

Racionalizace vybrané výrobní linky ve vybrané společnosti

Bc. Patrik Pytel

Diplomová práce
2025



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta managementu a ekonomiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta managementu a ekonomiky
Ústav průmyslového inženýrství a informačních systémů

Akademický rok: 2024/2025

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: Bc. Patrik Pytel
Osobní číslo: M23141
Studijní program: N0488P050002 Průmyslové inženýrství
Forma studia: Prezenční
Téma práce: Racionalizace výrobní linky ve vybrané společnosti

Zásady pro vypracování

Úvod

Definujte cíle práce a použité metody zpracování práce.

I. Teoretická část

- Zpracujte literární rešerši vztahující se k oblasti racionalizace a zvýšení produktivity výrobní linky.

II. Praktická část

- Provedte analýzu současného stavu výrobní linky a identifikujte problémy a úzká místa.
- Na základě výsledků analýzy vypracujte návrh vedoucí k racionalizaci výrobní linky ve vybrané společnosti.
- Projekt podrobte nákladové, časové a rizikové analýze.

Závěr

Rozsah diplomové práce: **cca 70 stran**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

BRAU, Sebastian J. *Lean manufacturing 4.0: the technological evolution of lean: practical guide on the correct use of technology in lean projects Kanban, 5S, TPM, Kaizen, VSM, 6Sigma, SMED OEE, Hoshin Kanri, Gemba, JIT, TPS, PDCA....* Boca Raton: American Lean SD, 2016. ISBN 978-153-9322-948.
CHARRON, Rich. *The lean management systems handbook*. Boca Raton: CRC Press, 2015. ISBN 978-1-4665-6435-0.
JUROVÁ, Marie. *Výrobní a logistické procesy v podnikání*. Praha: Grada, 2016. ISBN 978-80-247-5717-9.
MAYNARD, Harold B., BINANDA, Bopaya (ed.). *Maynard's industrial and systems engineering handbook*. Sixth edition. New York: McGraw Hill, 2023. ISBN 978-1-260-46156-5.
PATERMANN, Jiří. *Lean dílenské řízení: Je čas změnit vaši dílnu: začněte teď!* Praha: Grada, 2022. ISBN 978-80-271-3534-9.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Eva Juříčková, Ph.D.**
Ústav průmyslového inženýrství a informačních systémů

Datum zadání diplomové práce: **10. února 2025**
Termín odevzdání diplomové práce: **25. dubna 2025**

L.S.

doc. Ing. Michal Pilík, Ph.D.
děkan

prof. Ing. David Tuček, Ph.D.
garant studijního programu

Ve Zlíně dne 10. února 2025

PROHLÁŠENÍ AUTORA DIPLOMOVÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že

- odevzdáním diplomové práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění bez ohledu na výsledek obhajoby;
- diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a bude dostupná k nahlédnutí;
- jedno vyhotovení diplomové práce v listinné podobě bude ponecháno Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně k uložení;
- na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou práci – nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá; neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji, že

- jsem na diplomové práci pracoval(a) samostatně a použitou literaturu jsem řádně citoval(a); v případě publikace výsledků budu uveden(a) jako spoluautor;
- odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně, dne

.....
podpis autora

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá analýzou výrobní linky na montáž wastegate ventilů ve vybrané společnosti. Cílem práce je identifikovat úzká místa na výrobní lince, analyzovat jejich vliv na její kapacitu a navrhnout opatření vedoucí ke zvýšení efektivity výroby. V rámci praktické části byla provedena detailní analýza cyklových časů jednotlivých operací, přičemž hlavní úzká místa byla nalezena u operací testování těsnosti, zajištění víka a aplikace maziva. Na základě získaných dat byly navrženy varianty řešení, které byly vyhodnoceny pomocí multikriteriální analýzy. Výsledkem práce je doporučení kombinace instalace třetího leak testeru a optimalizace montážních operací za účelem zvýšení propustnosti linky a snížení rizika výrobních prostojů.

Klíčová slova: teorie omezení (TOC), výrobní linka, analýza cyklového času, úzká místa, zvyšování efektivity výroby, racionalizace montážní linky

ABSTRACT

This diploma thesis focuses on the analysis of a production line for assembling wastegate valves in a selected manufacturing plant operating in the automotive industry. The aim of the thesis is to identify bottlenecks on the production line, analyze their impact on the line's capacity, and propose measures to increase its efficiency. In the practical part, a detailed analysis of cycle times of individual operations was carried out, with the main bottlenecks identified in leak testing, cover securing, and grease application operations. Based on the collected data, solution variants were proposed and evaluated using a multi-criteria analysis. The outcome of the thesis is a recommendation to combine the installation of a third leak tester and the optimization of assembly operations in order to increase the line throughput and reduce the risk of production downtimes.

Keywords: Theory of Constraints (TOC), Production line, Cycle time analysis, Bottlenecks, Production efficiency improvement, Assembly line rationalization

Na tomto místě bych chtěl poděkovat své rodině za jejich neustálou podporu a trpělivost během celého studia. Mé poděkování patří také celému oddělení Manufacturing Engineering, za odbornou pomoc, cenné rady a ochotu při řešení praktické části diplomové práce. Dále děkuji všem zaměstnancům za vstřícnost a spolupráci při sběru dat a realizaci návrhů. V neposlední řadě děkuji vedoucímu mé práce Ing. Evě Juříčkové, Ph.D. za její čas, odborné vedení a motivaci po celou dobu zpracování této práce.

OBSAH

I	TEORETICKÁ ČÁST	13
1	VÝVOJ A ROLE PRŮMYSLOHÉ INŽENÝRA	14
1.1	HISTORICKÝ VÝVOJ	14
1.2	SOUČASNÉ POJETÍ	14
2	VÝROBA A MANAGEMENT VÝROBY	16
2.1	VÝROBA	16
2.2	VÝROBNÍ PROCES	16
2.3	MANAGEMENT VÝROBY	16
2.4	ROZŠÍŘENÍ ŘÍZENÍ VÝROBY	17
2.5	STRATEGICKÁ ROZHODNUTÍ A DIGITALIZACE	17
2.6	TAKT	17
2.7	STANDARDIZACE PRÁCE	18
3	MĚŘENÍ PRÁCE A CYKLOVÉ ČASY	20
3.1	MĚŘENÍ PRÁCE	20
3.2	CYKLOVÝ ČAS	21
4	LEAN FILOZOFIE	22
4.1	LEAN FILOZOFIE	22
4.2	ŠTÍHLÁ VÝROBA A ŠTÍHLÝ PODNIK	23
4.3	ŠTÍHLÝ PODNÍK	24
4.4	TEORIE OMEZENÍ (TOC)	25
4.5	LEAN TRANSFORMACE – PŘÍSTUPY A ÚSKALÍ	26
5.1	PLÝTVÁNÍ V PROCESECH	28
5.2	ZDROJE PLÝTVÁNÍ V PŘEDVÝROBNÍCH ETAPÁCH	30
6	PROCES ZLEPŠOVÁNÍ	32
7	RIZIKOVÁ ANALÝZA	33
8	SHRnutí TEORETICKÉ ČÁSTI	35
II	PRAKTICKÁ ČÁST	36
9	PŘEDSTAVENÍ SPOLEČNOSTI	37
9.1.1	Organizační struktura	37
9.1.2	Produktové portfolio	38
10	ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU	40
10.1	CHARAKTERISTIKA VÝROBNÍ LINKY	40
10.2	PROVOZNÍ REŽIM A PERSONÁLNÍ ZAJIŠTĚNÍ	41
10.3	LAYOUT	42

10.3.1	Logistika a tok materiálu v rámci linky.....	43
10.3.2	Výrobní proces	44
10.4	IDENTIFIKACE ÚZKÝCH MÍST	47
10.5	VÝROBNÍ KAPACITA A VÝKONNOST LINKY	50
10.5.1	Analýza pracoviště M2T4 – Testování výrobku	51
10.5.2	Analýza pracoviště M3T2 – Zajištění víka	53
10.5.3	Analýza pracoviště M1T2/1 – Aplikace maziva	56
10.5.4	Analýza pracoviště M1T2/2 – Montáž Stem.....	58
11	PROJEKT RACIONALIZACE VYBRANÉ LINKY VE VYBRANÉ SPOLEČNOSTI.....	61
11.1	DEFINICE CÍLŮ PROJEKTU	62
11.2	SMART ANALÝZA HLAVNÍHO CÍLE	62
11.3	HARMONOGRAM PROJEKTU	63
11.4	VYMEZENÍ NÁVRHOVÉ ČÁSTI	64
11.5	NÁVRH VARIANT ŘEŠENÍ	64
11.5.1	Varianta A – Instalace třetího paralelního leak testeru na pracovišti M2T4 – Testování výrobku.....	65
11.5.2	Varianta B – Optimalizace montážních operací M3T2, M1T2/1 a M1T2/2	65
11.5.3	Varianta C – Modernizace stávajících leak testerů	67
11.5.4	Shrnutí	68
11.6	MULTIKRITERIÁLNÍ HODNOCENÍ VARIANT.....	68
11.6.1	Vyhodnocení výsledků	69
11.7	VÝBĚR OPTIMÁLNÍ VARIANTY	69
11.7.1	Strategie realizace.....	70
11.8	TECHNICKÁ REALIZACE VYBRANÉHO ŘEŠENÍ	70
11.8.1	Instalace třetího leak testeru na pracovišti M2T4	71
11.9	RIPRAN – RIZIKOVÁ ANALÝZA PROJEKTU	74
11.10	EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ PROJEKTU	76
11.10.1	Investiční náklady projektu	76
11.10.2	Výpočet navýšení kapacity.....	77
11.10.3	Výpočet ročního finančního přínosu	78
11.10.4	Investiční náklady dle variant.....	78
11.10.5	Výpočet návratnosti investice	80
	ZÁVĚR.....	81

ÚVOD

V prostředí současného průmyslu, který je charakterizován vysokou konkurencí, rostoucími nároky na flexibilitu a tlakem na snižování nákladů, hraje zvyšování efektivity výrobních procesů klíčovou roli pro zachování konkurenceschopnosti podniků. Tento tlak je obzvláště patrný v automobilovém průmyslu, kde dochází k neustálému vývoji technologií, zkracování inovačních cyklů a zpřísnování požadavků na kvalitu i dodací termíny.

Výrobní společnosti jsou tak nuceny optimalizovat své výrobní procesy nejen z pohledu nákladů, ale také z hlediska kapacity a spolehlivosti. Jedním z efektivních nástrojů, který umožňuje identifikaci a odstranění slabých míst v procesu, je systematická analýza výrobní linky zaměřená na tzv. úzká místa. Právě eliminace těchto limitujících operací může zásadně přispět k navýšení výkonu bez nutnosti rozsáhlých investic do nových zařízení.

Tato diplomová práce se věnuje analýze výrobní linky určené k montáži wastegate ventilů ve vybrané společnosti působící v oblasti automobilového průmyslu. Zvláštní pozornost je věnována identifikaci a analýze úzkých míst, která nejvíce ovlivňují celkovou propustnost linky. Cílem práce je na základě zjištěných dat navrhnout taková technickoorganizační opatření, která povedou ke zvýšení efektivity výroby a snížení cyklového času.

Motivací pro zpracování tématu je reálná potřeba podniku reagovat na změny v zákaznických požadavcích, konkrétně na navýšení odběrů ze strany hlavního odběratele. Vzhledem k tomu, že původně paralelně fungující linka byla v minulosti z provozu vyřazena, je nyní celá výroba soustředěna na jediné zařízení. Tato situace přináší zvýšené nároky na jeho výkon a provozní stabilitu.

V teoretické části práce jsou shrnuty principy průmyslového inženýrství, metody měření práce, koncepty Lean a TOC, jakož i postupy vedoucí k systematickému zlepšování výrobních procesů. Praktická část se zaměřuje na detailní analýzu současného stavu výrobní linky, měření cyklových časů a návrh optimalizačních opatření, která jsou následně vyhodnocena pomocí multikriteriální analýzy z hlediska technického přínosu, realizovatelnosti a ekonomického efektu.

CÍLE A METODY ZPRACOVÁNÍ PRÁCE

Cílem této diplomové práce je navrhnout opatření vedoucí ke zvýšení efektivity výrobní linky zaměřené na montáž wastegate ventilů pro automobilový průmysl. Předmětem zkoumání je linka umístěná v hale, která patří mezi nejmodernější výrobní prostory v podniku a je charakteristická vysokou mírou automatizace a provozem ve třísměnném režimu. Vzhledem k tomu, že původně paralelní výrobní linka byla v minulosti odstavena, je nyní celá výroba soustředěna na jedinou linku, jejíž výkon je limitován několika časově náročnými operacemi. Tato skutečnost vyvolává potřebu podrobné analýzy s cílem navrhnout taková opatření, která umožní zvýšení její propustnosti bez nutnosti rozsáhlých investic nebo zásadních technických změn.

Hlavním cílem práce je snížení průměrného cyklového času linky o 10 %, což představuje klíčový předpoklad pro navýšení její celkové kapacity a schopnosti reagovat na rostoucí požadavky zákazníka.

Praktická část začíná analýzou současného stavu výrobní linky, včetně popisu layoutu, toku materiálu, charakteristiky jednotlivých operací a režimu výroby. Následně bylo přistoupeno k měření cyklových časů jednotlivých operací pomocí přímého pozorování a časových snímků. Na základě těchto dat byla identifikována úzká místa linky – konkrétní stanice s nejdelším cyklovým časem, které nejvíce ovlivňují celkovou propustnost.

K analýze úzkých míst byla využita metoda rozkladu cyklového času na strojní a manipulační složku. Pro návrh zlepšení byly vytvořeny tři varianty řešení, které byly následně vyhodnoceny pomocí multikriteriální analýzy. V rámci návrhové části byla rovněž provedena RIPRAN analýza (riziková analýza) k posouzení možných rizik spojených s implementací jednotlivých návrhů. Součástí postupu byla také SMART analýza, která sloužila k přesnému vymezení projektového cíle.

I TEORETICKÁ ČÁST

1 VÝVOJ A ROLE PRŮMYSLOHÉ INŽENÝRA

1.1 Historický vývoj

Průmyslové inženýrství (PI) vzniklo jako reakce na potřebu systematického řízení výroby v době průmyslové revoluce. Zásadní roli zde sehrál Frederick W. Taylor, jehož vědecký přístup (časové studie, standardizace práce, plánování výkonu) položil základy moderního PI (Maynard a Binanda (2023)). Tento výkonově orientovaný model však opomíjel lidský faktor, na což reagovali Gilbrethovi zavedením ergonomie a humanistického přístupu. Jak uvádí Badiru (2021), právě jejich práce umožnila, aby PI zasáhlo i do oblastí HR či bezpečnosti práce.

S postupem času se PI začalo více orientovat na technologii. Groover (2014) zdůrazňuje propojení výroby s digitálními nástroji, čímž PI přirozeně navazuje na trendy Průmyslu 4.0.

Vývoj PI zasazuje do širšího historického rámce Saha et al. (2023), kteří připomínají přínos Adama Smithe a Jamese Watta, a upozorňují na význam Taylorismu jako počátku institucionálního ukotvení oboru. Od té doby se PI rozvíjelo nejen v průmyslu, ale také ve vzdělávání, výzkumu a profesionální praxi.

1.2 Současné pojetí

Současná role průmyslového inženýra se dynamicky proměňuje v reakci na měnící se potřeby průmyslu, digitalizaci a společenský tlak na udržitelnost. Z tradičního zaměření na produktivitu a efektivitu se PI vyvíjí směrem k integrovanému přístupu, který propojuje techniku, management a etiku. Chromjaková (2013) rozvíjí roli průmyslového inženýrství jako nástroje pro zvyšování výkonnosti podnikových procesů s důrazem na eliminaci ztrát a zlepšení koordinace mezi výrobními a podpůrnými aktivitami. Zároveň připomínají význam zakladatelů PI, jako byli Taylor, Gilbreth či Gantt, jejichž myšlenky stále tvoří pevný základ oboru.

S příchodem konceptu Průmyslu 5.0 se však důraz výrazně přesouvá – klíčovou se stává lidská centricita, propojení člověka s technologiemi a schopnost řešit problémy v kontextu udržitelného rozvoje. Průmyslové inženýrství se tak posouvá za hranice technických optimalizací a zahrnuje i etické a společenské aspekty technického rozhodování (Koch et al., 2025). To s sebou přináší nové požadavky na profesní způsobilosti inženýrů – vedle znalostí z oblasti STEM a návrhu systémů je nutné rozvíjet i schopnosti v oblasti etiky, spolupráce a analýzy dopadů (Koch et al., 2025).

Moderní PI je multidisciplinární a jeho jádrem je systémové myšlení, které umožňuje efektivně řídit složité výrobní i organizační celky. Klíčovými přístupy jsou optimalizace a zlepšování procesů, přičemž důraz je kladen na schopnost reagovat na výzvy digitalizace, automatizace a rostoucí complexity (Saha et al., 2023).

Zásadní roli hraje také vzdělávání. S rostoucím významem PI se zvyšuje i poptávka po kvalifikovaných odbornících. Bilge a Severengiz (2019) uvádějí, že pracovní trh zaznamenává nárůst pozic v oblasti PI rychleji než u jiných technických profesí. Upozorňují také, že moderní průmyslový inženýr musí být vybaven nejen technickými, ale i mezioborovými a IT dovednostmi, a zdůrazňují potřebu úpravy vzdělávacích programů tak, aby reflektovaly nároky čtvrté průmyslové revoluce (Bilge a Severengiz, 2019).

2 VÝROBA A MANAGEMENT VÝROBY

2.1 Výroba

Výroba představuje klíčovou činnost v rámci hodnototvorného řetězce, neboť zajišťuje přeměnu vstupních faktorů na výstupy v podobě produktů a služeb určených k uspokojení zákaznických potřeb. V tomto smyslu je výrobní proces jádrem podnikové činnosti, jehož efektivita významně ovlivňuje konkurenceschopnost a ekonomickou stabilitu firmy (Tomek a Vávrová, 2014).

2.2 Výrobní proces

Současné přístupy k výrobnímu procesu výrazně překračují jeho tradiční, lineární pojetí. Zatímco klasická definice chápe výrobu jako přeměnu vstupů na výstupy s přidanou hodnotou, dnešní výrobní prostředí klade důraz na komplexnost, flexibilitu a systémové řízení. Tomek a Vávrová (2014) zdůrazňují význam řízení zdrojů a procesních vazeb, stejně jako potřebu zohledňovat environmentální dopady produkce.

Moderní výrobní systémy nejsou rigidní, ale adaptivní. Bernhard et al. (2023) upozorňují na nutnost inovace a schopnosti reagovat na změny v reálném čase. Úspěšné řízení transformačních procesů dnes vyžaduje flexibilitu, vysokou míru zpětné vazby a efektivní využití technologií.

Technologická stránka výroby je úzce spojena s organizačním řízením. Okolie et al. (2023) popisují výrobní proces jako kombinaci manuální práce, automatizace a digitálních systémů, přičemž efektivita závisí na schopnosti sladit lidské kompetence s technologickými prostředky. Upozorňují však i na to, že bez strategického řízení – včetně plánování kapacit, optimalizace nákladů a řízení kvality – není možné dosáhnout dlouhodobé udržitelnosti.

2.3 Management výroby

Groover (2014) definuje výrobní systém jako komplex lidí, zařízení a procesů navržených za účelem přeměny vstupů na hotové výrobky. Zvláštní důraz klade na rozdělení mezi fyzické výrobní zařízení a podpůrné systémy řízení výroby. Autor přehledně rozlišuje tři základní formy výrobních systémů – manuální, člověk-stroj a automatizované systémy, a demonstruje jejich výhody a omezení (Groover, 2014)

2.4 Rozšíření řízení výroby

Badiru (2013) ve své encyklopedii průmyslového inženýrství doplňuje, že efektivní řízení výroby zahrnuje nejen operativní plánování, ale i kontrolu kvality, logistiku a schopnost reagovat na změny v poptávce. Představuje modely pro tok materiálu a metodiky pro optimalizaci pracovišť.

Badiru (2021) poukazuje na to, že historicky se vývoj managementu výroby posouval od prostého dohledu nad operátory až po sofistikované systémy digitálního plánování. Digitalizace výroby a využití kyber-fyzikálních systémů mění úlohu operativního řízení a posouvají rozhodování do vyšších vrstev řízení.

2.5 Strategická rozhodnutí a digitalizace

Výrobní management zároveň vyžaduje strategické rozhodování napříč celým výrobním procesem. Výrobní podniky se musí neustále rozhodovat například o tom, co vyrábět, jaké činnosti realizovat interně a co outsourcovat, jak zajistit materiálové toky či jak optimalizovat využití výrobních prostředků. Mezi klíčové oblasti rozhodování patří také inovace produktového portfolia, volba výrobní technologie či organizace pracovních týmů. Kvalitní rozhodování v těchto oblastech umožňuje dosahování vyšší přidané hodnoty a zajištění dlouhodobé konkurenceschopnosti (Jurová, 2016).

