

Zhodnocení dle ČSN ISO 20 0065: obě hodnoty jsou menší než 1,2 mm/s → **vyhovuje**. Naměřené maximální hodnoty jsou v porovnání s hodnotou v normě opravdu malé, což značí, že stav stroje je velice dobrý.

### Spektrum rychlosti (10-1000 Hz)



Obr. 28) Spektrum rychlosti vibrací (10-1000 Hz) prvního měření

Pomocí vyhodnocení frekvenčního spektra rychlosti lze zjistit příčiny vzniklých vibrací. Z Obr. 28 je na první pohled zřejmé, že většina vibrací je na stejné frekvenci, kterou vyznačuje červená šipka (120 Hz). K takovému případu dochází vlivem rezonance z vnějšího buzení (např. vliv strojů v okolí, chození kolem stroje). V tomto případě je rezonanční frekvence právě 120 Hz.

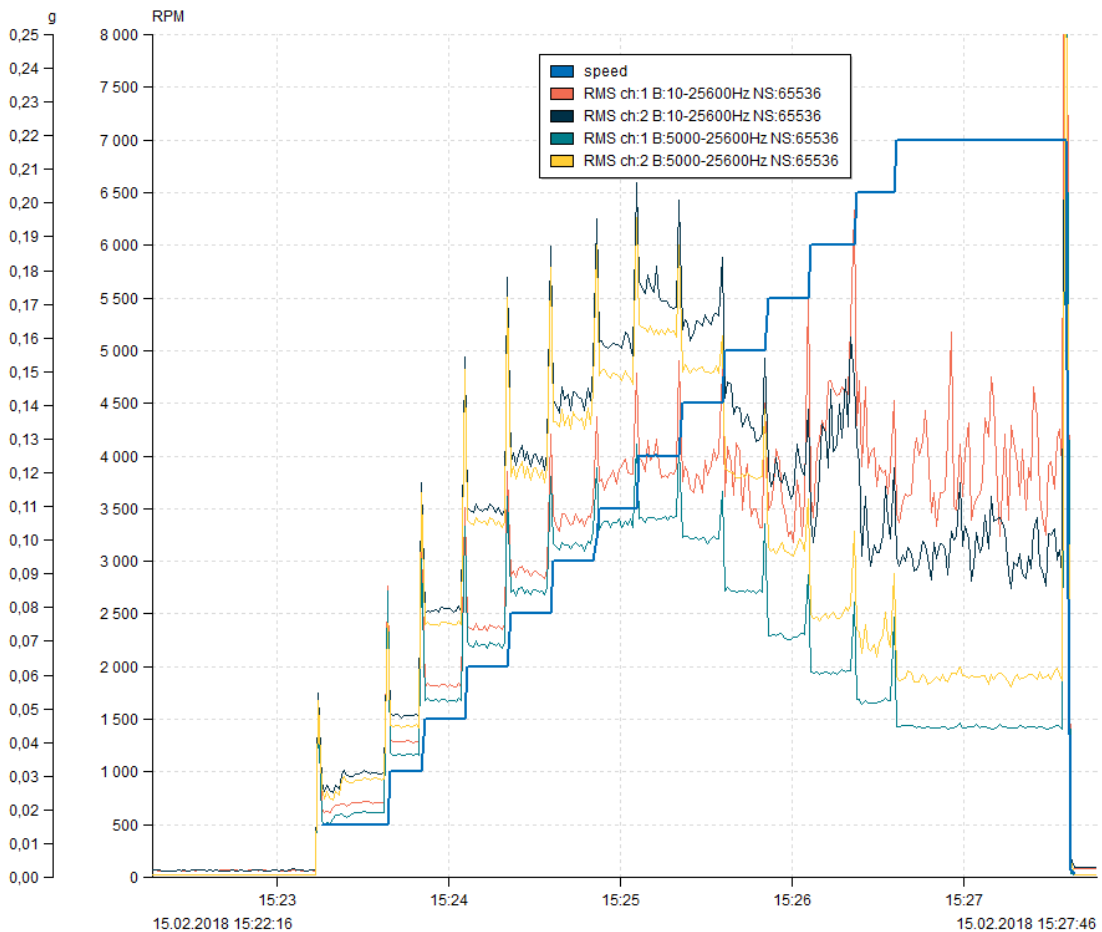
Toto je tedy důvod jednotlivých špiček v rychlosti vibrací. Také tím lze vysvětlit náhlé zvýšení vibrací při přechodu na nejvyšší otáčky, protože 7000 ot./min odpovídá frekvence otáčení 116 Hz, což se blíží rezonanční frekvenci 120 Hz.

#### **Doporučení pro monitorování:**

Měřit vibrace a vyhodnocovat rychlost kolem této oblasti, optimálně při 7200 ot./min, které odpovídají zjištěné rezonanční frekvenci 120 Hz.



## Vyhodnocení zrychlení



Obr. 29) Vyhodnocení zrychlení vibrací prvního měření

Vyhodnocování zrychlení se používá pro zjištění příčin, které jsou kritické z dlouhodobějšího hlediska, tzn. závada se projeví až v budoucnu. Nejčastěji to jsou závady na ložiscích, ozubených převodech. Může se zde také projevit vliv elektronických součástek na vybuzení vibrací.

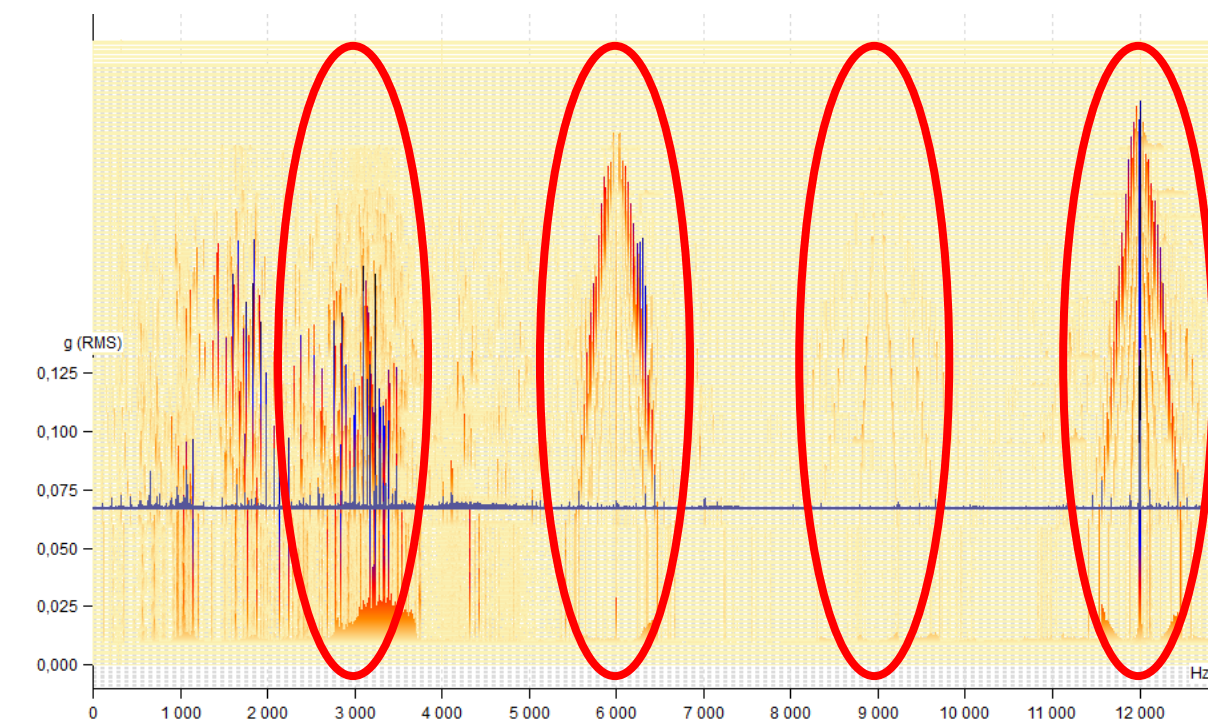
Na Obr. 29 lze vidět průběhy zrychlení vibrací se změnou otáček. Světle modrá a žlutá barva jsou zrychlení v pásmu vysokých frekvencí (5k – 25,6k Hz). Červená a černá barva jsou zrychlení v pásmu zahrnujícím i nižší frekvence (10 – 25,6k Hz).

