



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

SNÍŽENÍ VÝROBNÍHO TAKTU NA MONTÁŽNÍ LINCE REDUCING PRODUCTION CYCLE ON THE ASSEMBLY LINE

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

BC. MICHAL BROŽEK

VEDOUČÍ PRÁCE
SUPERVISOR

PROF. ING. MIROSLAV PÍŠKA, CSC.

BRNO

2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie
Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Michal Brožek

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie a průmyslový management (2303T005)**

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

Snížení výrobního taktu na montážní lince

v anglickém jazyce:

Reducing production cycle on the assembly line

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem práce je provést analýzu spotřeby času na montážní lince a navrhnout zlepšení pro snížení výrobního taktu linky.

Cíle diplomové práce:

1. Úvod, představení společnosti
2. Rozbor problematiky
3. Analýza spotřeby času na montážní lince
4. Návrh zlepšení pro snížení výrobního taktu
5. Technicko-ekonomické hodnocení
6. Závěry pro práci

Seznam odborné literatury:

DUŠÁK, K. Technologie montáže. Základy. VŠ skriptum. TU v Liberci, 2005, s. 113.

VASILKO, K. - HRUBÝ, J. - LIPTÁK, J. : Technológia obrábania a montáže. 1.vyd. ALFA Bratislava 1991.

TLUSTY, J. Manufacturing Process and Equipment. 1st edition. Prentice Hall, 1999. 928 s. ISBN 10-0201498650.

HUMÁR A.: TECHNOLOGIE MONTÁŽE, sylabus

<http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/TechnMontaze.pdf>

ZELENKA, A., PRECLÍK, V., HANINGER, M. Projektování procesů obrábění a montáží. ČVUT Praha, 1999.

HUMÁR, Anton. Materiály pro řezné nástroje. Praha. MM publishing s. r.o. 2008. ISBN 978-80-254-2250-2.

FOREJT, M., PÍŠKA, M. Teorie obrábění, tváření a nástroje. Brno. Akademické nakladatelství CERM s.r.o., 2006. ISBN 80-214-2374-9.

Vedoucí diplomové práce: prof. Ing. Miroslav Piška, CSc.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/2013.

V Brně, dne 18.11.2012

L.S.

prof. Ing. Miroslav Piška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Diplomový projekt se zabývá řešením snížení výrobního taktu na montážní lince čerpadel v konkrétním podniku. První část práce představuje společnost, její historii, produkty a vybrané ekonomické ukazatele. Následuje teoretický rozbor druhů montážních linek, jejich charakteristik a metod pro stanovení normy spotřeby času. Praktická část analyzuje časové hospodářství na konkrétní montážní lince. Výsledky analýzy, na jejímž základě jsou navrženy tři metody pro snížení výrobního taktu linky, jsou prezentovány v přehledných tabulkách a grafech. Závěrečná část obsahuje technicko-ekonomické hodnocení návrhů zlepšení pomocí klíčových ukazatelů.

Klíčová slova:

montážní linka, takt linky, MTM, produktivita.

ABSTRACT

The master's thesis deals with the reduction of the production cycle at the assembly line of pumps in a particular company. The first part of the thesis is dedicated to introducing the company's history, products, and selected economic indicators. The following part is a theoretical analysis of types of assembly lines, their characteristics and methods for determining the consumption standards of time. The practical part analyzes time efficiency of a specific assembly line. The results of the analysis are presented in table and graphs based on three proposals that are designed to reduce the production cycle. The final part provides techno-economic overview and valuation of improvements designed according to the key indicators presented in the thesis.

Key words:

assembly line, tact line, MTM, productivity.



BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

BROŽEK, M. *Snížení výrobního taktu na montážní lince*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 98 s. Vedoucí diplomové práce prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.



PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že diplomovou práci na téma „Snižení výrobního taktu na montážní lince“ jsem vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce.

V Brně dne 24. 5. 2013

.....
Bc. Michal Brožek



PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu prof. Ing. Miroslavu Piškovi, CSc. za cenné rady a připomínky týkající se zpracování diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat své rodině a přítelkyni za podporu, kterou mi věnovali v průběhu celého studia. Chci také poděkovat firmě Bosch Diesel, s.r.o., která mi svým vstřícným přístupem umožnila studium a poskytla mi podklady pro zpracování diplomového projektu.

OBSAH

ABSTRAKT	4
BIBLIOGRAFICKÁ CITACE.....	5
PROHLÁŠENÍ	6
PODĚKOVÁNÍ.....	7
OBSAH.....	8
ÚVOD.....	10
1 PŘEDSTAVENÍ SPOLEČNOSTI.....	11
1.1 Historie společnosti	11
1.2 Firma Bosch v České republice	12
1.3 Bosch Diesel, s.r.o.	13
1.3.1 Ekonomická situace podniku	14
1.3.2 Výrobní program.....	17
1.3.3 Produkty.....	18
2 ROZBOR PROBLEMATIKY	23
2.1 Montážní linka.....	23
2.1.1 Štíhlá montážní linka	26
2.1.2 Průběžná doba montáže	27
2.1.3 Takt linky.....	29
2.1.4 Zákaznický takt.....	31
2.1.5 Balancování operací.....	33
2.1.6 OEE a cílový čas cyklu	36
2.2 Montážní spoje	38
2.2.1 Používané technologické montážní spoje	38
2.3 Třídění spotřeby času.....	41
2.3.1 Skladba času pracovníka.....	41
2.3.2 Skladba času výrobního zařízení	42
2.3.3 Skladba času výrobku	42
2.3.4 MTM - Metoda předem stanovených časů	43
3 ANALÝZA SPOTŘEBY ČASU NA MONTÁŽNÍ LINCE	46
3.1 Konstrukční provedení linky	46
3.2 Seznam operací montáže	47

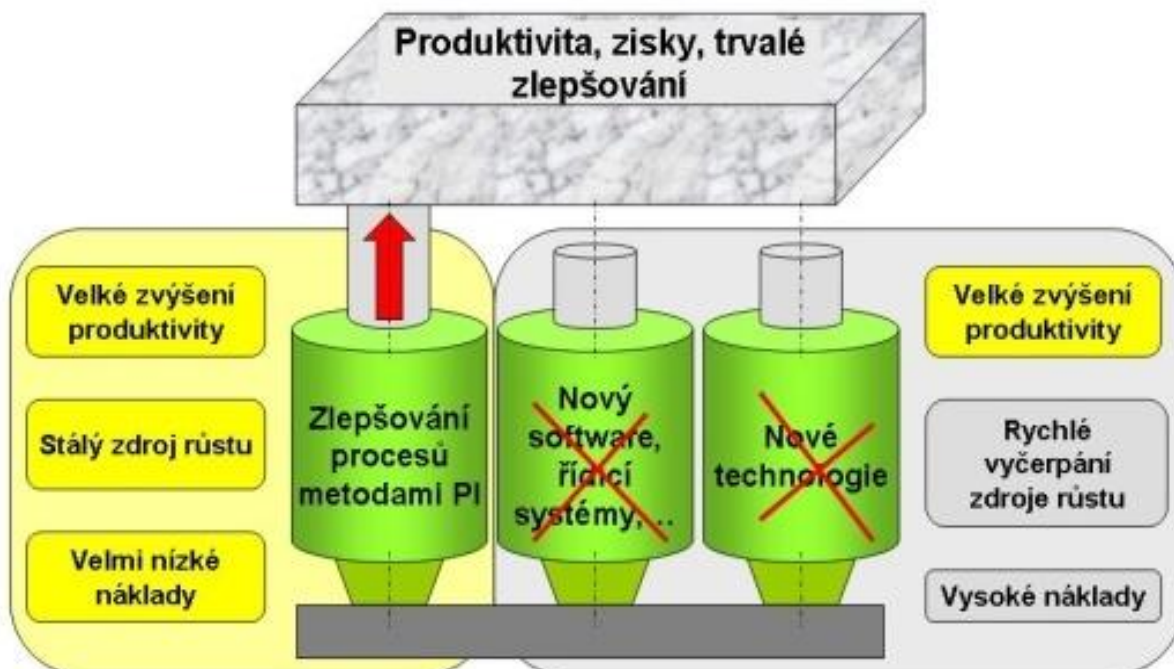
3.3 Analýza spotřeby práce	60
3.3.1 Spotřeba času 1. pracovníka	61
3.3.2 Spotřeba času 2. pracovníka	61
3.3.3 Spotřeba času 3. pracovníka	61
3.3.4 Souhrn časů cyklů a diagram taktu	62
4 NÁVRH ZLEPŠENÍ PRO SNÍŽENÍ VÝROBNÍHO TAKTU	64
4.1 Metoda 1 - balancování linky	64
4.1.1 Spotřeba času 1. pracovníka po balancování	65
4.1.2 Spotřeba času 2. pracovníka po balancování	65
4.1.3 Spotřeba času 3. pracovníka po balancování	66
4.1.4 Souhrn časů cyklů a diagram taktu po balancování	68
4.2 Metoda 2 - snížení počtu činností	71
4.2.1 Spotřeba času 1. pracovníka po redukcí činností	71
4.2.2 Spotřeba času 2. pracovníka po redukcí činností	73
4.2.3 Spotřeba času 3. pracovníka po redukcí činností	74
4.2.4 Souhrn časů cyklů a diagram taktu po redukcí činností	77
4.3 Metoda 3 - změna výrobní dávky	79
4.3.1 Spotřeba času 1. pracovníka po změně výrobní dávky	80
4.3.2 Spotřeba času 2. pracovníka po změně výrobní dávky	81
4.3.3 Spotřeba času 3. pracovníka po změně výrobní dávky	82
4.3.4 Souhrn časů cyklů a diagram taktu po změně výrobní dávky	83
5 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	85
5.1 Takt linky	85
5.2 Výrobnost	86
5.3 Produktivita práce	87
5.4 Stupeň vytížení pracovníků a strojů	88
6 ZÁVĚRY PRÁCE	90
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	91
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A ZDROJŮ	96

ÚVOD

Aby byla firma v dnešní době podnikatelsky úspěšná, je nutné neustále zvyšovat její konkurenceschopnost na trhu, čehož lze dosáhnout investicemi do výzkumu a vývoje, snižováním nákladů na výrobu, rozšiřováním a zkvalitňováním služeb. Průmyslové inženýrství (dále jen “PI“) je jedním z nejdůležitějších odvětví pro dosažení výše uvedených cílů, jež nám může zajistit značnou úsporu nákladů, a tudíž i lepší hospodářský výsledek.

Pro dosažení vyšší kvality výrobků, optimálních procesů a snížení nákladů využívá PI celou řadu nástrojů a metod, které vedou ke snížení plýtvání. Jak uvádí pramen [1] mezi tyto metody patří například *Kaizen*, *Jidoka*, *Poka yoke*, *5S*, *Just in time*, *TPM*, *štíhlá výroba*, *Kanban*, *standardizace*, 6σ , *ergonomie pracoviště* a další. Zavádění výše uvedených metod může být velmi obtížné a vyžaduje zkušené pracovníky. Dle zdroje [2] lze nazývat pracovníky, jež se zabývají PI průmyslový inženýr, procesní inženýr, manažer změn, lean manažer, lean specialista apod. Jejich náplní práce je racionalizace výroby, optimalizace a zefektivnění výrobních i nevýrobních procesů [2].

Společnost, ve které je zpracováván tento projekt, se v současné době potýká s poklesem zakázek. Nastalou situaci lze řešit mnoho způsoby, avšak je žádoucí, aby řešení bylo pohotové, účinné a levné. Díky PI je možné reagovat na vývoj trhu poměrně rychle a s vynaložením minimálních nákladů. Na uvedeném obrázku 1 jsou vidět různé možnosti řešení, které mají sice stejný efekt, ale vyžadují na vstupu různé požadavky.

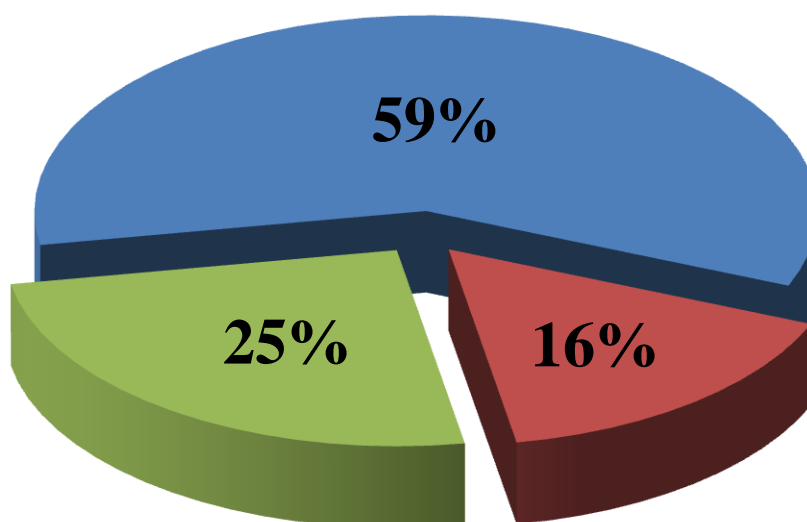


Obr. 1 Podstata průmyslového inženýrství [3].

1 PŘEDSTAVENÍ SPOLEČNOSTI

Skupina Bosch Group působí ve více jak 60 zemích po celém světě a vlastní více jak 350 dceřiných a regionálních společností. Mezi základní odvětví, ve kterých skupina podniká, patří automobilová a průmyslová technika, spotřební zboží a technika budov. Podíl jednotlivých odvětví na velikosti obrátu je vidět na obrázku 2. Automobilová technika zaměstnává více jak 168 000 lidí a je největší divizí skupiny. Od roku 2008 je nejsilněji rostoucí divizí průmyslová technika, a to především v oblastech automatizační a obalové techniky a fotovoltaiky. Poslední divizí je spotřební zboží a technické zařízení budov. Toto odvětví se zabývá tepelnou technikou, systémy zabezpečovací techniky, domácími spotřebiči a elektrickým nářadím [4].

■ Automobilová technika ■ Průmyslová technika ■ Spotřební zboží a technika budov



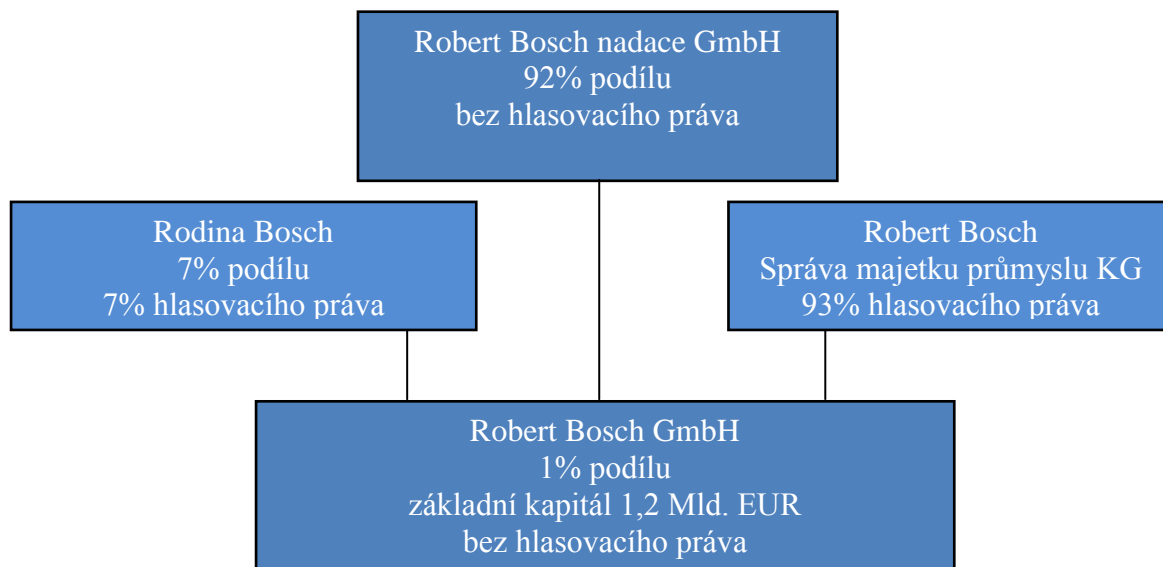
Obr. 2 Podíl jednotlivých odvětví divizí na obrátu [5].

1.1 Historie společnosti

Pramen [31] uvádí že, dílnu pro jemnou mechaniku a elektrotechniku založil Robert Bosch v roce 1886 ve Stuttgartu. V počátcích svého podnikání se zabýval především instalací telefonních zařízení a hlásičů stavu vody. Roku 1901, rok po svém vstupu do odvětví techniky motorových vozidel, založil ve Stuttgartu první závod. Druhou továrnu otevřel v roce 1910 ve Feuerbachu. Od roku 1906 měl své zastoupení i v USA, kde 1913 otevřel svůj další závod. V tu samou dobu se zvýšil podíl obrátu v zemích mimo Německo na 88% a podíl magnetického zapalování na světovém trhu na více jak 90%. I nadále se však zabýval inovacemi pro motorová vozidla (např.: baterie, reflektory, klakson, stěrače a vstřikování motorové nafty). Roku 1925 zavedl ve svých továrnách práce na montážních páslech. V následujících období byla vyvíjena snaha na snížení závislosti na automobilovém průmyslu, z čehož vzniklo první elektrické nářadí (1928) a chladnička Bosch (1933). V roce 1948 byl počet jeho zaměstnanců 10 000 a o deset let později již dokonce 40 000. Po roce 1959 začal vznikat globální technologický koncern, na jehož počátku bylo rozdělení společnosti do

různých obchodních oblastí (elektrického nářadí, balicí techniky, hydrauliky a pneumatiky, automatizace, automobilové techniky, atd.) [4, 5, 6, 12].

Důležitým milníkem bylo založení nadace Robert Bosch GmbH v roce 1964. Tato nadace se zabývá výhradně obecně prospěšnými cíly a to v oblastech vědy a výzkumu, zdraví a humanitární pomoci, vzdělávání a společnosti, kultuře. Založení nadace mělo vliv i na rozdělení rozhodovacích pravomocí ve společnosti. Struktura, procentuelní rozdělení hlasovacích práv a podílu ze zisku je vidět na obrázku 3 [5].



Obr. 3 Struktura vlastníků [5].

1.2 Firma Bosch v České republice

V České republice působí několik dceřiných společností skupiny Bosch. Každá z těchto poboček má jiný výrobní program.