Strategická rozhodnutí jsou činěna záměrně a s cílem dosáhnout racionálního výsledku. Jedná se o důležitá rozhodnutí spojená s podniknutím akce, přidělením zdrojů nebo stanovením precedentu. V případě DFM se rozhodnutí zaměřují na minimalizaci alokace zdrojů. Tato rozhodnutí mohou zároveň stanovit precedent pro všechna budoucí rozhodnutí v oblasti návrhu a výroby, proto je nutné volit strategický přístup. (Galuppo, 2019)

2.6 Takt

Takt-time představuje klíčový nástroj pro plánování výrobní kapacity a synchronizaci činností v rámci štíhlé výroby. Jeho základní definice vychází z potřeby sladit tempo výroby s aktuální zákaznickou poptávkou. Chromjaková (2013) jej charakterizují jako průměrný čas, ve kterém má být dokončen jeden výrobek, přičemž při jeho návrhu je nutné zohlednit nejen samotný čas operace, ale i časy přípravy, manipulace a čekání. Tato definice poskytuje solidní rámec pro řízení výkonu a identifikaci úzkých míst ve výrobním procesu.

Z hlediska etymologického i praktického vychází pojem „takt-time“ z německého výrazu „Takt“, tedy rytmus či pravidelný interval. Jeho využití je široké napříč výrobními odvětvími, včetně stavebnictví, kde se aplikuje formou tzv. „aktivitních vlaků“ – tedy časově definovaných etap práce (Briso et al., 2017). Tento přesah do netradičních oblastí podtrhuje univerzálnost takt-time jako nástroje pro zajištění plynulosti procesů.

Z matematického hlediska se takt-time standardně počítá jako podíl celkového dostupného času a požadovaného množství výrobků za dané období. Tento výpočet má zásadní význam pro kapacitní plánování, protože umožňuje výrobcům přizpůsobit zdroje reálné poptávce a zároveň odhalit prostor pro zlepšení (Lam et al., 2016). Při správném použití vede k eliminaci plýtvání a prostojů, čímž přispívá ke zvýšení produktivity.

Tradiční pojetí takt-time nicméně pracuje s fixním časem, což může být neefektivní v prostředích s vysokou variabilitou produktů. V reakci na tuto nevýhodu Zhang et al. (2021) představují koncept dynamického takt-time, který umožňuje zohlednit rozdílnou pracnost jednotlivých výrobků. Tím dochází k lepšímu vyvážení pracovního zatížení mezi jednotlivými stanicemi. Autoři navrhli algoritmus založený na chování umělé včelí kolonie, který dosáhl vyšší efektivity než tradiční optimalizační metody. Výsledky ukazují, že dynamický přístup může výrazně přispět ke zlepšení plynulosti výroby, zejména tam, kde se zpracovávají produkty s různou komplexitou.

2.7 Standardizace práce

Standardizace práce je považována za klíčový prvek pro efektivní fungování lean přístupů ve výrobních podnicích. Jejím hlavním přínosem je vytvoření jednotného rámce pro provádění pracovních operací, včetně stanovení pracovních časů a přidělení úkolů konkrétním pracovištím. Tento přístup přináší stabilitu do procesů, zajišťuje opakovatelnost výkonu a usnadňuje identifikaci odchylek, což umožňuje systematické zlepšování a optimalizaci hodnotového toku (Chromjaková, 2013).

Z pohledu zlepšování podnikových procesů představuje standardizace důležitý nástroj pro dosažení vyšší efektivity. Januška (2018) upozorňuje, že bez jasně definovaných postupů nelze zajistit konzistentní kvalitu ani stabilní výkonnost. Standardizace přitom snižuje variabilitu ve výrobě, eliminuje neefektivnosti a vytváří pevný základ pro budoucí zlepšování, což je nezbytné zejména v dynamických výrobních prostředích.

Na standardizaci je možné nahlížet i jako na nástroj řízení činností. Realyvásquez-Vargas et al. (2019) uvádějí, že tzv. standardizovaná práce umožňuje provádění operací podle přesně určených kroků, které jsou optimalizovány z hlediska efektivity, bezpečnosti a kvality. Tento přístup snižuje riziko chyb, zajišťuje logickou návaznost jednotlivých činností a přispívá ke zvýšení spolehlivosti celého procesu. Jasně stanovené pracovní postupy navíc napomáhají rychlejšímu zapracování nových pracovníků a vytvářejí transparentní prostředí pro hodnocení výkonu.

3 MĚŘENÍ PRÁCE A CYKLOVÉ ČASY

3.1 Měření práce

Měření práce představuje klíčový nástroj pro stanovení délky trvání vykonávaných úkolů a zároveň slouží jako prostředek k identifikaci neefektivního času, který může být následně eliminován (Sookdeo, 2019). Tato metoda je úzce spjata s pojmem studium práce, jenž zahrnuje systematické zkoumání pracovních činností s cílem zlepšit efektivitu využívání zdrojů a definovat standardy výkonu (Sookdeo, 2019).

Silnou stránkou měření práce je jeho široká aplikovatelnost – využití nachází nejen v průmyslových podnicích, ale i v dalších oblastech, kde je důležité analyzovat efektivitu procesů (Sookdeo, 2019). Přestože klasické měření práce bylo původně spojeno s výrobními provozy, jeho principy se dnes rozšiřují i do oblasti služeb a administrativy, což svědčí o jeho univerzálnosti.

Ve výzkumné praxi je měření práce často realizováno prostřednictvím časových snímků práce, které umožňují stanovit standardní časy a cíle pro hodnocení efektivity (Sookdeo, 2019). Za zmínku stojí zejména časová studie, která i přes nástup moderních metod nadále zůstává nejrozšířenějším způsobem měření díky své jednoduchosti a přímému použití stopek jako hlavního nástroje.

Moderní literární zdroje však upozorňují na určitá omezení těchto klasických metod. Seifermann et al. (2014) podtrhují, že měření práce je závislé na přesné analýze celého pracovního systému, včetně všech proměnných, které mohou ovlivňovat pracovní čas. Kriticky hodnotí nutnost volby adekvátní úrovně detailu analýzy v závislosti na cíli studie, čímž upozorňují na možné zkreslení výsledků při příliš hrubém nebo naopak příliš detailním pozorování.

Seifermann et al. (2014) rovněž rozlišují tři přístupy k měření práce: (1) přímé pozorování v reálném prostředí, (2) plánování časů prostřednictvím analytických metod a (3) kombinaci obou přístupů. Tato klasifikace ukazuje, že v současné praxi již není postačující spoléhat se pouze na jednoduché snímání časů, ale je vhodné využívat komplexnější analytické postupy, které reflektují specifika sledovaných procesů.

3.2 Cyklový čas

V rámci řízení výrobních operací je nezbytné rozlišovat mezi cyklickými a necyklickými činnostmi, jelikož správné pochopení jejich rozdílů výrazně ovlivňuje optimalizaci výrobních procesů. Podle Patermanna (2022) jsou cyklické činnosti pevně spjaté s výrobou konkrétního dílu, pravidelně se opakují a mají přiřazený výrobní takt. Naproti tomu necyklické činnosti, jako je příprava nástrojů nebo rozměrová kontrola, nelze snadno přiřadit k určitému taktu. V moderních výrobních prostředích dochází často ke kombinaci obou typů činností, což zvyšuje nároky na flexibilitu pracovníků i organizaci pracovišť.

Cyklový čas (Cycle Time) je chápán jako celková doba potřebná k dokončení určitého úkolu nebo operace od jeho začátku až po jeho ukončení. Taifa a Vhora (2019) upozorňují, že cyklový čas zahrnuje jak hodnototvorné, tak i nehodnototvorné aktivity, například inspekci, skladování, přepravu či čekání. Autoři rovněž popisují systematické techniky vedoucí ke zkracování cyklového času (Cycle Time Reduction – CTR), mezi něž patří eliminace zbytečných činností, paralelní provádění operací, snížení doby čekání a zmenšení velikosti šarží (Taifa a Vhora, 2019).

Další rozšíření tohoto konceptu nabízí Goyal et al. (2022), kteří akcentují vliv cyklového času na environmentální udržitelnost. Autoři uvádějí, že „cyklový čas ve výrobě je popsán jako doba potřebná k dokončení konkrétního úkolu od začátku do konce na stroji“ (Goyal et al., 2022). S ohledem na skutečnost, že spotřeba energie je přímo úměrná délce provozu zařízení, hraje zkrácení cyklového času zásadní roli při snižování energetické náročnosti výrobních procesů (Goyal et al., 2022). Praktická aplikace metod systematického snižování cyklového času pak podle autorů vede nejen ke zvýšení produkce, ale také ke snížení ekologické stopy na jednotku produkce (Goyal et al., 2022).

Důležitým aspektem při práci s cyklovým časem je správná interpretace jeho různých typů. Patermann (2022,) rozlišuje cyklový čas dílu (CT), cyklový čas stroje (MCT) a cyklový čas operátora (OCT). Správné pochopení těchto veličin je klíčové pro přesné plánování pracovních kapacit, optimalizaci taktu výroby a vyhodnocování efektivity jednotlivých pracovišť.

4 LEAN FILOZOFIE

4.1 Lean filozofie

Lean management je filozofie řízení výroby, která má původ v systému Toyota Production System (TPS) vyvinutém v Japonsku po druhé světové válce. Základním principem je zaměření na odstranění plýtvání (muda) a maximalizaci hodnoty pro zákazníka. Lean není pouze sada nástrojů, ale celkový přístup k organizaci práce, který podporuje kontinuální zlepšování, týmovou spolupráci a vizuální řízení (Rufe, 2013).

Podle Rufeho (2013) se Lean opírá o pět základních principů:

- určení hodnoty z pohledu zákazníka,
- identifikace hodnototvorného toku,
- zajištění plynulého toku,
- zavedení systému tahu (pull),
- usilování o dokonalost.

Lean přístup je univerzální a lze jej aplikovat nejen ve výrobě, ale i ve službách a správních procesech. Klíčovým předpokladem úspěšné implementace je změna myšlení zaměstnanců a vedení od hierarchického řízení ke týmové kultuře zaměřené na řešení problémů (Rufe, 2013).

Lean představuje způsob vědomého jednání, jehož prostřednictvím organizace řeší reálné problémy svých zákazníků. Cílem Lean přístupu je neustálé zvyšování produktivity, efektivity a kvality podnikových procesů. Základem je tzv. Lean myšlení, které podporuje schopnost týmů systematicky identifikovat a řešit problémy (Patermann, 2022).

V odborné literatuře bývá Lean často nesprávně redukován pouze na nástroje identifikace a eliminace plýtvání. Charron et al. (2015) však upozorňují, že tento přístup neodráží podstatu Lean managementu. Úspěšná implementace Lean principů je možná pouze tehdy, pokud je doprovázena změnou organizační kultury, vzdělávacím systémem a schopnostmi vedení v oblasti změnového řízení. Autoři definují Lean management jako systematický a cílevědomý přístup, který podporuje proces vzdělávání zaměstnanců, jejich zapojení do zlepšování a rozvoj sociálně-technického systému uvnitř organizace. Lean je tedy nejen metodikou, ale i filozofií transformace podniku směrem k vyšší efektivitě a kvalitě.

Je třeba si uvědomit, že ne každé zjednodušení procesů odpovídá filozofii Lean. V praxi se často vyskytuje jev označovaný jako "fake lean", tedy nesprávně implementovaný Lean, který může vést k frustraci zaměstnanců, zvýšené fluktuaci a ztrátě důvěry (Patermann, 2022).

Přístup Lean, jak jej popisuje Badiru (2021), představuje systematickou metodu zlepšování procesů zaměřenou na odstraňování plýtvání a zvyšování hodnoty pro zákazníka. Autor v knize *The Story of Industrial Engineering* vyzdvihuje, že Lean efektivně zefektivňuje tok materiálu a informací skrze organizaci výrobních buněk a podporuje plynulost výrobních operací (Badiru, 2021).

Další pohled na Lean přináší Groover (2014), který v knize *Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing* charakterizuje Lean jako filozofii zaměřenou na minimalizaci času mezi přijetím zakázky a její expedicí k zákazníkovi.. Groover zdůrazňuje důležitost integrace lidských, materiálových a informačních toků s cílem odstranění plýtvání všech forem (Groover, 2014).

Rovněž v *Handbook of Industrial and Systems Engineering* je Lean definován jako metodika zaměřená na systematickou eliminaci nehodnototvorných činností a maximalizaci hodnoty pro zákazníka prostřednictvím kontinuálního zlepšování a zapojení všech účastníků procesů. Lean zde není viděn jen jako technika, ale jako kulturní a manažerská změna, která vyžaduje angažovanost celé organizace (Badiru, 2013).

Důležitým poznatkem z tohoto porovnání je, že zatímco Badiru (2021) a Groover (2014) zdůrazňují procesní a operativní aspekty Leanu, *Handbook of Industrial and Systems Engineering* upozorňuje na Lean jako na širší filozofii, která formuje organizační kulturu a podporuje trvalé zlepšování.

4.2 Štíhlá výroba a štíhlý podnik

Štíhlá výroba

Štíhlá výroba jako praktická aplikace Lean principů využívá širokou škálu nástrojů a metod, které pomáhají eliminovat ztráty, zlepšit tok hodnoty a zvýšit flexibilitu systému. Podle Rufeho (2013) mezi klíčové nástroje patří:

- **5S** – systematizace a organizace pracoviště,
- **Kaizen** – neustálé drobné zlepšování procesů,

- **SMED** – rychlá výměna nástrojů pro zkrácení prostojů,
- **Pull systém** – výroba na základě aktuální poptávky,
- **JIT (Just in Time)** – dodávky a výroba přesně načas,
- **Poka-yoke** – preventivní nástroje proti chybám.

Koncept štíhlé výroby vznikl v 60. letech 20. století v Japonsku, kde jej jako první zavedla společnost Toyota. Tarantino (2022) uvádí, že v době jejího vzniku nebyly k dispozici vyspělé IT systémy, a proto se Lean opíral zejména o jednoduché vizuální nástroje a decentralizované rozhodování. Zaměstnanci měli například pravomoc zastavit celou výrobní linku v případě zjištění odchylky, což umožňovalo okamžité řešení problémů přímo v místě jejich vzniku.

Lembersky (2016) vnímá štíhlou výrobu jako prostředek ke zvyšování produktivity prostřednictvím eliminace plýtvání, avšak zároveň zdůrazňuje i její vliv na kvalitu. Tvrdí, že Lean přispívá ke kvalitě díky tomu, že umožňuje včasnou detekci problémů, jejich adresné řešení a zavádění nápravných opatření, která brání opakování chyb. Dále upozorňuje na důležitost kontinuálního zjednodušování a optimalizace procesů, což přináší snížení nákladů a zlepšení finančních výsledků.

Rufe (2013) navazuje tím, že efektivní aplikace Lean nástrojů není možná bez vytvoření tzv. kultury zlepšování. Tato kultura staví na aktivním zapojení zaměstnanců, systematickém přístupu ke standardizaci procesů a průběžném měření výkonnosti. Chybování zde není potlačováno, ale vnímáno jako příležitost k učení a zlepšení – což výrazně podporuje dlouhodobou udržitelnost štíhlých principů v praxi.

4.3 Štíhlý podnik

Owens (2014) popisuje štíhlý podnik jako dynamický organismus, který se transformuje z defenzivní organizace chránící stávající trhy na aktéra aktivně vyhledávajícího nové příležitosti. Zásadní je schopnost propojit výhody velkých podniků, jako jsou infrastruktura a finanční zázemí, s pružností malých týmů a inovativním duchem jednotlivců. Tato perspektiva výrazně překračuje úzké zaměření na výrobní procesy a podtrhuje Lean jako strategický model řízení.

Chromjaková (2013) potvrzuje, že štíhlý podnik je výsledkem změny myšlení, orientovaného na zákazníka a jeho očekávání v oblasti kvality, času a nákladové efektivity. Základem úspěšné transformace je podle nich kombinace neustálého zlepšování, týmové spolupráce a

aktivní účasti zaměstnanců na optimalizaci podnikových procesů. Tento přístup podporují i empirická data – z výzkumu vyplývá, že až 86 % firem považuje štíhlý podnik za klíčový faktor svého dalšího rozvoje.

Implementace štíhlého podniku se opírá o konkrétní nástroje jako je flexibilní uspořádání výrobních buněk, řízení toku hodnoty či využívání metod PDCA a TPM. Tyto nástroje podporují technickou způsobilost zařízení, stabilitu výkonu a umožňují organizaci rychle reagovat na změny prostředí (Chromjaková, 2013).

4.4 Teorie omezení (TOC)

Teorie omezení (Theory of Constraints, TOC) je metoda zlepšování výrobních a podnikových procesů zaměřená na **identifikaci a eliminaci úzkých míst** v systému. Podle Rufeho (2013) stojí TOC na pěti krocích:

1. Identifikuj omezení systému,
2. Využij omezení na maximum,
3. Podříd' mu ostatní procesy,
4. Odstraň omezení,
5. Pokud se omezení přesunulo, opakuj proces.

Podle Rufeho (2013) je TOC strukturována do pěti logických kroků, které vedou uživatele od identifikace omezení až po jeho odstranění a opakované vyhledávání nových slabin. Praktická aplikace metod jako Drum-Buffer-Rope (DBR) umožňuje zvýšit průchodnost výroby a zkrátit průběžné časy, a to i v prostředí s vysokou nejistotou, kde běžné plánovací nástroje selhávají.

TOC ovšem nepředstavuje pouze nástroj výrobního řízení. Jak upozorňují Şimşit et al. (2014), jedná se o metodologii, která mění způsob manažerského myšlení tím, že procesy nevnímá izolovaně, ale jako součást systémového řetězce. Výkon organizace je podle autorů limitován právě tímto nejslabším článkem a jeho odstranění zlepšuje výkonnost celého systému. TOC se tak uplatňuje nejen ve výrobě, ale také v logistice, účetnictví, projektovém řízení či službách, což z ní činí univerzální nástroj pro strategické řízení zlepšování.

Orouji (2016) rozšiřuje tento pohled o důraz na dostupnost TOC pro praktické použití – metodologie je podle něj jednoduše uchopitelná a nevyžaduje složité datové analýzy. Důraz je kladen na identifikaci typu omezení (např. fyzických či kulturně-organizačních) a

restrukturalizaci ostatních procesů tak, aby podporovaly plynulost a efektivitu. Přínos TOC spočívá nejen v redukci plýtvání a zvýšení kvality, ale i ve snížení variabilit výstupů díky lepší kontrole nad kritickými body systému.

Význam TOC i její vliv na kulturu řízení potvrzují i nejnovější výzkumy. Ikeziri et al. (2018) identifikují potřebu dalšího vědeckého zkoumání TOC, zejména kvůli jejímu rostoucímu významu napříč obory. Zdůrazňují také, že moderní TOC již překračuje rámec ekonomických cílů – organizace se nesnaží jen maximalizovat zisk, ale stát se dlouhodobě prosperujícími celky. Klíčovou roli v tom hrají myšlenkové procesy (Thinking Processes), které podporují týmovou spolupráci a hledání řešení typu „win-win“ v rámci systémových omezení.

4.5 Lean transformace – přístupy a úskalí

Lean transformace představuje komplexní a systematický přístup ke zvyšování výkonnosti organizace skrze odstranění neefektivit, podporu týmové spolupráce a posílení zákaznické hodnoty. Původně zakořeněná v japonském výrobním prostředí Toyota Production System (TPS), byla Lean filozofie úspěšně přenesena i do západních podmínek, kde však naráží na kulturní odlišnosti a odlišné přístupy k řízení změn (Toppazzini, 2024).

Zásadním přínosem Lean transformace je její strategické pojetí – nejde pouze o aplikaci nástrojů jako JIT, Kaizen či Poka-yoke, ale o hlubší změnu myšlení, řízení a firemní kultury. Toppazzini (2024) identifikuje pět klíčových oblastí, na něž se musí organizace při implementaci zaměřit: analýzu výchozí situace, rozvoj kompetencí, leadership, praktické uplatňování principů a systematické zlepšování. Úspěšný přechod k Lean vyžaduje nejen technické kroky, ale především podporu vedení, zapojení zaměstnanců a vytváření prostředí důvěry.

Případová studie NUMMI (společný projekt Toyoty a GM) ilustruje, že i při zvládnutí nástrojů Lean může transformace selhat, pokud chybí vůle ke změně v oblasti řízení a firemní kultury. Naopak Toyota demonstrovala, že trvalý úspěch je možný pouze při aktivním zapojení zaměstnanců a hlubokém zakořenění principů Lean do každodenní praxe (Toppazzini, 2024).

Součástí Lean filozofie je i koncept tří „nepřátel efektivity“, označovaných jako 3M: muda (plýtvání), mura (nerovnoměrnost) a muri (přetížení). Tyto principy vycházejí z kulturních a historických kořenů Japonska, zejména bojového umění, a odrážejí systémové myšlení

TPS. Jejich pochopení je nezbytné pro úspěšné zavedení štihlé výroby – umožňuje přesně diagnostikovat problémy ve výrobě a cíleně je eliminovat (Patermann, 2022).

5 PLÝTVÁNÍ

5.1 Plýtvání v procesech

Plýtvání je v odborné literatuře široce definováno jako jakákoli činnost, která nepřidává hodnotu pro zákazníka a zároveň spotřebovává zdroje. Všichni autoři se shodují na jeho negativním dopadu na efektivitu procesů, nicméně jejich interpretace pojmu plýtvání se v určitých aspektech liší.