Z tohoto obrázku lze zpozorovat, že vždy na přechodech mezi otáčkami dojde ke zdatnému zvýšení zrychlení. Zajímavé je, že nejvyšší zrychlení je při 4000 ot./min, poté už dochází k poklesu. Příčina se ukáže v analýze frekvenčních spekter.

Zrychlení v obou frekvenčních rozsazích se skoro po celou dobu kopírují. Na otáčkách kolem 6000 ot./min se ale začínají rozcházet a zrychlení vibrací v pásmu 10 – 25,6k Hz jsou na vyšších hodnotách se značným kolísáním. Od těchto otáček také dochází k většímu zrychlení na horizontální ose vřetena (CH1 – červená barva), přičemž předtím byly větší hodnoty na vertikální ose (CH2 – černá barva).

K významnému skoku ve zrychlení dojde při zastavení stroje, kde hodnota zrychlení vibrací dosahuje až  $a_{RMS} = 0,384g = 3,84 \text{ m/s}^2$ . Na toto je potřeba dávat pozor, protože dochází k velkému zatížení stroje.

### Spektrum zrychlení (10-12800 Hz)

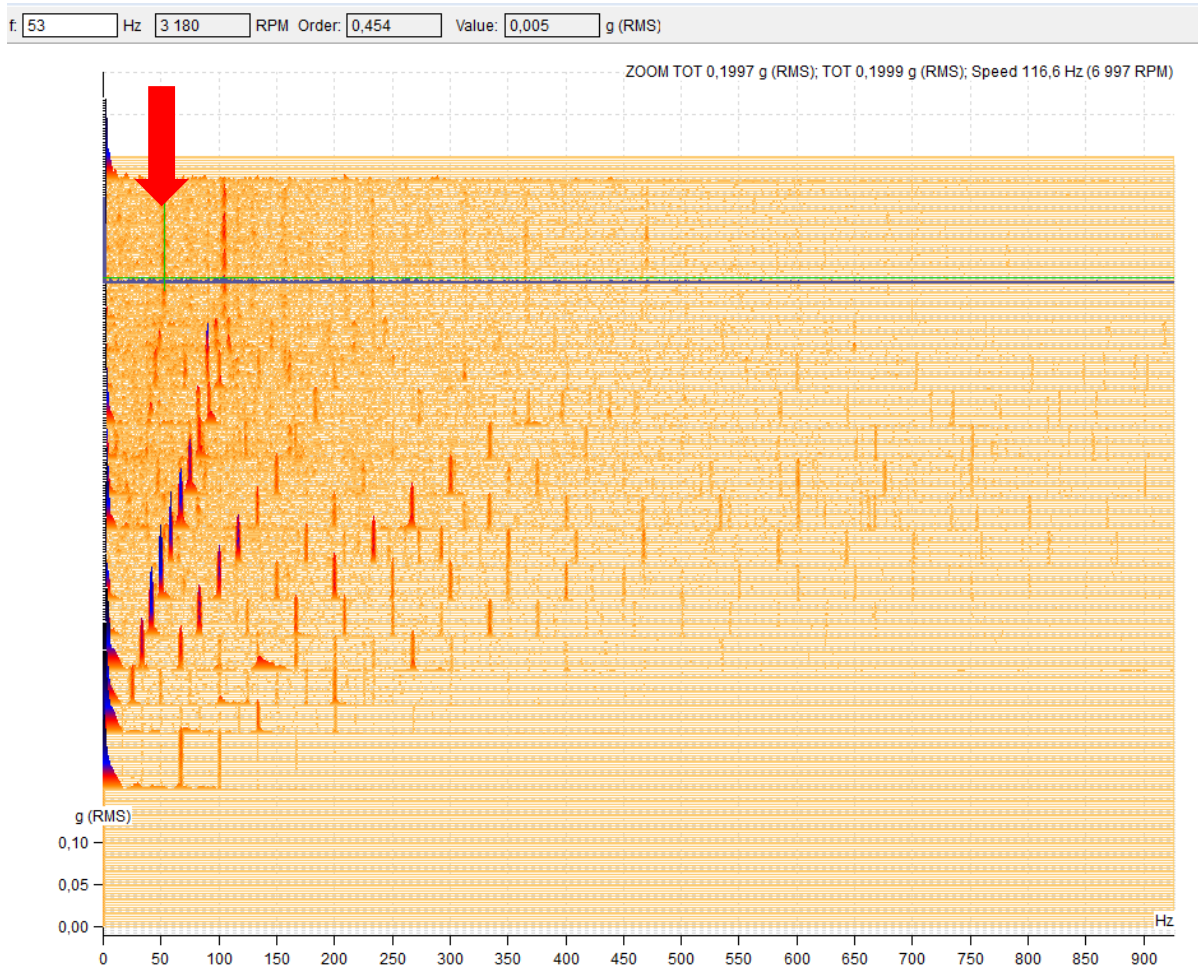


Obr. 30) Spektrum zrychlení vibrací (10-12800 Hz) prvního měření

Ze spektra zrychlení (Obr. 30) lze vidět rozšiřování postranních pásem, tzv. „rakety“ na frekvencích 3, 6, 9, 12 kHz, což značí jejich násobky. K tomuto jevu dochází vlivem měniče otáček, jehož pulzní frekvence představují tyto „rakety“.

Na nižších frekvencích se objevují i další vlivy, proto na frekvenci 3 kHz není „raketa“ tolik zřetelná. Tyto další vlivy mohou být např. různé šумы (šum čidla, vliv magnetu připevňujícího snímač) nebo nedokonalosti mazání.