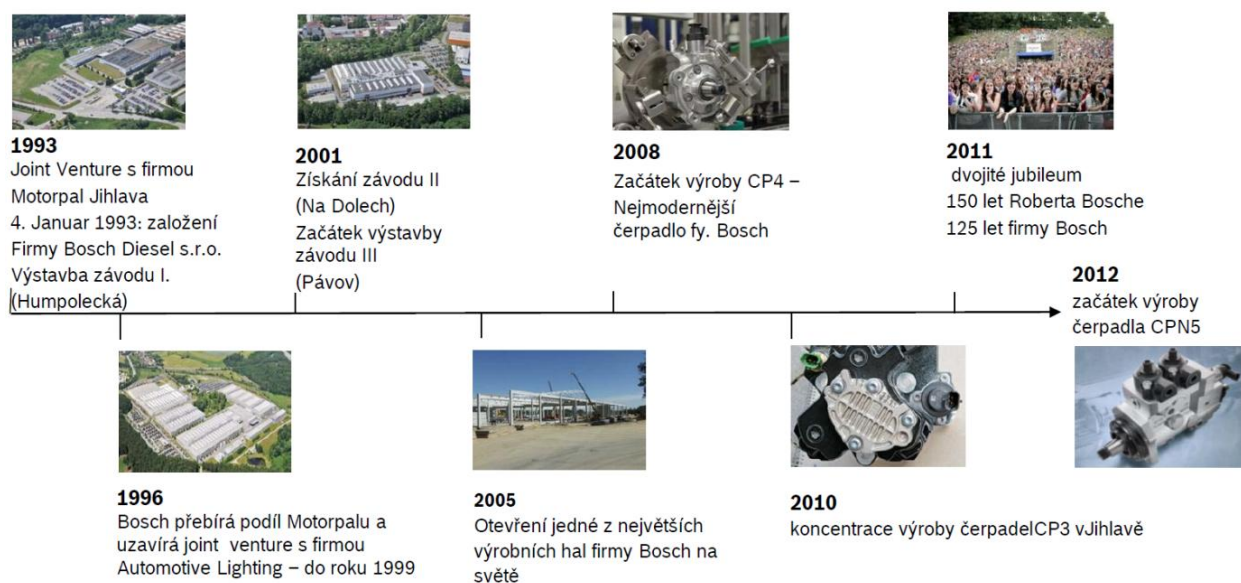
Závod Robert Bosch s.r.o. v Českých Budějovicích, který má 2300 zaměstnanců, vyrábí komponenty pro automobilovou techniku. Jedná se o nádržové čerpadlové moduly, rozvaděče paliva/zpětné vedení paliva, plynové pedály, sací moduly, multifunkční pohony, škrtecí klapky, víka hlav válců a moduly pro redukci NOx. Tato společnost s výzkumným a vývojovým oddělením a dlouhodobou zkušebnou je vedoucím závodem pro benzínovou divizi [6]. Díky pozitivnímu vývoji trhu s benzínovými motory a široké škále výrobků mohla firma investovat v roce 2011 do výstavby nové výrobní haly. Podnik je držitelem certifikátu ISO 9001, ISO 14001 a opakovaně je vyhlášován zaměstnavatelem regionu v Jihočeském kraji [6].

Bosch Rexroth s.r.o., sídlící v Brně, se zabývá výrobou pohonů pro tvářecí stroje, hydraulických agregátů a komplexních strojů pro přesné strojírenství. V současné době je zde zaměstnáno 200 lidí, kteří pracují na 4000 m² výrobní plochy. Součástí brněnské společnosti jsou i oddělení konstrukce, prodeje a servisu [6].

Dalším závodem na území České republiky je Bosch Termotechnika s.r.o. v Krnově. Tento závod je odštěpný, jelikož hlavní vedení Bosch Termotechnika sídlí v Praze, ale vedení v Krnově má též určité rozhodovací pravomoci. V Krnově se vyrábí kotle na tuhá paliva, plynové kotle, elektrokotle a jejich příslušenství [6].

1.3 Bosch Diesel, s.r.o.

Jak uvádí výroční zpráva společnosti za rok 2011, je plným vlastníkem firmy Bosch Diesel, s.r.o. v Holandsku zapsaná společnost Robert Bosch Investment Nederland B. V. Německá společnost Robert Bosch GmbH je mateřskou společností celé skupiny [7]. Bosch Diesel, s.r.o. slaví v roce 2013 20 let od svého vzniku. Za tuto dobu společnost prošla poměrně velkým vývojem, který je popsán na obrázku 4 [8]. V jihlavském závodě se vyrábí komponenty pro Common rail systémy pro dieselové motory. Mezi nejvýznamnější zákazníky patří AUDI, BMW, VW, OPEL, VOLVO, TOYOTA, PSA, FIAT, CUMMINS a další [8].



Obr. 4 Vývoj společnosti [8].

Společnost je držitelem certifikátu managementu jakosti ISO 9001:2008, Systému environmentálního managementu a bezpečnosti práce ISO 14001:2004/OHSAS 18001:2007, dále ČSN ISO/TS 16949:2009 Systémy managementu kvality – Zvláštní požadavky na používání ISO 9001:2008. Podnik se opakovaně stal „Investorem roku“ v kraji Vysočina, „Exportérem roku“ v kraji Vysočina a „Zaměstnavatelem regionu“. Největším úspěchem je však obdržení titulu „Excelentní firma“, který získal vítězstvím v soutěži Národní cena kvality ČR. Ve své kategorii firma obdržela největší počet bodů, jaký byl kdy udělen od roku 1995 [4].

Členění společnosti uvedené ve výroční zprávě [7]:

- oddělení kvality
- oddělení sériové opravy
- oddělení výroby CP1H a CP4
- oddělení výroby čerpadel CP3
- oddělení výroby RAIL a DRV
- oddělení údržby, správy dokumentace
- oddělení vývoje
- oddělení výrobního systému Bosch
- oddělení informačních technologií
- oddělení personální
- oddělení nákupu
- oddělení logistiky
- oddělení controllingu a financí
- oddělení správy budov
- oddělení procesu zlepšování, komunikace
- oddělení dlouhodobých zkoušek
- oddělení ochrany životního prostředí a BP
- oddělení administrativy

1.3.1 Ekonomická situace podniku

Společnost Bosch Diesel s.r.o. vydává každoročně výroční zprávu. Tato výroční zpráva je rozšířená verze zákonem požadované účetní závěrky a můžeme v ní najít velkou podobnost s účetními závěrkami sestavovanými dle Mezinárodních účetních standardů. Společnost Bosch má dle zákona o účetnictví povinnosti auditu, její výroční zpráva tedy obsahuje i vyjádření auditora. Výroční zpráva je dostupná v elektronické verzi na webových stránkách Obchodního rejstříku [9].

Úlohou výroční zprávy je [9]:

- představit společnost,
- informovat stávající i potenciální akcionáře o hospodářských výsledcích společnosti,
- naplňovat zákonné požadavky,
- informovat o budoucí strategii společnosti.

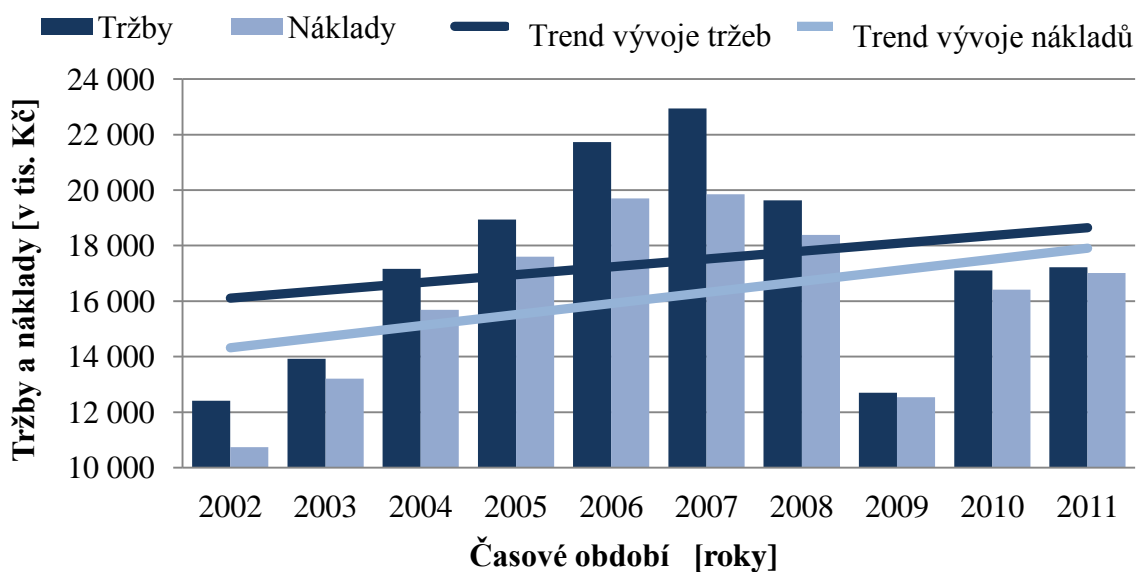
Výroční zpráva je určena [9]:

- stávajícím akcionářům,
- potenciálním investorům,
- financujícím bankám,
- orgánům státní správy,
- finančním analytikům,
- potenciálním partnerům.

Pro jednoduchý rozbor, jak si firma ekonomicky vedla v uplynulých deseti letech, bylo využito dostupnosti výročních zpráv společnosti. Jako názorné ukazatele byly zvoleny tržby, náklady, zisk a počet zaměstnanců. Tyto ukazatele vypovídají o tom, jak se společnost vypořádala se situací na trhu a jaký to na ni mělo vliv.

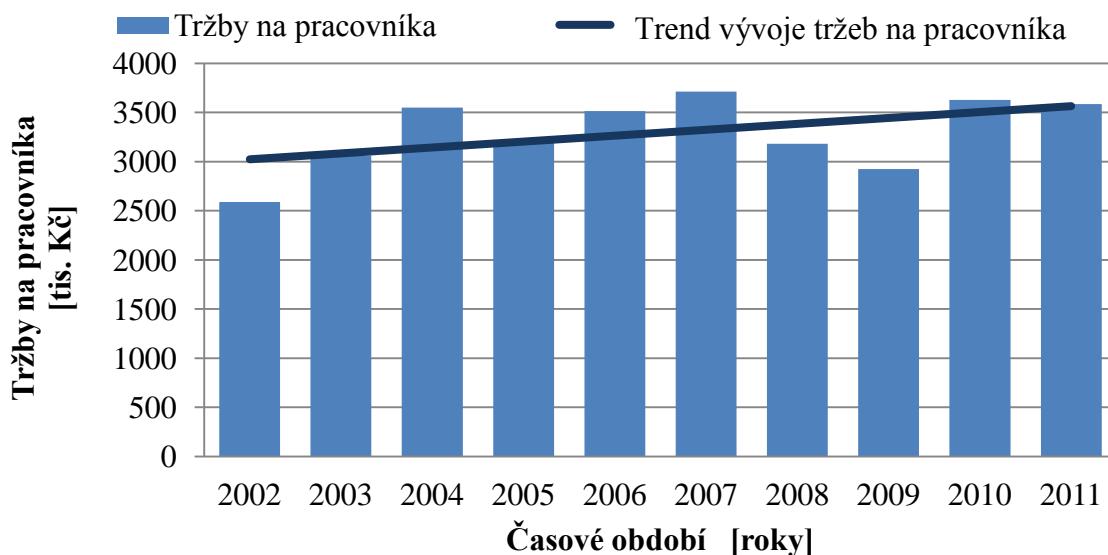
Tab. 1 Data z výročních zpráv za období 2002 - 2011 [7].

Rok	Tržby (v tis. Kč)	Náklady (v tis. Kč)	Zisk (v tis. Kč)	Počet zaměstnanců
2002	12 407 867	10 734 7236	1 673 144	4 793
2003	13 923 699	13 202 148	721 551	4 547
2004	17 161 869	15 687 921	1 473 778	4 834
2005	18 937 132	17 600 525	1 336 607	5 916
2006	21 727 510	19 702 108	2 025 402	6 185
2007	22 947 019	19 854 253	3 092 766	6 182
2008	19 631 250	18 382 194	1 249 056	6 173
2009	12 693 128	12 542 816	150 312	4 343
2010	17 108 932	16 410 292	698 640	4 718
2011	17 218 728	17 013 270	205 458	4 803



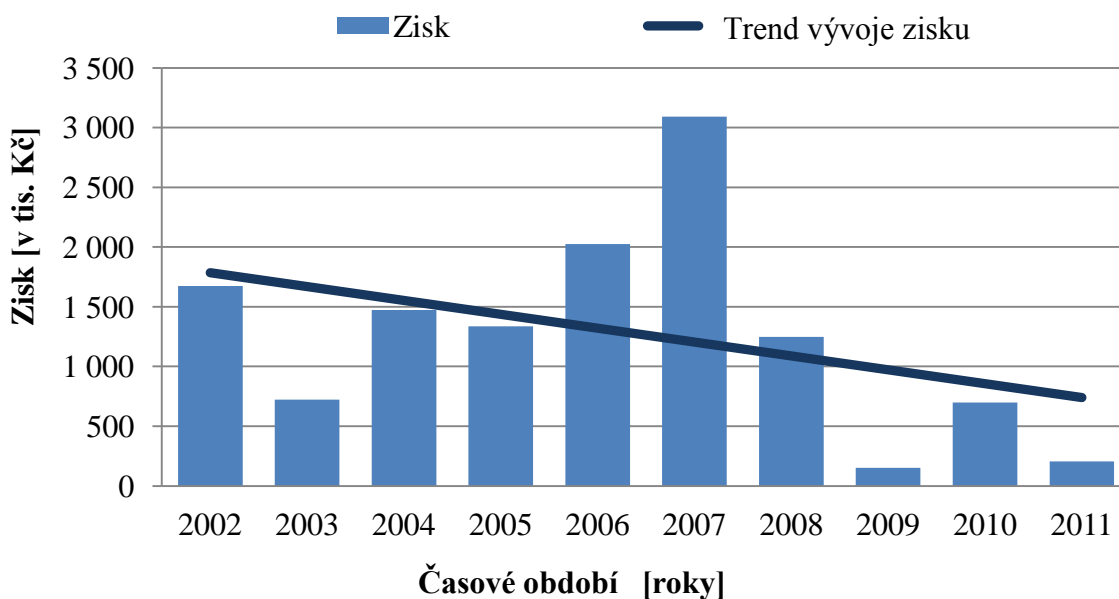
Obr. 5 Vývoj tržeb a nákladů v letech 2002 - 2011 [7].

Jak je vidět z výše uvedeného obrázku 5 je trend tržeb i nákladů za posledních 10 let rostoucí. Trend nákladů roste rychleji než trend tržeb, z čehož vyplývá, že zisk klesá, ale v žádném případě není záporný. Od roku 2002 tržby rostou rychlým tempem, až do roku 2007, kdy dosáhnou svého maxima. Propad objemu tržeb v roce 2008 a 2009 je způsoben dopady finanční krize. V následujících letech 2010 a 2011 se objem tržeb opět zvýšil, avšak pouze na úroveň roku 2004.



Obr. 6 Vývoj tržeb na pracovníka v letech 2002 až 2011 [7].

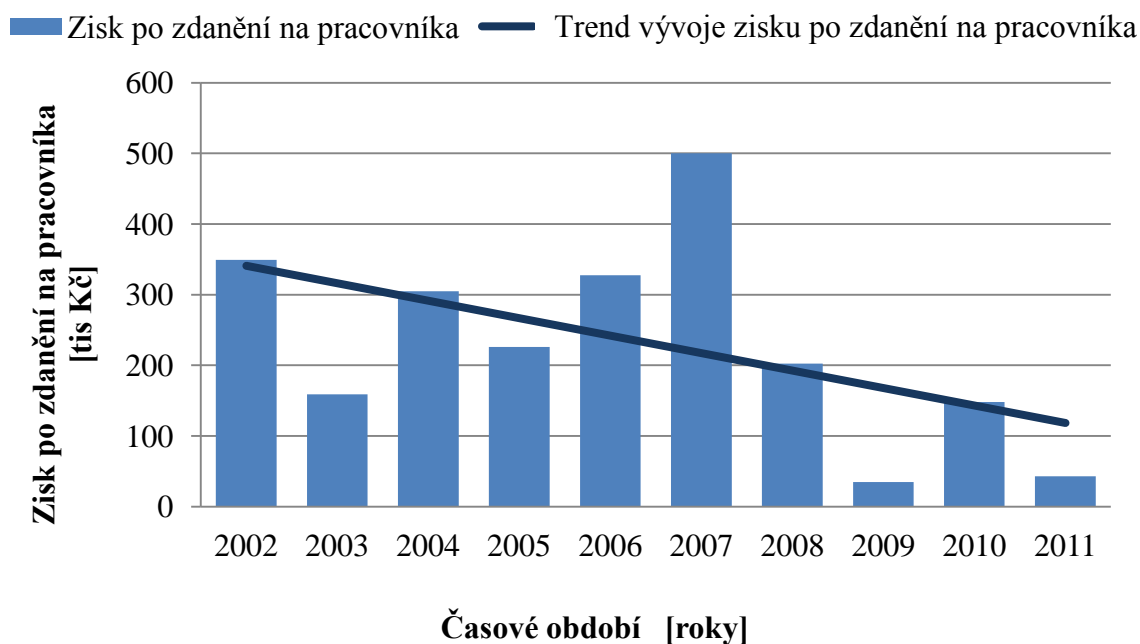
Dalším ukazatelem produktivity může být poměr tržeb a počtu pracovníků. Jak je z obrázku 6 vidět, tento trend je ve společnosti rostoucí, tzn., že vzhledem ke snížení tržeb v průběhu let 2008 a 2009 muselo dojít i k redukci počtu zaměstnanců. Tento ukazatel může být ovšem zkreslen najímáním tzv. agenturních pracovníků.



Obr. 7 Vývoj zisku v období let 2002 - 2011 [7].

Zisk má za sledované období klesající trend (viz. obr. 7), jak již bylo konstatováno z vývoje tržeb a nákladů. Maximálního zisku společnost dosáhla v 2007. V roce 2009 dosahuje zisk svého minima, což je důsledek finanční krize.