Groover (2014) chápe plýtvání především jako výsledek neefektivního řízení výrobních systémů a materiálových toků. Plýtvání je zde úzce spojeno s nadbytečnými činnostmi v automatizované výrobě, kde integrace technologií a optimalizace procesů vedou k jeho redukci.

Badiru (2013) vnímá plýtvání jako odchylku od ideálního průběhu procesu, která se projevuje v podobě ztrát v jednotlivých výrobních fázích. Plýtvání je systematicky klasifikováno do sedmi základních typů (TIMWOOD), přičemž klade důraz na jeho kvantifikaci a postupnou eliminaci.

Jurová (2016) přináší do problematiky důležité rozlišení mezi viditelným a skutečným zlepšením. Plýtvání je podle ní nutné chápat v širším organizačním kontextu a skutečné odstranění plýtvání je možné pouze tehdy, pokud se odstraní jeho příčiny, nikoliv pouze symptomy.

Plýtvání (anglicky "waste") v procesech označuje všechny aktivity, které nepřidávají hodnotu pro zákazníka a představují ztrátu zdrojů, času, energie či materiálu. V odborné literatuře je plýtvání identifikováno jako klíčový faktor snižující produktivitu a efektivitu výrobních i podpůrných procesů (Groover, 2014)

Typy plýtvání v procesech:

- Nadměrná doprava
- Nadměrné zásoby
- Zbytečný pohyb
- Čekání
- Nadprodukce
- Nadměrné zpracování

- Vady
- Nevyužívání schopností zaměstnanců

Nadměrná doprava (Transport)

Groover (2014) definuje nadměrnou dopravu jako zbytečný pohyb materiálu a polotovarů mezi jednotlivými úseky výroby, který nezvyšuje hodnotu produktu a prodlužuje čas dodání. Podle Jurové (2016) doprava představuje plýtvání finančních prostředků skrze nadbytečné přepravy a manipulace.

Nadměrné zásoby (Inventory)

Maynard a Binanda (2023) upozorňují, že nadměrné zásoby blokují kapitál podniku a zvyšují riziko zastarání produktů.

Zbytečný pohyb (Motion)

Badiru (2013) vysvětluje, že zbytečný pohyb vzniká při neergonomickém uspořádání pracoviště, kdy jsou zaměstnanci nuceni provádět nadbytečné pohyby, jako je natahování, ohýbání nebo časté přecházení. Jurová (2016) doplňuje, že opakované neefektivní pohyby vedou k fyzickému vyčerpání a zvyšují riziko pracovních úrazů.

Čekání (Waiting)

Maynard a Binanda (2023) upozorňují, že nevyužitý čas prodlužuje celkovou dobu průběhu výroby a zároveň snižuje kapacitní využití pracovišť. Jak doplňuje Jurová (2016), k tomuto typu plýtvání dochází tehdy, když nelze pokračovat ve výrobě z důvodu čekání na materiál, potřebné informace či opravu stroje. I velmi krátké prostoje představují ztráty, které štíhlá výroba systematicky vyhledává a minimalizuje.

Nadprodukce (Overproduction)

Badiru (2013) upozorňuje, že nadprodukce je nejzávažnější formou plýtvání, neboť výroba nad požadované množství vyvolává další formy plýtvání, jako jsou zásoby a doprava. Podle Jurové (2012) nadprodukce často vzniká z důvodu snahy maximalizovat využití kapacit bez ohledu na skutečnou poptávku.

Nadměrné zpracování (Over-processing): Groover (2014) popisuje nadměrné zpracování jako přehnané požadavky na kvalitu či zbytečné procesy, které nezvyšují hodnotu pro zákazníka. Jurová (2016) upozorňuje, že zbytečné operace prodlužují výrobní čas a zvyšují náklady.

Vady (Defects)

Podle Badiru (2013) vady vznikají z nedostatečné kontroly vstupů či chybných technologických procesů. Jurová (2016) doplňuje, že vady znamenají nejen náklady na opravy, ale také ztrátu důvěry zákazníka.

Nevyužívání schopností zaměstnanců

Jedním z často opomíjených, avšak zásadních druhů plýtvání v kontextu štíhlé výroby je nevyužití lidského potenciálu. Podle Al-Eqabi et al. (2023) dochází ke ztrátám nejen v důsledku zbytečných pohybů pracovníků, ale i kvůli „plýtvání, které vzniká nedostatečným využitím schopností jednotlivců (nápady, kreativita, zkušenosti, dovednosti)“. Tento druh plýtvání přináší nejen zvýšené provozní náklady, ale také snižuje celkovou inovativnost a motivaci zaměstnanců.

Dále autoři upozorňují, že flexibilita lidských zdrojů – tedy schopnost pracovníků adaptovat se a využívat široké spektrum dovedností a chování – je klíčovým předpokladem pro zvýšení produktivity a snížení nákladů. Pokud není této flexibility využito, dochází k promrhání cenných lidských kapacit. Jak uvádí: „flexibilita lidských zdrojů hraje důležitou roli při snižování nákladů prostřednictvím využití víceúčelových pracovníků, což zahrnuje flexibilitu dovedností, chování a praxe“ (Al-Eqabi et al., 2023).

5.2 Zdroje plýtvání v předvýrobních etapách

Předvýrobní fáze v průmyslové výrobě je často přehlíženým, ale zásadním místem pro optimalizaci a snižování plýtvání. Tato etapa zahrnuje činnosti jako řezání, tvarování či předmontáž a je významným zdrojem neefektivity. Haq a Alam (2023) poukazují na výskyt nadprodukce, která vzniká preventivně jako rezerva proti zmetkům, což vede ke vzniku přebytečných zásob. Tyto zásoby bývají výsledkem nadhodnocených odhadů spotřeby, přičemž materiál není systematicky vrácen zpět do výroby.

Další formou plýtvání je nadměrné zpracování, například při třídění odpadního materiálu, které je časově náročné a neefektivní. K tomu se přidávají defekty a zbytečné manipulace – materiál je často přemísťován mezi pracovišti bez přidané hodnoty. Významné jsou i ztráty způsobené nevyužitým lidským a procesním potenciálem, kdy například zbytkový materiál není strategicky zpracován, ale prodáván externím subjektům (Haq a Alam, 2023).

Identifikaci těchto typů plýtvání podporují nástroje jako value stream mapping a procesní analýza. Maynard a Binanda (2023) doporučují jejich využití pro systematické zlepšování, zatímco Groover (2014) zdůrazňuje nutnost zapojení všech zaměstnanců do optimalizace procesů. Z kritické perspektivy lze konstatovat, že podcenění předvýrobní fáze vede k nevyužitému potenciálu zlepšení. Věnování větší pozornosti této etapě může významně přispět ke zvýšení výkonnosti i udržitelnosti výroby.

6 PROCES ZLEPŠOVÁNÍ

Součástí efektivního managementu výroby je také proces **zlepšování**. Ten je postaven na metodickém postupu skládajícím se z osmi kroků, které vycházejí ze strukturovaného řešení problémů. Tento postup zahrnuje například popsání důvodů pro změnu, zmapování současného stavu, nalezení kořenových příčin a návrh i implementaci opatření. Jeho cílem je zejména snížení cyklového času a odstranění neefektivit (Patermann, 2022).

Dále existují čtyři obecné principy zlepšování, které lze aplikovat na jakýkoliv proces:

1. **Eliminace** – odstranění činnosti, která není potřebná.
2. **Kombinace** – provedení více činností současně.
3. **Změna pořadí** – přesunutí činností tak, aby byly efektivnější.
4. **Zjednodušení** – snížení složitosti činnosti či její zrychlení.

Tyto principy lze kombinovat s tzv. strukturujícími otázkami typu: kdo, kde, kdy, jak, proč, aby se generovalo více variant řešení (Patermann, 2022).

Digitální asistenti mohou zároveň eliminovat závislost na konkrétních osobách ve výrobě, snižovat přetížení malých pracovních skupin a urychlovat přenos know-how mezi pracovníky. Tím přispívají nejen ke zvýšení efektivity, ale i ke zlepšení pracovního prostředí a motivace zaměstnanců (Brau, 2016).

Implementace těchto nástrojů rovněž umožňuje sběr dat a jejich využití k predikci a prevenci chyb, čímž se zvyšuje stabilita a kvalita procesů. Podle Braua (2016) je jejich největším přínosem schopnost reagovat na odchylky metodicky, krok za krokem, bez nutnosti okamžité přítomnosti zkušeného odborníka. Systém je zároveň programovatelný dle úrovně rozvoje Kaizen konceptu v daném podniku (Brau, 2016).

7 RIZIKOVÁ ANALÝZA

Riziková analýza představuje nezbytnou součást projektového řízení, neboť každý projekt je vystaven různým typům hrozeb a nejistot, které mohou negativně ovlivnit dosažení jeho cílů. Ve srovnání s jinými oblastmi, jako je např. operativa nebo finanční řízení, se projektové řízení vyznačuje větší rozmanitostí dopadů – od finančních, časových až po kvalitativní, technologické či kapacitní aspekty (Bočková a Lajčín, 2018).

Jednou z metod, která nabízí systematický přístup k identifikaci, analýze a řízení rizik, je česká metodika **RIPRAN™** (RIsk PRoject ANalysis). Jejím autorem je Branislav Lacko a její využití vychází ze standardů projektového řízení dle PMI a IPMA a z filozofie kvality dle normy ISO 10006 (Bočková a Lajčín, 2018). Metoda vznikla původně pro analýzu rizik v automatizačních projektech, avšak později byla rozšířena na širší spektrum projektů (Lacko a Doskočil, 2022).

RIPRAN je navržena v souladu s normami ISO 31000 a ISO/IEC 31010 a její struktura zahrnuje pět navazujících kroků:

1. Příprava analýzy rizik
2. Identifikace rizik
3. Kvantifikace rizik (pravděpodobnost × dopad)
4. Reakce na rizika
5. Obecné vyhodnocení rizik

Jednotlivé fáze lze aplikovat iterativně podle potřeby a metoda je vhodná jak pro rozsáhlé, tak menší projekty. RIPRAN je specifická tím, že využívá **číselné skóre rizika** (součin pravděpodobnosti a dopadu) a výstupem je přehledná **matice rizik**, která usnadňuje vizualizaci a prioritizaci jednotlivých hrozeb (RIPRAN.eu, 2024).

Odborná literatura oceňuje zejména **srozumitelnost, flexibilitu a nízkou náročnost** na implementaci. Bočková a Lajčín (2018) dokládají použitelnost RIPRAN na případové studii zavádění nového produktu ve výrobní společnosti, kde analýza odhalila tři nepřijatelná rizika, k nimž byl vypracován plán mitigace. Tato opatření následně vedla ke snížení pravděpodobnosti výskytu nebo dopadu rizik.

Kritické zhodnocení přináší Lacko a Doskočil (2022), kteří zdůrazňují, že metoda je navržena s důrazem na praktickou aplikovatelnost a kompatibilitu s inženýrským řízením

rizik. Kromě bodového nebo číselného vyjádření umožňuje RIPRAN využít i verbální klasifikaci rizik, a tedy přizpůsobit se různým prostředím.

8 SHRUTÍ TEORETICKÉ ČÁSTI

Teoretická část diplomové práce se zaměřuje na klíčové principy a nástroje využívané v oblasti průmyslového inženýrství při zvyšování efektivity výrobních procesů. Úvodní kapitoly se věnují vývoji a současné roli průmyslového inženýra, který se postupně vyprofiloval jako odborník propojující technické, procesní a manažerské přístupy.

Následuje přehled základních pojmů z oblasti výroby, výrobních procesů a řízení výroby, včetně vysvětlení významu standardizace práce, takt-time a strategického plánování. Důraz je kladen na metody měření práce, především na analýzu cyklového času jako klíčového ukazatele pro identifikaci neefektivit a úzkých míst v procesu.

Značná pozornost je věnována filozofii lean managementu, jejímž cílem je eliminace plýtvání a neustálé zlepšování procesů. Součástí této části je i rozbor nástrojů štíhlé výroby jako 5S, SMED, Kaizen nebo Poka-yoke.

V práci je dále popsána teorie omezení (TOC), která se zaměřuje na identifikaci a řízené odstranění úzkých míst ve výrobním systému. TOC je zde prezentována jako důležitý rámec pro pochopení toho, jak jedno omezení může ovlivnit výkon celého procesu.

Teoretická část také představuje metodiky zlepšování procesů a rizikové analýzy, zejména pomocí nástrojů jako PDCA cyklus a metodika RIPRAN, které se uplatnily i v návrhové části práce.

II PRAKTICKÁ ČÁST

9 PŘEDSTAVENÍ SPOLEČNOSTI

Zkoumaná výrobní společnost působí v oblasti automobilového průmyslu a zaměřuje se na výrobu komponentů pro tepelný management vozidel. Závod je součástí širší nadnárodní struktury, přičemž jeho výrobní program pokrývá jak hliníkové, tak nerezové výrobky.

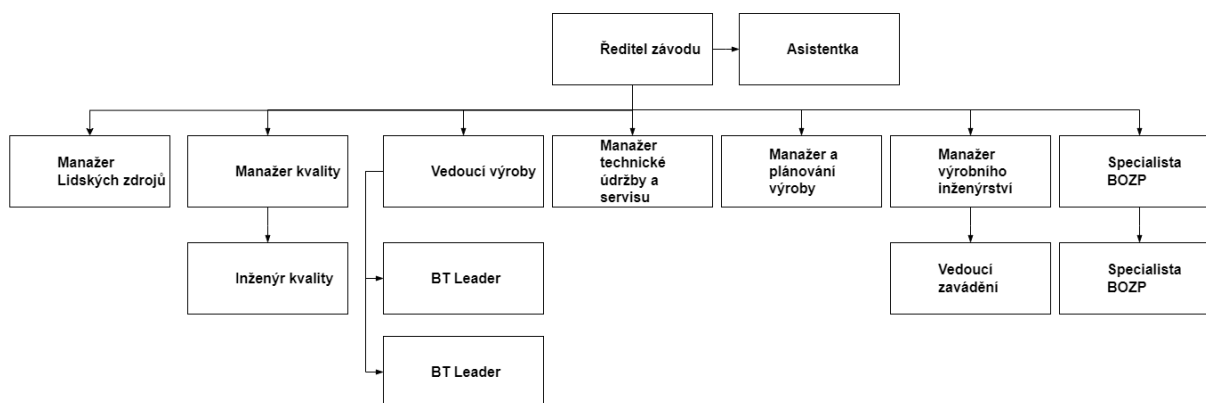
Výroba je rozdělena do několika specializovaných hal, které se liší mírou automatizace a charakterem produkce. V některých halách probíhá výroba prostřednictvím flexibilních manuálních nebo poloautomatických linek, zatímco nejmodernější části závodu jsou vybaveny plně automatizovanými montážními linkami s robotizací a kamerovou kontrolou kvality.

Jedna z těchto výrobních hal, na níž je práce zaměřena, slouží k montáži specifického výrobku využívaného v přeplňovaných spalovacích motorech. Tato linka je charakteristická vysokou mírou automatizace a je provozována v nepřetržitém režimu, včetně víkendů a svátků. Linka je navržena tak, aby minimalizovala zásahy operátorů, což přispívá ke zvýšení opakovatelnosti a snížení chybovosti.

V minulosti byla provozována ještě jedna identická linka, která byla však z kapacitních důvodů vyřazena. V současnosti je celý objem výroby soustředěn na jedinou aktivní linku. Tato situace klade vysoké nároky na její spolehlivost a stabilitu výkonu – jakékoliv narušení plynulosti výroby může ohrozit dodržení výrobního plánu a vést ke značným ekonomickým dopadům, zejména z důvodu nutnosti využití alternativních, nákladnějších způsobů přepravy.

Vzhledem k vysokému vytížení linky a nárokům na její nepřetržitý provoz se vedení závodu rozhodlo analyzovat její výkonnost s cílem identifikovat časové rezervy a navrhnout opatření, která povedou ke zvýšení efektivity výroby bez nutnosti vysokých investic.

9.1.1 Organizační struktura



Obrázek 1 Organizační struktura (vlastní zpracování)

Organizační struktura výrobního závodu je přizpůsobena požadavkům na efektivní řízení vysoce automatizované výroby a souvisejících podpůrných procesů. Základní organizační členění zahrnuje oddělení výroby, kvality, údržby, plánování, technologie a administrativy. Specifické funkce jako logistika nebo vývoj jsou zajišťovány buď externě, nebo jsou centralizovány v rámci celé korporátní struktury, a nefungují tedy jako přímá součást místního řízení závodu.

Logistické služby jsou zajišťovány prostřednictvím externího dodavatele, který odpovídá za správu dodavatelského řetězce, skladového hospodářství i distribuci materiálů na výrobní linky. Vývojové a inovační aktivity jsou zajišťovány samostatným výzkumným a vývojovým centrem, které poskytuje podporu více výrobním závodům v rámci celé skupiny.

9.1.2 Produktové portfolio

Vybraná společnost se specializuje na výrobu komponentů pro teplotní management v automobilovém průmyslu. Produkty jsou rozděleny na nerezovou a hliníkovou výrobu, přičemž každá skupina zahrnuje klíčové součásti automobilových chladicích a klimatizačních systémů.

Hliníkové produkty

Hliníkové komponenty zahrnují chladiče motorů, intercoolery a klimatizační výměníky, které vynikají nízkou hmotností a efektivní tepelnou vodivostí. Chladiče motorů odvádějí přebytečné teplo a pomáhají udržet optimální provozní teplotu motoru. Intercoolery zajišťují ochlazení stlačeného vzduchu před vstupem do motoru, což zvyšuje jeho výkon. Klimatizační výměníky, jako jsou evaporátory a kondenzátory, zajišťují správnou funkci klimatizačních systémů a komfort uvnitř vozidla.

Nerezové produkty

Mezi hlavní produkty patří EGR ventily, nerezové výměníky tepla. EGR ventily regulují recirkulaci výfukových plynů a přispívají ke snížení emisí. Nerezové výměníky tepla se využívají v chladicích systémech motorů a baterií pro zajištění optimálního přenosu tepla.

Speciální systémy pro elektrická a hybridní vozidla

S rostoucím důrazem na elektromobilitu se společnost zaměřuje i na chladiče baterií které zajišťují efektivní regulaci teploty bateriových systémů a elektromotorů. Tyto technologie přispívají ke zvýšení energetické účinnosti a prodloužení životnosti klíčových komponent elektrických vozidel.

10 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU

10.1 Charakteristika výrobní linky

V této části je uveden podrobný popis výrobní linky, a to včetně jejího technologického uspořádání, materiálového toku a výrobního procesu. Hlavním cílem této kapitoly je porozumět fungování linky v kontextu jejího aktuálního využití, což umožní provedení následné analýzy úzkých míst a návrh opatření ke zvýšení její efektivity.

Analyzovaná linka je součástí nerezové části haly, která představuje nejmodernější provozní jednotku v rámci celého závodu. Jedná se o plně automatizovanou montážní linku navrženou pro výrobu komponentu typu wastegate ventil – zařízení, které slouží k regulaci přetlaku výfukových plynů u přeplňovaných spalovacích motorů. Výroba na této lince je organizována v sekvenčním uspořádání, přičemž jednotlivé operace jsou propojeny automatizovaným dopravníkovým systémem a řízeny nadřazeným PLC systémem.

Původně byly v provozu dvě identické výrobní linky, které byly navrženy a nainstalovány za účelem pokrytí výrobní kapacity požadované zákazníkem. Obě linky disponovaly totožným technickým vybavením, shodným layoutem a identickým technologickým nastavením. V důsledku poklesu poptávky však došlo ke snížení zákaznických objednávek, v jejichž důsledku nebyla nadále kapacitní potřeba pro provoz obou linek. Z těchto důvodů byla jedna z linek zlikvidována, neboť nevykazovala žádnou zůstatkovou hodnotu (net book value). Její klíčové komponenty byly využity jako náhradní díly pro zachovanou sestavu.

Zároveň bylo rozhodnuto o odstranění této linky i z důvodu omezených prostorových možností výrobní haly, neboť nebyla k dispozici volná plocha pro dlouhodobé zachování obou výrobních zařízení. Uvolněný prostor byl následně využit pro instalaci nového projektu, který byl v dané době upřednostněn z hlediska výrobního portfolia a obchodních priorit.

V důsledku této situace zůstala v provozu pouze jedna výrobní linka, která je v současnosti provozována v nepřetržitém třisměnném režimu, včetně víkendů a státních svátků. Tento provozní režim zajišťuje maximální vytížení výrobní kapacity a zároveň klade vysoké nároky na plynulost a technickou spolehlivost zařízení. Jakýkoli technický výpadek nebo provozní zdržení může vést k ohrožení plnění denního výrobního plánu a následně ke zvýšeným logistickým nákladům, případně sankcím.