## Analýza obálky spektra zrychlení (projevy ložiskových frekvencí)



Obr. 31) Analýza obálky spektra zrychlení vibrací prvního měření

Pro ověření, zda jsou ložiska v pořádku, byla provedena analýza spektra zrychlení pomocí obálkové metody (Obr. 31), která odhalí vibrace na významných ložiskových frekvencích.

I když jsou tyto hodnoty velice nízké ( $0,005\text{g} = 0,05\text{ m/s}^2$ ), lze z grafu zpozorovat násobky frekvence 53 Hz. Tato frekvence odpovídá poruchové frekvenci klece ložiska NTN 7911 při 7000 ot./min. Vibrace na frekvenci klece mohou být způsobeny prokluzy, či nedostatečným mazáním. [36]

Z Obr. 27 lze vidět, že nejvyšší peaky se objevují uprostřed měřeného intervalu, což by odpovídalo 4000 ot./min. Toto zjištění koresponduje s výsledky vyhodnocení zrychlení, takže lze tvrdit, že nejvyšší vibrace na 4000 ot./min jsou způsobeny frekvencí ložiskové klece.

Dále lze v tomto případě říct, že čím větší jsou otáčky, tím méně jsou vibrace ovlivněny ložiskovou frekvencí. To znamená, že tím, jak se stroj více rozběhne, dochází k lepší distribuci oleje a tím i k lepšímu promazání ložiska.

### Doporučení pro monitorování:

Měřit vibrace a vyhodnocovat zrychlení při 4000 ot./min, čímž se bude sledovat ovlivnění vibrací ložisky. Dále také sledovat zrychlení při 7200 ot./min.



#### 5.4.4 Měření zadního vřetene

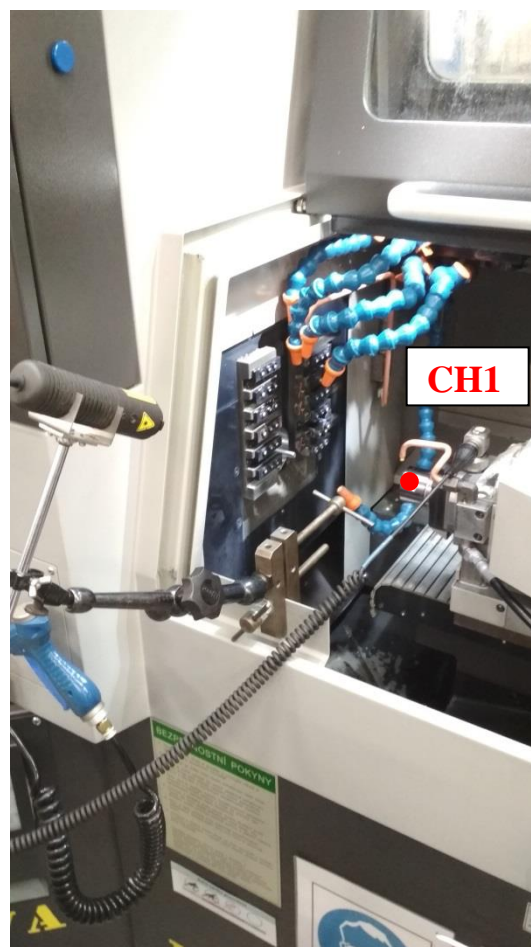
Druhé měření bylo provedeno pro vyhodnocení stavu zadního vřetene a ke zjištění, jak je tímto ovlivněno nepoháněné hlavní vřeteno.

Charakteristika tohoto měření je:

- Snímač CH1 zadní vřeteno TOP (Obr. 33).
- Snímač CH2 hlavní vřeteno TOP (Obr. 32).
- Otáčky zadního vřetene byly měněny po 500 ot./min, od 500 do 7000 ot./min.
- Hlavní vřeteno nebylo poháněno.
- Otáčky byly měřeny na koníku pomocí snímače otáček (Obr. 33).

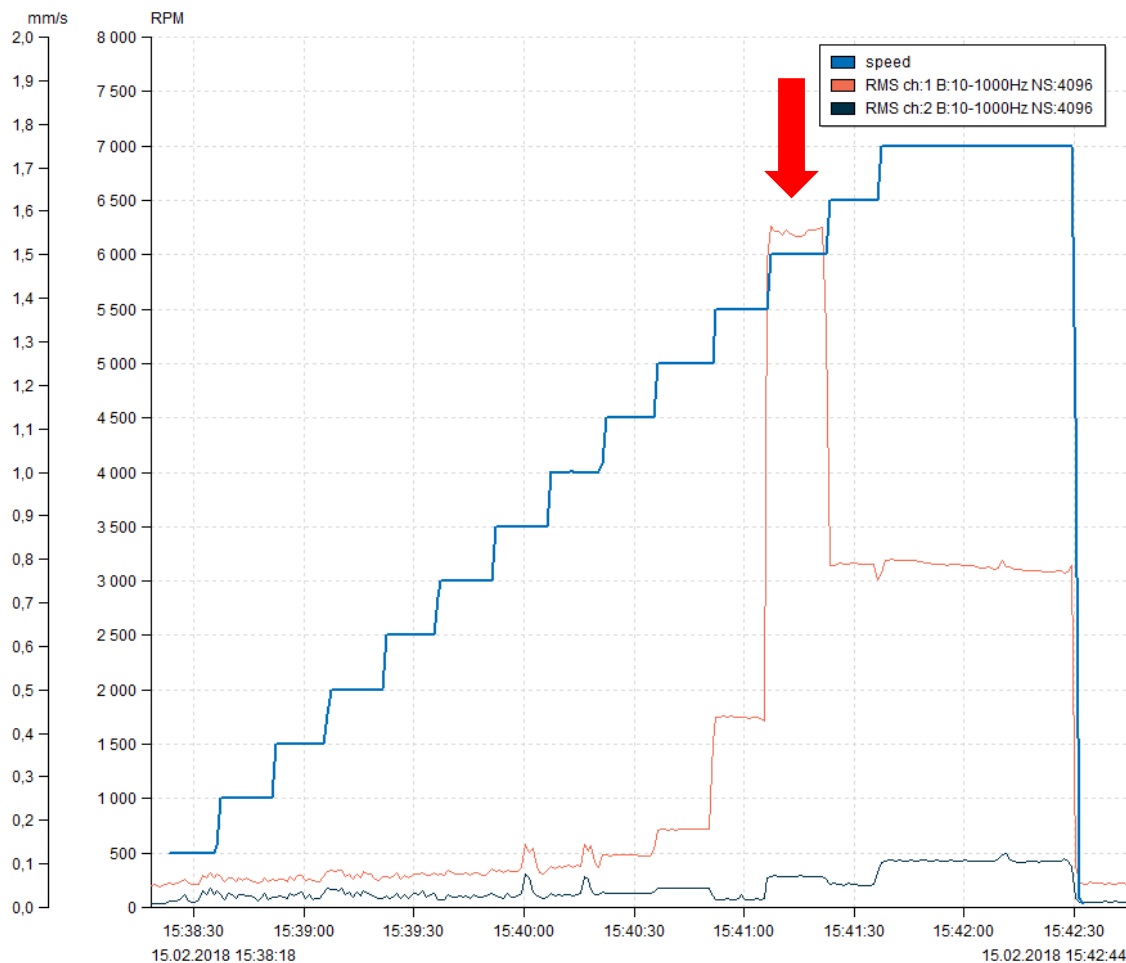


Obr. 32) Umístění snímače na hlavním vřetenu u druhého měření



Obr. 33) Umístění snímače na zadním vřetenu a snímače otáček u druhého měření

## Vyhodnocení rychlosti (10-1000 Hz)



Obr. 34) Vyhodnocení rychlosti vibrací (10-1000 Hz) druhého měření

Ze základního vyhodnocení rychlosti vibrací vychází důležitá informace o zadním vřetenu. Na Obr. 34 lze vidět, že změna otáček ovlivňuje rychlost vibrací, avšak na otáčkách 6000 ot./min se rychlost vibrací na zadním vřetenu (CH1 – červená barva) rapidně zvýší. Dále už se však hodnoty sníží. Tento případ bývá způsoben rezonancí, kdy dojde k samovolnému vybuzení vibrací.