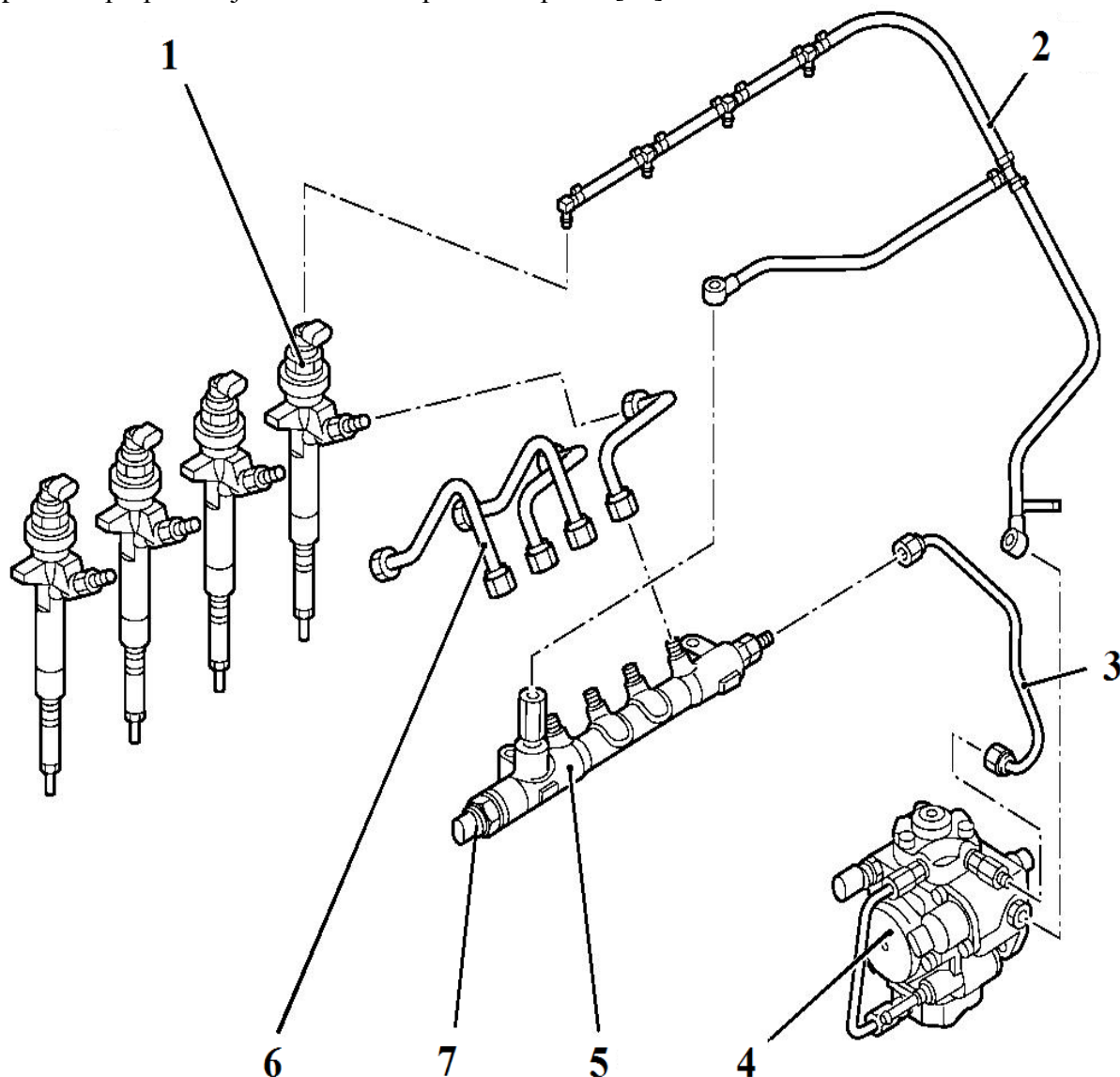
Dalším možným ukazatelem produktivity je zisk na jednoho pracovníka. Z obrázku 8 je zřejmé, že křivka trendu vývoje zisku po zdanění na pracovníka má přibližně stejný sklon jako křivka zisku. Lze tedy konstatovat, že výkonnost firmy klesá.



Obr. 8 Vývoj zisků po zdanění na pracovníka v letech 2002 až 2011 [7].

1.3.2 Výrobní program

Jak již bylo v předchozí kapitole uvedeno, společnost se zabývá výrobou komponent pro systém Common rail pro diesellové motory. Tento systém, uveden na obrázku 9, se skládá z vysokotlakého čerpadla (4), které dopravuje palivo vysokotlakým potrubím (3) do vysokotlakového zásobníku (5). Zde se pomocí tlakového regulačního ventilu (7) udržuje stálý tlak. Z vysokotlakého zásobníku je palivo vedeno opět vysokotlakým potrubím (6) do injektoru (1), který následně vstříkne palivo do válce motoru. Potrubím (2) je odváděno palivo z přepadu injektoru a railu zpět do čerpadla [11].



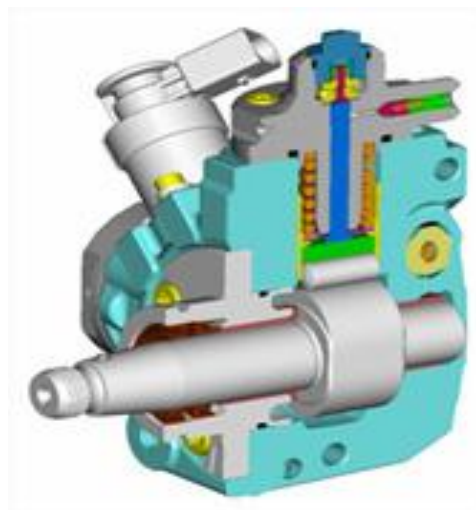
Obr. 9 Systém Common rail [11].

Dle literatury [24] je výhodou Common rail systému, že snižuje hlučnost a spotřebu paliva, což při současných cenách pohonných hmot snižuje náklady na provoz automobilu. Výhodou je též vyšší výkon motoru i točivý moment. Dalším přínosem je snížení emisí, proto motory s tímto systémem splňují přísnější emisní normy. Díky tomu se výrobcům těchto systémů otevírají možnosti na nových trzích [24].

1.3.3 Produkty

Vysokotlaké čerpadlo CP4

Čerpadlo CP4 je nejmladší produkt vyráběný v jihlavském závodě. Výroba je realizována na závodě 3. Zde je prováděno třískové obrábění těles, přírub a drobných dílců. Jsou zde i provozy pro předmontáž komponent, odkud jdou dílce rovnou do montáže. Po skončení montážního procesu se provede funkční zkouška a čerpadlo je posláno do skladu, kde ho zabalí a vyexpedují k zákazníkovi.



Obr. 10 Čerpadlo CP4 [11, 12].

Vysokotlaké čerpadlo CP3

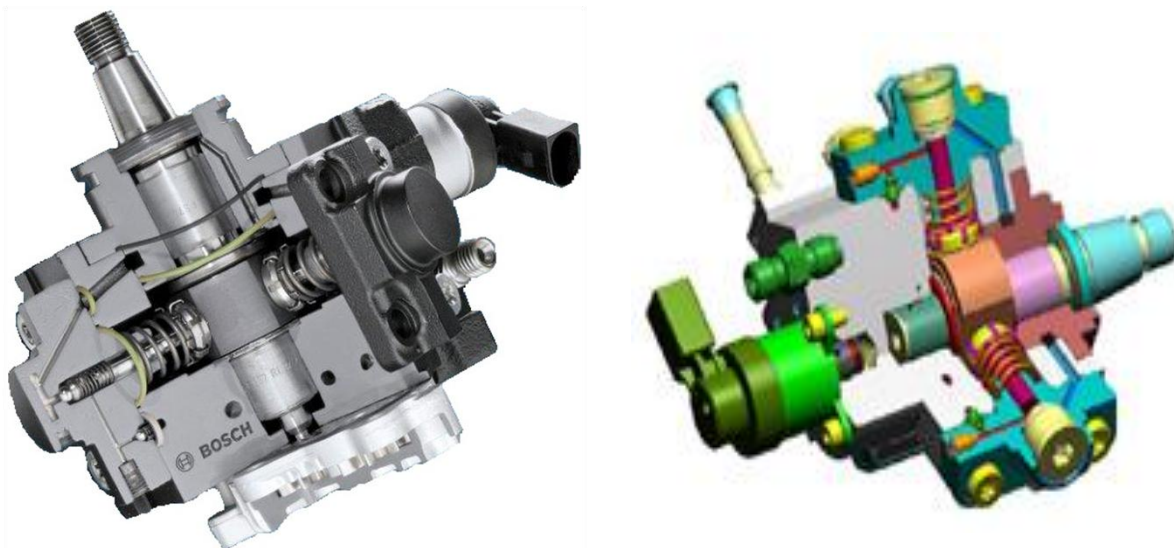
Tento typ čerpadla se na celkové produkci jihlavské společnosti podílí více jak 50%. Tělesa jsou obráběna na transferové lince, která je umístěna na hale 301 jihlavského závodu 3. Zároveň se zde obrábí i drobné dílce, jako je vačková hřídel, vysokotlaká hlava a pouzdro s tvarem polygonu. Montáž čerpadla probíhá na stejné hale jako obráběcí procesy a po jejich dokončení je opět vykonána funkční zkouška. Stejně jako u předchozího typu dochází k odeslání do skladu, zabalení a vyexpedování.



Obr. 11 Čerpadlo CP3 [11, 12].

Vysokotlaké čerpadlo CP1H

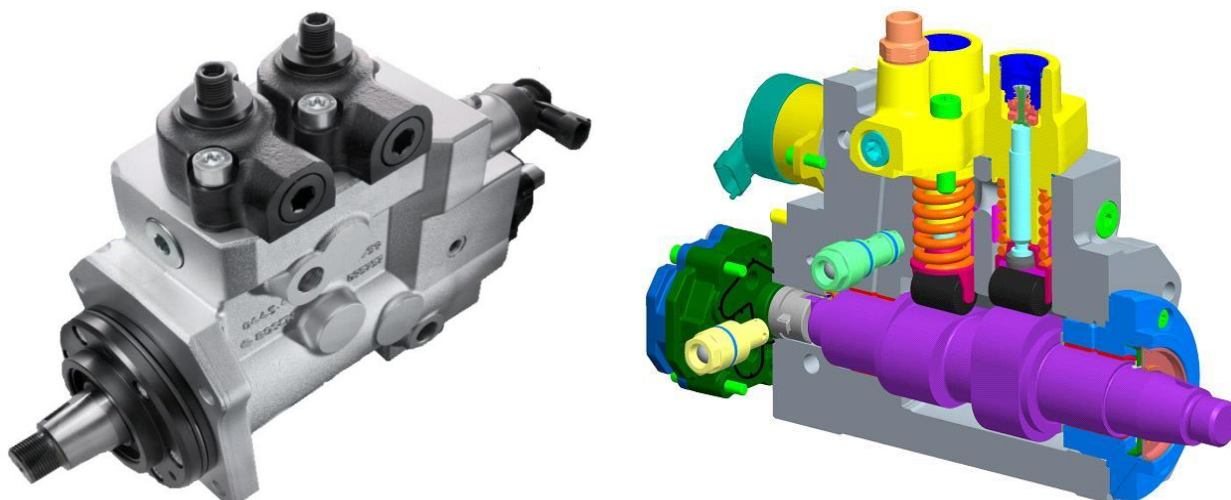
Průběh výroby čerpadla CP1H je stejný jako u CP3, ovšem v daleko menším objemu produkce. Na konci roku 2013 navíc dojde k přemístění výroby tohoto typu čerpadla do závodu v Německu.



Obr. 12 Čerpadlo CP1H [11, 12].

Vysokotlaké čerpadlo CPN5

Čerpadlo CPN5 se používá u velkých užitkových vozů. V jihlavské společnosti se provádí pouze jeho montáž, a to na dvou montážních linkách. Díly jsou dodávány od dceřiných společností z celé Evropy. Po skončení montážního procesu se provede funkční zkouška. Balení a expedice se provádí ve skladu. Do budoucna se uvažuje, že by se do jihlavského závodu přesunula výroba těles a některých drobných dílců.



Obr. 13 Čerpadlo CPN5 [12].

Vysokotlaký zásobník RAIL

Vysokotlaký zásobník je zařazen v systému Common rail mezi čerpadlem a vstříkovači. Jeho účelem je udržet stálý tlak paliva. Na závodě 2 se vyrábí dva druhy railu a to kovaný (viz. obr. 14) a svařovaný (viz. obr. 15). U kovaného zásobníku se provede obrábění, montáž a funkční zkouška. U svařovaného railu se nejprve obrobí tělo railu, na které se následně laserovým svařováním přivaří vysokotlaké vývody, nízkotlaké vývody a držáky pro uchycení na motor. Teprve poté jde rail do montážního procesu a na zkoušku funkčnosti. Poté je postup stejný jako u všech vyráběných produktů, tedy odvedení výrobků do skladu k zabalení a expedici.



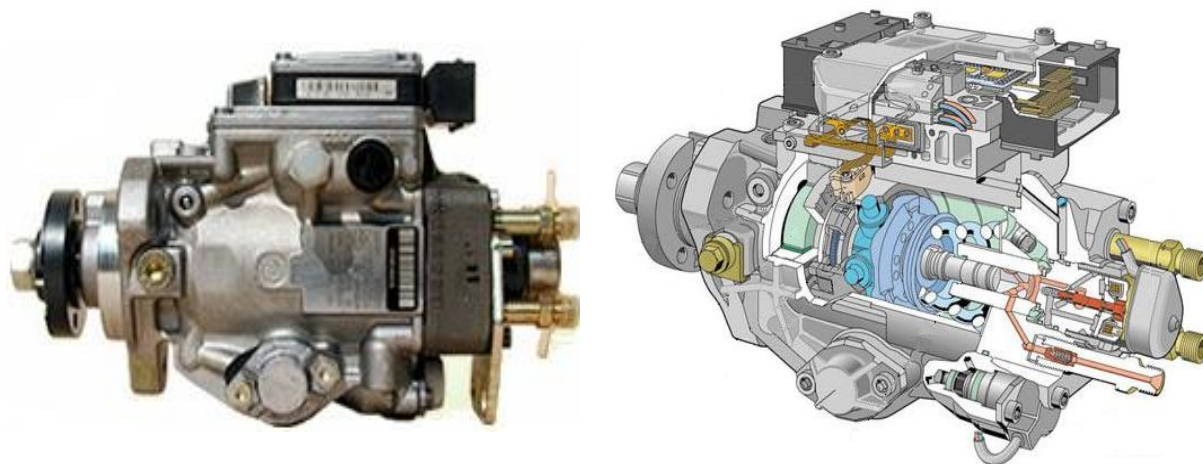
Obr. 14 Kovaný RAIL [11, 12].



Obr. 15 Svařovaný RAIL [11, 12].

Čerpadlo VP30

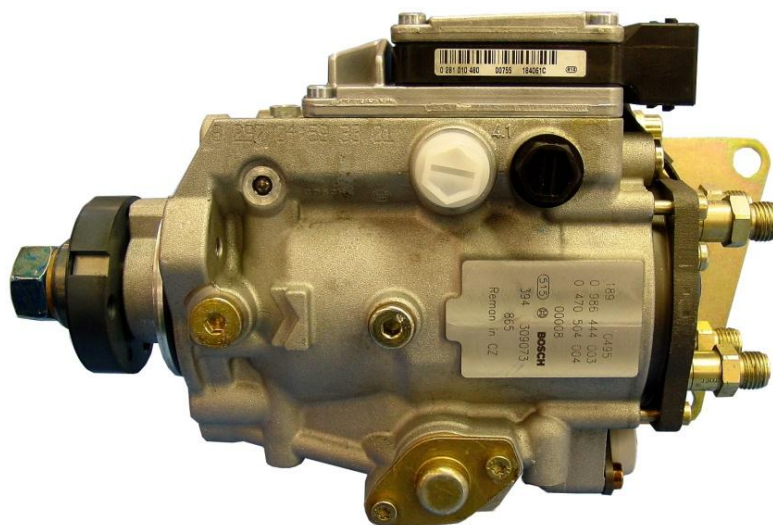
Toto čerpadlo se na závodě 1 produkuje ve dvou variantách, a to jako úplně nové nebo repasované. Pro novou pumpu se zde obrábí tělesa, avšak ostatní díly se dováží od dceřiných společností v Německu a Brazílii. U repasovaných čerpadel se pumpa nejdříve demontuje. Následně se díly roztřídí na použitelné, z kterých se sestaví repasované čerpadlo, a na nepoužitelné, které se likvidují jako šrot. Po montáži se čerpadlo seřídí na stanici a poté je přemístěno do skladu k balení a expedici.



Obr. 16 Čerpadlo VP30 [12].

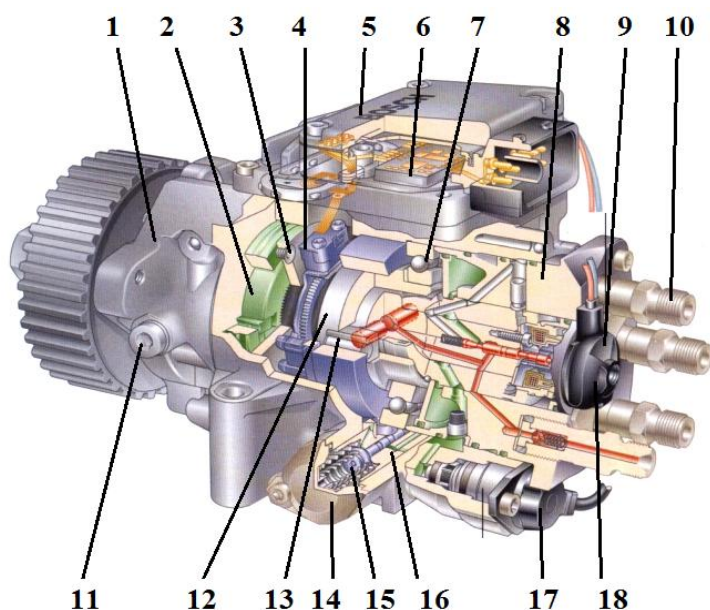
Čerpadlo VP44

U tohoto typu pumpy bude proveden podrobnější rozbor. Důvodem je, že na montážní lince čerpadel VP44 bude zpracován zadaný projekt. Čerpadlo VP44 je zařazeno do programu EXCHANGE. Jeho podstatou je možnost nabídnout zákazníkovi v servisu výměnu vadné palivové pumpy za repasovanou, která je výrazně levnější než z prvovýroby, avšak výrobce zaručuje stejnou dobou záruky jako u nové (12). Průběh výroby je stejný jako u čerpadla typu VP30.



Obr. 17 Čerpadlo VP44 [12].

Dílece čerpadla



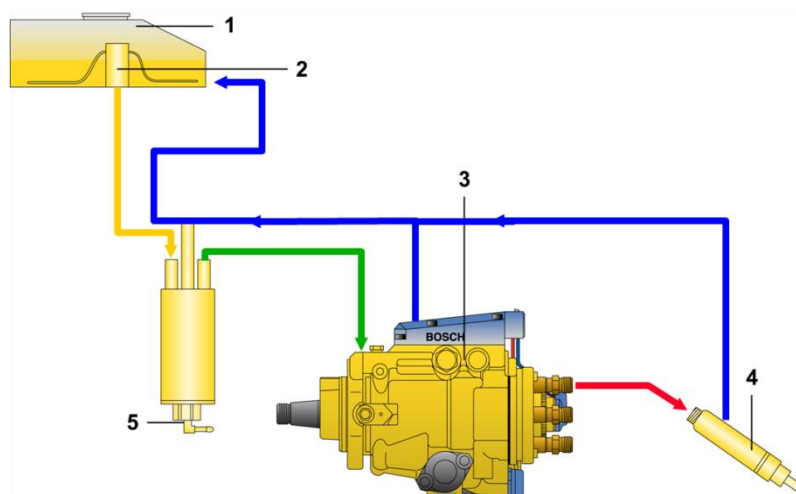
- 1 těleso
- 2 dopravní čerpadlo
- 3 přítlačná příruba
- 4 snímač natočení hřídele
- 5 kryt řídicí jednotky
- 6 řídicí jednotka
- 7 ložisko
- 8 rozdělovací hlava
- 9 ventil pro nastavení tlaku
- 10 hrdlo
- 11 blokovací šroub
- 12 hřídel
- 13 váleček s klecí
- 14 kryt pístu
- 15 přesuvník pístu
- 16 píst
- 17 elektromagnetický ventil 1
- 18 elektromagnetický ventil 2

Obr. 18 Čerpadlo VP44 [12].