V nedávné době došlo ke změně situace na straně zákazníka, kdy byl oznámen výpadek druhého dodavatele tohoto komponentu. Tím byla ohrožena jeho schopnost naplnit strategii dual source, kterou dlouhodobě uplatňuje. V reakci na tuto skutečnost byla ze strany zákazníka předložena nabídka navýšení objemu odběru výrobků, přičemž jako motivační prvek bylo nabídnuto zvýšení ceny za odebraný kus. Tato nabídka však byla podmíněna schopností navýšit výrobní kapacitu stávající linky bez potřeby rozsáhlých investic do nové technologie nebo výrobního zařízení.

Vzhledem k tomu, že obnovení původního dvoulinkového provozu již není reálné (technicky ani ekonomicky), bylo rozhodnuto provést podrobnou analýzu stávající linky a navrhnout taková optimalizační opatření, která by umožnila navýšit její propustnost. Klíčovým cílem je identifikovat časové rezervy v rámci cyklových časů jednotlivých operací, analyzovat úzká místa a provést taková technickoorganizační opatření, která povedou ke zvýšení výkonu linky a naplnění nově vzniklých požadavků zákazníka, aniž by došlo k ohrožení stability výrobního procesu nebo kvality finálního produktu.

10.2 Provozní režim a personální zajištění

Analyzovaná výrobní linka pracuje v třísměnném provozním režimu, který je rozložen do sedmi dnů v týdnu, včetně víkendů a státních svátků. Tento režim byl zaveden s cílem pokrýt požadovanou výrobní kapacitu poté, co byla z provozu vyřazena druhá, původně identická linka.

Každou směnu standardně zajišťuje čtyřčlenný tým:

- Operátor na vstupu linky zakládá vstupní komponenty na dopravní systém a spouští první automatizované operace.
- Operátor na výstupu přebírá hotové výrobky, provádí finální vizuální kontrolu a následné balení.
- Manipulant zodpovídá za plynulé zásobování linky materiálem, především doplňování dílů do vibračních zásobníků a přípravu palet.
- Seřizovač dohlíží na technický stav zařízení, provádí operativní zásahy při odchylkách, zajišťuje výměny nástrojů nebo restart po krátkodobých výpadech.

Standardní délka jedné směny činí 8 hodin, přičemž rozložení směn je navrženo tak, aby nedocházelo k prostojům mezi směnami.

- Operátor na konci linky – přebírá hotový výrobek, provádí finální kontrolu a balí produkty do přepravních boxů.

Všechny ostatní operace probíhají plně automatizovaně, což výrazně snižuje chybovost a zajišťuje vysokou opakovatelnost výrobního procesu.

10.3.1 Logistika a tok materiálu v rámci linky

Zásobování výrobní linky začíná na úrovni externího skladu dodavatele, odkud jsou komponenty a suroviny expedovány do závodu vybrané společnosti. Dodavatelé mají pevně stanovené dodací harmonogramy, které zohledňují výrobní kapacity a požadavky závodu. Vstupní materiál je následně přepravován do externího skladu, kde dochází k jeho dočasnému uskladnění a plánování distribuce na výrobní směny.

Veškeré objednávky materiálu se provádějí výhradně v rámci ranní směny, což umožňuje snížit náklady na mzdy spojené s administrativním zpracováním požadavků. Objednávky jsou realizovány prostřednictvím systému SAP, který zajišťuje přesnou evidenci, sledovatelnost a optimalizaci materiálového toku.

Po objednání potřebných komponent je materiál přepraven z externího skladu přímo na výrobní halu, kde dochází k jeho vykládce a přesunu na skladovací plochu blízko linky. Manipulanti následně zajišťují plynulý přísun materiálu k výrobní lince podle aktuálních potřeb výroby.

Zásobování linky vstupními komponenty

Každý komponent vstupuje do výrobního procesu v přesně stanovené operaci, přičemž způsob jeho dopravy na linku závisí na jeho velikosti a tvaru. Větší a rozměrnější komponenty jsou na začátek linky dopravovány pomocí dopravních pásů, zatímco drobné součástky jsou automaticky podávány vibračními bubnovými zásobníky, které zabraňují jejich vzájemnému namotání nebo zablokování v procesu podávání.

Hlavní metody distribuce materiálu k výrobní lince:

Dopravní pásy – zajišťují plynulý přísun ve správný čas k montážním stanovištím.

Vibrační bubnové zásobníky – slouží pro podávání drobných komponent, jako jsou šrouby, matice a ložiska. Tím se zároveň minimalizuje nutnost ručního podávání. Výjimku tvoří pružiny kvůli hrozícímu zamotání.

Manuální zakládání – používá se u součástek, které vstupují do linky na začátku, kvůli maximálnímu využití operátora u linky.

Zásobování výrobní linky má na starosti manipulant, který zajišťuje nepřetržitý přísun materiálu ke správným pracovištím. Jeho hlavním úkolem je zakládání materiálu na paletky dopravníkového systému, odkud jsou komponenty automaticky přesouvány na jednotlivé montážní stanice. Drobné součástky, jako šrouby, ložiska, doplňuje do vibračních bubnových podavačů. Kromě toho pravidelně kontroluje dostupnost materiálu na lince, aby nedocházelo k prostojům způsobeným jeho nedostatkem.

Podle kusovníku (BOM) jsou jednotlivé komponenty přiřazeny ke specifickým operacím, kde dochází k jejich montáži nebo zpracování. Následující tabulka shrnuje, které materiály vstupují do linky a v jakých operacích jsou využity:

Tabulka 1 Materiálový tok a vstupní komponenty dle operací výrobního procesu (vlastní zpracování)

Číslo operace	Operace	Komponenty vstupující do procesu	Způsob dopravy k lince
0010 + 0020	Svařování a mazání	Stem Ring, Stem Assy, Grease Barrierta	Manuální zakládání, dávkovací systém (mazivo)
0030	Lepení a krimpování magnetů	Magnet, Stem, Adhesive - Loctite 2701	Vertikální zásobník (magnet), dávkovací systém (lepidlo)
0040	Sestavení a svařování rolleru + mazání	Roller, Grease Barrierta	Dopravní pás roller, dávkovací systém (mazivo)
0050	Lisování ložiska + vkládání Gear wheelu	Ložisko Ball Bearing, Gear Wheel Assy	Vibrační bubnový zásobník
0060	Zakládání guidingu a bushingu	Guiding, Bushing	Dopravní pás
0070	Montáž body	Body-Assy	Dopravní pás
0080	Lisování pinionu a svařování motoru	Pinion, Motor Assy	Dopravní pás
0090	Montáž motoru k body housingu	Motor, Motor support	Dopravní pás
0100	Montáž + krimpování pružiny	Spring	Dopravní pás
0110	Montáž coveru	Cover Assy	Dopravní pás
0120	Osazení bellow a matky	Bellows, O-Ring, Nut M6.0x1.0 HEX SST	Vibrační bubnový zásobník
0130	Kontrola těsnosti	Žádné nové komponenty, test hotového výrobku	–
0140	Balení	Label, přepravní boxy	Manuální operace

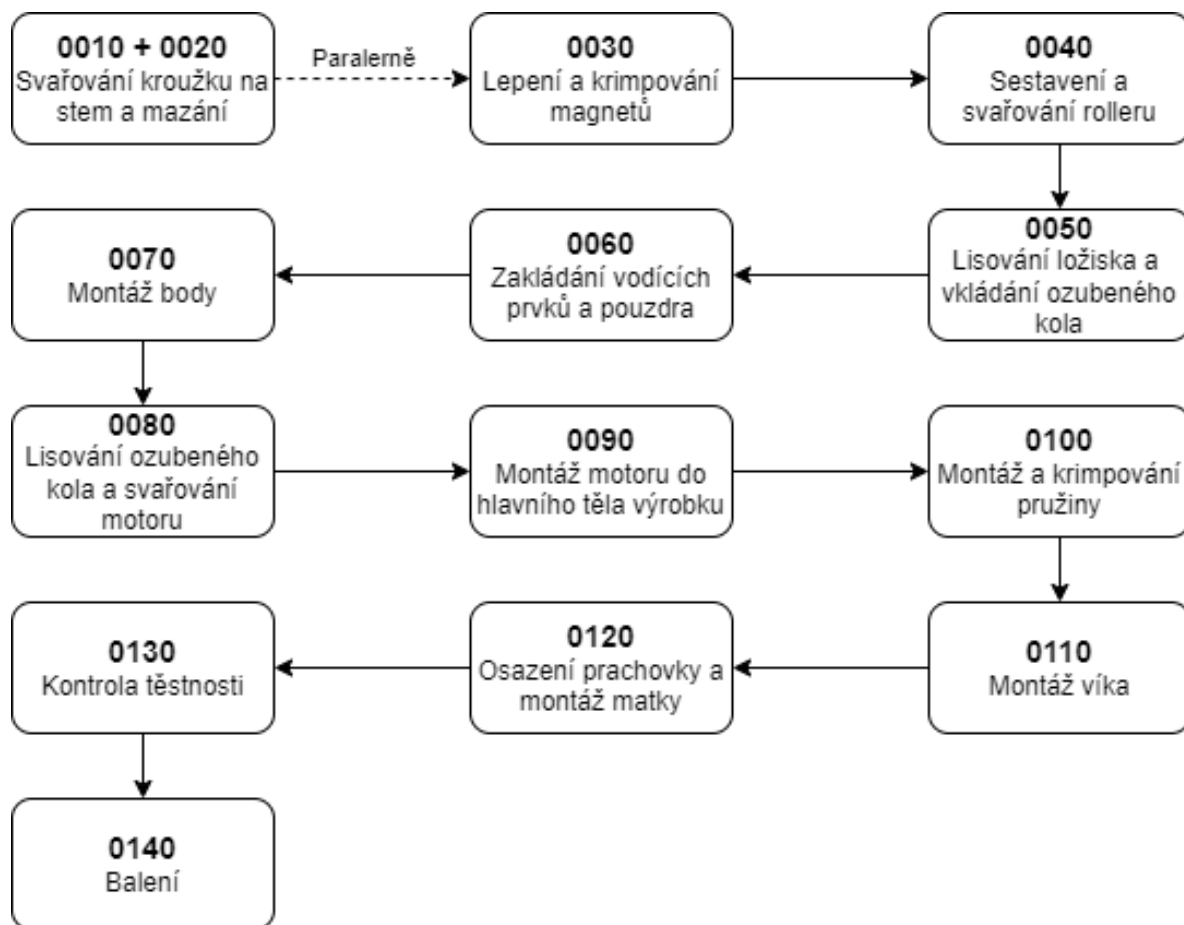
10.3.2 Výrobní proces

Výrobní proces na lince zahrnuje sekvenční provedení 14 hlavních operací, které vedou od prvotního svařování až po finální montáž a kontrolu těsnosti výrobku. Celý proces je plně

automatizovaný, s výjimkou několika manuálních zásahů operátorů, které probíhají zejména v úvodních fázích výroby.

Díky dopravníkovému systému je každý výrobek přepravován mezi jednotlivými operacemi bez nutnosti manuální manipulace, což zajišťuje vysokou efektivitu a opakovatelnost procesu. Některé operace probíhají paralelně, což umožňuje optimalizaci cyklového času.

Tato kapitola podrobně popisuje jednotlivé operace, jejich technologický postup, návaznost.



Obrázek 3 Procesní mapa (Vlastní zpracování)

Procesní mapa znázorněná na obrázku č. 3 poskytuje vizuální přehled o průběhu montážního procesu výrobku typu wastegate ventil. Zobrazuje návaznost jednotlivých operací včetně paralelní větve na začátku procesu, kde dochází k současnému provádění operací svařování a mazání (0010 + 0020) a lepení magnetů (0030). Následně proces pokračuje sekvenčně až k finálním krokům zahrnujícím kontrolu těsnosti a balení. Jednotlivé kroky výrobního postupu, jak jsou zobrazeny v diagramu, jsou následně podrobně popsány v textu níže, včetně jejich technologického významu, charakteru (automatizovaná či manuální činnost) a specifik konkrétního úkonu.

V následujícím přehledu jsou jednotlivé kroky výrobního procesu popsány podle jejich pořadí v procesní mapě.

Operace 0010 + 0020 – Svařování a mazání (Welding lower stem ring)

První dvě operace probíhají na stejném stroji, kde dochází ke svařování spodního kroužku (lower stem ring) a následně k nanesení maziva na klíčové kontaktní plochy. Tento proces je plně automatizovaný a řízen předem definovanými parametry.

Operace 0030 – Lepení a krimpování magnetů (Probíhá paralelně s operacemi 0010 a 0020)

Současně s předchozími operacemi probíhá připevnění magnetů k sestavě. Operátor vezme navařený kroužek a stem z operace 0010 a 0020, spojí jej se slepeným a krimpovaným magnetem, připevní jej k sestavě a zajistí pomocí matky. Po dokončení této fáze vloží výrobek do stroje, kde pokračuje operace 0040.

Operace 0040 – Sestavení a svařování rolleru + mazání

Po dokončení předchozích operací probíhá v tomto kroku automatizované sestavení rolleru do hlavního těla výrobku. Následně dochází k svaření spojů, které zajišťují mechanickou pevnost, a aplikaci maziva pro snížení tření a optimalizaci pohybu jednotlivých částí.

Operace 0050 – Lisování ložiska + vkládání Gear wheelu

Do sestavy je zalisováno ložisko, které umožňuje hladký pohyb mechanických částí. Současně je do sestavy vloženo ozubené kolo (Gear wheel), které přenáší pohyb v systému.

Operace 0060 – Zakládání guidingu a bushingu

V této fázi jsou do sestavy vloženy vodicí prvky (guiding) a pouzdra (bushing), které zajišťují správné vedení a eliminaci nežádoucího tření.

Operace 0070 – Montáž body

Na výrobek je upevněna hlavní konstrukční část (body), čímž sestava získává svou finální podobu.

Operace 0080 – Lisování pinionu a svařování motoru

Během této operace dochází k zalisování ozubeného kola (pinion), které přenáší rotační pohyb, a následně k svaření motorové části, což je klíčové pro mechanickou pevnost výrobku.

Operace 0090 – Montáž motoru k body housingu

V této fázi je motorová jednotka upevněna do hlavního těla výrobku, čímž dochází k propojení pohonného systému.

Operace 0100 – Montáž + krimpování pružiny

Do sestavy je vložen pružinový mechanismus, který je následně upevněn pomocí krimpovací technologie.

Operace 0110 – Montáž coveru

Na sestavu je umístěn ochranný kryt, který zajišťuje bezpečnost a ochranu vnitřních součástí výrobku.

Operace 0120 – Osazení bellow a matky

Do sestavy je přidán bellow (pružný ochranný prvek) a následně upevněn pomocí matky, čímž je dokončena mechanická část výrobku.

Operace 0130 – Kontrola těsnosti

V této fázi výroby probíhá tlaková zkouška těsnosti, která ověřuje správnost montáže a kvalitu spojů. Tento test je prováděn automatizovaným systémem, který dokáže identifikovat i minimální netěsnosti.

Operace 0140 – Balení

Po úspěšném testování je výrobek přesunut k balicí stanici, kde operátor provádí vizuální kontrolu a balení výrobků do přepravních boxů pro expedici

10.4 Identifikace úzkých míst

V každém výrobním procesu se vyskytují operace, které svou délkou ovlivňují celkový takt linky a omezují její kapacitu. Tyto kritické operace, označované jako úzká místa, určují maximální možný výkon linky, protože celková produkční rychlost je řízena nejpomalejší operací v procesu. Identifikace úzkých míst je proto klíčová pro efektivní racionalizaci výrobní linky a zvýšení jejího výkonu.

Pro analýzu úzkých míst bylo provedeno detailní měření cyklových časů jednotlivých operací. Měření bylo realizováno pomocí stopek, přičemž cílem bylo zachytit reálný pracovní čas jednotlivých operací bez vlivu prostojů způsobených jinými částmi linky. Každá operace byla měřena v rozsahu 25 až 30 náměrů, což umožnilo získat reprezentativní data pro analýzu.

Metodika měření

Aby bylo dosaženo co nejvyšší přesnosti a nejpřesnějších výsledků, byla stanovena pevná metodika začátku a konce měření. Počáteční bod měření byl definován jako příjezd paletky na stanoviště a její doraz na přesně určenou pozici, přičemž v okamžiku cvaknutí dorazu začalo měření. Konec měření byl stanoven jako odjezd hotového kusu ze stanoviště, kdy současně v pohybu odjíždějící paletky již začal příjezd dalšího kusu na pracoviště.

Měření probíhalo stejným způsobem pro všechna stanoviště s výjimkou prvního a posledního stanoviště, kde bylo nutné upravit metodiku z důvodu manuální obsluhy a manipulace.

Na prvním stanovišti začínalo měření od založení hotového polotovaru ze tří strojů na dopravník, odkud linka již funguje automaticky. Na posledním stanovišti bylo měření zahájeno převzetím hotového kusu operátorem a ukončeno jeho následným převzetím dalšího kusu.

Předpoklad správného náměru zahrnoval minimální frontu jednoho kusu před stanovištěm, čímž bylo eliminováno ovlivnění času případným čekáním na přísun materiálu nebo obsluhu linky.

Filtrace a zpracování dat

Aby byla zajištěna co nejvyšší přesnost měření, byla následně aplikována filtrace extrémních hodnot. Nejvyšší a nejnižší naměřené hodnoty byly vyřazeny, aby se eliminoval vliv náhodných odchylek. Byly odstraněny i anomálie, jako například zastavení linky, chyby operátorů nebo jiné nečekané události, které mohly zkreslit výsledky.

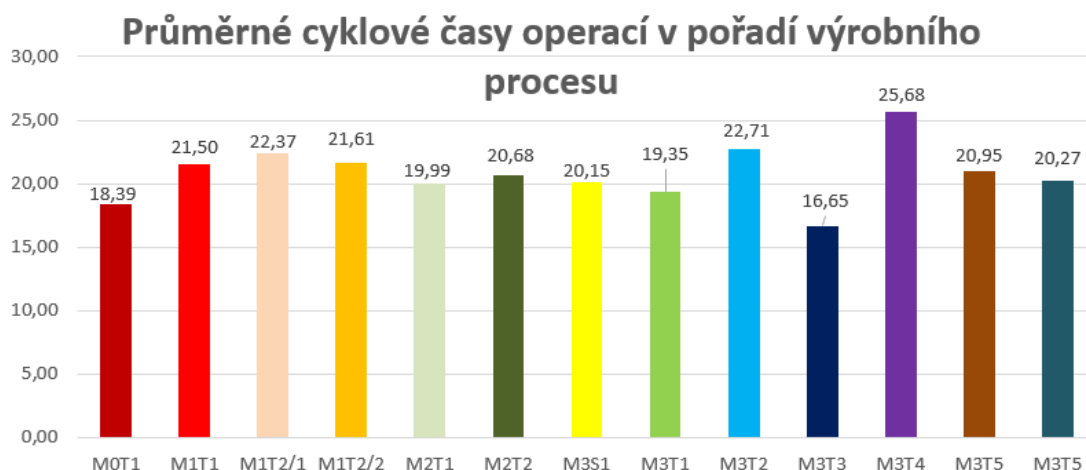
Tímto postupem bylo dosaženo relevantních a objektivních dat, která poskytují přesný pohled na skutečné cyklové časy jednotlivých operací. Na základě těchto dat bylo možné identifikovat nejpomalejší operace, které představují hlavní úzká místa linky, a následně analyzovat jejich složení, včetně rozložení manipulačního a strojního času.

Tabulka 2 Zestručnělá verze cyklových časů na operaci

Označení Pracoviště	Označení Operace	Název operace	Bod měření	Průměrný čas [s]
M0T1	0010,0020,0030,0040	Osazení stem	operátor ranní	18,39
M1T1	0050	Montáž GW	paletka paletka	21,50
M1T2/1	0070	Aplikace maziva	paletka paletka	22,37
M1T2/2	0060	Montáž stem	paletka paletka	21,61
M2T1	0090	Montáž motoru	paletka paletka	19,99
M2T2	0080	Svařování	paletka paletka	20,68
M3S1	0100	Instalace pružiny	paletka paletka	20,15
M3T1	0110	Osazení víka	paletka paletka	19,35
M3T2	0110	Zajištění víka	paletka paletka	22,71
M3T3	0120	Instalace prachovky	paletka paletka	16,65
M3T4	0130	Leak test	paletka paletka	25,82
M3T5	0140	Značení	paletka paletka	20,95
M3T5	0140	Balení	operátor ranní	20,27

Tabulka poskytuje souhrnný přehled jednotlivých pracovišť montážní linky, na kterých probíhají konkrétní operace při výrobě. Každé pracoviště je označeno interním kódem (např. M1T1, M2T1), který slouží k přesné identifikaci pro údržbu a layout linky.