Přenos vibrací ze zadního vřetene na přední vřeteno (CH2 – černá barva) není příliš znatelný. Efektivní hodnota rychlosti vibrací na zadním vřetenu při 6000 ot./min dosahuje hodnoty CH1  $v_{RMS} = 1,57$  mm/s.

Při zhodnocení dle normy ČSN ISO 20 0065: hodnota je větší než 1,2 mm/s → **nevyhovuje.**

### Doporučení:

Pokud možno vyvarovat se provozu zadního vřetene na 6000 ot./min, jelikož hodnoty rychlosti vibrací zde přesahují normované hodnoty. To znamená, že by mohlo dojít k rychlému opotřebení a potenciálně i k poruše.

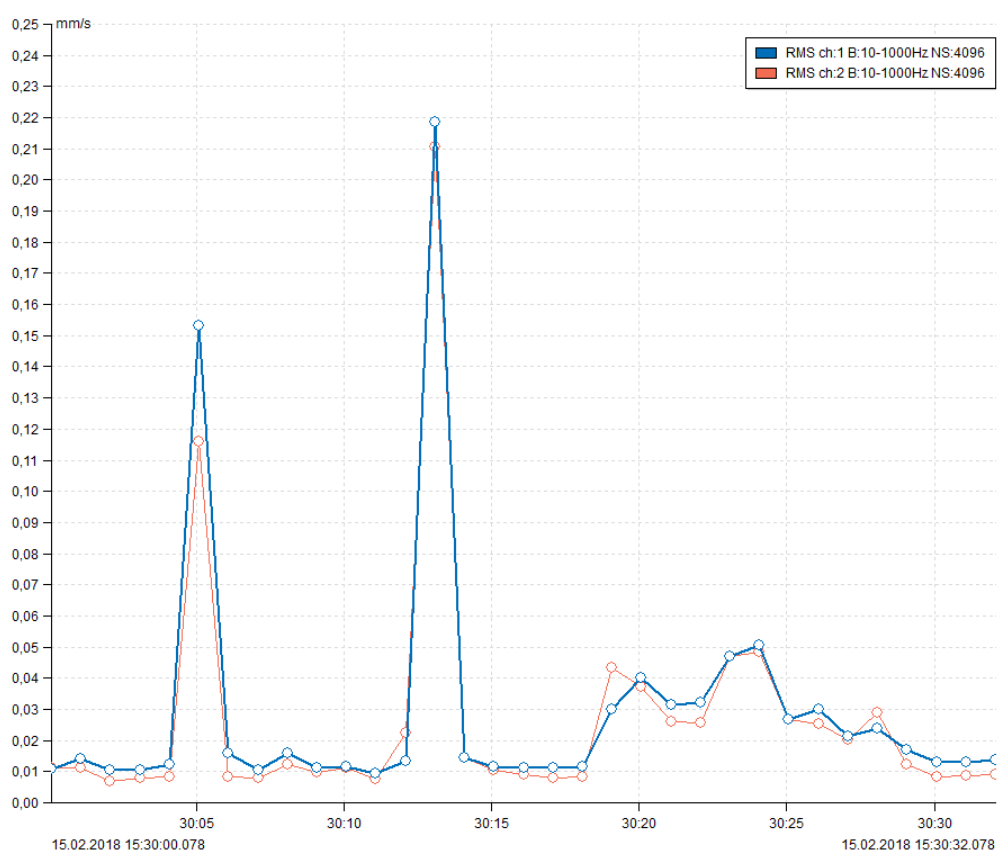
### 5.4.5 Měření vlivu okolního prostředí

Třetí a zároveň poslední měření bylo provedeno k posouzení vlivu okolního prostředí, ve kterém se pohybují lidé a je zde plno dalších pracujících strojů, které vytváří určité vibrace. Cílem vyhodnocení tohoto měření bylo zjistit, zda je stroj ustaven na podlaží odizolovaném od okolí.

Charakteristika tohoto měření je:

- Snímač CH1 zadní vřeteno TOP.
- Snímač CH2 hlavní vřeteno TOP.
- Hlavní ani zadní vřeteno nebylo poháněno.
- V průběhu měření byly provedeny dva skoky u stroje a poté silnější dupání.

#### Vyhodnocení rychlosti (10-1000 Hz)



Obr. 35) Vyhodnocení rychlosti vibrací třetího měření

Z vyhodnocení rychlosti vibrací (Obr. 35) lze vidět, že při skoku u stroje se hodnoty zvýšily z klidové cca 0,01 mm/s až na cca 0,22 mm/s a to rovnoměrně na obou snímačích. I samotné dupání ovlivnilo rychlost vibrací, která se zvýšila cca 5x. Z toho lze usuzovat, že je zde docela velké riziko ovlivňování okolním prostředím (např. pohybem zaměstnanců, nebo pracujícími stroji v okolí).

#### Doporučení:

Provést analýzu izolace základu, na kterém je stroj ustaven, popř. stroje umístit na samostatný izolovaný základ.

#### 5.4.6 Návrh metodiky měření prediktivní údržby

Návrh metodiky měření prediktivní údržby vychází z výsledků analýzy stavu stroje pomocí vibrodiagnostiky uvedené v kap. 5.4. Zde se jedná o soustruh nejmenšího rozměru s interním označením LT17. Pro nastavení metodiky měření ostatních strojů by bylo nutné provést podobnou analýzu stavu stroje.