Funkce čerpadla VP44

Po připojení hřídele (12) na náhon a jejím roztočení dojde k souběžnému otáčení křídlového čerpadla (2) a pístu rozdělovací hlavy. Křídlové čerpadlo naplní vnitřní prostor pumpy palivem, které je pístem v rozdělovací hlavě (8) vedeno do jednotlivých vysokotlakých hrdel (4). Množství paliva procházejícího hrdly je regulováno zdvihem jehly, který je řízen elektromagnetickým ventilem (18). Ten přijímá signál z řídicí jednotky čerpadla (6). Píst přesuvníku vstřiku je řízen elektromagnetickým ventilem (17). Snímač natočení hřídele (4) slouží pro správné načasování vstřiku [12].

Jak je vidět na obrázku 19, pumpa VP44 se používá u některých typů vozidel jako předřadné palivové čerpadlo [12].



- 1 Palivová nádrž,
- 2 palivové čerpadlo,
- 3 rotační čerpadlo VP44,
- 4 vstřikovač,
- 5 palivový filtr.

Obr. 19 Použití rotačního čerpadla VP44 [12].

2 ROZBOR PROBLEMATIKY

Aby bylo možné navrhnout možná zlepšení pro snížení výrobního taktu, je nutné nejprve provést rozbor vybraného provozu. Důležitými aspekty k řešení jsou konstrukční provedení linky, použité technologie, ergonomie pracoviště, zásobování materiálem, norma spotřeby času, obsazení pracovišť, definování přechodů mezi jednotlivými pracovišti, stupeň využití strojů a pracovníků.

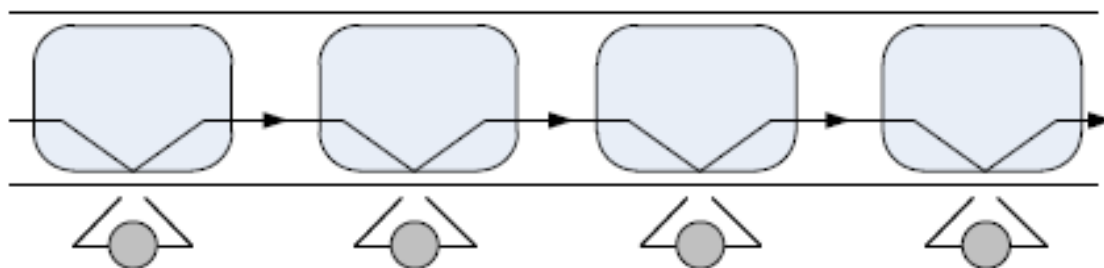
2.1 Montážní linka

Montážní linka je podle literatury [13] soubor montážních stanovišť rozestavených dle výrobního postupu. Jednotlivá pracoviště jsou spojena transportními drahami. Cílem montážní linky je realizovat potřebné činnosti pro montáž kompletního produktu nebo jeho části. Lze je dělit dle [14]:

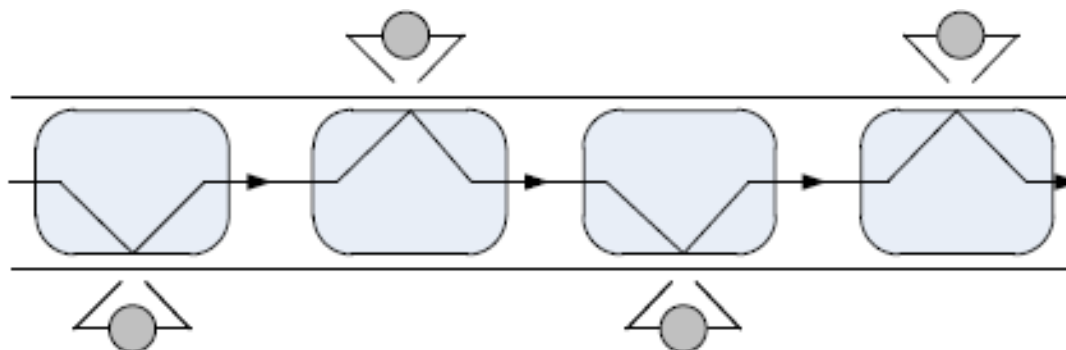
- **využití mechanizace a zapojení člověka do montáže na:**
 - ruční linky,
 - poloautomatizované linky,
 - automatizované linky;
- **způsobu pohybu montovaného výrobku na:**
 - stacionární linky,
 - linky s pohybujícím se výrobkem, kde:
 - výrobek se pohybuje až po ukončení operace,
 - výrobek se pohybuje soustavně;
- **způsob provádění montážních operací na:**
 - přímo na dopravníku,
 - mimo dopravník;
- **způsobu prostorového uspořádání na:**
 - jednoduché linky,
 - rozvětvené linky;
- **počet montovaných druhů na lince na:**
 - jednopředmětné linky,
 - víceřadové linky;
- **vzájemné synchronizace operace na:**
 - synchronizované linky,
 - nesynchronizované linky;
- **montážního taktu na:**
 - linky s pevným montážním taktům,
 - linky s volným montážním taktům.

Pramen [13] uvádí další možné dělení jednoduchých a rozvětvených montážních linek dle:

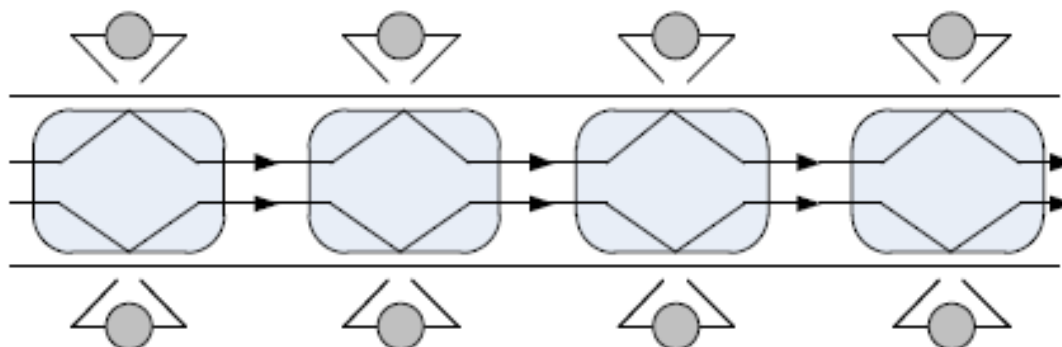
- **obsazení stran montážní linky na:**
 - jednostranné linky,
 - oboustranné linky;
- **směru pohybu linky na:**
 - jednosměrné,
 - obousměrné;
- **postavení pracovišť k lince na:**
 - boční postavení,
 - čelní postavení.



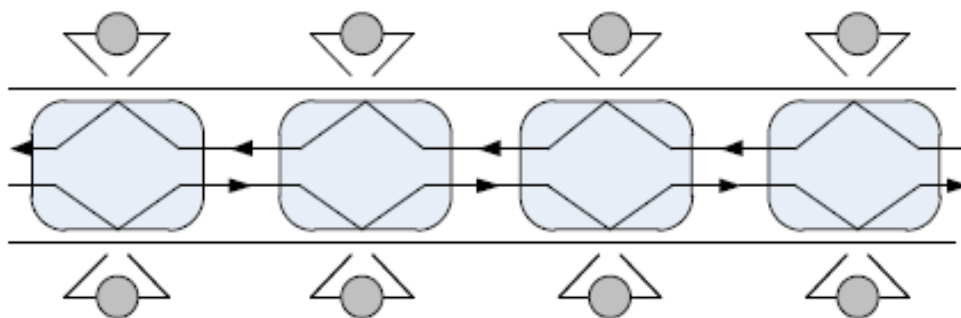
Obr. 20 Jednostranná jednosměrná montážní linka [13].



Obr. 21 Oboustranná jednosměrná montážní linka [13].

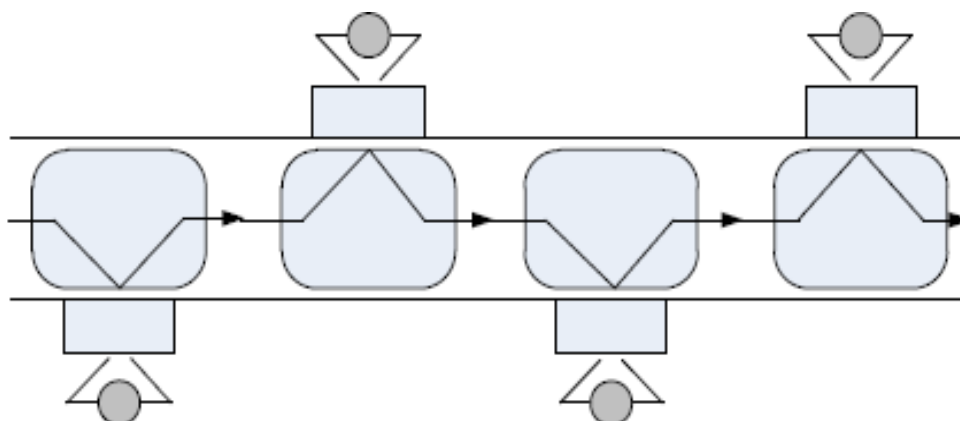


Obr. 22 Oboustranná jednosměrná montážní linka [13].



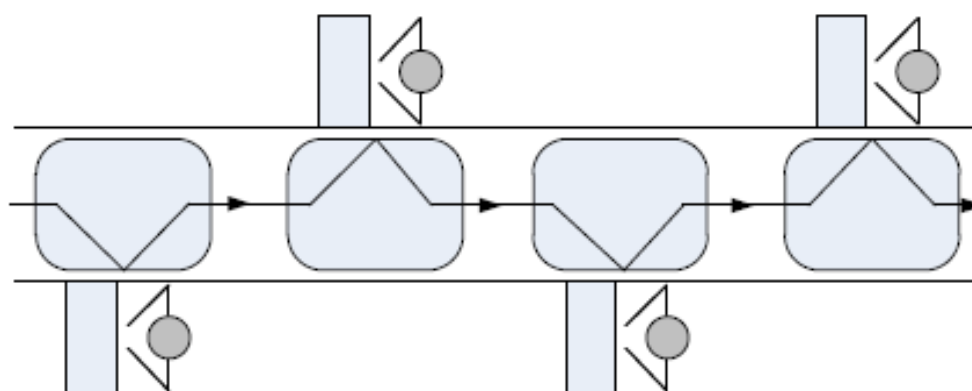
Obr. 23 Oboustranná obousměrná montážní linka [13].

U montážní linky s čelním postavením je výhodou nižší požadavek na plochu, kratší dráhy dopravníků, možnost manipulace s výrobkem oběma rukama [13]. Mezi nevýhody patří možnost použít pouze malé přípravky, a navíc u jednostranné linky si můžou pracovníci vzájemně překážet [14].



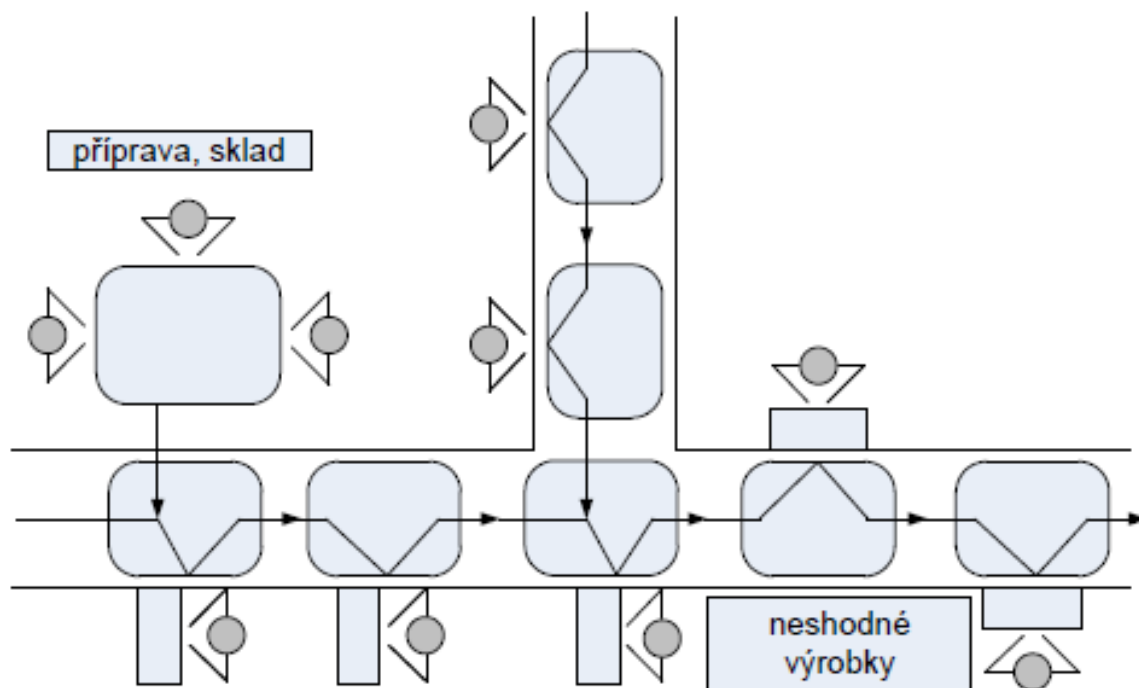
Obr. 24 Montážní linka s čelním postavením pracovišť [13].

Uspořádání linky s bočním postavením pracovišť umožňuje používat stroje, větší přípravky a u oboustranného obsazení linky lze uspořít výrobní plochu [14]. Nevýhodou je u jednostranného obsazení větší požadavek na plochu, přemísťování produktu jednou končetinou [14].



Obr. 25 Montážní linka s bočním postavením pracovišť [13].

Pro rozvětvenou montáž je typické větší množství ramen linky, které se po určité vzdálenosti setkají v uzlu nebo se z určitého bodu rozvětví. Nevýhodou rozvětvených montážních linek je větší požadavek na výrobní plochy a umístění v prostoru. V neprospěch také vyznívá nízká flexibilita při změně typu výroby. Užívají se pouze pro hromadnou výrobu [13].



Obr. 26 Rozvětvená montážní linka [13].

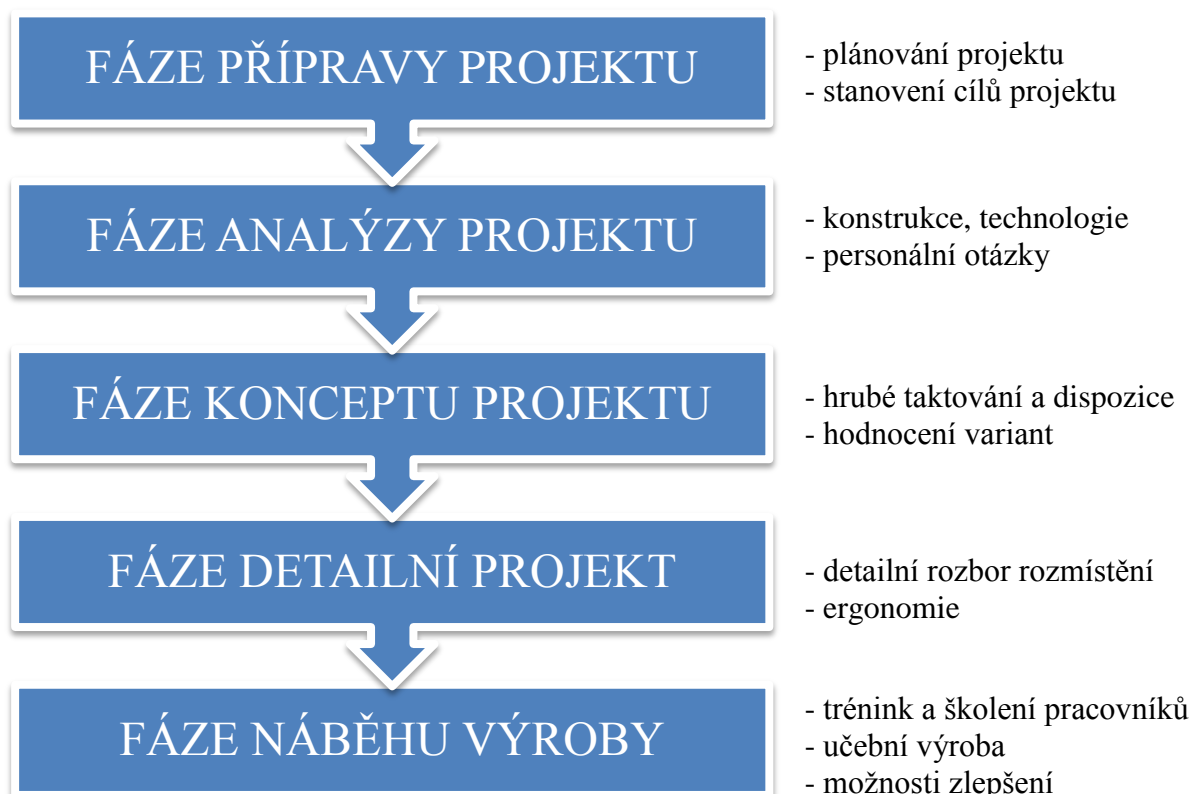
2.1.1 Štíhlá montážní linka

Štíhlé uspořádání montážní linky je metoda používaná k prosazení principů průmyslového inženýrství. Využíváme ji při plánování nového uspořádání částečně automatizovaných výrobních systémů [12]. Na obrázku 27 je znázorněno pět fází projektu, které uvádí pramen [15] jako hlavní pro úspěšnou optimalizaci výrobního zařízení. Cíle, kterých chceme dosáhnout tvorbou štíhlé montážní linky, jsou [12]:

- zvýšení produktivity,
- odstranění plýtvání:
 - snížení manipulace,
 - zásob,
 - potřeba plochy;
- přizpůsobení počtu pracovníků zákaznickému taktu,
- tok jednoho dílce,
- krátké průběžné doby výroby,
- nízké investice spojené se změnou uspořádání.

Jak ukazuje obrázek 27, v první fázi projektu je důležité stanovit si cíle, kterých chceme dosáhnout. Ve druhé fázi se provádí analýza vstupních dat, definuje se současný stav řešení, dělá se rozbor technologií a konstrukčních možností výrobního zařízení. Třetí fázi jsou kapacitní propočty, stanovení činností a jejich přerozdělení mezi operátory. Ergonomie je

obor, který se zabývá přizpůsobením pracovišť, aby fyzické zatížení člověka bylo co nejmenší. Ergonomie je čtvrtou fází projektu spolu s detailním rozбором dispozičního rozmístění pracovišť, pomocí kterého můžeme definovat cesty pracovníků. Poslední fází je uvedení projektu do praxe, proškolení personálu a vyhodnocení sledovaných cílových ukazatelů projektu.



Obr. 27 Postup při optimalizaci výrobní linky [15].