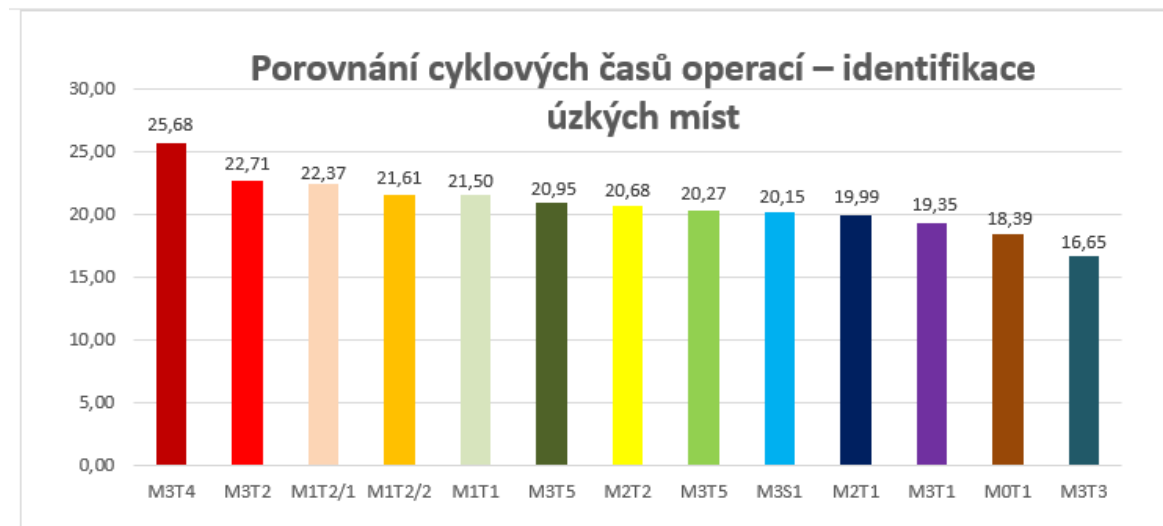
Dále je v tabulce uvedeno přiřazení technologických operací k jednotlivým pracovištím, včetně jejich názvu, bodu měření a průměrného času nutného k jejich provedení.



Obrázek 4 Průměrné cyklové časy operací

První graf ukazuje průměrné cyklové časy operací v pořadí, v jakém probíhají na výrobní lince. Je patrné, že většina operací se pohybuje v podobném časovém rozmezí, avšak některé stanice vykazují výrazně delší cyklový čas. Nejdelší operace se nacházejí v části linky

odpovídající montáži a testování výrobku, což naznačuje, že právě zde dochází k největším časovým ztrátám. Další analýza se proto zaměří na tyto operace s cílem identifikovat možnosti vybalancování těchto časů.



Obrázek 5 Porovnání cyklových časů

Druhý graf zobrazuje operace seřazené podle délky jejich cyklového času, což umožňuje snadnou identifikaci nejkritičtějších úzkých míst ve výrobním procesu. Nejdelší operací je testování výrobku (M3T4) s průměrným cyklovým časem 25,68 sekundy, což je výrazně delší než ostatní operace na lince. Druhou nejpomalejší operací je zajištění víka (M3T2) s časem 22,71 sekundy, následovaná aplikací maziva (M1T2/1) s časem 22,37 sekundy.

Tyto operace představují hlavní omezení výrobního výkonu. Pokud by bylo možné jejich cyklový čas snížit alespoň o 2 sekundy, mohlo by to výrazně zvýšit celkovou kapacitu linky. V následující části práce budou tyto operace detailně analyzovány s cílem identifikovat možné optimalizační opatření

10.5 Výrobní kapacita a výkonnost linky

Výrobní linka je provozována v nepřetržitém třísměnném režimu v rozsahu 7 dní v týdnu, tedy 21 směn týdně. Každá směna má nominální délku 8 hodin, přičemž po odečtení zákonné přestávky na jídlo a odpočinek ve výši 30 minut činí čistý výrobní čas 7,5 hodiny, tedy 450 minut na směnu.

Z toho vyplývá, že:

denní výrobní čas: 3 směny x 450 minut = 1 350 minut / den,

týdenní výrobní fond: 1 350 x 7 = 9 450 minut / týden,

v sekundách: $9\,450 \times 60 = 567\,000$ sekund / týden.

Z hlediska výrobního toku bylo identifikováno úzké místo na operaci kontroly těsnosti, kde je naměřen průměrný cyklový čas 25,68 sekundy. Tím je určena maximální rychlost výstupu celé linky.

Z těchto údajů vyplývá teoretická kapacita:

Týdenní kapacita:

$$567\,000 / 25,68 \approx 22\,071 \text{ kusů / týden}$$

Roční teoretická kapacita:

$$22\,071 \times 52 = 1\,148\,000 \text{ kusů / rok}$$

Výpočet ukazatele OEE

Pro přesnější odhad reálné výkonnosti linky byl použit ukazatel OEE (Overall Equipment Effectiveness).

$$\text{OEE} = 0,79 \text{ (79 \%)}$$

Reálná kapacita linky

Po zohlednění OEE je reálně dosažitelná kapacita linky následující:

Roční reálná kapacita:

$$1\,148\,000 \times 0,79 \approx 906\,920 \text{ kusů / rok}$$

10.5.1 Analýza pracoviště M2T4 – Testování výrobku

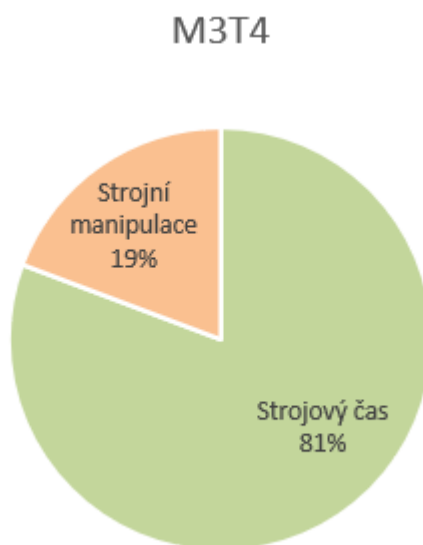
Pracoviště M2T4 se zaměřuje na finální testování výrobků, konkrétně provádí dva paralelní leaktesty, které ověřují těsnost a správnou funkčnost výrobku. Cílem této operace je identifikace možných netěsností a zajištění vysoké kvality výroby před finálním zabalením. Testování je klíčovou operací, protože ovlivňuje jak kvalitu výrobků, tak celkovou efektivitu výrobní linky.

Vzhledem k tomu, že stanoviště je vybaveno dvěma testovacími zařízeními, dochází k paralelnímu zpracování dvou výrobků současně, což umožňuje optimalizaci cyklového času celého procesu.

Časová analýza operace

Z naměřených hodnot vyplývá, že celkový cyklový čas testovacího stanoviště je 25,68 s, přičemž se skládá ze dvou hlavních složek:

- Strojový čas: 20,72 s
- Strojní manipulace: 4,94 s



Obrázek 6 Rozdělení časů na pracovišti M3T4

Díky paralelnímu uspořádání leaktestů (každý testovací cyklus trvá přibližně 40 sekund), je možné každých 20 sekund otestovat nový výrobek. Tento systém významně zvyšuje kapacitu testovacího pracoviště a eliminuje potenciální úzká místa v procesu.

Rozbor strojní manipulace

Tabulka 3 Rozdělení časů na pracovišti M3T4 v tabulce

Manipulace M3T4	
EOL3, EOL4, otočná deska	1,43
paletka -> leaktest	3,52

- Manipulace na pracovišti M2T4 se skládá ze dvou hlavních částí:

Otočná deska (EOL3, EOL4) – 1,43 s

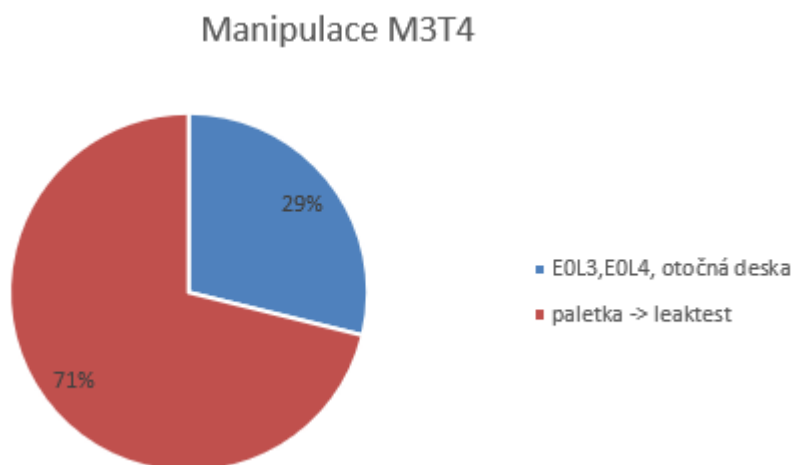
Otočná deska zajišťuje přesné polohování výrobku pro testovací proceduru.

Tento pohyb je nutný k přesnému usazení výrobku do těsnících prvků testovacího zařízení.

- Přesun z paletky k leaktestu – 3,52 s

Tento krok zahrnuje manipulaci s výrobkem mezi dopravníkem a testovacím modulem.

Cílem je zajistit stabilní a přesné vložení výrobku na otočnou desku.



Obrázek 7 Rozdělení manipulací na pracovišti M3T4

Závěr analýzy testování výrobku

Z analýzy vyplývá, že většinu cyklového času tohoto pracoviště tvoří samotný testovací proces, zatímco strojní manipulace představuje menší část celkového času. Vzhledem k paralelnímu uspořádání testovacích zařízení je kapacita pracoviště částečně optimalizována, avšak celkový výkon linky je stále limitován délkou testovací operace.

Další navýšení kapacity tohoto stanoviště by proto vyžadovalo zásah do testovacího procesu, nikoliv pouze úpravy manipulace. Identifikace úzkého místa ukazuje, že pro zvýšení efektivity je nutné se zaměřit na možnosti rozšíření nebo optimalizace testovací operace, které by mohly přispět ke zkrácení celkového cyklového času.

10.5.2 Analýza pracoviště M3T2 – Zajištění víka

Popis operace

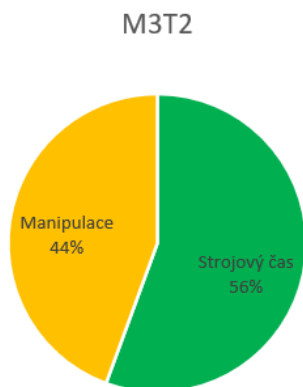
Pracoviště M3T2 je určeno pro operaci zajištění víka, což je plně automatizovaný proces, během kterého je víko pevně připevněno k tělu výrobku. Tato operace je klíčová pro zajištění správné funkčnosti výrobku a jeho mechanické integrity.

Vzhledem k tomu, že veškerá manipulace je prováděna strojně, odpadá zde faktor lidské variability. To znamená, že celkový cyklový čas je plně závislý na výkonu stroje, jeho nastavitelnosti a optimalizaci jednotlivých kroků v procesu.

Časová analýza operace

Podle naměřených dat je celkový cyklový čas operace M3T2 22,71 sekundy. Tento čas se skládá ze dvou hlavních složek:

- Strojový čas: 12,71 s
- Strojní manipulace: 10,15 s



Obrázek 8 Rozdělení časů na pracovišti M3T2

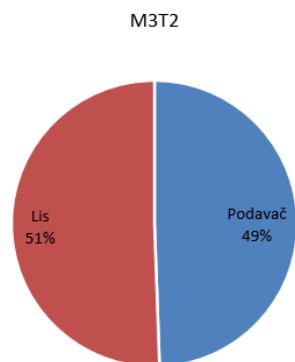
Rozbor strojního času

Podrobnější rozbor strojového času ukazuje, že zajištění víka se skládá ze dvou hlavních částí:

Tabulka 4 Rozdělení strojových časů na pracovišti M3T2 v tabulce

M3T2	
Podavač	6,28
Lis	6,43

- Podavač – Jeho úkolem je přesné připevnění čtyř klipů na předem definovaná místa v lisu. Proces zahrnuje správné umístění a fixaci klipů před zalisováním.
- Lis – Po připevnění klipů provede lis jejich zalisování k víku, čímž dojde k jejich pevnému spojení.



Obrázek 9 Rozdělení strojního času na pracovišti M3T2

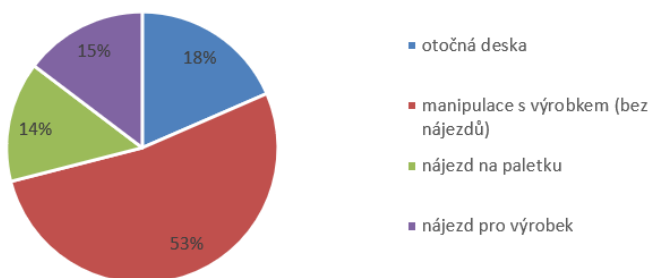
Rozbor strojní manipulace

Manipulace na pracovišti M3T2 je zcela automatizovaná a zahrnuje několik fází, které jsou nutné pro přesun a ustavení výrobku před samotnou operací zajištění víka. Celková doba strojní manipulace byla naměřena 10,15 s, přičemž jednotlivé pohyby stroje jsou rozděleny následovně:

Tabulka 5 Rozdělení manipulací na pracovišti M3T2 v tabulce

Manipulace M3T2	
otočná deska	1,8765
manipulace s výrobkem (bez nájezdů)	5,3345
nájezd na paletku	1,4525
nájezd pro výrobek	1,4915

Manipulace T3T2



Obrázek 10 Rozdělení manipulací na pracovišti M3T2

Otočná deska (1,88 s) – Slouží k přesnému natočení výrobku do správné pracovní polohy. Tento pohyb musí být přesný, aby nedocházelo k odchylkám při následném lisování.

Manipulace s výrobkem (5,33 s) – Nejdelší část cyklu, kdy dochází k uchopení, přemístění a ustavení výrobku na správnou pozici pro zajištění víka. Tato fáze je klíčová pro celkový čas operace.

Nájezd na paletku (1,45 s) – Manipulační systém po čekání na paletku najíždí pro výrobek.

Nájezd pro výrobek (1,49 s) – Pohyb manipulačního systému směrem k výrobku, po zalisování klipů.

Závěr analýzy zajištění víka

Na základě provedeného měření a analýzy operace zajištění víka na pracovišti M3T2 vyplývá, že i když větší část celkového cyklového času (22,71 s) tvoří strojový čas (12,71 s), hlavní prostor pro optimalizaci se nachází ve strojní manipulaci (10,15 s).

Vzhledem k tomu, že strojní manipulace probíhá mezi jednotlivými montážními kroky a přímo ovlivňuje plynulost celého procesu, její zkrácení by mohla přinést významné snížení celkového cyklového času. Možné úpravy trajektorie pohybů, zrychlení manipulace s výrobkem nebo lepší synchronizace jednotlivých úkonů by mohly vést ke zvýšení efektivity tohoto pracoviště bez nutnosti zásahu do samotného strojového času.

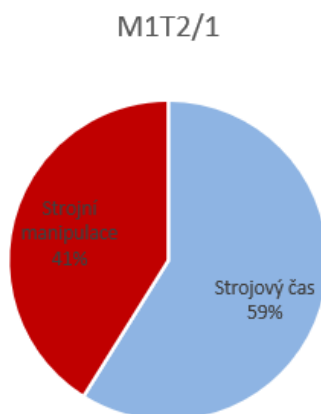
10.5.3 Analýza pracoviště M1T2/1 – Aplikace maziva

Pracoviště M1T2/1 je určeno pro aplikaci maziva na klíčové části výrobku. Tato operace je důležitá pro zajištění optimálního chodu pohyblivých částí výrobku a jejich ochranu proti tření a opotřebení. Celý proces aplikace maziva je automatizovaný, což zajišťuje rovnoměrné nanášení a přesnou dávku dle výrobních specifikací. Vzhledem k plné automatizaci operace zde nehraje roli lidský faktor, což znamená, že čas operace je závislý pouze na technických parametrech stroje a jeho nastavení a strojní manipulaci.

Časová analýza operace

Z provedeného měření vyplývá, že celkový cyklový čas operace M1T2/1 činí 22,37 s. Tento čas se skládá ze dvou hlavních složek:

- Strojový čas: 13,37 s
- Strojní manipulace: 9,33 s



Obrázek 11 Rozdělení časů na pracovišti M1T2/1

V této kapitole není zapotřebí rozbor strojního času, jelikož pracoviště se pouze skládá ze stroje, který dávkuje požadované množství maziva do ložiska.

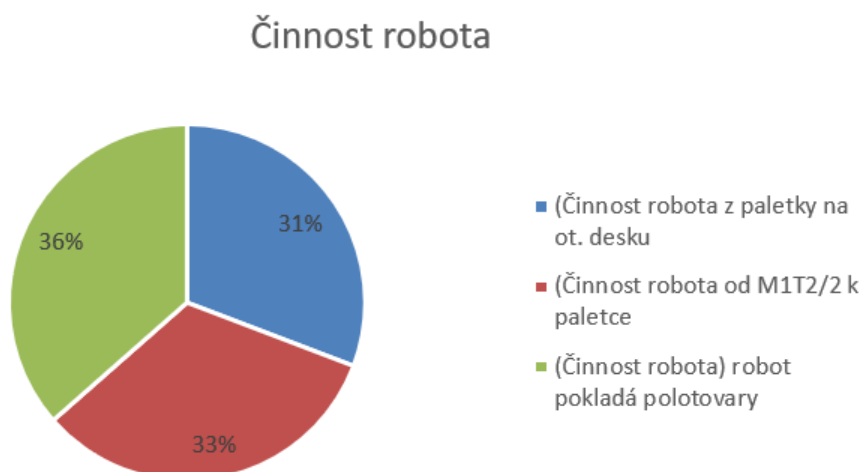
Rozbor strojní manipulace

Celková doba strojní manipulace byla naměřena 9,33 s, přičemž zahrnuje následující pohyby stroje:

Tabulka 6 Rozdělení manipulací na pracovišti M1T2/1 v tabulce

Manipulace M1T2/1	
otočná deska	0,973
čekání	8,3585
(obsah čekání) z paletky na ot. desku	2,573
(obsah čekání) od M1T2/2 k paletce	2,7384615
(obsah čekání) robot pokládá polotovary	3,0485

- Otočná deska (0,97 s) – Výrobek je natočen do požadované pracovní polohy.
- Činnost robota celkem (8,36 s) – Největší část manipulace představuje robotická manipulace s výrobkem, kdy dochází k jeho uchopení, přemístění a ustavení do správné polohy pro aplikaci maziva.



Obrázek 12 Rozdělení manipulací na pracovišti M1T2/1

Závěr analýzy pracoviště M1T2/1

Analýza operace aplikace maziva ukázala, že přestože větší část cyklového času (13,37 s) tvoří samotné dávkování maziva, největší prostor pro optimalizaci se nachází ve strojní manipulaci (9,33 s).

Nejvýraznějším problémem je časová náročnost pohybů robota (8,36 s), zejména v přesunech mezi operacemi a vkládání polotovarů do stroje. Optimalizace trajektorie pohybů robota nebo úprava synchronizace s ostatními operacemi by mohly přinést významné snížení celkového cyklového času.

Hlavním závěrem je, že největší potenciál pro optimalizaci spočívá ve zkrácení robotických pohybů mezi operacemi, zatímco samotný proces aplikace maziva je již efektivní a přesně řízený.

10.5.4 Analýza pracoviště M1T2/2 – Montáž Stem

Popis operace

Pracoviště M1T2/2 je určeno k montáži stemu do sestavy výrobku. Tato operace zahrnuje přesné umístění a upevnění stemu, což je klíčová součást pro další montážní kroky. Proces je plně automatizovaný, což zajišťuje vysokou přesnost a minimalizuje vliv lidského faktoru.

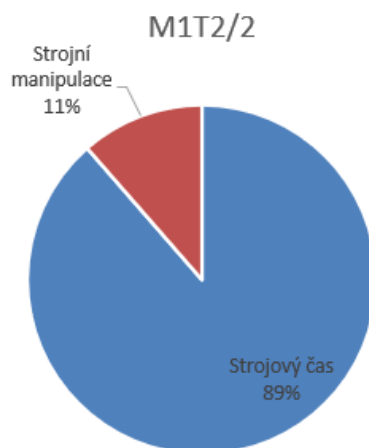
Časová analýza operace

Na základě provedeného měření byl celkový cyklový čas operace M1T2/2 stanoven na 21,61 sekundy. Tento čas je tvořen dvěma hlavními složkami:

- Strojový čas: 19,14 s (89 %)

- Strojní manipulace: 2,47 s (11 %)

Grafické znázornění těchto časových složek je uvedeno na následujícím obrázku.



Obrázek 13 Rozdělení časů na pracovišti M1T2/2

Rozbor časových složek

Strojový čas (19,14 s) – zahrnuje operace související s upevněním stemu do sestavy, které zahrnují jeho polohování, zajištění a kontrolu správného umístění.

Strojní manipulace (2,47 s) – čas potřebný pro přesun výrobku na stanoviště, polohování komponent a jejich přípravu k montáži. Tento čas je relativně nízký v porovnání s celkovým cyklovým časem, což naznačuje, že hlavním faktorem ovlivňujícím průběh operace je samotný montážní proces.

Závěr analýzy montáže stemu

Z provedeného měření vyplývá, že největší podíl na cyklovém čase této operace tvoří strojový čas. Vzhledem k tomu, že strojní manipulace představuje pouze malou část celkového času, možnosti snížení cyklového času jsou zde omezené. Další analýza se proto bude zaměřovat na možnosti zkrácení strojového času při zachování požadované kvality a přesnosti montáže.