Pro soustruhy je navržena následující metodika, která je soustředěna na nejcitlivější části stroje, v tomto případě vřetena:

- **prostředky,**
  - analyzátor vibrací, který je schopen vyhodnocovat rychlost a zrychlení vibrací, např. A4400 VA4 Pro II,
  - snímače vibrací (ideálně akcelerometry), např. AC104-1A,
- **obsluha,**
  - člověk, který je proškolen k provádění vibrodiagnostiky, např. v kurzu, které provádí ATD ČR, z.s. (Asociace technických diagnostiků),
- **místa měření,**
  - hlavní vřeteno – snímače umístěny v horizontálním a vertikálním směru co nejbližší ložiskům a připevněny magnety k ložiskovému domku,
  - zadní vřeteno – snímače umístěny v horizontálním a vertikálním směru co nejbližší ložiskům a připevněny magnety k ložiskovému domku,
  - při měření bude ve vřetenech umístěn materiál,
- **sledované veličiny,**
  - hlavní vřeteno,
    - rychlost vibrací ve spektru 10-1000 Hz při 7200 ot./min,
    - zrychlení vibrací ve spektru 10-12800 Hz při 4000 ot./min a 7000 ot./min
  - zadní vřeteno,
    - rychlost vibrací ve spektru 10-1000 Hz při 6000 ot./min,
- **intervaly měření,**
  - v prvotní fázi bude interval nastaven na 1x měsíčně, s tím, že pokud dojde k náhlému zvýšení hodnoty sledované veličiny je nutné interval zkrátit např. na 1x týdně,
  - s postupem času se uvidí, zda je interval 1x měsíčně vhodný a popřípadě dojde k jeho upravení.

Po každém provedeném měření budou vyhodnocené hodnoty zapsány do tabulky, pomocí které bude možné sledovat trendy vývoje jednotlivých sledovaných veličin.

Tabulka by mohla vypadat následovně (Tab. 5):

Tab 5) Tabulka pro sledování vývoje hodnot vibrací

místo	veličina	frekvenční spektrum [Hz]	otáčky [ot./min]	01.06.18	01.07.18	01.08.18	01.09.18
hlavní vřeteno	rychlost [mm/s]	10-1000	7200				
	zrychlení [g]	10-12800	4000				
7000							
zadní vřeteno	rychlost [mm/s]	10-1000	6000				

Nezbytnou součástí sledování vývoje hodnot vibrací je nastavení mezí zásahu. Pokud dojde k překročení této meze je nutné upozornit. V praxi se nastavují dvojce meze: mez varování a mez zásahu. Při překročení meze varování je možné dále vyrábět, ale v nejbližší době je potřeba přistoupit k proaktivní údržbě a zjištění příčiny nárůstu hodnot sledované veličiny. Při překročení meze zásahu je nutné okamžitě zastavit provoz na daném stroji a přistoupit k proaktivní údržbě. Určit hodnoty těchto mezí není jednoduché a v praxi se určují buď pomocí statistiky, nebo z praktických znalostí zkušeného diagnostika.

Cílem proaktivní údržby je zjištění kořenové příčiny poruchy. V jednoduchosti to lze vysvětlit na případu, kdy vibrodiagnostikou zjistíme, že má ložisko poruchu. Dojde tedy k jeho výměně. Jenže za nějakou, relativně krátkou dobu, se pomocí vibrodiagnostiky znovu zjistí porucha ložiska. Bylo by tedy zbytečné stále vyměňovat ložiska. V takové situaci nastoupí proaktivní údržba, která pomocí různých postupů a nástrojů zjistí, že u ložisek bude stále docházet k poruše, jelikož příčina je např. ve špatném stavu oleje k mazání.

#### 5.4.7 Ekonomické zhodnocení

Z ekonomického hlediska bude nezbytné pro firmu investovat do základního vybavení potřebného k provádění vibrodiagnostiky: [39]

- cena analyzátoru Adash A4400 VA4 Pro II – 180 000 Kč,
- cena akcelerometrů AC104-1A – cca 3 000 Kč,
- cena kurzu v ATD (4 denní) – kolem 20 000 Kč.

Pokud by si firma chtěla nechat udělat komplexní analýzu stavu strojů externí firmou, cena profesionálního vibrodiagnostického měření k analýze stavu stroje se pohybuje v rozmezí 8 000 – 15 000 Kč dle velikosti stroje. [39]

## **5.5 Budoucí vývoj systému TPM**

Jakmile ve firmě dojde k ustálení pilířů systému TPM navržených pro zavedení v první fázi, bude nezbytné zavést další pilíře, a to Management zařízení, Trénink a výcvik zaměstnanců, popř. další pilíře. Cílem těchto pilířů bude zajištění stabilního systému údržby ve firmě se zapojením všech zaměstnanců napříč všemi odděleními.

V pilíři Management zařízení bude důležité zavést databázi všech strojních zařízení v závodě. Zde se budou uchovávat všechny podstatné informace o stavu strojů. Z toho vyplývá zavedení provozních deníků do elektronické podoby. Dále se v tomto pilíři budou řešit náhradní díly. Na základě analýzy by měly být určeny náhradní díly, které budou uchovávány ve skladu.

Pilíř Vzdělávání a výcvik zaměstnanců se bude zabývat pravidelným proškolením stávajících zaměstnanců v otázce důležitosti údržby. Tato oblast bude nastavena jako nezbytná součást úvodního zaškolení nových zaměstnanců. K ověření znalostí zaměstnanců budou zavedeny audity systému TPM. Tyto audity budou prováděny v pravidelných intervalech a vždy budou probíhat tak, že vybraný zaměstnanec názorně provede úkony údržby, které jsou v jeho popisu práce.

Dále mohou být zavedeny další pilíře, které budou v průběhu získávání zkušeností se systémem TPM vyhodnoceny jako přínosné do budoucna. Toto už je v kompetenci pověřených osob ve firmě, jelikož by měla být určena osoba, která bude zodpovědná za udržování a vývoj systému TPM (označovaná jako TPM koordinátor).

## 6 ZÁVĚR

V této diplomové práci je řešena problematika údržby strojních zařízení ve výrobních firmách se zaměřením na moderní metodu totálně produktivní údržby (TPM). Cílem práce bylo provést obecný popis a rozbor metody TPM. Následně tuto metodu uplatnit při údržbě strojů v konkrétní firmě, získané výsledky vyhodnotit a navrhnout optimalizaci pro vylepšení stávajícího stavu. Pro vypracování praktické části diplomové práce byla vybrána firma SMC Industrial Automation s.r.o., která má výrobní závod ve Vyškově.

První část práce je věnována teoretickému rozboru jednotlivých oblastí, které souvisí s údržbou. Ve druhé kapitole je obecně pojednáno o údržbě, vývoji údržby, využívaných systémech údržby apod. Třetí kapitola se soustředí právě na totálně produktivní údržbu, její historii, cíle, implementaci a rozbor jednotlivých pilířů. Následující kapitola je zaměřena na metody technické diagnostiky využívané za účelem odhalování vznikajících poruch, které by mohly způsobit vážnější škody. Mezi tyto metody patří mimo jiné i vibrodiagnostika, která dokáže odhalit stav strojního zařízení a jeho součástí, jako např. ložiska, na základě měření a vyhodnocování vibrací, které stroj generuje.

Druhá část práce je zaměřena na praktické využití metody TPM ve vyškovském závodě firmy SMC, která vyrábí pneumatické prvky pro automatizaci. Nejprve byla provedena analýza na oddělení obrobny, kde bylo zjištěno, že se zde v současnosti uplatňují systémy údržby po poruše, autonomní údržby a preventivní údržby. V prvotní fázi zkoušení je prediktivní a proaktivní údržba a sledování efektivnosti zařízení.