2.1.2 Průběžná doba montáže

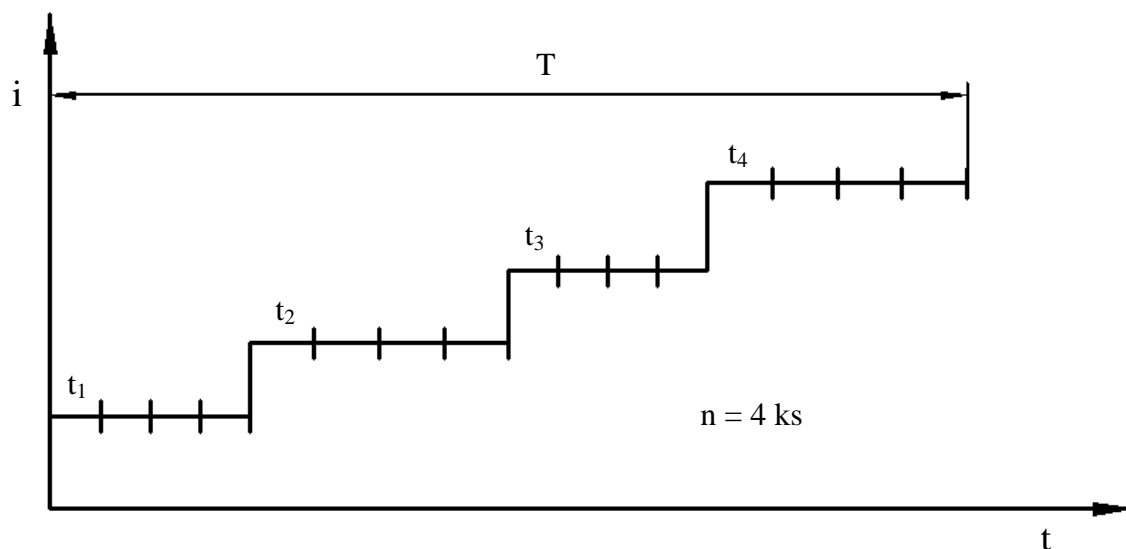
Průběžná doba linky vyjadřuje čas, za který výrobek projde montážním procesem. Hlavními parametry, na kterých je závislá průběžná doba montáže, jsou velikost výrobní dávky a délka jednotlivým montážních operací. Literatura [14] uvádí tři možné způsoby montáže, konkrétně postupnou, souběžnou a kombinovanou.

Postupná montáž

U postupné montáže se na stanovené dávce kusů n udělá i -tá operace. Po jejím ukončení se dávka předá na $i+1$ pracoviště k vykonání další operace. Tento postup se opakuje až po k -tou operaci potřebnou k montáži výrobku [14]. Postup montáže je zobrazen na obrázku 28. Čas průběžné doby u postupné montáže je dán vztahem:

$$T_{PM} = n \cdot \sum_{i=1}^k t_i, \quad (1)$$

kde n je počet kusů v dávce [-] a t_i čas i -té operace v [s].



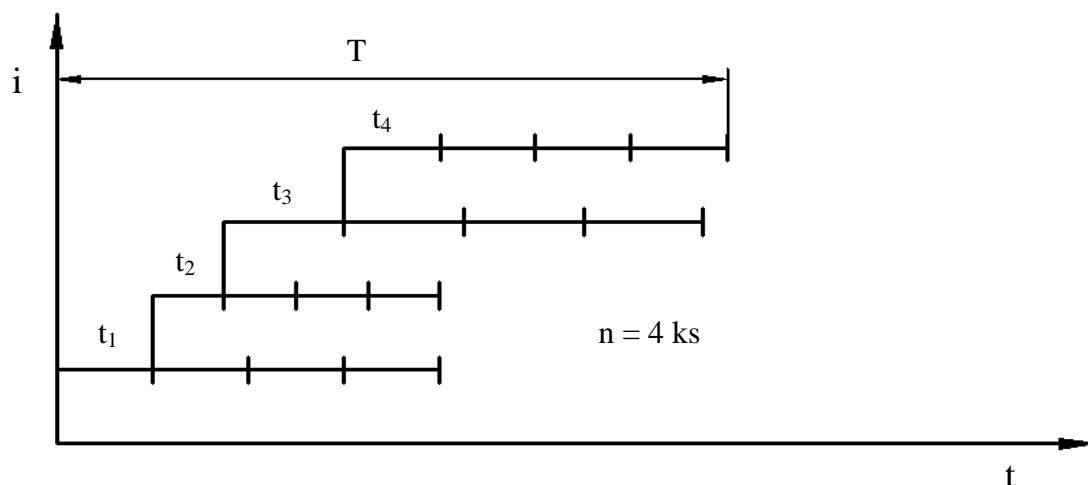
Obr. 28 Průběžná doba postupné montáže [14].

Souběžná montáž

Dle zdroje [14] je principem souběžné montáže, že na výrobku se vykoná první operace a po jejím skončení se výrobek okamžitě předá na $i+1$ operaci. Tento postup se opakuje až po k -tou operaci potřebnou k montáži výrobku [14]. Celý postup je proveden na dávce n kusů. U tohoto typu montáže je důležité, aby čas každé operace byl zhruba identický. Princip je zobrazen na obrázku 29. Čas souběžné doby je definován jako:

$$T_{SM} = (n - 1) \cdot t_{max} + \sum_{i=1}^k t_i, \quad (2)$$

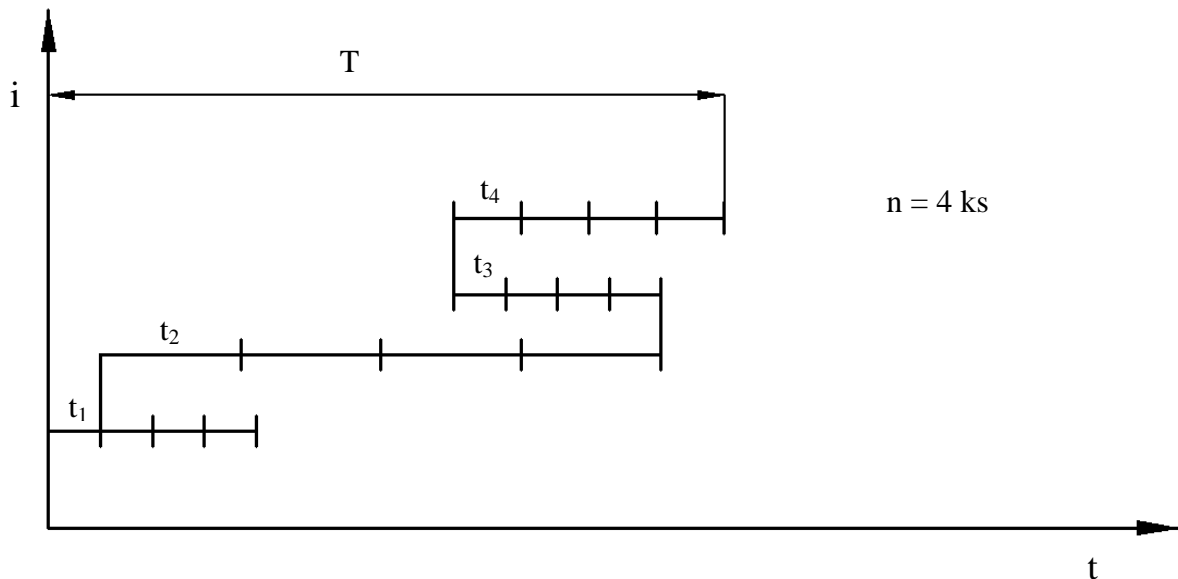
kde t_{max} je čas nejdelší operace v [s], n je počet kusů v dávce [-] a t_i čas i -té operace v [s].



Obr. 29 Průběžná doba souběžné montáže [14].

Kombinovaná montáž

Dle zdroje [14] kombinovaná montáž zajišťuje rovnoměrné využití pracovišť, s ohledem na hodnotu času operace t_i (zda je větší či menší než t_{i+1}), a zároveň kratší průběžné doby. Pokud je čas t_i menší než čas t_{i+1} , hromadí se na pracovišti výrobky a po provedení operace lze zaměstnance využít pro jinou práci [14]. Podstatu kombinované montáže lze vidět na obrázku 30.



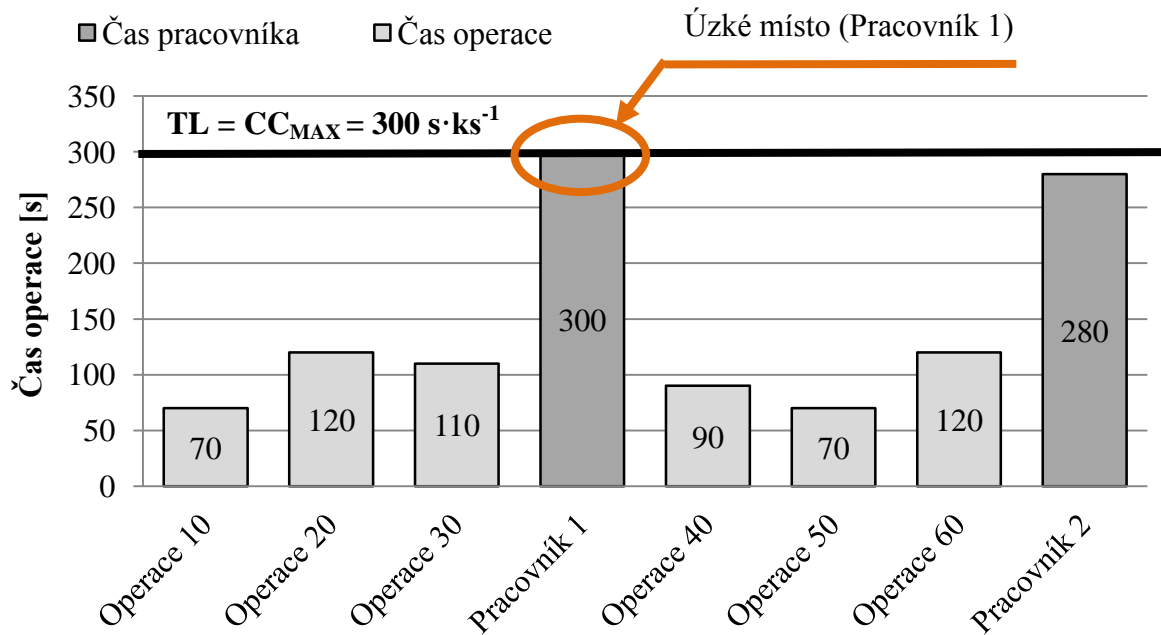
Obr. 30 Průběžná doba kombinované montáže [14].

2.1.3 Takt linky

Doba mezi dvěma výrobky, které linka vyprodukuje, se nazývá takt linky (dále jen “**TL**”). **TL** se mění v závislosti na počtu pracovníků. Jestliže je počet pracovníků vyšší, dochází ke snížení taktu, toto samozřejmě platí i naopak. Takt linky udává nejdelší normovaný čas cyklu pracovníka, který se nazývá úzké místo. Při změně počtu pracovníků se může úzké místo měnit v závislosti na velikosti normovaného cyklu pracovníka. Pro vizualizaci úzkého místa a **TL** se zhotovuje diagram taktu. Pro lepší pochopení tématu bude problematika popsána na konkrétním případě. Pro stanovení **TL** lze uvést:

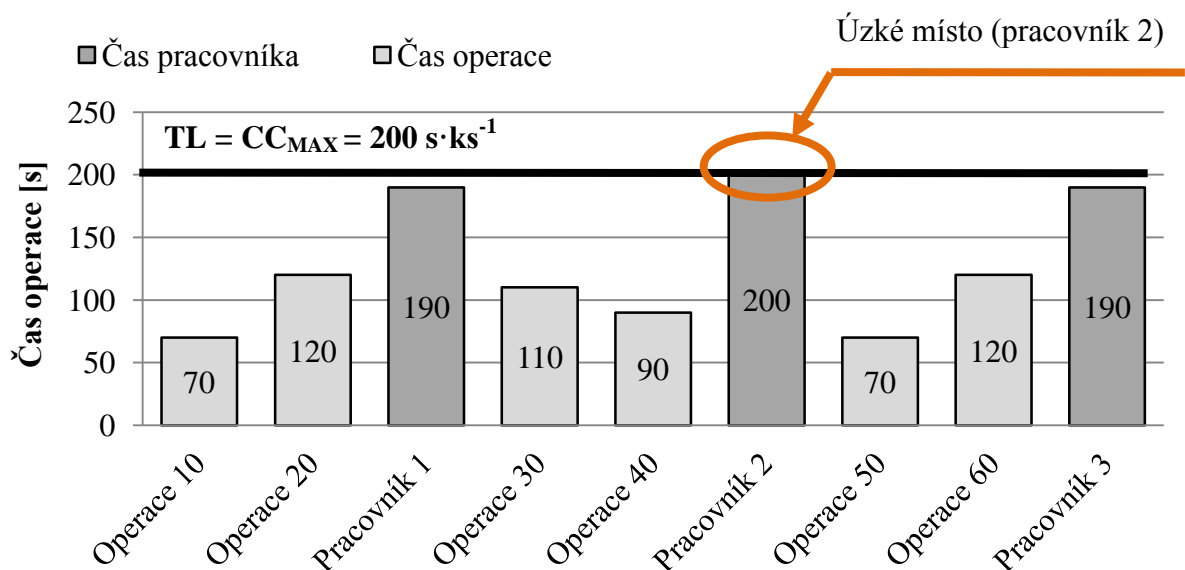
$$TL = CC_{MAX} , \quad (3)$$

kde **TL** je takt linky v [s] a CC_{MAX} je nejdelší čas cyklu pracovníka v [s].



Obr. 31 Příklad diagramu taktu pro dva pracovníky.

Na obrázku 31 je uveden příklad diagramu taktu s vyznačeným úzkým místem a TL. V tomto případě na lince pracují dva pracovníci a každý z nich vykonává tři operace. Časy operací lze získat například chronometráží. V tomto případě je takt linky udáván pracovníkem 1, který vykonává činnost s nejdelším normovaným časem cyklu. Pokud by byla potřeba z nějakého důvodu takt linky snížit, přidá se na montážní linku další pracovník. Diagram taktu pro tři pracovníky je zobrazen na obrázku 32.



Obr. 32 Příklad diagramu taktu pro tři pracovníky.

Z obrázku 32 je zřejmé, že rozložením operací mezi tři pracovníky se dosáhlo požadovaného efektu, tedy snížení taktu linky. Úzké místo, nejdelší normovaný čas cyklu, se posunulo z pracovníka 1 na pracovníka 2.

2.1.4 Zákaznický takt

Dalším důležitým časovým údajem je zákaznický takt (dále jen “**ZT**”). Jeho hodnota udává, v jakém časovém intervalu od nás zákazník odebere jeden výrobek. Podmínkou pro splnění požadavků zákazníka na optimální dodávky je, aby takt linky byl vždy nižší než zákaznický takt. Pokud je tedy znám **ZT**, lze flexibilněji reagovat a měnit počet lidí na montážní lince pro splnění podmínky **ZT** > **TL**. **ZT** lze vypočítat podle vztahu 4 [12]:

$$ZT = \frac{PDV}{Q_z}, \quad (4)$$

kde **PDV** je plánovaná doba využití zařízení (vztaženo k směně, dnu, měsíci) dána v [s]. **Q_z** je požadavek zákazníka v určitém časovém období (směna, den, měsíc) [ks].

Plánovaná doba využití zařízení vyjadřuje čistý čas, který máme k dispozici pro výrobu požadovaného počtu kusů. Pro jeho výpočet se vychází z času disponibilního, jenž je dán vztahem 5 [12] a času ztrátového daného vztahem 6 [12]. Tyto časy jsou vztaženy k pracovnímu dni a lze je vypočítat dle vztahů:

$$DC = h \cdot \sigma \cdot 3600, \quad (5)$$

kde **h** je počet pracovních hodin za jednu směnu a **σ** směnnost a

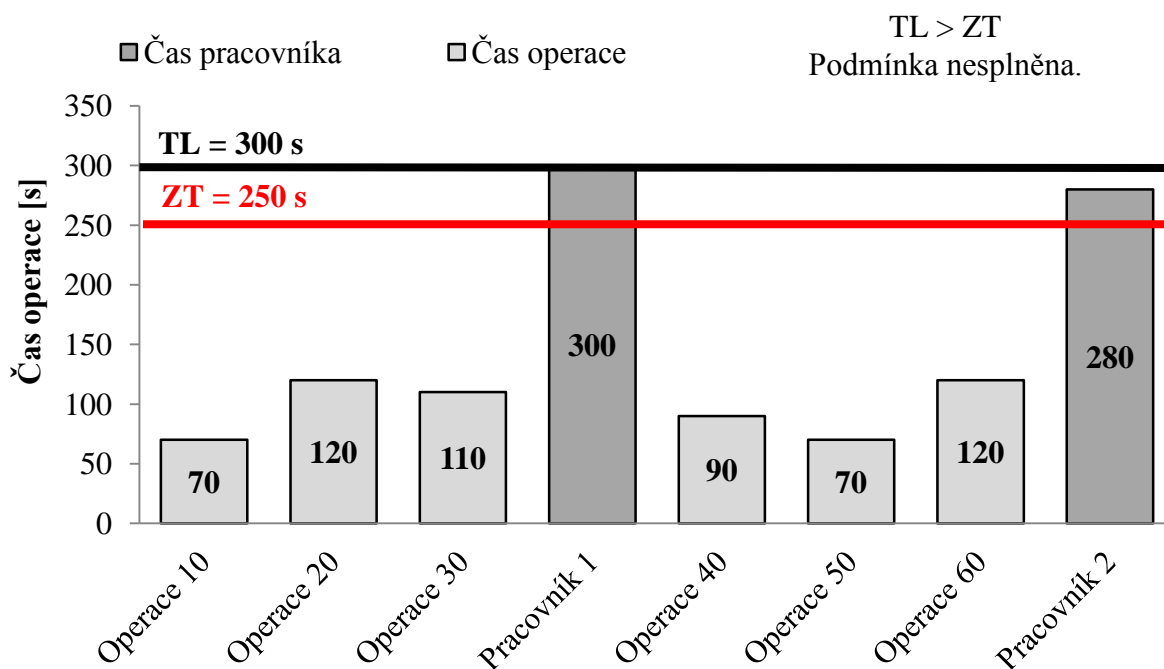
$$ZC = ZP + PS + PU, \quad (6)$$

kde **ZP** jsou zákonné přestávky [s], **PS** je doba předání směny [s] a **PU** je doba plánované údržby [s].