10.6 Shrnutí analytické části

Cílem této kapitoly bylo provést komplexní analýzu současného stavu výrobní linky v závodu vybrané společnosti. Linka je určena pro plně automatizovanou montáž komponentu typu wastegate ventil. Vzhledem k historickému vývoji, kdy došlo k odstavení a rozebrání

druhé identické linky, byla celá výroba soustředěna na jedinou linku, která nyní funguje v třísměnném provozu, včetně víkendů a svátků.

Linka je obsluhována čtyřčlenným týmem (2 operátoři, 1 manipulát, 1 seřizovač) a zajišťuje výrobu bez přerušení. Z důvodu maximálního vytížení je jakýkoli prostoj, zpoždění nebo technické zdržení kritický, jelikož vede ke ztrátě kapacity a potenciálním vícenákladům spojeným s nutností expresní letecké dopravy místo běžného lodního převozu.

Pro pochopení výrobního toku a lokalizaci úzkých míst byl zpracován layout linky, popsán materiálový tok. Dále byl sestaven detailní přehled 14 hlavních výrobních operací včetně jejich technologické návaznosti.

Klíčovou částí kapitoly bylo měření cyklových časů a identifikace operací s největším dopadem na celkový cyklový čas linky. Měření proběhlo u všech operací, přičemž byly zohledněny pouze reálné výrobní časy, očištěné o extrémní hodnoty a anomálie.

Nejvýznamnější úzká místa byla nalezena u těchto operací:

M2T4 – Testování výrobku (25,68 s)

M3T2 – Zajištění víka (22,71 s)

M1T2/1 – Aplikace maziva (22,37 s)

U těchto operací byl proveden rozklad na strojní a manipulační čas. Z analýzy vyplývá, že největší potenciál pro zlepšení spočívá zejména ve zkrácení strojní manipulace (pohyb robotů, překládání dílů), která výrazně prodlužuje celkové cyklové časy. V některých případech (např. testování) může optimalizace vyžadovat zásah do samotného procesu nebo konfigurace zařízení.

Tato analýza vytváří pevný základ pro návrhovou část diplomové práce, která se zaměří na konkrétní opatření vedoucí ke zkrácení cyklového času, stabilizaci výrobního toku a dosažení vyšší efektivity bez nutnosti zásadních investic.

11 PROJEKT RACIONALIZACE VYBRANÉ LINKY VE VYBRANÉ SPOLEČNOSTI

Projektový list

Název projektu

- Racionalizace vybrané výrobní linky ve vybrané společnosti

Hlavní cíl

- Zvýšit propustnost linky, snížení celkového cyklového času o 10%

Rozpočet

- 40 000 EUR

Projektový tým

- student DP
- Procesní inženýr
- PLC programátor

Kritéria úspěchu projektu

- Aktivní podpora vedení společnosti během celého trvání projektu.
- Dostatečné množství informací o procesech, cyklových časech a technologiích potřebných pro rozhodování.
- Úspěšná instalace a zprovoznění nového leak testeru bez výpadků a nutnosti externího zásahu.

Klíčové riziko

Výpadek linky při instalaci a ladění nového zařízení

Přínos

10% nárůst kapacity linky, snížení rizika drahé dopravy, vyšší spolehlivost testování

Realizace

- Do 31.8.2025

11.1 Definice cílů projektu

Na základě analýzy současného stavu, zaměřené na výrobu wastegate ventilů, byly identifikovány klíčové operace s nadprůměrným cyklovým časem. Cílem projektové části je navrhnout opatření ke zkrácení cyklových časů u těchto operací a tím zvýšit celkovou efektivitu linky. Navržená opatření zahrnují nejen úpravy v oblasti manipulace a softwarového řízení, ale také investici do nového testovacího zařízení.

Projekt se soustředí především na tato stanoviště:

- M2T4 – Testování výrobku
- M3T2 – Zajištění víka
- M1T2/1 – Aplikace maziva

Z analýzy vyplývá, že hlavní prostor pro zlepšení se nachází ve zkrácení strojové manipulace, synchronizaci operací, optimalizaci trajektorie robotických pohybů a v případě testovací stanice rovněž v pořízení nového zařízení s kratším cyklem.

11.2 SMART analýza hlavního cíle

S – Specific

- Racionalizace výrobní linky zaměřená na úzká místa s cílem snížit cyklové časy u stanovišť M2T4, M3T2 a M1T2/1.

M – Measurable

- Snížení cyklových časů těchto operací o minimálně 2 sekundy, což odpovídá navýšení kapacity linky o cca 10 %

A – Achievable

- Opatření jsou realizovatelná pomocí úprav SW, optimalizace manipulace a investice do jednoho nového stroje

R – Relevant

- Cíl je relevantní pro firmu, protože plánovaná racionalizace výrobní linky je proveditelná v rámci požadovaného rozpočtu a dostupných zdrojů.

T – Time-bound

- Implementace do 31.08.2025

- Do 31.08.2025 aby se využila odstávka v létě.

11.3 Harmonogram projektu

Pro zajištění přehlednosti a efektivního řízení realizace byl sestaven podrobný časový plán projektu, který je znázorněn v příloze II. Časový plán je členěn na osm hlavních fází, z nichž každá obsahuje konkrétní dílčí úkoly vedoucí k dosažení stanovených cílů.

Časová osa projektu je rozvržena od 6. týdne do 26. týdne kalendářního roku 2025. Tabulka je orientována po týdnech, což umožňuje přesné rozvržení jednotlivých aktivit a sledování jejich návaznosti v čase.

Barevné rozlišení v grafickém zobrazení:

- **Červené buňky** reprezentují aktivní realizaci úkolu.
- **Žluté buňky** indikují podpůrné nebo přípravné fáze dané činnosti.

Tento formát umožňuje snadné vizuální sledování postupu projektu a identifikaci kritických aktivit, které jsou klíčové pro dodržení plánovaného harmonogramu.

Struktura a průběh projektu:

- **Fáze 1 – Sběr a analýza výchozích dat:**

V rámci této fáze probíhá měření cyklových časů, analýza pohybů na montážní lince, záznam technologických parametrů a vyhodnocení dostupných dat z výrobního systému.

- **Fáze 2 – Návrh opatření a plánování:**

Na základě analýzy jsou navržena konkrétní opatření pro optimalizaci výrobního procesu. Následuje jejich konzultace s odbornými pracovníky a schválení finálního plánu vedením společnosti.

- **Fáze 3 – Objednávka leak testeru:**

Tato fáze zahrnuje výběr vhodného dodavatele, vyjednání podmínek a realizaci objednávky zařízení.

- **Fáze 4 – Softwarová a mechanická příprava:**

Probíhá úprava softwarového řízení linky a příprava mechanického rozhraní pro integraci nového leak testeru.

- **Fáze 5 – Dodání a instalace leak testeru:**

Leak tester je převzat od dodavatele, instalován na linku a základně nakonfigurován.

- **Fáze 6 – Testování zařízení:**

V této fázi je zařízení testováno, jsou laděny jeho parametry a je potvrzena jeho plná funkčnost v provozních podmínkách.

- **Fáze 7 – Pilotní provoz a dolad'ování:**

Nový systém je uveden do plného provozu, monitorují se jeho výkony a provádějí se nezbytná dolad'ování.

- **Fáze 8 – Sběr a vyhodnocení výsledků:**

Dochází k měření a vyhodnocení dosažených výsledků, zpracování závěrečné zprávy a prezentaci výsledků vedení společnosti.

11.4 Vymezení návrhové části

Návrhová část je zaměřena na odstranění klíčových problémů výrobní linky identifikovaných v analytické části práce. Hlavním cílem je navrhnout opatření vedoucí ke zvýšení propustnosti linky, odstranění úzkých míst v oblasti testování výrobků a optimalizaci manipulace v kritických částech procesu.

- Při návrhu budou zohledněny následující omezení a požadavky:
- Zachování stávajícího dispozičního uspořádání výrobní haly,
- Minimalizace investičních nákladů a rychlá návratnost investice,
- Zajištění kompatibility navrhovaných opatření s existujícími technologiemi,
- Minimalizace vlivu na plynulost výroby během implementace změn.

Výstupem návrhové části bude zhodnocení možných variant zlepšení, výběr optimálního řešení a zpracování detailního návrhu jeho realizace včetně ekonomického posouzení přínosů.

11.5 Návrh variant řešení

Na základě analýzy stávajícího stavu výrobní linky a identifikovaných úzkých míst byly navrženy tři varianty řešení zaměřené na zvýšení propustnosti linky a snížení cyklového času.

11.5.1 Varianta A – Instalace třetího paralelního leak testeru na pracovišti M2T4 – Testování výrobku

Leak test představuje v současném stavu největší omezení výrobní linky. Kapacita dvou stávajících leak testerů typu **ATEQ F620** je nedostatečná vzhledem ke zvýšeným požadavkům na výrobu.

Navrhuje se pořízení a instalace třetího paralelního leak testeru stejného typu, případně jeho novější verze **ATEQ F670**, který by pracoval nezávisle na stávajících testerech.

Navrhovaná opatření:

- Instalace nového leak testeru v prostoru za stávajícími testery.
- Integrace nového testeru do stávajícího PLC systému **Siemens S7-1500** a připojení k SCADA systému pro monitorování parametrů testování.
- Instalace senzorů přítomnosti výrobku (např. SICK) pro detekci obsazenosti testerů.

Očekávané přínosy:

- Eliminace front před leak testem.
- Odstranění úzkého místa na tomto stanovišti

Odhadované technické náklady:

- Leak tester: 29 000 EUR
- Úpravy PLC a SCADA: 4 000 EUR
- **Celkem: 33 000 EUR**

11.5.2 Varianta B – Optimalizace montážních operací M3T2, M1T2/1 a M1T2/2

Po odstranění úzkého místa na leak testu se očekává přesun úzkého místa na montážní operace, zejména na pracoviště **M3T2** (zajištění víka), **M1T2/1** (aplikace maziva) a **M1T2/2** (montáž stemu).

Navrhovaná opatření:

- **Pracoviště M3T2 – Zajištění víka**

Plně automatizovaný proces zajištění víka k tělu výrobku bez lidského zásahu. Proces je limitován rychlostí manipulace a cyklem lisu.

Navržená optimalizace:

- Zrychlení trajektorie manipulátoru přesunujícího výrobek do lisu.
- Optimalizace sekvence upnutí a zajištění víka (zkrácení zbytečných prostojů v PLC).
- Úprava parametrů lisu (rychlost příjezdu a odjezdu).

Přínos:

Zkrácení cyklového času o 1–1,5 sekundy.

- **Pracoviště M1T2/1 – Aplikace maziva**

Plně automatizovaná aplikace maziva na klíčové funkční plochy výrobku.

Navržená optimalizace:

- Zvýšení průtoku dávkovací trysky (rychlejší nanesení maziva).
- Optimalizace trajektorie robotického ramene při manipulaci s výrobkem.
- Zkrácení čekacích dob mezi jednotlivými dávkami maziva.

Přínos:

Zkrácení cyklového času o 1–2 sekundy.

- **Pracoviště M1T2/2 – Montáž Stem**

Stanice je určena pro montáž stemu do sestavy výrobku, zahrnující **mechanické upevnění pomocí šroubování**.

Navržená optimalizace:

- Optimalizace šroubovací sekvence (zrychlení pohybů a přitlaku šroubováku).
- Snížení přednastaveného utahovacího momentu na technologicky nutné minimum při zachování funkčnosti spoje.
- Výměna nebo úprava nástroje šroubováku (například použití rychloběžného šroubováku).
- Úprava přípravku pro lepší fixaci výrobku při šroubování.

Přínos:

Zkrácení cyklového času o 1,5–2 sekundy.

- **Doplňkové opatření – Optimalizace manipulace**
- Zrychlení robotických pohybů mezi jednotlivými montážními stanicemi.

Shrnutí přínosů Varianty B:

- Celkové snížení cyklových časů na M3T2, M1T2/1 a M1T2/2 o cca 4–5 sekund na výrobek.
- Zvýšení propustnosti linky o cca 5–7 % po odstranění úzkého místa na leak testu.
- Plynulejší tok výrobků a vyšší stabilita procesu.

Odhadované technické náklady:

- Úpravy dávkovacího systému a šroubováku: 3 500 EUR
- **Celkem: 3 500 EUR**

11.5.3 Varianta C – Modernizace stávajících leak testerů

V případě omezených investičních možností je alternativou modernizace stávajících dvou leak testerů.

Navrhovaná opatření:

- Softwarový upgrade řídicích jednotek leak testerů s cílem optimalizace testovacích sekvencí.
- Výměna rychlostních ventilů a některých senzorů za novější modely s kratší odezvou.
- Optimalizace testovacích parametrů (např. snížení doby stabilizace tlaku).

Očekávané přínosy:

- Zkrácení testovacího času o 1 - 1,5 sekundy na výrobek.
- Zvýšení propustnosti linky bez potřeby instalace dalšího zařízení.

Odhadované technické náklady:

- Softwarová modernizace: 6 000 EUR
- Hardwarové úpravy: 12 000 EUR
- **Celkem: 18 000 EUR**

Rizika:

- Omezený potenciál zlepšení kvůli stáří zařízení.
- Možnost častějších poruch v důsledku zvýšeného zatížení.

11.5.4 Shrnutí

Varianta A představuje instalaci třetího paralelního leak testeru, která přímo reaguje na největší omezení současné výrobní linky. Realizace této varianty by vedla ke zvýšení kapacity testování, odstranění front před leak testem a zvýšení celkové propustnosti výrobní linky přibližně o 12–15 %. Varianta vyžaduje vyšší investiční náklady, avšak přináší největší přínos z hlediska zvýšení výkonu linky.

Varianta B se zaměřuje na optimalizaci montážních operací na pracovištích M3T2 (zajištění víka), M1T2/1 (aplikace maziva) a M1T2/2 (montáž stemu). Tento krok je relevantní zejména po odstranění úzkého místa na leak testu, kdy se očekává přesun omezení na montážní část procesu. Realizace varianty B by vedla ke snížení cyklových časů o 1 – 1,5 sekund na výrobek a ke zvýšení propustnosti linky.

Varianta C spočívá v modernizaci stávajících leak testerů prostřednictvím softwarových a hardwarových úprav. Tato varianta je ekonomicky méně náročná, nicméně její efekt je omezený vzhledem k technologickému stáří zařízení. Očekávané zvýšení kapacity je nižší (pouze 8–10 %) a riziko vyšší poruchovosti stávajících zařízení zůstává.

11.6 Multikriteriální hodnocení variant

Pro objektivní posouzení navržených variant řešení byla provedena multikriteriální analýza. Cílem bylo vyhodnotit jednotlivé varianty z pohledu investičních nákladů, zvýšení kapacity linky, časové náročnosti realizace a míry rizika.

Každá varianta byla hodnocena na stupnici 1 (nejhorší) až 5 (nejlepší), přičemž jednotlivým kritériím byla přiřazena následující váha podle jejich důležitosti pro podnik:

Tabulka 7 Multikriteriální hodnocení variant

Kritérium	Váha (%)	Popis
Investiční náklady	25%	Pořizovací a implementační náklady
Zvýšení kapacity linky	40%	Předpokládané zvýšení propustnosti a snížení cyklového času
Doba realizace	20%	Odhadovaná doba potřebná k realizaci opatření
Riziko	15%	Pravděpodobnost, že opatření nebude mít očekávaný efekt

Tabulka 8 Vyhodnocení bodového výsledku

Varianta	Investiční náklady	Zvýšení kapacity	Doba realizace	Riziko	Výsledné skóre
A – Instalace 3. leak testeru	3	5	4	4	4,15
B – Optimalizace montáže M3T2, M1T2/1, M1T2/2	5	3	5	5	4,2
C – Modernizace stávajících leak testerů	4	2	4	3	3,3

11.6.1 Vyhodnocení výsledků

Z provedeného multikriteriálního hodnocení vyplývá, že nejvyšší bodové hodnocení dosáhla varianta B – Optimalizace montážních operací. Varianta B má velmi nízké investiční náklady, rychlou implementaci a minimální riziko, avšak sama o sobě nedokáže odstranit hlavní úzké místo na lince.

Nejvýznamnější přínos pro zvýšení kapacity linky přináší varianta A – Instalace třetího leak testeru, která přímo řeší nejkritičtější úzké místo. Varianta A má sice vyšší investiční náklady, ale zároveň přináší největší zvýšení kapacity a stabilizaci výrobního procesu.

Varianta C – Modernizace stávajících leak testerů má nejnižší potenciál zvýšení kapacity a vyšší riziko, proto nebyla doporučena k realizaci jako hlavní řešení.

Na základě těchto výsledků bylo rozhodnuto doporučit kombinaci varianty A (instalace třetího leak testeru) jako hlavního opatření a varianty B (optimalizace montážních operací) jako následného kroku pro další zvýšení efektivity výrobní linky.

11.7 Výběr optimální varianty

Na základě provedené multikriteriální analýzy a detailního posouzení všech navržených variant bylo rozhodnuto o realizaci kombinovaného řešení zahrnujícího instalaci třetího leak testeru (varianta A) a následnou optimalizaci montážních operací na pracovištích M3T2, M1T2/1 a M1T2/2 (varianta B).

Odůvodnění výběru

Instalace třetího leak testeru představuje zásadní krok k odstranění hlavního úzkého místa výrobní linky, kterým je aktuálně nedostatečná kapacita testování výrobků. Tento krok přímo odpovídá principům Teorie omezení (Theory of Constraints) viz. teoretická část práce.

Z hlediska multikriteriální analýzy varianta A dosáhla vysokého hodnocení zejména v oblasti zvýšení kapacity linky. Přestože vyžaduje vyšší investiční náklady ve srovnání s ostatními variantami, její přínos v podobě zvýšení propustnosti výrobní linky o 12–15 % a eliminace front před leak testem je zásadní pro splnění požadavků na růst produkce.

Optimalizace montážních operací (varianta B) byla vyhodnocena jako nejlepší z pohledu investiční náročnosti a rychlosti realizace. Samotná realizace varianty B by však nedokázala vyřešit hlavní omezení výrobního procesu, proto je její implementace plánována jako následné opatření po instalaci třetího leak testeru. Optimalizace pracovišť M3T2, M1T2/1 a M1T2/2 umožní další zrychlení výroby, plynulejší tok výrobků a stabilizaci nového rozložení kapacit.

Varianta C, zahrnující modernizaci stávajících leak testerů, nebyla doporučena k realizaci vzhledem k jejímu nižšímu potenciálu zvýšení kapacity a vyšší míře technologického rizika.

11.7.1 Strategie realizace

Zvolená strategie realizace zahrnuje následující kroky:

1. První krok:

Instalace třetího leak testeru, včetně úpravy dopravníkového systému a integrace zařízení do řídicího systému linky.

2. Druhý krok:

Po stabilizaci testovací části linky bude provedena optimalizace montážních operací na vybraných pracovištích s cílem odstranit nově vzniklá úzká místa a dále zvýšit kapacitu linky.

Tento postup umožní efektivní odstranění stávajícího omezení výrobního procesu a následnou stabilizaci a optimalizaci výrobní linky jako celku.

11.8 Technická realizace vybraného řešení

Na základě multikriteriálního hodnocení a následného výběru optimální varianty bylo rozhodnuto o kombinaci opatření zahrnující instalaci třetího leak testeru na pracovišti M2T4 a optimalizaci montážních operací na stanicích M3T2, M1T2/1 a M1T2/2. Následující kapitola detailně popisuje technickou realizaci vybraného řešení.

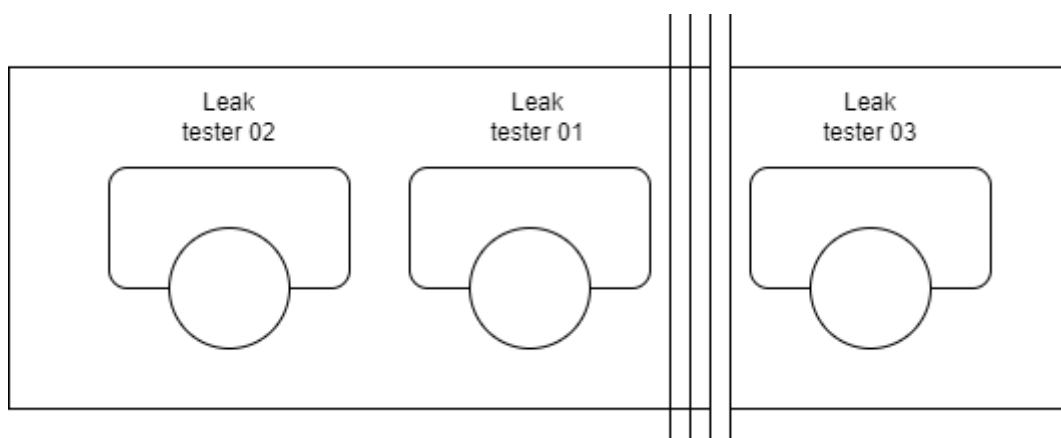
11.8.1 Instalace třetího leak testeru na pracovišti M2T4

Instalace třetího leak testeru typu ATEQ F670 bude provedena ve spolupráci s externí firmou, která je dodavatelem stávající výrobní linky. Díky tomu bude zajištěna plynulá integrace zařízení do existujícího PLC a SCADA systému

Součástí přípravy instalace bude také prodloužení dráhy manipulačního zařízení, které přesouvá výrobky mezi montážními a testovacími stanicemi. Úprava dráhy je nezbytná k zajištění dostupnosti nového třetího leak testeru a zachování plynulého přísunu výrobků.