Na základě výsledků analýzy současného stavu údržby bylo firmě navrženo zavedení systému údržby dle metody TPM postaveného na šesti základních pilířích: sledování celkové efektivnosti zařízení, autonomní údržba, preventivní údržba, prediktivní a proaktivní údržba, management zařízení, trénink a výcvik zaměstnanců. Zavedení takového systému údržby je složitý proces, a proto bylo firmě doporučeno, aby v první fázi implementovala následující pilíře: sledování efektivnosti zařízení, autonomní údržbu, preventivní údržbu, prediktivní a proaktivní údržbu.

Pilíř sledování efektivnosti zařízení je založen na sbírání údajů ze strojů ke sledování jednotlivých časů, kdy stroj vyrábí, nebo z různých důvodů nevyrábí. Pilíř autonomní údržby vychází ze současného stavu, kdy je pro každý stroj sestaven Inspekční list se seznamem údržbářských úkonů, které provádí obsluha stroje. Pilíř preventivní údržby také vychází ze současného stavu, kdy je pro každý stroj sestaven plán preventivních prohlídek, popř. výměn, které vykonává pracovník údržby. V tomto pilíři je důležité se zaměřit na problematiku skladování náhradních dílů. V posledním pilíři zaměřeném na prediktivní a proaktivní údržbu je navržena metodika měření pomocí vibrodiagnostiky. Tato metodika vychází z výsledků analýzy stavu soustruhu na základě provedeného vibrodiagnostického měření. Tyto výsledky jsou popsány v práci. V metodice je uvedeno, jaké používat diagnostické prostředky, kdo může měření provádět, na jakých místech a v jakých intervalech měřit a jaké veličiny pravidelně sledovat. Každé takto provedené měření je potřeba zaznamenávat a sledovat vývoj trendu jednotlivých veličin, aby bylo možné odhalit vznikající poruchy.

Až po úspěšném zavedení a ověření funkčnosti výše zmíněných pilířů, by následně došlo k zavedení ostatních navržených pilířů.





## 7 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] ČSN EN 13306. *Údržba - Terminologie údržby*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [2] BILOŠ, Jan a Alena BILOŠOVÁ. *Aplikovaný mechanik jako součást týmů konstruktérů a vývojářů: Část Vibrační diagnostika: studijní opora*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, 2012. ISBN 978-80-248-2755-1.
- [3] LEGÁT, Václav. *Management a inženýrství údržby*. Praha: Professional Publishing, 2013. ISBN 978-807-4311-192.
- [4] HELEBRANT, František, Ladislav HRABEC a Jan BLATA. *Provoz, diagnostika a údržba strojů: studijní opora*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, 2013. ISBN 978-80-248-3028-5.
- [5] MYKISKA, Antonín. *Bezpečnost a spolehlivost technických systémů*. 1. vydání. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2006, 206 s. Učební texty ČVUT v Praze. Fakulta strojní. ISBN 80-01-02868-2.
- [6] FAMFULÍK, Jan a Jana MÍKOVÁ. *Teorie údržby*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2008, 1 CD-ROM. ISBN 978-80-248-1509-1.
- [7] Průmysl 4.0. *Wikipedia, otevřená encyklopedie* [online]. 2018 [cit. 2018-05-17]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Průmysl\\_4.0](https://cs.wikipedia.org/wiki/Průmysl_4.0).
- [8] Údržba v područí Průmyslu 4.0 vládla v Liblicích. *Řízení a údržba průmyslového podniku* [online]. 2017 [cit. 2018-05-17]. Dostupné z: <http://udrzbapodniku.cz/hlavni-menu/artykuly/artykul/article/udrzba-v-podrucu-prumyslu-40-vladla-v-liblicich>.
- [9] Průmysl 4.0. *Řízení a údržba průmyslového podniku* [online]. 2017 [cit. 2018-05-17]. Dostupné z: <http://udrzbapodniku.cz/hlavni-menu/artykuly/artykul/article/prumysl-40>.
- [10] MOUBRAY, John. *Reliability-Centered Maintenance Second Edition*. New York: Industrial Press, 1997. ISBN 978-083-1131-463.
- [11] *Udržovatelnost a zajištěnost údržby: Materiály z 8. setkání odborné skupiny pro spolehlivost* [online]. Praha: Česká společnost pro jakost, 2002 [cit. 2018-05-17]. Dostupné z: [http://www.csq.cz/fileadmin/user\\_upload/Spolkova\\_cinnost/Odborne\\_skupiny/Spolehlivost/Sborniky/08\\_Udrzovatelnost.pdf](http://www.csq.cz/fileadmin/user_upload/Spolkova_cinnost/Odborne_skupiny/Spolehlivost/Sborniky/08_Udrzovatelnost.pdf).
- [12] *An Introduction to Total Productive Maintenance (TPM)* [online]. [cit. 2018-05-17]. Dostupné z: [http://www.plant-maintenance.com/articles/tpm\\_intro.pdf](http://www.plant-maintenance.com/articles/tpm_intro.pdf).
- [13] NAKAJIMA, Seiichi. *Introduction to TPM: total productive maintenance*. Cambridge, Mass.: Productivity Press, 1988. ISBN 978-0915299232.
- [14] MLČOCHOVÁ, Petra. *APLIKACE METOD JUST IN TIME A TPM*. Brno, 2009. Diplomová práce. Masarykova Univerzita. Vedoucí práce Ing. Ondřej Částek.
- [15] BEN-DAYA, M. *Handbook of maintenance management and engineering*. New York: Springer, 2009. ISBN 978-1848824713.
- [16] NĚMEČEK, J. *Systém údržby výrobního zařízení ve firemní praxi*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 61 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Miloš Hammer, CSc.