Následně je možno vyjádřit plánovanou dobu využití zařízení vztahem [12]:

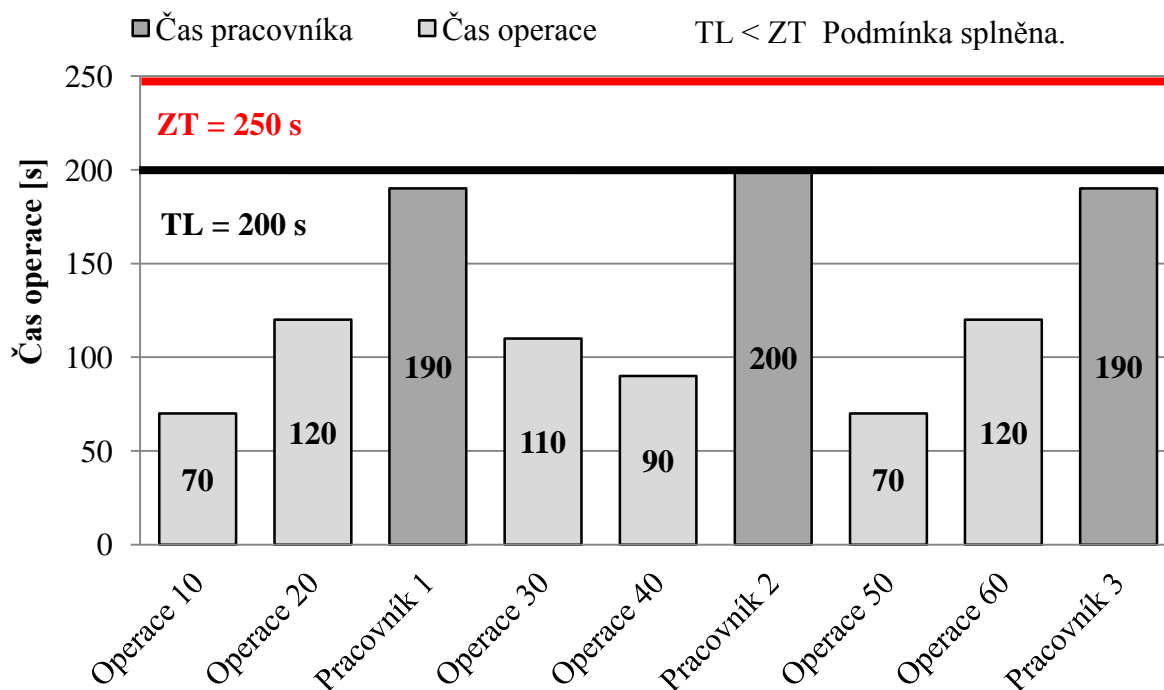
$$PDV = DC - ZC. \quad (7)$$

Pro lepší pochopení tématu bude problematika popsána na příkladě, kdy byl zákaznický takt spočítán dle vztahu 4 na **ZT** = 250s. Výchozí data byla použita jako u popisu taktu linky v kapitole 2.1.3.



Obr. 33 Příklad diagramu taktu pro dva pracovníky se $ZT = 250s$.

Na obrázku 33 je znázorněna situace, kdy zákaznický takt je menší než takt linky. Pokud tento případ nastal, je nutné reagovat, jinak by nebylo možné splnit požadavky zákazníka. Možným řešením problému, jak bylo uvedeno v kapitole 2.1.3, je zvýšení počtu pracovníků. Výsledným efektem bude snížení TL pod ZT . Situace je znázorněna na obrázku 34. Podmínka $ZT > TL$ je zde splněna, tudíž požadavky zákazníka budou naplněny.



Obr. 34 Příklad diagramu taktu pro tři pracovníky se $ZT = 250s$.

2.1.5 Balancování operací

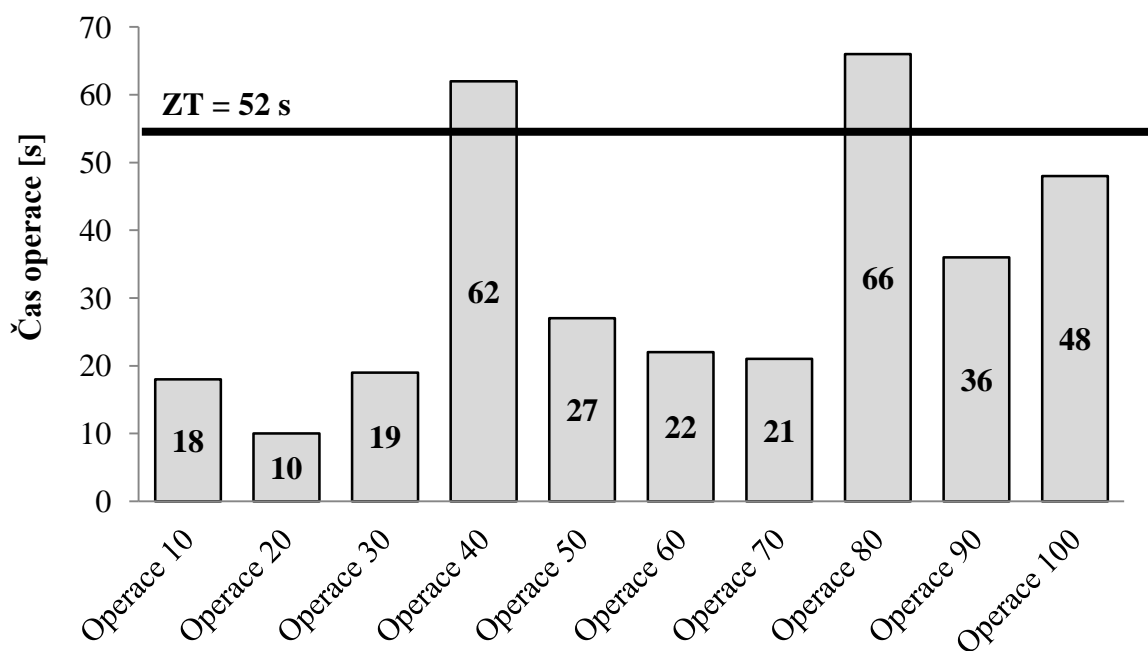
Aby bylo dosaženo efektivního využití výrobního zařízení a pracovníků, používá se v průmyslové praxi metody balancování linek. Pramen [26] uvádí, že podstatou této metody je rovnoměrné rozložení pracovních činností do jednotlivých operací mezi pracovníky linky. Balancování lze použít nejen při projektování nových výrobních zařízení, ale i při optimalizaci stávajících provozů. Důležitými předpoklady pro použití metody je podrobné zmapování časů jednotlivých operací například metodou MTM a výpočet požadovaného zákaznického taktu [26].

Pro snadnější pochopení této metody je proveden rozbor na konkrétním příkladu. Mějme výrobní proces, který se skládá z 10 operací, jejichž časy jsou uvedeny v obrázku 35. Zákaznický takt byl stanoven na $ZT = 52s$. Jak je vidět z diagramu taktu (obr. 35), je mezi časy jednotlivých operací výrazný nepoměr. Doba operace 40 a 80 je delší než ZT . Z rozboru v kapitole 2.1.4 je zřejmé, že není možné zákazníkovi dodat požadovaný počet kusů, a to právě z důvodu časové náročnosti operací 40 a 80. V tomto případě se použije metoda balancování. Nejdříve se stanoví teoretický počet pracovníků ze vztahu [26]:

$$P_T = \frac{t_c}{ZT}, \quad (8)$$

kde t_c je celkový čas operací v [s] a ZT je zákaznický takt v [s]. V případě této úlohy tedy:

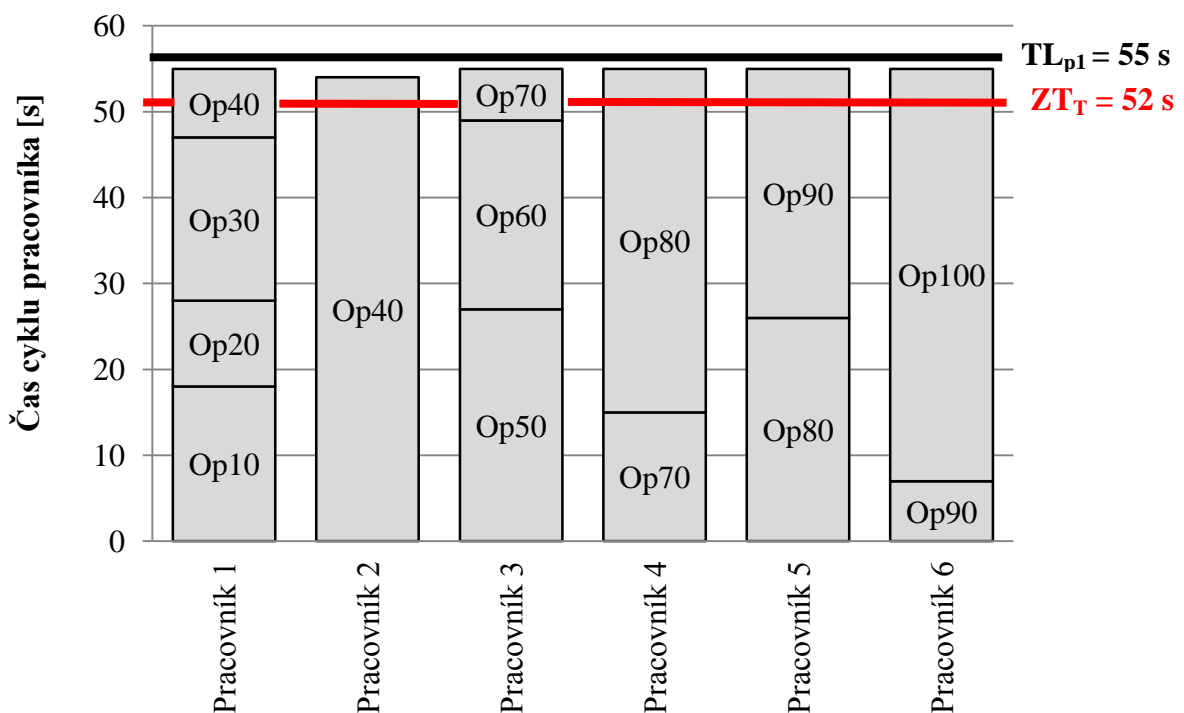
$$P_T = \frac{t_c}{ZT} = \frac{20 + 10 + 19 + 62 + 27 + 22 + 21 + 66 + 36 + 48}{52} = 6,4 \text{ pracovníků.}$$



Obr. 35 Diagram taktu před balancováním operací.

Výpočtem byl stanoven počet pracovníků na $P_T = 6,4$. Pro splnění cíle je potřeba, aby po část plánované doby využití bylo pro výrobu využito $P_{T1} = 6$ pracovníků a po část doby $P_{T2} = 7$ pracovníků. Pro snížení taktu linky pod zákaznický takt se použije balancování. Jednotlivé operace se seskupí a činnosti se přerozdělí mezi jednotlivé pracovníky. Pro P_{T1} a P_{T2} se zpětně dopočítá takt linky TL_{P1} a TL_{P2} .

$$TL_{P1} = \frac{331}{6} = 55,2 \text{ s} \rightarrow 55 \text{ s}$$

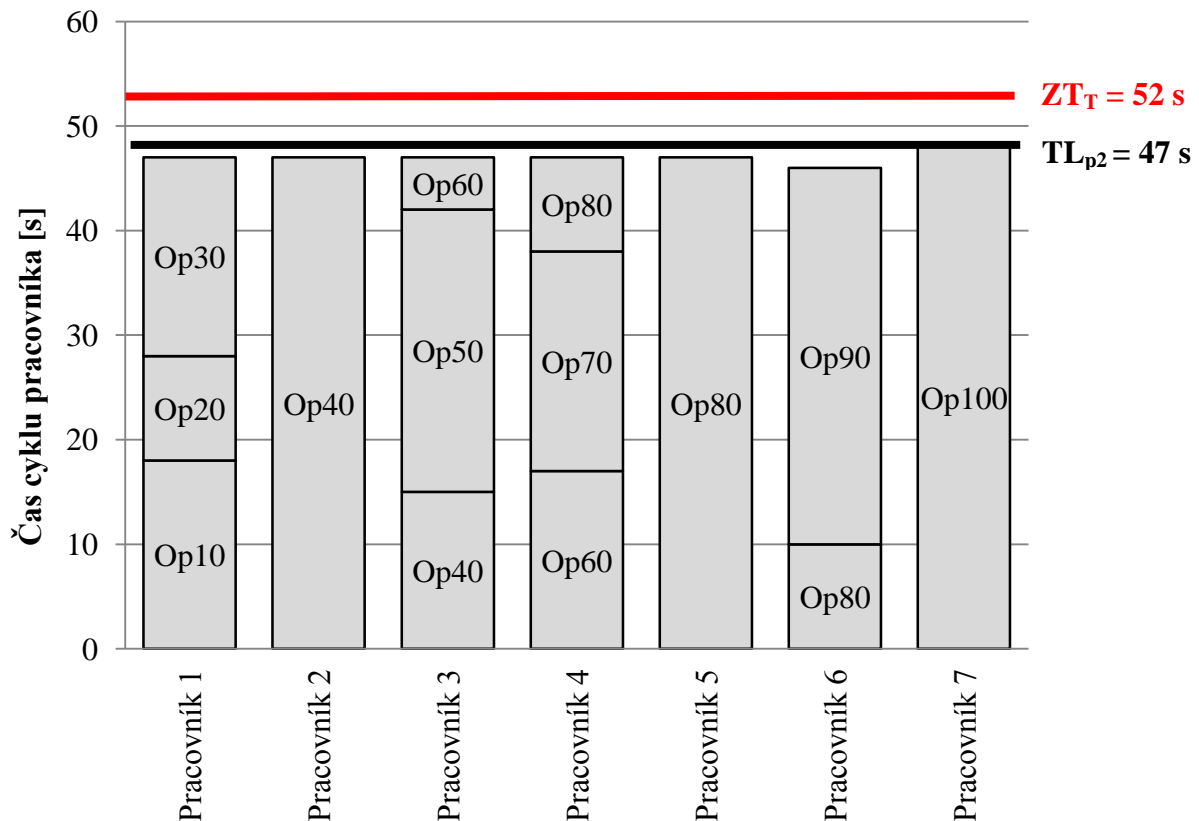


Obr. 36 Diagram taktu po balancování operací pro 6 pracovníků.

Na obrázku 36 je vidět, že při obsazení linky šesti pracovníky není možné dodat požadované množství kusů, jelikož takt linky je delší než zákaznický takt.

$$TL_{P2} = \frac{331}{7} = 47,3 \text{ s} \rightarrow 47 \text{ s}$$

Z obrázku 37 lze konstatovat, že pokud by na lince pracovalo 7 pracovníků, lze naplnit požadavky zákazníka. V tomto případě však máme časovou rezervu, kterou by šlo využít pro jinou činnost. Z tohoto důvodu budou pracoviště obsazeny po část plánované doby 6 a po zbylý čas 7 pracovníky.



Obr. 37 Diagram taktu po balancování operací pro 7 pracovníků.

Jaký bude poměr obsazení, určuje hodnota teoretického počtu pracovníků. Pokud by za desetinou čárkou byla hodnota 0,5, tak polovinu například měsíce budou pracoviště obsazena počtem P_{T1} a druhou polovinu počtem P_{T2} . Jestliže hodnota za desetinou čárkou bude větší jak 0,5, tak po větší část měsíce bude použito obsazení se sedmi pracovníky. Stejně se bude postupovat i naopak, tedy pokud by hodnota byla menší než 0,5, pak delší část měsíce bude linka obsazena šesti pracovníky.

Pro kontrolu, zda splníme plánovaný počet kusů, lze zprůměrovat oba takty. Pokud bude průměrná hodnota taktů menší než ZT_T , je jistota, že cíl bude splněn.

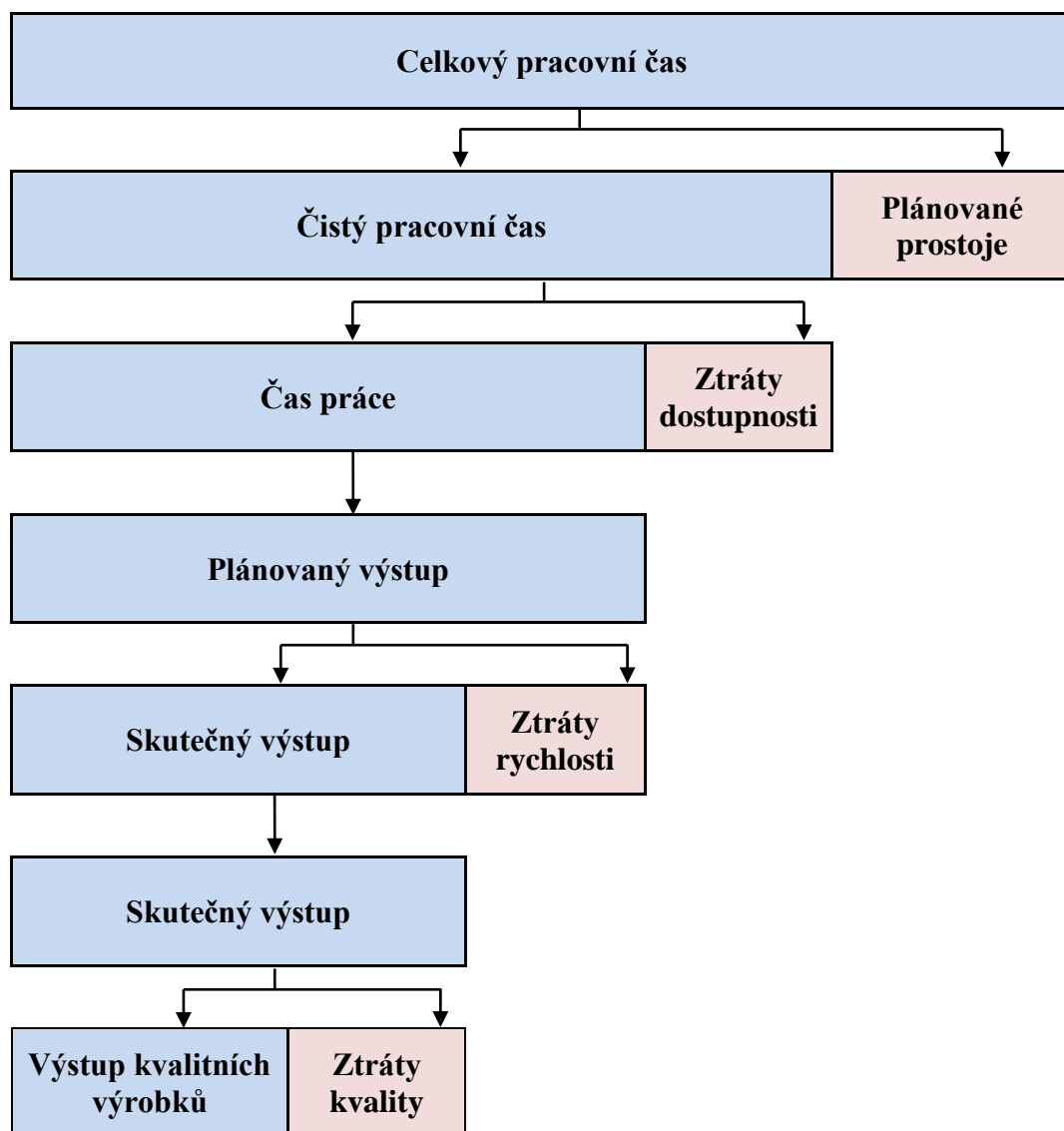
$$TL_{PR} = \frac{TL_{P1} + TL_{P2}}{2} = \frac{55 + 47}{2} = 51 \text{ s}$$

$$TL_{PR} < ZT_T \quad 51 < 52 \rightarrow \text{Podmínka splněna.}$$

Pramen [26] uvádí, že je možné obsadit pracoviště menším počtem lidí, avšak je nutné provést opatření pro snížení časové náročnosti operací. Jedná se například o odebrání některých činností a jejich provedení v předmontáži. To lze pouze za předpokladu, že je to technologicky možné. Další možností jsou ergonomické úpravy, snížení přechodů mezi pracovišti atd.