Pro dynamické směřování výrobků mezi testovacími stanicemi bude systém doplněn o otočné desky (tzv. „otočné tesky“) s maximální rychlostí přesunu 1 m/s. Tyto otočné desky budou instalovány před jednotlivými leak testery a umožní směřování výrobků na volné testovací zařízení podle aktuální obsazenosti. Řízení systému bude integrováno do existujícího PLC Siemens S7-1500 a napojeno na stávající SCADA systém WinCC.

Schéma uspořádání leak testerů a dopravníků je znázorněno na obrázku 9.X.



Obrázek 14 Možné umístění Leak testeru 03

Popis schématu:

- Leak tester 01 a Leak tester 02 představují stávající testovací zařízení již instalovaná na lince.
- Leak tester 03 označuje plánované nové zařízení, které bude doplněno za účelem zvýšení kapacity testování.
- Kruhové symboly představují otočné desky sloužící ke směřování výrobků na volné testovací stanice.
- Dopravník na levé straně slouží k přívodu paletek s výrobky k testování.

- Dopravník na pravé straně zajišťuje vratný tok prázdných paletků zpět do montážní části linky.

K detekci obsazenosti jednotlivých leak testerů budou použity optické senzory SICK WL12-3B530, které umožní automatizované přesměrování výrobků na volné testovací zařízení. Dopravníkový systém bude vybaven příslušnou logikou pro prioritizaci výrobků a efektivní řízení jejich toku.

Leak tester bude napojen na existující pneumatické rozvody výrobní haly a jeho elektrické napájení bude zajištěno pomocí rozšířeného rozvaděče s odpovídajícím jištěním a bezpečnostními prvky. Instalace leak testeru a jeho propojení s nadřazeným systémem bude provedeno během plánované víkendové odstávky linky, aby bylo minimalizováno narušení výrobního procesu.

Po mechanickém ustavení a napojení leak testeru na infrastrukturu bude následovat jeho integrace do datového systému SCADA. Výsledky testování budou ukládány do databáze za účelem sledování kvality a zpětné dohledatelnosti výroby. Před ostrým spuštěním bude provedena kalibrace měřicích kanálů leak testeru pomocí referenčních těsnících přípravků a ověření funkčnosti otočných desek při plném zatížení.

Vyhodnocení dopadu na cyklový čas pracoviště

Instalací třetího leak testeru dojde ke snížení cyklového času testovacího uzlu, což je zásadní pro dosažení požadovaného taktu výroby. V současném stavu jsou na pracovišti M2T4 dva paralelní leak testery, z nichž každý má strojní čas přibližně **41,48 sekund**. Při rovnoměrném rozdělení výrobků mezi dvě stanice je efektivní testovací čas:

$$41,48/2 = 20,74 \text{ s}$$

Po započtení manipulačního času, který činí **4,94 s**, je výsledný cyklový čas celého stanoviště:

$$20,74 + 4,94 = 25,68 \text{ s}$$

Po doplnění třetího leak testeru bude rozdělení výrobků probíhat mezi tři stanice. Nový efektivní strojní čas testovacího uzlu bude:

$$41,48/3 = 13,83 \text{ s}$$

A tedy nový celkový cyklový čas pracoviště bude:

$$13,33 + 4,94 = 18,77 \text{ s}$$

Změna představuje snížení cyklového času o **6,91 sekundy**, tedy přibližně o **26,9 %**:

$$6,91/25,68 * 100 = 26,9 \%$$

Je však důležité zdůraznit, že tímto zásahem se nezrychlí automaticky celá linka o 6,91 sekundy. Jak je uvedeno v teoretické části práce, v rámci teorie omezení (Theory of Constraints) určuje cyklový čas celé linky nejpomalejší pracoviště – tzv. úzké místo.

Po instalaci třetího testeru se tedy úzké místo pouze přesune na jiné stanoviště, zejména do oblasti montáže nebo manipulací, které od té chvíle určují reálný takt výroby. Aby bylo možné dále snižovat celkový cyklový čas linky, je nutné provést navazující racionalizaci manipulací, čímž se dosáhne postupného vyrovnaní taktu celé linky a zvýšení její stability i výkonnosti.

11.8.2 Optimalizace montážních operací na pracovištích M3T2, M1T2/1 a M1T2/2

Po odstranění hlavního úzkého místa v oblasti leak testu bude nutné zvýšit efektivitu stávajících montážních operací, aby byla zachována plynulost výroby. Z tohoto důvodu budou provedeny optimalizační úpravy na zařízeních montážních stanic M3T2, M1T2/1 a M1T2/2, které povedou ke zkrácení cyklových časů.

Optimalizační úpravy budou realizovány za spolupráce interního programátora společnosti, který zajišťuje správu a údržbu řídicích systémů výrobní linky. Úpravy se zaměří na optimalizaci trajektorií robotů, zrychlení pohybů, odstranění zbytečných prodlev v PLC programech a efektivnější řízení zařízení. Využití interních kapacit umožní rychlejší reakce na případné úpravy během fáze testování a stabilizace nového nastavení linky.

11.8.3 Pracoviště M3T2 – Zajištění víka

Na stanici M3T2 bude provedena optimalizace pohybu robotického manipulátoru **ABB IRB 1200**, který přesouvá výrobek do upínacího přípravku. Trajektorie robota bude upravena s cílem zrychlit nájezdy a snížit zbytečné bezpečnostní rezervy při pohybu.

V řídicím systému bude optimalizována sekvence upnutí a lisování víka tak, aby byly minimalizovány čekací časy mezi jednotlivými operacemi. Zároveň bude provedena úprava parametrů lisu s cílem zvýšit rychlost příjezdu a odjezdu lisovací hlavy v rámci bezpečných technologických limitů.

Výsledkem těchto opatření bude snížení cyklového času operace o přibližně 1–1,5 sekundy.

11.8.4 Pracoviště M1T2/1 – Aplikace maziva

Na stanici aplikace maziva bude optimalizován dávkovací systém. Bude provedena výměna dávkovací trysky za model s vyšším průtokem, což umožní rychlejší nanesení požadovaného množství maziva.

Robotické rameno provádějící manipulaci s výrobkem bude mít upravenou trajektorii a rychlost pohybů tak, aby se minimalizoval čas potřebný pro přejezdy mezi dávkovacími body. V řídicím PLC programu bude optimalizována sekvence dávkování a odstraněny zbytečné prodlevy mezi jednotlivými dávkami.

Výsledkem bude snížení cyklového času této operace o 1–2 sekundy.

11.8.5 Pracoviště M1T2/2 – Montáž Stem

Stanice pro montáž stemu bude optimalizována především v oblasti šroubování. Bude provedena optimalizace šroubovací sekvence snížením čekacích časů mezi jednotlivými kroky a zrychlením přesunů šroubováku.

Technologický utahovací moment bude přenastaven na hodnotu technologického minima při zachování požadavků na kvalitu spoje. Dále bude provedena výměna nebo úprava šroubováku za rychloběžný model umožňující rychlejší utažení.

Tato optimalizace povede ke snížení cyklového času na pracovišti o 1,5–2 sekundy.

11.9 RIPRAN – riziková analýza projektu

Riziková analýza projektu byla zpracována pomocí metodiky RIPRAN, jejíž principy jsou popsány v teoretické části práce. Kompletní přehled rizik včetně pravděpodobností, dopadů a navržených opatření je uveden v příloze (viz Příloha 1 – RIPRAN analýza projektu).

Analýza se zaměřila na klíčové oblasti spojené s implementací nového leak testeru a optimalizací vybraných úzkých míst na výrobní lince. Bylo identifikováno celkem sedm hlavních rizik, která byla kvantifikována z hlediska pravděpodobnosti výskytu a dopadu na projekt.

Výsledky analýzy ukázaly, že mezi nejzávažnější rizika (VHR) patří:

- Zpoždění dodávky leak testeru, kdy nesplnění smluvních termínů by mohlo způsobit zpoždění projektu,

- Výpadek linky při instalaci zařízení, s rizikem přerušení výroby během instalace nového testovacího zařízení.

U těchto hrozeb byla navržena preventivní opatření, jako je smluvní ošetření termínů, penalizace za zpoždění a instalace zařízení během plánovaných odstávek.

Mezi střední rizika (SHR) byla zařazena:

- Nesoulad zařízení s výrobní linkou (nekompatibilita s PLC nebo mechanickým rozhraním),
- Nedostatečné přijetí změn operátory,
- Nesprávné zpracování dat při vyhodnocení změn.

Navržená opatření zahrnují předběžné testy kompatibility, školení pracovníků a víceúrovňovou validaci výsledků.

Nízká rizika (NHR) byla identifikována v oblastech:

- Nedosazení plánovaného zkrácení cyklu,
- Chyby při sběru dat pro vyhodnocení změn.

Pro minimalizaci těchto rizik byla stanovena opatření jako pilotní testy, flexibilní úpravy sekvencí a zavedení víceúrovňové kontroly měřených dat.

Výsledky analýzy potvrdily, že největší důraz je třeba klást na včasné zajištění dodávky zařízení, správné naplánování instalace a aktivní zapojení operátorů do přípravy změn. Přijatá preventivní opatření významně přispívají ke snížení rizika zpoždění projektu a ke zvýšení pravděpodobnosti jeho úspěšné realizace.

- **Komentář k matici rizik**

Na základě rozšířené RIPRAN analýzy byla vytvořena matice, která vizualizuje vztah mezi výslednou pravděpodobností a dopadem jednotlivých rizik. Nejvýznamnější rizika z hlediska hodnoty i závažnosti jsou spojena s technickými a organizačními faktory, zejména s výpadkem linky při instalaci nového zařízení a zpožděním jeho dodávky. Grafická forma matice umožňuje snadné stanovení priorit při zavádění preventivních opatření.

11.10 Ekonomické zhodnocení projektu

11.10.1 Investiční náklady projektu

Tato kapitola se zabývá ekonomickým zhodnocením navržených opatření vedoucích ke zvýšení výkonnosti výrobní linky bez nutnosti zásadních investic do nových zařízení nebo rozšíření prostorových a personálních kapacit. Cílem je ověřit, zda navržené řešení přináší ekonomický přínos v poměru k potřebným nákladům, a určit návratnost případné investice.

Impulsem pro realizaci projektu byla nabídka zákazníka na navýšení výkupní ceny za dodaný výrobek, pokud dojde k navýšení výrobní kapacity stávající linky. Tento požadavek vznikl v důsledku častých výpadků druhého dodavatele, přičemž zákazník nadále trvá na zachování strategie „dual source“. Firma tak získala příležitost navýšit objem výroby za výhodnějších cenových podmínek, pokud bude schopna zajistit vyšší výstup bez rozsáhlých investic.

Na základě analýzy současného stavu byla jako úzké místo výrobního procesu identifikována stanice testování těsnosti (leak test), která svým cyklovým časem omezuje celkový výkon linky. Z tohoto důvodu byla navržena koupení dalšího leak testu s paralelním umístěním. Zároveň byla identifikována možnost doplňkové optimalizace oblasti manipulace, zejména v souvislosti s pohybovými trajektoriemi, zakládáním dílů a obsluhou zásobníků.

Všechny uvedené náklady jsou bez DPH.

Ekonomické hodnocení projektu bylo zpracováno pro dvě navržená opatření:

- Variantu A – instalace třetího leak testu,
- Variantu B – optimalizace montážních operací v oblasti manipulace.

Na základě vyhodnocení jejich přínosů a proveditelnosti doporučuji realizovat obě varianty souběžně, tedy jako jeden celek. Důvodem je skutečnost, že varianty se navzájem doplňují, zatímco leak tester odstraní současnou úzké místo, optimalizace montážních operací pomůže stabilizovat nový takt a dále zvýšit efektivitu.

Přestože varianty A i B budou zahrnuty do celkových investičních nákladů, do výpočtu návratnosti investice bude započítán pouze kvantifikovatelný přínos varianty A, protože přínos varianty B nebyl v rámci práce měřitelně prokázán. Předpokládá se však, že i tato část bude mít pozitivní vliv na výkonnost linky..

11.10.2 Výpočet navýšení kapacity

Pro výpočet navýšení výrobní kapacity bylo využito dat z předchozí analýzy výrobní linky. Klíčovým faktorem ovlivňujícím celkový výkon je cyklový čas úzkého místa. V současném stavu linky je tímto úzkým místem stanice testování těsnosti (leak test), která vykazuje průměrný cyklový čas:

$$t_1 = 25,68 \text{ s}$$

Po výměně leak testu bude tato stanice výrazně zrychlena, a nové úzké místo vznikne na jiné operaci s cyklem:

$$t_2 = 22,71 \text{ s}$$

Výpočty vycházejí z reálného časového fondu výrobní linky:

3 směny denně, 7 dní v týdnu

7,5 h/směna čistého výrobního času (po odečtení zákonné přestávky)

Týdenní výrobní fond:

$$3 \text{ směny/den} * 7 \text{ dní} * 7,5 \text{ h / směna} * 60 \text{ min} * 60 \text{ s} = 567\,000 \text{ s / týden}$$

Výpočet teoretické kapacity po výměně leak testu:

Nový cyklový čas po výměně (dáno novým úzkým místem):

$$t_2 = 22,71 \text{ s}$$

- Týdenní teoretická kapacita:

$$567\,000 / 22,71 = 24\,965 \text{ ks / týden}$$

- Roční teoretická kapacita (52 týdnů):

$$24\,965 * 52 = 1\,297\,180 \text{ ks / rok}$$

- Reálná kapacita při OEE = 79 %:

$$1\,297\,180 * 0,79 = 1\,024\,722 \text{ ks/rok}$$

Porovnání s aktuálním stavem:

- Současná roční kapacita při cyklu 25,68 s a OEE 79 %:

$$567\,000 / 25,68 = 22\,080 \text{ ks/týden}$$

$$22\,080 * 52 * 0,79 = 906\,920 \text{ ks/rok}$$

- Roční navýšení kapacity:

$$1\,240\,772 - 906\,920 = 117\,852 \text{ ks / rok}$$

11.10.3 Výpočet ročního finančního přínosu

V návaznosti na výpadek druhého dodavatele komponentů nabídl zákazník navýšení výkupní ceny za každý dodatečně vyrobený kus, a to za předpokladu, že dojde ke zvýšení výrobní kapacity stávající linky bez rozsáhlých investic. Nabízený příplatek činí:

$$0,40 \text{ EUR/kus}$$

Na základě předchozích výpočtů bylo stanoveno, že realizací navrženého opatření (výměna stanice leak testu) dojde ke zvýšení roční reálné kapacity výrobní linky o:

$$117\,852 \text{ ks/rok}$$

Roční finanční přínos projektu je tedy dán součinem počtu dodatečně vyrobených kusů a příplatku za jeden kus:

$$117\,852 \cdot 0,40 \text{ EUR} = 47\,140,80 \text{ EUR/rok}$$

Tento přínos představuje stálý roční nárůst tržeb, který je dosažitelný bez navýšení personálních kapacit, bez potřeby nových prostor a bez zásadní reorganizace výroby. Veškeré navýšení je realizováno zefektivněním kritického úseku výrobního procesu.

Výpočet je založen na předpokladu plného využití nové kapacity a trvání zákaznické poptávky po navýšeném objemu. Vzhledem ke stabilní spolupráci se zákazníkem a jeho preferenci strategie dual source je tento předpoklad považován za realistický.

Z výpočtů vyplývá, že po realizaci výměny leak testu dojde ke zvýšení reálné roční kapacity výrobní linky přibližně o 117 852 kusů. Tento údaj slouží jako základ pro výpočet ročního finančního přínosu a návratnosti investice, jak bude uvedeno v následujících kapitolách.

11.10.4 Investiční náklady dle variant

Všechny uvedené náklady jsou bez DPH.

Ekonomické hodnocení projektu bylo zpracováno ve dvou variantách podle rozsahu navržených opatření. Varianta A zahrnuje pouze výměnu stávající stanice leak testu, zatímco varianta B navíc řeší i optimalizaci montážních operací v oblasti manipulace. V obou případech byly investiční náklady rozděleny na technické výdaje (zařízení, úpravy) a personální náklady (interní práce).

Varianta A a Varianta B – Leak test + optimalizace manipulace**Technické náklady**

Tabulka 9 Technické náklady variant A a B

Položka	Náklady [EUR]
Leak tester	29 000
Úpravy PLC a SCADA systému	2 000
Úprava dávkovacího systému a nářadí šroubováku	3 500
Prodloužení stávající dráhy a instalace otočných desek	3 000
Celkové technické náklady varianty A	37 500

Personální náklady

Tabulka 10 Personální náklady variant A a B

Položka	Náklady [EUR]
Interní práce studenta (celkem 140 h)	952
Programátor (20 h × 20 EUR/h)	400
Konzultace procesního inženýra (10 h × 18 EUR/h)	180
Celkem personální náklady	1 532

$$37\,500 + 1\,532 = 39\,032 \text{ EUR}$$

Instalace nového leak testeru umožní rozšíření kapacity testování bez nutnosti zásahu do stávajícího layoutu výrobní haly a minimalizuje náklady na rozsáhlé stavební úpravy. Opatření je z hlediska realizace technicky jednoduché a plně proveditelné ve stávajících podmínkách.

Celkové investiční náklady projektu činí 39 032 EUR bez DPH. Tyto náklady budou použity jako základ pro výpočet návratnosti investice (viz kapitola 10.10.5), avšak pouze varianta A bude vstupovat do kalkulace finančního přínosu, neboť její dopady na navýšení kapacity linky byly v práci kvantifikovány.

Varianta B, přestože není zahrnuta do výpočtu návratnosti, představuje důležitou součást celkového zlepšení, a její realizace přispěje k vyšší plynulosti a stabilitě výrobního procesu po odstranění hlavního úzkého místa. Díky nízkým investičním nákladům a využití interních kapacit je její implementace efektivní a vysoce doporučitelná. Shrnutí nákladů obou variant

11.10.5 Výpočet návratnosti investice

Pro vyhodnocení ekonomické efektivity navržených opatření byla provedena analýza návratnosti investice (ROI – Return on Investment) pro variantu A, která zahrnuje pouze výměnu stanice testování těsnosti. Tato varianta má jednoznačně kvantifikovaný přínos v podobě navýšení roční výrobní kapacity a příplatku od zákazníka za každý dodatečně vyrobený kus.

Výpočet návratnosti – varianta A

Na základě výpočtů uvedených v předchozích kapitolách činí:

Roční navýšení produkce: 117 852 ks/rok

Jednotkový příplatek: 0,40 EUR/kus

Roční finanční přínos:

$$117\,852 \times 0,40 = 47\,140,80 \text{ EUR / rok}$$

Celkové investiční náklady varianty A:

$$39\,032 \text{ EUR}$$

Návratnost investice (v letech):

$$\text{ROI} = 39\,032 / 47\,140,80 = 0,8276 \text{ roku}$$

Přepočet na měsíce:

$$0,8276 \times 12 = 9,93 \text{ měsíce}$$

Varianta B

U varianty B, která zahrnuje optimalizaci vybraných montážních operací, nebyl přínos kvantifikován z důvodu absence přesných měření a nemožnosti ověřit zrychlení cyklových časů bez praktické realizace. Z tohoto důvodu není návratnost varianty B v této fázi vyčíslena.

ZÁVĚR

Tato diplomová práce se zabývala návrhem opatření ke zvýšení efektivity výrobní linky zaměřené na montáž wastegate ventilů ve vybrané společnosti působící v automobilovém průmyslu. Výrobní linka, která je umístěná, provozovaná ve třisměnném režimu, byla po odstavení původní paralelní linky vystavena zvýšenému zatížení. Vzhledem k tomu vznikla potřeba identifikovat úzká místa a navrhnout opatření umožňující zvýšení její propustnosti bez nutnosti rozsáhlých investic.

Na základě měření cyklových časů a rozboru jednotlivých operací byla jako nejvýznamnější úzká místa určena stanoviště M2T4 (testování těsnosti, 25,68 s), M3T2 (zajištění víka, 22,71 s) a M1T2/1 (aplikace maziva, 22,37 s). Následně byly navrženy tři varianty zlepšení. Jejich přínosy byly hodnoceny pomocí multikriteriální analýzy a doplněny RIPRAN analýzou projektových rizik.

Na základě výsledků hodnocení byla doporučena kombinace dvou opatření: instalace třetího leak testeru a optimalizace vybraných montážních operací. Tímto zásahem dojde ke změně hlavního úzkého místa, kdy se takt linky sníží z 25,68 s na 22,71 s, což představuje zkrácení o 2,97 s, tedy o 11,6 %.

Po zohlednění tohoto nového taktu byla vypočtena roční reálná kapacita linky na 1 024 722 ks oproti původním 906 920 ks, což znamená navýšení o 117 802 kusů za rok, tedy přibližně o 13 %.

Investiční náklady spojené s realizací hlavního opatření činí 39 032 EUR. Při dodatečném příplatku 0,40 EUR za každý vyrobený kus ze strany zákazníka byla na základě navýšené roční produkce vypočtena návratnost investice na 9,93 měsíce.