- [17] LEITNER, B. *Koncepcia TPM a MPM*. Žilina: Žilinská Univerzita v Žiline, Fakulta bezpečnostního inžinierstva, Katedra technických vied a informatiky [studijní materiál], 2017. Dostupné z: [http://fsi.utc.sk/ktvi/leitner/2\\_predmety/KTS/Podklady/KONCEPCIA\\_TPM\\_MPM.pdf](http://fsi.utc.sk/ktvi/leitner/2_predmety/KTS/Podklady/KONCEPCIA_TPM_MPM.pdf).
- [18] BORRIS, Steven, *Total productive maintenance: Proven Strategies and Techniques to Keep Equipment Running at Maximum Efficiency*. McGraw-Hill Education, 2006. ISBN 0-07-146733-5.
- [19] Glycerine filled ISOMETRIC pressure gauge colored dials 25 Bar dn 63mm bottom. *ilManometro* [online]. 2018 [cit. 2018-5-17]. Dostupné z: <http://www.ilmanometro.com/gb/specific-pressure-gauges/1019-glycerine-filled-isometric-pressure-gauge-colored-dials-25-bar-dn-63mm-bottom.html>.
- [20] VENKATESH, J. *An Introduction to Total Productive Maintenance (TPM)* [online]. [cit. 2018-5-17]. Dostupné z: [http://www.plant-maintenance.com/articles/tpm\\_intro.pdf](http://www.plant-maintenance.com/articles/tpm_intro.pdf).
- [21] HAMMER, Miloš. *Technická diagnostika, rozdělení, metody a prostředky*: Studijní materiály. Fakulta strojního inženýrství VUT v Brně, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. 2016.
- [22] VORLÍČEK, Zdeněk. *Spolehlivost a diagnostika výrobních strojů*. 2., přeprac. vyd. Praha: České vysoké učení technické, 1991. ISBN 80-010-0510-0.
- [23] STODOLA, Jiří, Františka PEŠLOVÁ a Jan KRMELA. *Opotřebenění strojních součástí: monografie*. Brno: Univerzita obrany, 2008. ISBN 9788072315529.
- [24] KRATOCHVÍL, Pavel. *Údržba obráběcích strojů - snížení rizika poruch a úspory*. TechMagazín: měsíčník pro technické obory, vědu, výzkum, strojírenství, plastikářský a automobilový průmysl, IT a technické školství. Praha: Tech Media Publishing, 2011, (1), 2. ISSN 1804-5413.
- [25] VOŠTOVÁ, Věra, František HELEBRANT a Karel JEŘÁBEK. *Provoz a údržba strojů*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002. ISBN 8001025314.
- [26] ČSN ISO 10816-1: *Vibrace – Hodnocení vibrací strojů na základě měření na nerotujících částech – Část 1: Všeobecné směrnice*. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 1998.
- [27] *Analýza závad*. [online] Liberec: Školící a pilotní pracoviště TU v Liberci, 2017 [cit. 2018-5-17]. Dostupné z: <http://slideplayer.cz/slide/2441037>.
- [28] *Továrna ve Vyškově: Centrální výrobní závod pro Evropu* [online]. Brno: SMC Industrial Automation CZ s.r.o., 2015 [cit. 2018-5-17]. Dostupné z: [https://www.smc.eu/portal\\_ssl/webpages/00\\_local/cz/vyskov\\_factory.jsp](https://www.smc.eu/portal_ssl/webpages/00_local/cz/vyskov_factory.jsp).
- [29] VOLNÝ, Martin. *Dálková analýza*. *MM Spektrum* [online]. 2009 [cit. 2018-5-17]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/dalkova-diagnostika.html>.
- [30] Interní materiály firmy: *Inspekční list*. SMC Industrial Automation CZ s.r.o. Vyškov.[cit. 2018-5-17].
- [31] SMETANA, Jaroslav. *Monitoring kvality elektrické energie a jak na něj. Řízení & údržba průmyslového podniku*. Český Těšín: Trade Media International, červen 2016, roč. 9, č. 2, s. 15-17. ISSN 1803-4535.
- [32] Interní materiály firmy: *Návod k obsluze stroje*. SMC Industrial Automation CZ s.r.o. Vyškov.[cit. 2018-5-17].

- [33] Uživatelský manuál Adash A4400 VA4 Pro II. *Adash spol., s.r.o.* [online]. [cit. 2018-05-17]. Dostupné z: <https://adash.com/documents/A4400/Adash-A4400-VA4-Pro-ii-manual-cz.pdf>.
- [34] AC104 - Multi-Purpose Accelerometer, Side Exit Connector / Cable, 100 mV/g. *CTC Industrial accelerometers, Sensors and Cables for Vibration Analysis* [online]. [cit. 2018-5-17]. Dostupné z: [https://www.ctconline.com/ctc\\_100\\_mv\\_g\\_standard\\_size\\_accelerometers.aspx?prd=AC104](https://www.ctconline.com/ctc_100_mv_g_standard_size_accelerometers.aspx?prd=AC104).
- [35] Dvoukanálový převodník vibrací C8-USB. *Auranet Průmyslové řídicí a diagnostické systémy* [online]. [cit. 2018-5-17]. Dostupné z: <http://www.auranet.cz/cz/auranet/26-Produkty/51-Merici-pristroje/194-Prevodnik-vibraci-C8-USB>.
- [36] Bearing technical calculation tool. *NTN Corporation* [online]. [cit. 2018-5-17] . Dostupné z: <http://www.ntnglobal.com/tool/calc>.
- [37] Přehled po přihlášení. *Zapsi.eu Monitorování výroby* [online]. [cit. 2018-5-17] . Dostupné z: <http://www.zapsi.eu/info>.
- [38] CEZ (OEE). *Svět produktivity* [online]. [cit. 2018-5-17]. Dostupné z: <http://www.svetproduktivity.cz/slovník/CEZ-OEE.htm>.
- [39] NAHODIL, Petr (profesionální vibrodiagnostik). Osobní sdělení. Dne 9. 5. 2018.
- [40] KORŮNEK, Jaroslav (údržbář v SMC). Osobní sdělení. Dne 8.3.2018.



## 8 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK

### 8.1 Seznam použitých zkratk

<b>5S</b>	Metoda založená na přehledné organizaci pracoviště
<b>ADASH</b>	Firma zabývající se vibrodiagnostikou
<b>ATD</b>	Asociace technických diagnostiků v Ostravě
<b>BM</b>	Údržba po poruše (Breakdown Maintenance)
<b>BPMI</b>	Frekvence poruchy na vnitřním kroužku (Ball Pass Frequency on Inner Ring)
<b>BPMO</b>	Frekvence poruchy na vnějším kroužku (Ball Pass Frequency on Outer Ring)
<b>BSF</b>	Frekvence poruchy na valivém elementu (Ball Spin Frequency)
<b>DDS</b>	Software používaný pro analýzu vibrací (Digital Diagnostics System)
<b>FMEA</b>	Analýza příčin a důsledků (Failure Mode and Effect Analysis)
<b>FFT</b>	Rychlá Fourierova Transformace (Fast Fourier Transformation)
<b>FTF</b>	Frekvence poruchy na kleci (Fundamental Train Frequency)
<b>CEZ (OEE)</b>	Celková efektivita zařízení (Overall Equipment Effectiveness)
<b>CH1</b>	Kanál č. 1 pro vibrodiagnostické měření (Channel no. 1)
<b>CH2</b>	Kanál č. 2 pro vibrodiagnostické měření (Channel no. 2)
<b>CNC</b>	Číslicově řízený obráběcí stroj (Computer Numeric Control)
<b>JIPM</b>	Japonský institut pro podnikovou údržbu
<b>Kaizen</b>	Metoda neustálého zlepšování (Kai-Zen = změna k lepšímu)
<b>LEAN</b>	Filosofie štíhlé výroby
<b>NEE</b>	Čistá efektivita zařízení (Net Equipment Effectiveness)
<b>PC</b>	Osobní počítač (Personal Computer)
<b>PM1</b>	Preventivní údržba (Preventive Maintenance)
<b>PM2</b>	Produktivní údržba (Productive Maintenance)
<b>RCM</b>	Údržba zaměřená na bezporuchovost (Reliability centered maintenance)
<b>RMS</b>	Efektivní hodnota (Root Mean Square)
<b>RPM</b>	Otáčky za minutu (Rounds per Minute)
<b>SEE</b>	Metoda pro vysokofrekvenční analýzu vibrací (Spectral Emission Energy)
<b>SIDE</b>	Umístění snímače z boku v horizontálním směru
<b>SMC</b>	Název firmy odvozený od metody spékání kovů (Sintered Metal Corporation)
<b>SMED</b>	Metoda pro rychlou přestavbu stroje (Single Minute Exchange of Dies)
<b>TEEP</b>	Totální efektivnost zařízení (Total Effective Equipment Productivity)
<b>TOP</b>	Umístění snímače shora ve vertikálním směru