2.1.6 OEE a cílový čas cyklu

Dle zdroje [27] v průmyslové výrobě dochází ke ztrátám, které společnosti zvyšují náklady a snižují produktivitu. Ukazatel stupně efektivity **OEE** vyjadřuje, jak je výrobní zařízení využito vzhledem k teoreticky možnému výkonu. Hodnoty **OEE** se vyjadřují v procentech a pramen [27] uvádí, že hodnoty **OEE** větší než 85% dosahují špičkové světové společnosti. Ztráty v průběhu výroby jsou uvedeny na obrázku 38 [28].



Obr. 38 Vizualizace ztrát při výpočtu OEE [28].

Literatura [28] uvádí, že při výpočtu efektivního využití zařízení se vychází ze tří parametrů, a to míry dostupnosti, míry výkonnosti a míry kvality. **OEE** je dáno vztahem:

$$OEE = M_D \cdot M_V \cdot M_Q \cdot 100, \quad (9)$$

kde M_D je míra dostupnosti dána vztahem:

$$M_D = \frac{T_S}{T_P}, \quad (10)$$

kde T_S je skutečný čas výroby v [s] a T_P je plánovaný čas výroby v [s]. M_V je míra výkonnosti popsána vztahem:

$$M_V = \frac{Q_V}{Q_N}, \quad (11)$$

kde Q_V je počet vyrobených výrobků v [ks] a Q_N je počet normovaných výrobků v [ks]. Poslední proměnou je míra kvality M_V definována jako:

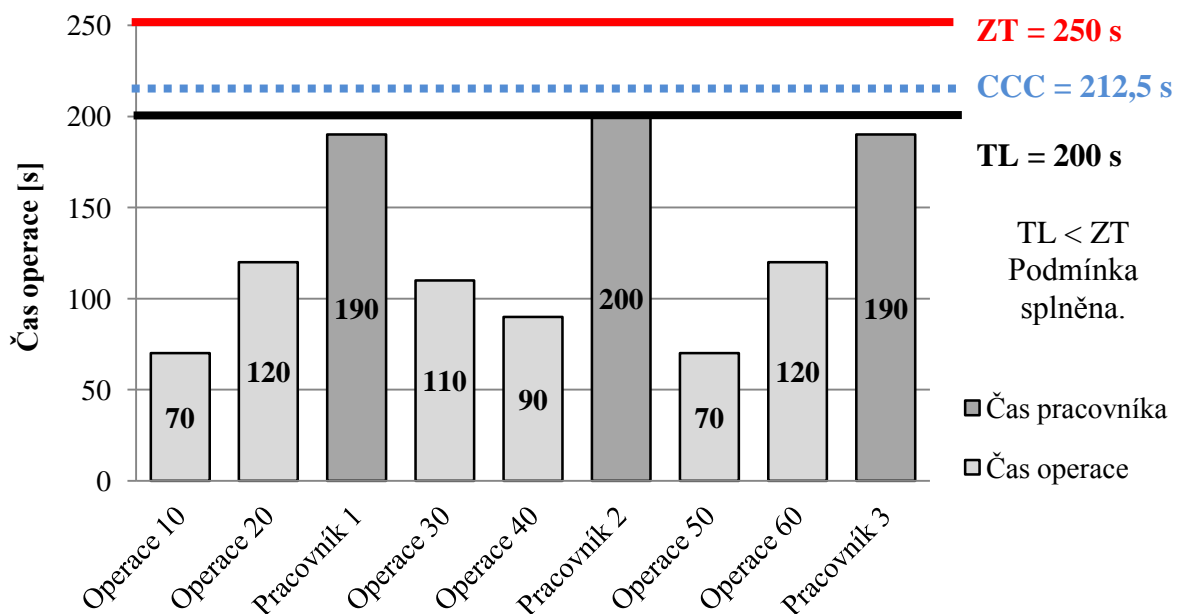
$$M_Q = \frac{Q_D}{Q_V}, \quad (12)$$

kde Q_D je počet dobrých výrobků v [ks].

Cílový čas cyklu (dále jen “CCC“) je posledním časovým údajem, který se zaznamenává do diagramu taktu. Při jeho výpočtu se vychází z efektivního využití stroje. Lze tedy říci, že cílový čas cyklu je hodnota udávající frekvenci zákaznického taktu sníženou o provozní ztráty. Z výpočtu CCC dle vztahu:

$$CCC = ZT \cdot \frac{OEE}{100}, \quad (13)$$

je jasné, že se vždy bude nacházet pod úrovní ZT . Důležité je v tuto chvíli zmínit, že společnost při svých propočtech nevztahuje ztráty k výrobnímu zařízení, tedy nezvyšuje o ně TL, ale vztahuje je k ZT. Z tohoto důvodu je uváděn i údaj CCC, ve kterém jsou zohledněny ztráty výrobního zařízení.



Obr. 39 Cílový čas cyklu pro OEE = 85%.

2.2 Montážní spoje

Literatura [13] uvádí, že montážní spoj je podstatou montážního procesu a zároveň je působištěm pohyblivého, či nepohyblivého spojení nejméně dvou dílů. Montážní spoje lze klasifikovat dle [14]:

- stupně vzájemného pohybu,
- možnosti rozebírání součástí,
- technologičnosti montáže a demontáže,
- druhu kontaktu ploch,
- jejich pevnosti a chemické stálosti,
- silových poměrů a vazeb součástí,
- nutnosti použít přídatný materiál.

V montážních provozech se lze setkat s velkým množstvím montážních spojů. Mezi základní spoje patří pohyblivé, nepohyblivé, rozebíratelné, nerozebíratelné a jejich vzájemné kombinace. Spoje lze dále členit z hlediska různých znaků, např.: konstrukčních, technologických, provozních či způsobu kontaktu montážního spoje. Klasifikační rozdělení spojů je uvedeno tabulce 2 [13].

Tab. 2 Rozdělení montážních spojů [14].

ZÁKLADNÍ KLASIFIKACE MONTÁŽNÍCH SPOJŮ			
KONSTRUKČNÍ ZNAKY	TECHNOLOGICKÉ ZNAKY	PROVOZNÍ ZNAKY	KONTAKT MONTÁŽNÍHO SPOJE
- nerozebíratelné	- závitové	- nepohyblivé	- bezprostředně místní
- podmíněčně nerozebíratelné	- nýtované	- nerozebíratelné	
	- lisované	- nepohyblivé rozebíratelné	- bezprostředně čarový
	- svařované	- pohyblivé rozebíratelné	
- podmíněčně rozebíratelné	- pájené	- pohyblivé nerozebíratelné	
	- lepené		
	- válcované		
- rozebíratelné	- ohýbané		

2.2.1 Používané technologické montážní spoje

Při montáži čerpadla jsou v převážné většině použity dvě technologie montážních spojů, a to závitové a pájené. Každá z výše uvedených technologií má jiné nároky na pracovní pomůcky, kvalifikaci zaměstnanců, časovou náročnost provedení operace a strojní vybavení. Uvedená hlediska navíc ovlivňují i finanční aspekty. Jednat se může například o náklady na investice, na kalibraci, údržbu zařízení a zaškolení personálu.

Pájené spoje

Tato technologie se využívá pro zhotovení nerozebíratelného spoje. Proces probíhá za tepla s použitím přídavného materiálu. Nahřáním spoje dojde k roztavení pájky, která vyplňuje prostor mezi spojovanými součástmi [13]. Po zchladnutí vznikne pevný spoj. U této metody se používá také tavidlo, které chrání vznikající spoj před okolní atmosférou, zlepšuje přilnutí pájky k letovaným povrchům a zároveň očišťuje místa kontaktu od mastnot [15]. Pájení je dle technologického postupu zařazeno v operaci 3.10, ve které se spojují kontakty řídicí jednotky s otvory senzoru.

Tab. 3 Používané pájky [14].

Druh pájky	Složení	Teplota tavení [°C]	Pevnost spoje [MPa]	Mezera [mm]
Měkká	Sn-Pb (Sn-Zn, Sn-Cd)	< 400	< 100	0,025 - 0,075
Tvrdá	Cu (Cu-Zn, Ag)	400 - 1200	500	0,012 - 0,014 0,05 - 0,08

Šroubové spoje

Tvoří největší část všech montážních spojů (20 - 30 %). Zdroj [15] uvádí, že je to díky jednoduchosti, spolehlivosti a pevnosti spoje. Jejich další výhodou je snadná montáž a demontáž bez poničení spojovaných součástí. Způsoby utahování šroubů dělíme na [14]:

- momentové,
- impulzní,
- metodou moment - čas nebo moment - úhel pootočení,
- metodou derivace momentu podle času nebo úhlu pootočení.

Momentové utahování šroubů je levná a dostupná metoda. Krouticí moment přivedený k vyvolání svěrné síly je zmenšen o třecí sílu a deformaci závitu. U této metody se používá ručních momentových klíčů a motoricky poháněného nářadí [15]. Ruční momentové klíče, jejichž ilustrační foto se nachází na obrázku 29, jsou používány v operacích 10 pro utažení regelventilu a v operaci 160 pro kontrolu utažení řídicí jednotky.

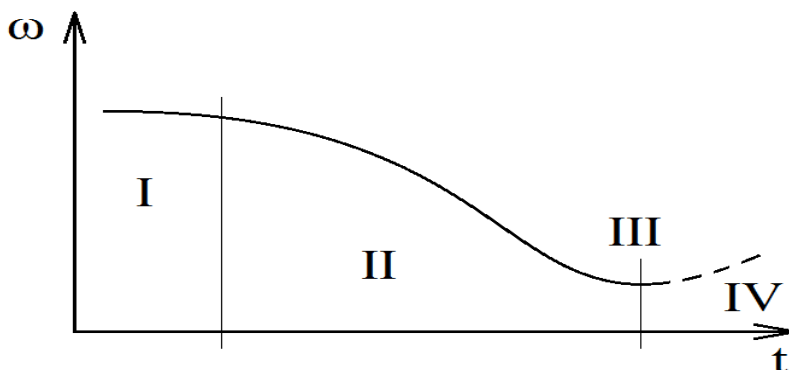


Obr. 40 Momentový klíč firmy BAHCO [16].



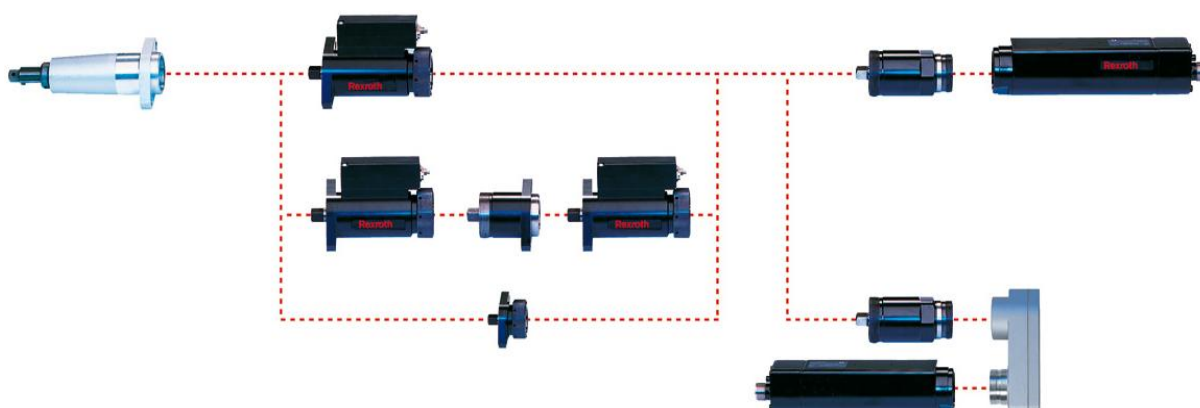
Obr. 41 Impulzní pneumatický šroubovák [17].

Impulzní utahování je metoda vhodná pro větší šrouby. Stejně jako u momentového utahování šroubů se používá motoricky poháněného nářadí, avšak s využitím rázového mechanismu [14]. Typ pneumatického impulzního utahováku je zobrazen na obrázku 41. Na obrázku 42 je uvedena závislost úhlové rychlosti na čase. V oblasti *I* dochází k vymezení vůle a překonávání třecího odporu vznikajícího mezi profily závitů. V části *II* probíhá samotný proces utahování. V nejnižším bodě křivky, tzn. v bodě *III*, je materiál namáhán na mezi kluzu a utahování je ukončeno. V části *IV* poté dochází k plastické deformaci šroubu, při které jsou šroub i matice zničeny [13].



Obr. 42 Závislost úhlové rychlosti otáčení na čase [14].

Pro utažení šroubů hlavy a magnetických ventilů v operaci 120 a utažení hrdel v operaci 140 se používá průmyslového utahovacího systému od firmy REXROTH. Výhodou systému je, že šroubovací proces probíhá automaticky. Šrouby nebo hrdla se závity se v předchozích operacích ručně chytí do závitu na dvě stoupání. Poté zajede dopravní paleta s čerpadlem pod šroubováky. Jakmile dojde na doraz, je pomocí pneumatického válce zdvižena svisle nahoru, kde šrouby zaskočí do gola ořechů a systém začne utahovat. Po dosažení požadovaného momentu, utahovací proces skončí, paleta sjede dolů na dopravník a pokračuje k další operaci.



Obr. 43 Utahovací systém firmy REXROTH [18].

Každé zařízení, které se používá pro utahování (tedy ruční klíče s pevnou hodnotou, pneumatické utahovány a utahovací systémy) je kalibrováno každého půl roku. U ručních klíčů je kontrola nastaveného momentu kontrolována na začátku každého pracovního dne. Výsledek kontroly je zaznamenáván na papírový formulář.

2.3 Třídění spotřeby času

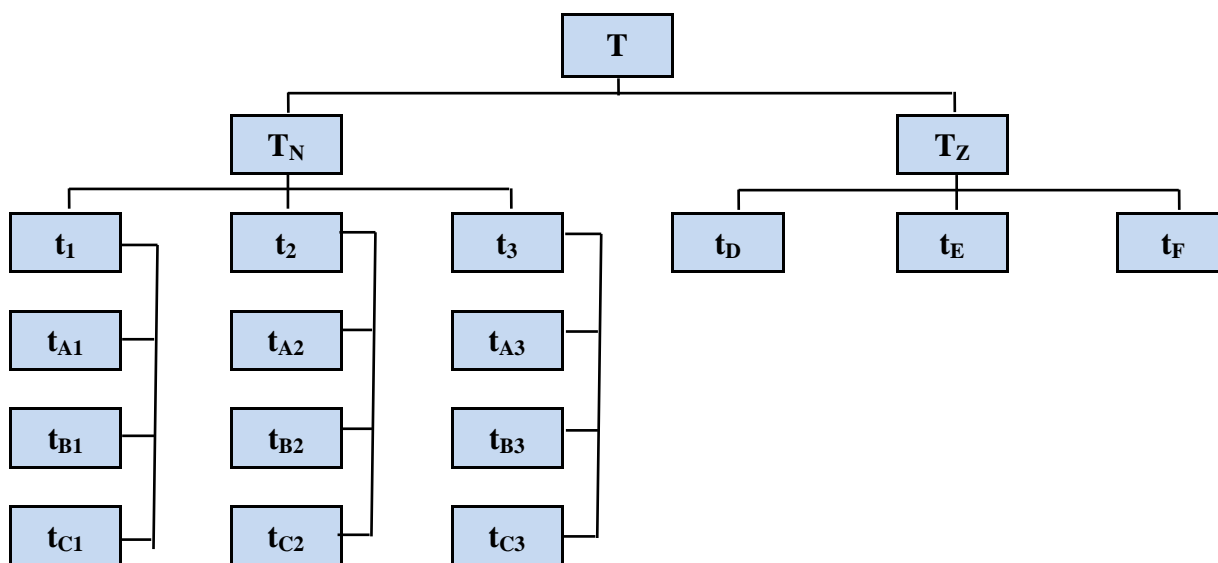
Třídění spotřeby času je jedním z nejdůležitějších aspektů strojírenské výroby. Dává nám ucelený obrázek o hospodaření s časem ve výrobním procesu [19]. Dělí se na spotřebu času:

- pracovníka,
- výrobního zařízení,
- výrobku.

Účelem analýzy spotřeby času je odhalit, zda je čas vynaložen smysluplně. Pokud není, mělo by dojít k přeorganizování práce, aby došlo ke zvýšení využití pracovníka, a tím pádem i zařízení. Zároveň by se minimalizovala doba pohybu a skladování výrobku.

2.3.1 Skladba času pracovníka

Výstupem rozboru skladby času je přehled časové náročnosti činností pracovníka od započetí směny až po její ukončení. Skladba času je názorně zobrazena na obrázku 44 [20]. Hlavními složkami je čas nutný a ztrátový. Čas t_1 udává dobu nutnou pro vykonání zadaného úkolu [19]. Čas t_2 udává omezení dané zákonnými normami, např. pracovní přestávka. Stupeň organizace společnosti a použitá technologie ovlivňují čas t_3 , při kterém dochází k vynucenému pozastavení práce [19].



Obr. 44 Skladba spotřeby času pracovníka [21].

T - čas směny

t_{A1} - čas jednotkové práce

t_{C1} - čas směnové práce

T_N - čas normovaný

t_{A2} - čas jedn. od. nut. přest.

t_{C2} - čas směn. ob. nut. přest.

T_Z - čas ztrátový

t_{A3} - čas jedn. podm. nut. přest.

t_{C3} - čas směn. podm. nut. přest.

t_1 - čas práce

t_{B1} - čas dávkové práce

t_D - osobní ztráty

t_2 - čas ob. nutných přest.

t_{B2} - čas dávkové práce

t_E - techn. org. ztráty

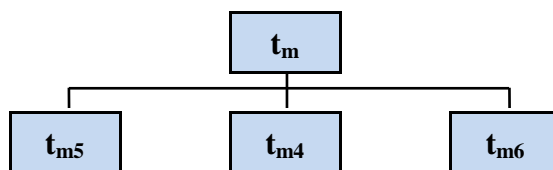
t_3 - čas podm. nutných přest.

t_{B3} - čas dáv. podm. nut. přest.

t_F - ztráty vyšší mocí

2.3.2 Skladba času výrobního zařízení

Jak je vidět na obrázku 45, u výrobního zařízení rozlišujeme tři hlavní složky času. Čas t_{m4} udává dobu chodu zařízení. Je ovlivněn technickou úrovní stroje, použitou technologií a požadavky na jakost výrobku. Tento čas se dělí na hlavní a vedlejší dobu chodu zařízení. Čas na seřízení stroje, výměnu nástroje nebo plánovanou údržbu se označuje t_{m5} . Pro vícestrojovou obsluhu je typický čas t_{m6} , který udává dobu, kdy stroj čeká na příchod operátora [19].



Obr. 45 Skladba spotřeby času výrobního zařízení [19].

t_m - čas výrobního zařízení

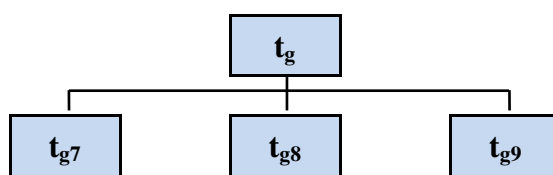
t_{m4} - čas chodu výrobního zařízení

t_{m5} - čas klidu výrobního zařízení

t_{m6} - čas interference

2.3.3 Skladba času výrobku

Čas t_g vyjadřuje, jakou dobu se výrobek pohybuje, je skladován a balen. Lze jej využít pro stanovení výrobních dávek, aby byl zajištěn plynulý výrobní tok s ohledem na ekonomickou stránku. Čas pohybu t_{g7} dělíme na dobu přeměny t_{g71} a přemístění t_{g72} . Čas uložení t_{g91} a kontroly t_{g92} jsou součástí t_{g9} [19].