Na základě výše uvedeného lze konstatovat, že hlavní cíl práce – snížení průměrného cyklového času linky o 10 % – byl splněn. Návrh zohlednil nejen technické, ale i ekonomické a provozní podmínky výrobní linky. Výsledky této práce mohou být dále využity pro rozhodování o pokračující optimalizaci výrobního procesu v dané společnosti i v jiných obdobných typech provozu.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

AL-EQABI, Mohammed Alwan Rahima; AL-SALMAWI, Maytham Abbas Khudhair; TUAMA, Marwah Jumaah a MUTLAQ, Makhlid Kazem. The Role of Lean Production Technology and Human Resource Flexibility in Reduce Costs: Applied Research in Petronas Oil Industries Company. *European Journal of Business and Management Research*. 2023, roč. 8, č. 6, s. 120–129. ISSN 2507-1076. Dostupné z: <https://doi.org/10.24018/ejbmr.2023.8.6.2114>. [cit. 2025-04-24].

BADIRU, Adedeji B., ed. *Handbook of Industrial and Systems Engineering*. 2. vydání. Boca Raton: CRC Press, 2013. ISBN 978-1-4665-1504-8.

BADIRU, Adedeji B. *The Story of Industrial Engineering: The Rise from Shop-Floor Management to Modern Digital Engineering*. 1. vydání. Boca Raton: CRC Press, 2021. ISBN 978-0-367-78814-8.

BERNHARD, Olivia; DILLINGER, Fabian a ZÄH, Michael. Methodology for Transformation Processes in the Context of Lean 4.0 in Manufacturing Companies. *Procedia CIRP*. 2023, roč. 120, s. 487–492. ISSN 2212-8271. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2023.09.024>. [cit. 2025-04-24].

BILGE, Pinar a SEVERENGIZ, Mustafa. Analysis of Industrial Engineering Qualification for the Job Market. *Procedia Manufacturing*. 2019, roč. 33, s. 725–731. ISSN 2351-9789. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.04.091>. [cit. 2025-04-24].

BOČKOVÁ, Kateřina a LAJČIN, Daniel. RIPRAN – one of the best project risk analysis methodologies. *Managerial Economics*. 2018, roč. 19, č. 1, s. 7–24. ISSN 1898-1143. Dostupné z: <https://doi.org/10.7494/manage.2018.19.1.7>. [cit. 2025-04-24].

BRAU, Sebastian J. *Lean Manufacturing 4.0: The Technological Evolution of Lean: Practical Guide on the Correct Use of Technology in Lean Projects Kanban, 5S, TPM, Kaizen, VSM, 6Sigma, SMED, OEE, Hoshin Kanri, Gemba, JIT, TPS, PDCA...* Boca Raton: American Lean SD, 2016. ISBN 978-1-5393-2294-8.

BRISO, Xavier; MURGUI, Danny a URBINA, Alonso. Teaching Takt-Time, Flowline, and Point-to-point Precedence Relations: A Peruvian Case Study. *Procedia Engineering*. 2017, roč. 196, s. 666–673. ISSN 1877-7058. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.08.056>. [cit. 2025-04-15].

CHARRON, Richard M., HARRINGTON, H. James, VOEHL, Frank a WIGGIN, Hal. *The Lean Management Systems Handbook*. Boca Raton: CRC Press, 2015. ISBN 978-1-4665-6435-0.

CHROMJAKOVÁ, Felicita. *Průmyslové inženýrství: trendy zvyšování výkonnosti štíhlým řízením procesů*. 1. vydání. Žilina: Georg, 2013. ISBN 978-80-8154-058-5.

GALUPPO, Kristina. Application of Strategic Decision Making to Design for Manufacture. *American Journal of Operations Management and Information Systems*. 2019, roč. 4, č. 3, s. 92–98. Dostupné z: <https://doi.org/10.11648/j.ajomis.20190403.14>. [cit. 2025-04-24].

GOYAL, A.; VAISH, D.C.; AGRAWAL, R.; CHOUDHARY, S. a NAYAK, R. Sustainable Manufacturing through Systematic Reduction in Cycle Time. *Sustainability*. 2022, roč. 14, č. 24, čl. 16473. ISSN 2071-1050. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/su142416473>. [cit. 2025-04-24].

GROOVER, Mikell P. *Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing*. 4. vydání. Boston: Pearson, 2014. ISBN 978-0-13-349961-2.

IKEZIRI, Lucas Martins; SOUZA, Fernando Bernardi de; GUPTA, Mahesh C. a FIORINI, Paula de Camargo. Theory of Constraints: Review and Bibliometric Analysis. *International Journal of Production Research*. 2018. ISSN 0020-7543. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1518602>. [cit. 2025-04-24].

JANUŠKA, Martin. *Úvod do operativního řízení podniku*. 1. vydání. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2018. ISBN 978-80-261-0800-9.

JUROVÁ, Marie. *Výrobní a logistické procesy v podnikání*. 1. vydání. Praha: Grada, 2016. ISBN 978-80-247-5717-9.

KOCH, Volker; TOMASEVIC, Dajana; PACHER, Corina a ZUNK, Bernd M. Preparing Students for Industry 5.0: Evaluating the Industrial Engineering and Management Education. *Procedia Computer Science*. 2025, roč. 253, s. 2219–2228. ISSN 1877-0509. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2025.01.282>. [cit. 2025-04-24].

LAM, Nguyen Thi; TOI, Le Minh; TUYEN, Vu Thi Thanh a HIEN, Do Ngoc. Lean Line Balancing for an Electronics Assembly Line. *Procedia CIRP*. 2016, roč. 40, s. 437–442. ISSN 2212-8271. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.01.089>. [cit. 2025-04-15].

LACKO, Branislav a DOSKOČIL, Radek. Dvacet let metody RIPRAN (RIsk PRoject ANalysis). *Soudní inženýrství*. 2022, roč. 33, č. 3–4, s. 21–26. ISSN 1211-443X. Dostupné z: <https://doi.org/10.13164/SI.2022.3.21>. [cit. 2025-04-24].

LEMBERSKY, Michael. *Realistic Cost Estimating for Manufacturing* [online]. 3rd ed. Dearborn: Society of Manufacturing Engineers, 2016. ISBN 978-1-5231-0398-0. Dostupné z: <https://app.knovel.com/kn/resources/kpINFNB0J1/toc>. [cit. 2025-04-24].

MAYNARD, Harold B.; BINANDA, Bopaya, ed. *Maynard's Industrial and Systems Engineering Handbook*. 6. vydání. New York: McGraw Hill, 2023. ISBN 978-1-260-46156-5.

OKOLIE, Paul Chukwulozie; ABONYI, Emeka Sylvester; SEGUN, Oluwadare Benjamin a ONYEBUCHI, Uchenna Okolie. Manufacturing Processes and Methods. *International Journal of Engineering & Industry*. 2023, roč. 6, č. 1, s. 1–6. ISSN 2191-3315. Dostupné z: <https://www.researchgate.net/publication/372494303>. [cit. 2025-04-24].

OUROUJI, Maryam. Theory of Constraints: A State-of-Art Review. *Accounting*. 2016, roč. 2, s. 45–52. ISSN 2369-7407. Dostupné z: <https://doi.org/10.5267/j.ac.2015.12.004>. [cit. 2025-04-24].

OWENS, Trevor a FERNANDEZ, Obie. *The Lean Enterprise: How Corporations Can Innovate Like Startups*. 1. vydání. Hoboken: Wiley, 2014. ISBN 978-1-118-85218-7.

TOPPAZZINI, Kyle. *The new Lean: the modern approach to continuous improvement* [online]. 1st ed. New York: Productivity Press, 2024. [cit. 2025-04-25]. ISBN 978-1-315-36962-4. Dostupné z: <https://doi.org/10.4324/9781315369624>

PATERMANN, Jiří. *Lean dílenské řízení: Je čas změnit vaši dílnu: začněte teď!* 1. vydání. Praha: Grada, 2022. ISBN 978-80-271-3534-9.

REALYVÁSQUEZ-VARGAS, Arturo; FLOR-MOLTALVO, Francisco Javier; BLANCO-FERNÁNDEZ, Julio; SANDOVAL-QUINTANILLA, Joanna Denisse; JIMÉNEZ-MACÍAS, Emilio et al. Implementation of Production Process Standardization—A Case Study of a Publishing Company from the SMEs Sector. *Processes*. 2019, roč. 7, č. 10, čl. 646. ISSN 2227-9717. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/pr7100646>. [cit. 2025-03-31].

RUFE, Philip D., ed. *Fundamentals of Manufacturing*. 3. vydání. Dearborn: Society of Manufacturing Engineers, 2013. ISBN 978-0-87263-870-9.

SAHA, Anik; HASAN, Ridwana a TANZIL, Musa. The Role of Industrial Engineering in Modern Industry: Historical Perspectives and Emerging Trends. Online. Khulna University of Engineering and Technology, 2023. Dostupné z: <https://www.researchgate.net/publication/382658366>. [cit. 2025-04-24].

SEIFERMANN, Stefan; BÖLLHOFF, Jörg; METTERNICH, Joachim a BELLAGHNACH, Amin. Evaluation of Work Measurement Concepts for a Cellular Manufacturing Reference Line to Enable Low Cost Automation for Lean Machining. *Procedia CIRP*. 2014, roč. 17, s. 588–593. ISSN 2212-8271. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.01.065>. [cit. 2025-04-24].

ŞİMŞİT, Zeynep Tuğçe; GÜNAY, Noyan Sebla a VAYVAY, Özalp. Theory of Constraints: A Literature Review. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. 2014, roč. 150, s. 930–936. ISSN 1877-0428. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.09.104>. [cit. 2025-04-24].

SOOKDEO, Barnes. Measuring Organisational Performance Using Work Measurement: Towards Improving Productivity. *International Journal of Productivity and Quality Management*. 2019, roč. 28, č. 3, s. 315–327. ISSN 1746-6474. Dostupné z: <https://doi.org/10.1504/IJPQM.2019.10018654>. [cit. 2025-04-24].

TARANTINO, Anthony. *Smart manufacturing: the Lean Six Sigma way*. Hoboken: Wiley, 2022. ISBN 978-1-119-84661-1.

TOMEK, Gustav a VÁVROVÁ, Věra. *Integrované řízení výroby*. 2. vydání. Praha: Grada Publishing, 2014. ISBN 978-80-247-4486-5.

ZHANG, Wei, Liang HOU a Roger J. JIAO. Dynamic takt time decisions for paced assembly lines balancing and sequencing considering highly mixed-model production: An improved artificial bee colony optimization approach [online]. *Computers & Industrial Engineering*, 2021, vol. 161, [cit. 2025-04-15]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107616>

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Organizační struktura (vlastní zpracování)	38
Obrázek 2 Layout vybrané výrobní linky (interní zdroj).....	42
Obrázek 3 Procesní mapa (Vlastní zpracování).....	45
Obrázek 4 Průměrné cyklové časy operací	49
Obrázek 5 Porovnání cyklových časů.....	50
Obrázek 6 Rozdělení časů na pracovišti M3T4	52
Obrázek 7 Rozdělení manipulací na pracovišti M3T4	53
Obrázek 8 Rozdělení časů na pracovišti M3T2	54
Obrázek 9 Rozdělení strojního času na pracovišti M3T2	55
Obrázek 10 Rozdělení manipulací na pracovišti M3T2	55
Obrázek 11 Rozdělení časů na pracovišti M1T2/1	57
Obrázek 12 Rozdělení manipulací na pracovišti M1T2/1	58
Obrázek 13 Rozdělení časů na pracovišti M1T2/2	59
Obrázek 14 Možné umístění Leak testeru 03	71

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Materiálový tok a vstupní komponenty dle operací výrobního procesu (vlastní zpracování).....	44
Tabulka 2 Zestručnělá verze cyklových časů na operaci.....	49
Tabulka 3 Rozdělení časů na pracovišti M3T4 v tabulce	52
Tabulka 4 Rozdělení strojových časů na pracovišti M3T2 v tabulce	54
Tabulka 5 Rozdělení manipulací na pracovišti M3T2 v tabulce	55
Tabulka 6 Rozdělení manipulací na pracovišti M1T2/1 v tabulce	57
Tabulka 7 Multikriteriální hodnocení variant	68
Tabulka 8 Vyhodnocení bodového výsledku.....	69
Tabulka 9 Technické náklady variant A a B.....	79
Tabulka 10 Personální náklady variant A a B.....	79

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

ATEQ	Název výrobce testovacích zařízení (Automatic Test Equipment)
BOM	Bill of Materials – kusovník
CT	Cycle Time – cyklový čas
DBR	Drum-Buffer-Rope – plánovací metoda v rámci Teorie omezení
DFM	Design for Manufacturing – návrh s ohledem na výrobu
ERP	Enterprise Resource Planning – podnikový informační systém
HR	Human Resources – lidské zdroje
LEAN	Filozofie štíhlé výroby (z angl. „štíhlý“)
MCT	Machine Cycle Time – cyklový čas stroje
OCT	Operator Cycle Time – cyklový čas operátora
OEE	Overall Equipment Effectiveness – celková efektivita zařízení
PDCA	Plan-Do-Check-Act – cyklus neustálého zlepšování
PLC	Programmable Logic Controller – programovatelný automat
ROI	Return on Investment – návratnost investice
RIPRAN	RIsk PRoject ANalysis – metodika analýzy rizik
SAP	Systém podnikového plánování (německý softwareový gigant)
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition – systém pro sběr a řízení dat
SMED	Single-Minute Exchange of Dies – metoda pro rychlou výměnu nástrojů
SMART	Metoda definice cílů (Specific, Measurable, Achievable, Relevant, Time-bound)
STEM	Science, Technology, Engineering and Mathematics – věda, technologie, inženýrství, matematika
TPS	Toyota Production System – systém štíhlé výroby Toyota
TOC	Theory of Constraints – teorie omezení
VSM	Value Stream Mapping – mapování hodnotového toku

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I:	RIPRAN analýza projektu
Příloha P II:	Harmonogram projektu
Příloha P III:	Časová studie měření cyklových časů
Příloha P IV:	Časová studie měření strojních časů
Příloha P V:	Časová studie měření manipulačních časů

PŘÍLOHA P I: RIPRAN ANALÝZA PROJEKTU

#	Hrozba	Pravděpodobnost hrozby	Scénář	Pravděpodobnost scénáře	Výsledná pravděpodobnost	Dopad	Hodnota rizika	Preventivní opatření
1	Zpoždění dodávky leak testeru	40%	Dodavatel nesplní smluvní termín	30%	12%	VD	VHR	Smluvní zajištění termínů, pokuty za prodlení, pravidelný kontakt s dodavatelem
2	Výpadek linky při instalaci zařízení	60%	Instalace přesahuje plánovaný čas	50%	30%	VD	VHR	Instalace během odstavky, záložní plán výroby, přítomnost techniků na místě
3	Nesoulad zařízení s výrobní linkou	20%	Nečekaná nekompatibilita s PLC nebo mechanickým rozhraním	40%	8%	VD	SHR	Předběžné testování, konzultace s programátorem, FAT test u dodavatele
4	Nedostatečné přijetí změn operátory	35%	Neochota spolupracovat, odpor ke změnám	60%	21%	SP	SHR	Včasné zapojení pracovníků do přípravy, školení, důraz na výhody změny
5	Nedosažení plánovaného zkrácení cyklu	25%	Nový proces nefunguje dle očekávání	40%	10%	SP	NHR	Pilotní testy, validace změn, flexibilní úprava sekvencí podle výsledků
6	Chyba při sběru dat pro vyhodnocení změn	15%	Nesprávné nastavení měření, neúplná data	30%	4,50%	MP	NHR	Zavedení víceúhlové kontroly dat, revize metodiky měření
7	Nesprávné zpracování dat nebo vyhodnocení analýzy	20%	Nesprávná interpretace výsledků, špatná rozhodnutí	40%	8%	SP	SHR	Konzultace výsledků s odborníky, víceúhlová validace analýzy

PŘÍLOHA II: HARMONOGRAM PROJEKTU

[illegible]

PŘÍLOHA III: ČASOVÁ STUDIE MĚŘENÍ CYKLOVÝCH ČASŮ

Označení	Název operace	Bod měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
M0T1		operátor ranní	23,79	23,48	18,84	15,23	17,08	26,95	16,35	16,58	16,21	18,01
M1T1	montáž GW	paletka paletka	20,63	21,60	21,58	21,58	21,46	21,81	21,81	21,81	21,56	21,88
M1T2/1	aplikace maziwa	paletka paletka	23,06	23,05	22,65	21,36	21,18	23,06	23,31	20,91	23,58	23,31
M1T2/2	montáž stem	paletka paletka	21,25	21,80	20,41	24,58	21,11	21,21	21,60	20,56	21,66	28,00
M2T1	montáž motoru	paletka paletka	19,44	20,86	19,71	20,06	19,00	21,80	19,70	19,83	19,01	19,83
M2T2	svařování	paletka paletka	20,73	20,78	21,56	20,43	21,65	21,20	21,16	20,06	20,08	21,91
M3S1	instalace pružiny	paletka paletka	18,25	18,31	18,96	22,51	19,10	20,32	19,66	22,75	19,13	20,48
M3T1	osazení vika	paletka paletka	18,38	17,68	18,48	18,16	18,63	17,68	19,76	18,98	23,80	21,48
M3T2	zajištění vika	paletka paletka	22,63	22,85	23,21	22,18	22,71	22,95	22,65	22,48	23,31	22,53
M3T3	instalace prachovky	paletka paletka	16,73	16,75	16,56	16,68	16,66	16,60	16,71	16,62	16,62	16,76
M3T4	Leak test	paletka paletka	28,53	30,15	25,88	25,95	22,18	24,26	25,83	27,58	29,68	23,91
M3T5	značení	paletka paletka	23,16	26,71	20,90	17,78	19,48	17,63	17,90	17,86	21,81	19,30
M3T5	balení	paletka paletka	odšroubování matky a demontáž a montáž prachovky 30,57-10,3									

										průměrný čas [s]	průměrný čas [min]
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
16,25	21,00	14,96	17,75	16,73	16,46	15,90	15,73	17,53	22,96	18,39	0,306
21,66	21,35	21,76	21,36	21,05	21,65	21,16	21,43	21,31	21,45	21,50	0,358
22,11	23,53	22,66	22,35	21,95	21,23	21,13	22,70	21,63	22,73	22,37	0,373
21,08	20,71	21,93	21,49	20,71	20,96	21,18	20,56	20,58	20,76	21,61	0,360
19,48	19,36	19,26	20,15	19,75	21,40	21,76	20,20	20,08	19,08	19,99	0,333
20,53	20,45	21,11	20,65	20,05	20,58	19,40	20,48	19,83	21,00	20,68	0,345
20,15	18,91	20,46	17,83	19,53	19,95	20,83	20,08	20,39	25,36	20,15	0,336
19,05	19,88	18,71	18,30	18,43	18,96	17,81	18,44	24,43	19,89	19,35	0,322
22,58	22,48	22,95	22,38	22,85	22,75	22,75	22,53	22,78	22,64	22,71	0,378
16,61	16,58	16,66	16,58	16,72	16,61	16,75	16,71	16,54	16,52	16,65	0,277
31,15	25,30	24,36	21,75	25,26	22,15	27,10	24,76	25,28	22,51	25,68	0,428
21,69	25,50	17,80	23,18	19,16	23,41	18,95	19,16	28,33	19,20	20,95	0,349
										20,27	0,51

PŘÍLOHA IV: ČASOVÁ STUDIE MĚŘENÍ STROJOVÝCH ČASŮ

Označení	Název operace	Bod měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
M1T2/1	aplikace maziva	Strojový čas	13,31	13,16	13,18	13,26	13,41	13,43	13,19	13,33	13,30	13,56		
M1T2/2	GW+stem+housing	Strojový čas	18,70	19,12	18,79	19,11	19,23	19,01	19,23	19,14	19,59	19,46		
M3T2	podavač	Strojový čas	6,41	6,29	6,56	6,23	6,28	6,30	6,63	6,26	6,26	6,18		
M3T2	lis	Strojový čas	6,93	6,93	5,83	6,50	6,55	6,43	6,30	6,11	6,44	6,46		
M3T4	leak test (E0L3)	Strojový čas	41,21	40,06	41,13	41,96	41,01	40,71	41,45	40,85	41,17	40,88		
M3T4	leak test (E0L4)	Strojový čas	40,22	40,87	41,03	41,10	40,60	42,72	41,27	41,75	41,16	41,33		
													průměrný čas [min]	
													průměrný čas [s]	
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20					
13,16	13,66	13,48	13,63	13,16	13,41	13,36	13,66	13,60	13,23				0,223	
18,93	19,11	19,23	19,41	19,19	19,28	19,03	18,91	18,82	19,43				0,333	
6,03	6,11	6,08	6,01	6,28	6,63	6,03	6,28	6,27	6,54				0,105	
6,20	6,44	6,46	6,39	6,13	6,68	6,15	6,73	6,69	6,16				0,107	
42,91	41,46	41,93	40,36	41,63	42,73	41,75	43,01	41,43	40,50				0,690	
42,52	41,98	41,43	41,88	42,33	40,26	40,90	40,78	42,56	42,71				0,691	