<b>TPM</b>	Totálně produktivní údržba (Total productive maintenance)
<b>USA</b>	Spojené státy americké (United States of America)

## 8.2 Seznam použitých symbolů

$a(t)$	zrychlení vibrací [ $\text{mm} \cdot \text{s}^{-2}$ ]
$a_{RMS}$	efektivní hodnota zrychlení vibrací [ $\text{mm} \cdot \text{s}^{-2}$ ]
$CEZ$	celková efektivnost zařízení [-]
$D$	ukazatel využitelnosti (dostupnosti) zařízení [-]
$f$	frekvence [Hz]
$K$	míra kvality [-]
$NEE$	čistá efektivita zařízení [-]
$t$	čas [s]
$TEEP$	totální efektivnost zařízení [-]
$v(t)$	rychlost vibrací [ $\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$ ]
$v_{RMS}$	efektivní hodnota rychlosti vibrací [ $\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$ ]
$V$	ukazatel výkonnosti (míra výkonnosti) [-]
$x_{ef}$	efektivní hodnota vibrací
$x(t)$	výchylka vibrací [ $\mu\text{m}$ ]
$X$	amplituda vynuceného kmitání [m]
$\lambda(t)$	intenzita výskytu poruch [ $\text{h}^{-1}$ ]
$\omega$	úhlová frekvence [ $\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$ ]

## 8.3 Seznam obrázků

Obr. 1)	Hodnotový tok výrobní společnosti [4].....	17
Obr. 2)	Spolehlivost v životním cyklu [4] .....	18
Obr. 3)	Křivka úmrtnosti [3].....	19
Obr. 4)	Vanová křivka [6].....	20
Obr. 5)	Typy údržby [1].....	21
Obr. 6)	Vývojové etapy systémů údržby [14].....	26
Obr. 7)	Pilíře metody TPM [16] .....	28
Obr. 8)	Příklad vizualizace [19].....	33
Obr. 9)	Možnost identifikace havárie [4].....	36
Obr. 10)	Fázový posuv veličin [2] .....	39
Obr. 11)	Umístění snímačů do 3 směrů [2].....	40
Obr. 12)	Rozdělení spektra na významné oblasti [2].....	41
Obr. 13)	Výrobní závod ve Vyškově [28] .....	43
Obr. 14)	Příklad inspekčního listu [30].....	47
Obr. 15)	Příklad roční údržby v roce 2015 [30].....	48
Obr. 16)	Příklad roční údržby v roce 2017 [30].....	48

Obr. 17)	Převodník vibrací C8.5-USB [35] .....	49
Obr. 18)	Základní přehled o strojích v Zapsi [37] .....	50
Obr. 19)	Návrh pilířů systému TPM ve firmě SMC Vyškov.....	51
Obr. 20)	Návrh TPM karty.....	53
Obr. 21)	CNC soustruh [32].....	56
Obr. 22)	Části CNC soustruhu [32] .....	57
Obr. 23)	Snímač AC104-1A [34].....	58
Obr. 24)	Analýzátor A4400 VA4 Pro II [33].....	58
Obr. 25)	Umístění snímačů vibrací u prvního měření .....	59
Obr. 26)	Umístění snímače otáček u prvního měření .....	59
Obr. 27)	Vyhodnocení rychlosti vibrací (10-1000 Hz) prvního měření .....	60
Obr. 28)	Spektrum rychlosti vibrací (10-1000 Hz) prvního měření .....	61
Obr. 29)	Vyhodnocení zrychlení vibrací prvního měření .....	62
Obr. 30)	Spektrum zrychlení vibrací (10-12800 Hz) prvního měření .....	63
Obr. 31)	Analýza obálky spektra zrychlení vibrací prvního měření.....	64
Obr. 32)	Umístění snímače na hlavním vřetenu u druhého měření .....	65
Obr. 33)	Umístění snímače na zadním vřetenu a snímače otáček u druhého měření .....	65
Obr. 34)	Vyhodnocení rychlosti vibrací (10-1000 Hz) druhého měření .....	66
Obr. 35)	Vyhodnocení rychlosti vibrací třetího měření.....	67

#### 8.4 Seznam tabulek

Tab 1)	Negativní vlivy působící na CEZ [17] .....	30
Tab 2)	Základní kroky implementace TPM [13].....	34
Tab 3)	Kroky autonomní údržby [30] .....	46
Tab 4)	Kroky preventivní údržby [30] .....	48
Tab 5)	Tabulka pro sledování vývoje hodnot vibrací.....	69







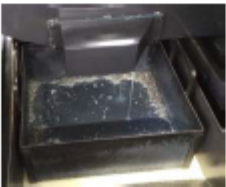

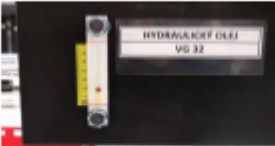


## 9 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 – Plán údržby stroje – TPM karta



# PŘÍLOHY

## Príloha 1 – Plán údržby stroje – TPM karta

Plán údržby stroje - TPM karta				
Číslo stroje:	LT17	Název, typ:	soustruh	
		Úroveň:	denní	Provádí:
Bod čis.	Popis	Hodnota	Termín	Způsob / položky
1	Uvedení do chodu po zapnutí hlavního zdroje	správně nastartování	před začátkem směny	vizuálně (bez abnormalit)
2	Zapsat množství chladicí emulze, koncentrace 	emulze - mezi min/max konc. - min.6%/optim. 10-20%	před začátkem směny	kontrola měřky/refraktometru/doplnit
3	Zkontrolujte tlak na vstupu 	mezi zelenými šipkami	před začátkem směny	vizuálně
4	Nahromadění špon ve filtru chlazení 	žádné špony / vyčistit	před začátkem směny	vizuálně
5	Zapsat množství lubrikačního oleje VG68 	mezi min/max - zapsat hodnotu	před začátkem směny	odečet měřky / doplnit
6	Zapsat množství hydraulického oleje VG32 	mezi min/max - zapsat hodnotu	před začátkem směny	odečet měřky / doplnit
7	Trysky jsou v pozici pro obrábění 	v pozici pro obrábění	před začátkem směny	vizuálně
8	Zanesení sacího filtru chladicí kapaliny 	modrý plováček na červený => => vyměnit filtr	v provozu	vizuálně - modrý plováček
9	Abnormality za automatického chodu (pohyb, zvuk, vibrace,...)	žádné abnormality	v provozu	vizuálně, poslechem