Obr. 46 Skladba spotřeby času výrobku [19].

t_g - čas výrobku

t_{g7} - čas pohybu

t_{g8} - čas balení

t_{g9} - čas klidu

2.3.4 MTM - Metoda předem stanovených časů

Metoda předem stanovených časů je nejvíce vhodná u hromadné výroby. Nachází uplatnění hlavně v provozech, kde by bylo možné stanovit normu jinými metodami velice obtížně. Důvodem pro provedení analýzy je zjistit, zda se v pracovní činnosti nevyskytují pohyby, které jsou neefektivní. Pokud takové pohyby existují, je žádoucí je odstranit. Výsledkem je snížení plýtvání a zvýšení efektivity strojů a pracovníků [22].

Zavedení MTM je časově náročné. Při stanovení spotřeby času a výkonové normy je zapotřebí velmi zkušených pracovníků, takzvaných plánovačů práce. Pokud by byla analýza provedena neodborně, byly by výsledky zkreslené a nevystihovaly by skutečný stav.

Podstatou metody předem stanovených časů je rozdělení operace, kterou provádí pracovník, na co nejmenší jednoduché kroky. Těm je pomocí tabulek přiřazena časová hodnota. Základní pohyby používané v MTM jsou uvedeny v tabulce 4, 5 a 6 [23].

Tab. 4 Základní pohyby těla a dolních končetin v MTM [24].

POHYBY TĚLA A DOLNÍCH KONČETIN		
ČESKY	ZNAČENÍ	ANGLICKY
Pohyb chodidla	FM	Foot motion
Pohyb nohy	LM	Leg motion
Úkrok	S	Side step
Otočení trupu	TB	Turn body
Předklonit se	B	Bend
Vzpřímit se	AB	Arise from bending
Ohnout se	SS	Stoop
Vzpřímit se	AS	Arise from stooping
Kleknout na jedno koleno	KOK	Kneel from stooping
Kleknout na obě kolena	KBK	Kneel from both knees
Povstat z jednoho kolena	AKOK	Arise from kneel on one knee
Povstat z obou kolen	AKBK	Arise from kneel on both knees
Sednout	SIT	Sit down
Vstát ze sedu	STD	Stand up
Chůze	W	Walk

Tab. 5 Základní pohyby očí v MTM [24].

POHYBY OČÍ		
ČESKY	ZNAČENÍ	ANGLICKY
Zaostření oka	EF	Eye focus
Sledování pohledem	ET	Eye travel

Tab. 6 Základní pohyby horních končetin v MTM [24].

POHYBY PRSTŮ, RUKOU A PAŽÍ		
ČESKY	ZNAČENÍ	ANGLICKY
Sáhnout	R	Reach
Uchopit	G	Grasp
Pustit	RL	Release-load
Přemístit	M	Move
Obrátit	T	Turn
Tlačit	AP	Apply pressure
Umístit	P	Position
Oddělit	D	Disengage
Točit	C	Crank

Jednotky časů v MTM jsou nazývány TMU, jejichž hodnoty jsou uvedeny v tabulce 7 [23]. Hodnoty TMU jsou velmi malé časové úseky. Důvodem je, že při hromadné výrobě, například na montážní lince s produkcí tisíc kusů za směnu a taktem v řádech desítek sekund, jsou prováděné pohyby velice rychlé, klasickými stopkami nezměřitelné. Stopkami se v MTM měří pouze strojní časy [27].

Tab. 7 Hodnoty TMU [25].

TMU	sekundy	minuty	hodiny
1	0,036	0,0006	0,00001
27,8	1	-	-
1 666,7	-	1	-
100 000	-	-	1

Pro každý pohyb, uvedený v tabulce 4, 5 a 6 je hodnota TMU stanovena na základě jiných činitelů. Například pro pohyb *Přemístit M* jsou hlavními faktory vzdálenost, na jakou předmět přemístíme, váha daného předmětu a místo uložení (z ruky do ruky, do přibližného nebo neurčitého místa či přemístění do přesného místa). Jelikož je tato problematika rozsáhlá a kombinací pohybů je mnoho, je na ukázkou uvedena pouze tabulka pohybu Umístit P.

Tab. 8 Tabulka symbolů a normativů pro pohyb *Umístit P* [23].

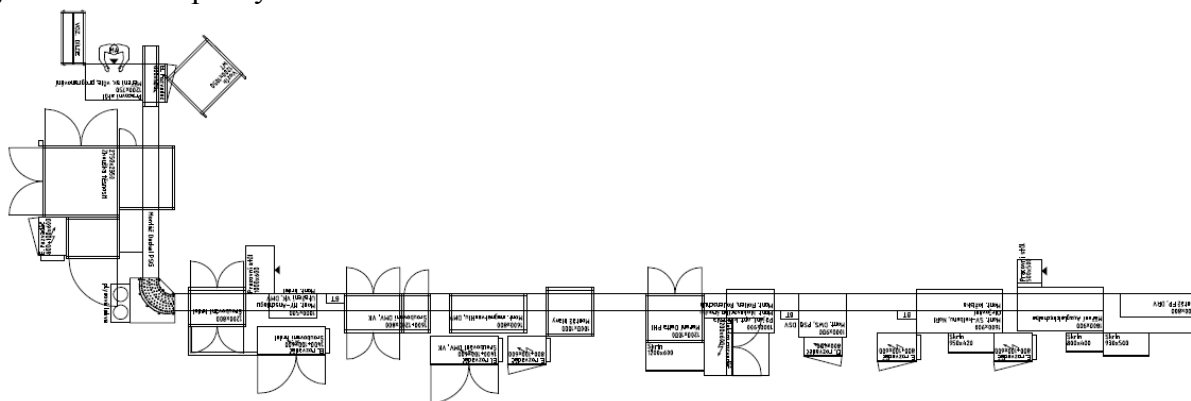
Stupeň lícování	Symetričnost	TMU		Popis
		E	D	
1.	S	5,6	11,2	1 - BEZ TLAKU 2 - LEHKÝ TLAK 3 - SILNÝ TLAK S - SYMETRICKÝ SS - POLOSÝMETRICKÝ NS - NESYMETRICKÝ E - SNADNÁ MANIPULACE D - OBTÍŽNÁ MANIPULACE
	SS	9,1	14,7	
	NS	10,4	16,0	
2.	S	16,2	21,8	
	SS	19,7	25,3	
	NS	21,0	26,6	
3.	S	43,0	48,6	
	SS	46,5	52,1	
	NS	47,8	53,4	
Umístění > 25 mm je další pohyb				

3 ANALÝZA SPOTŘEBY ČASU NA MONTÁŽNÍ LINCE

Předmětem praktické části práce je analýza spotřeby normy času pracovníků a strojního zařízení. Pro řešení projektu je vybrána linka pro montáž čerpadel VP 44, která byla v 2000 dopravena ze závodu ve Stuttgartu. Linka je instalována na závodě 1 jihlavského podniku.

3.1 Konstrukční provedení linky

Na obrázku 47 je pro názornost uveden situační plán uspořádání linky. Linka je poloautomatizovaná a je ve tvaru písmene L. Má pouze jedno rameno, a z tohoto důvodu se z pohledu prostorového uspořádání řadí mezi jednoduché linky. Pracovníci stojí na pravé straně, tudíž se jedná o linku jednostrannou. Z hlediska pohybu výrobku jde o linku s pohybujiícím se výrobkem, který je přemístěn na další pracoviště až po ukončení předchozí operace. Většina prováděných ručních prací probíhá přímo na dopravníku, pouze ve dvou případech je z důvodu použití rozměrných přípravků práce prováděna mimo dopravník. Na stanovištích, kdy jsou montážní práce prováděny mimo dopravník, je postavení pracovišť boční. Ve zbývajících případech je postavení vůči lince čelní. Z hlediska montážního taktu se jedná o linku s pevným montážním taktem.



Obr. 47 Situační plán uspořádání montážní linky [12].

Montážní linka je postavena z unifikovaných hliníkových profilů, které umožňují nepřehledné množství konstrukčních řešení nejen v průmyslové výrobě. Dle dodavatele [13] je možné využít profily pro stavbu montážních pracovišť i pracovních stolů. Takovéto pracoviště je snadné ergonomicky upravit či doplnit o širokou škálu aplikací např. o osvětlení, lineární vedení, pohony (kuličkové šrouby, ozubené hřebeny), dopravníky a mnoho další. Výhodou je nízká hmotnost, možnost rozvodů elektrické energie a stlačeného vzduchu, v neposlední řadě i cenová dostupnost [13]. Materiál uložený na dopravní paletě je mezi jednotlivými ručními stanovišti přemísťován pomocí válečkových drah. U strojních stanic je pohyb zajištěn pomocí pásového dopravníku poháněného elektromotorem. V případě potřeby je tedy snadné udělat na montážní lince konstrukční zásah.



Obr. 48 Hliníkové profily [30].

3.2 Seznam operací montáže

Pro časovou analýzu je důležitý sled operací potřebných pro montáž výrobku. Seznam operací je uveden v tabulce 9. Popis pracovních činností v jednotlivých operacích a jejich časová náročnost je uvedena v následujících kapitolách.

Tab. 9 Seznam operací montáže současný stav řešení [12].

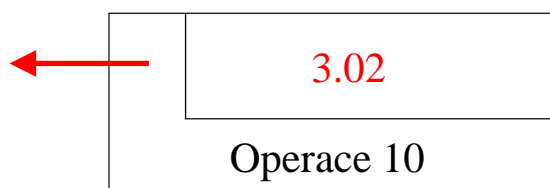
Operace	Pracoviště	Popis činnosti
10	(3.02)	Montáž dopravní pumpy a ventilu
20	(3.03)	Montáž hřídele
30	(3.04)	Montáž pístu a vačkového prstence
40	(3.06)	Montáž ložiska
50	(3.07)	Montáž senzoru řídicí jednotky
60	(3.10)	Pájení senzoru a optická kontrola
70	(3.12)	Montáž klecí a válečků
80	(3.13)	Měření IWZ $\Delta\phi_1$
90	(3.14)	Montáž hlavy
100	(3.15)	Montáž ventilu DMV10 a DMV12
110	(3.16)	Montáž přesuvníku
120	(3.17)	Utažení hlavy a ventilu DMV10 a DMV12
130	(3.18)	Montáž hrdel
140	(3.19)	Utažení hrdel
150	(3.21)	Montáž víka řídicí jednotky
160	(3.22)	Zkouška těsnosti Héliem
170	(3.23)	Měření axiální vůle
180	(3.26)	Programování řídicí jednotky

Stanovení normy spotřeby lidské práce bylo provedeno na základě MTM analýz a strojní časy byly změřeny chronometráží pomocí stopek. Na přání společnosti nebudou MTM kódy jednotlivých pracovních operací zveřejněny. Z toho důvodu je v tabulkách 10 až 27 v kolonce MTM kód napsáno "N", což znamená nezveřejněno. Pokud je v téže kolonce vepsáno "Ch", znamená to, že měření bylo provedeno chronometráží. Pracovat je možné pouze s poskytnutými výstupy, tedy časy jednotlivých operací.

Operace 10

Tab. 10 Popis pracovní činnosti operace 10 [12].

Činnost	Popis pracovní činnosti	Čas [s]		MTM kód
		ruční	strojní	
1	Přípravit montážní přípravek, vložit šrouby. Sestavit přídržnou desku a dopravní pumpu. Namazat díly a vložit na přípravek.	15,4		N
2	Našroubovat na těleso nastavovací ventil a utáhnout klíčem s pevnou hodnotou.	8,8		N
3	Vzít těleso, vizuálně zkontrolovat a namazat dno. Nasadit ho na přípravek se šrouby.	12,6		N
4	Těleso vložit na přípravek a zajistit za přírubu. Vyndat vnitřní přípravek.	6,2		N
5	Utáhnout šrouby pneumatickým utahovákem. Zkontrolovat utažení šroubů momentovým klíčem s pevnou hodnotou.	18,5		N
6	Odjistit těleso z přípravku a vložit ho na dopravní paletu. Posunout paletu na další pracoviště.	8,0		N

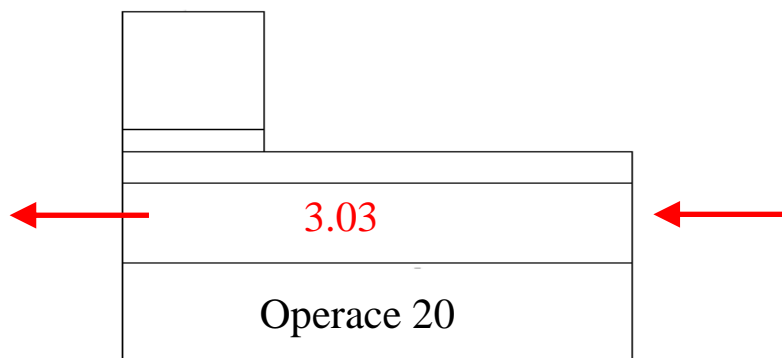


Obr. 49 Pracoviště 3.02 pro operaci 10 [12].

Operace 20

Tab. 11 Popis pracovní činnosti operace 20 [12].

Činnost	Popis pracovní činnosti	Čas [s]		MTM kód
		ruční	strojní	
1	Zavést paletu do stanice pro rozměření tělesa, zavřít dveře.	2,1		N
2	Rozměřit těleso.		8,1	Ch
3	Posunout paletu s tělesem na doraz. Vložit hřídel do přípravku a polohovat ji, zmáčknout tlačítko.	11,9		N
4	Rozměřit hřídel.		3,4	Ch
5	Vzít požadovanou podložku a potvrdit změřením. Vyjmout hřídel z přípravku, nasadit podložku. Vložit hřídel do tělesa.	17,6		N
6	Poslat paletu na další pracoviště.	2,1		N

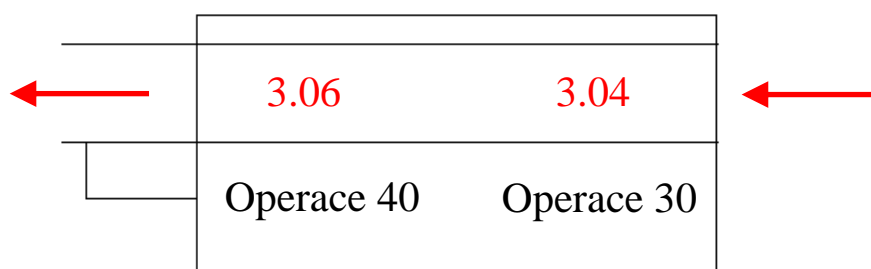


Obr. 50 Pracoviště 3.03 pro operaci 20 [12].

Operace 30

Tab. 12 Popis pracovní činnosti operace 30 [12].

Činnost	Popis pracovní činnosti	Čas [s]		MTM kód
		ruční	strojní	
1	Zavést paletu do stanice na doraz. Vložit do tělesa přípravek pro montáž pístu. Vložit píst skrz přípravek do tělesa.	10,1		N
2	Vzít do kleští vačkový prstenec a vložit ho do tělesa výstupkem prstence do vybraní pístu.	9,5		N



Obr. 51 Pracoviště 3.04 pro operaci 30 a pracoviště 3.06 pro operaci 40 [12].

Operace 40

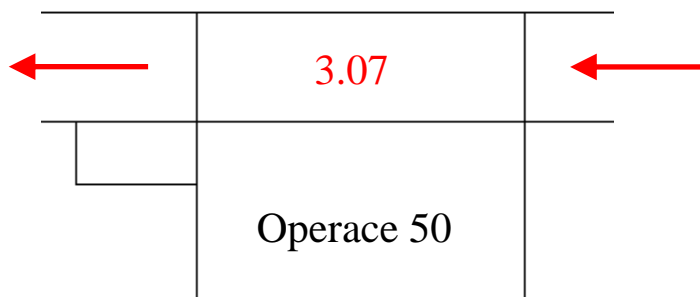
Tab. 13 Popis pracovní činnosti operace 40 [12].

Činnost	Popis pracovní činnosti	Čas [s]		MTM kód
		ruční	strojní	
1	Zavést paletu do stanice. Vložit ložisko na trn lisu, obouruční spuštění stroje.	10,9		N
2	Lisování ložiska.		13,7	Ch
3	Kontrolovat signalizaci, položit těleso na paletu. Zkontrolovat funkčnost protočením hřídele.	17,4		N

Operace 50

Tab. 14 Popis pracovní činnosti operace 50 [12].

Činnost	Popis pracovní činnosti	Čas [s]		MTM kód
		ruční	strojní	
1	Zavést paletu do stanice na doraz. Těleso zajistit zakládacím přípravkem. Vložit do tělesa přípravek pro montáž senzoru.	3,9		N
2	Umístit těsnicí kroužky na řídicí jednotku.	22,8		N
3	Prostrčit konec senzoru skrz řídicí jednotku. Překlopit přípravek s řídicí jednotkou k tělesu. Vložit šrouby do otvorů senzoru.	15,5		N
4	Spustit automatický cyklus šroubování pro utažení šroubů senzoru.	14,7		N
5	Utáhnout blokovací šroub.	7,1		N
6	Dosadit řídicí jednotku na těleso.	1,3		N
7	Vložit šrouby do řídicí jednotky, utáhnout šrouby pneumatickým utahovákem.	16,6		N
8	Zkontrolovat display, zda šroubovací cyklus proběhl dle parametrů. Zásunout zakládací přípravek do základní polohy. Uvolnit doraz a posunout paletu na další pracoviště.	4,0		N

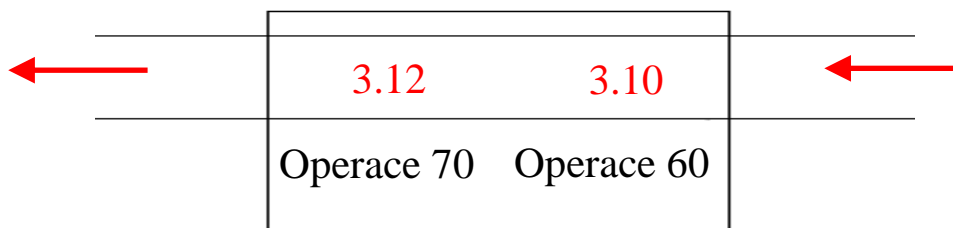


Obr. 52 Pracoviště 3.07 pro operaci 50 [12].

Operace 60

Tab. 15 Popis pracovní činnosti operace 60 [12].

Činnost	Popis pracovní činnosti	Čas [s]		MTM kód
		ruční	strojní	
1	Zavést paletu do stanice na doraz. Nasadit přípravek pro letování. Nasadit otvory senzoru na piny řídicí jednotky.	5,7		N
2	Letovat čtyři spoje.	14,8		N
3	Opticky zkontrolovat kvalitu spojů. Odložit pomůcky, otočit čerpadlo.	6,8		N



Obr. 53 Pracoviště 3.10 pro operaci 60 a pracoviště 3.12 pro operaci 70 [12].

Operace 70

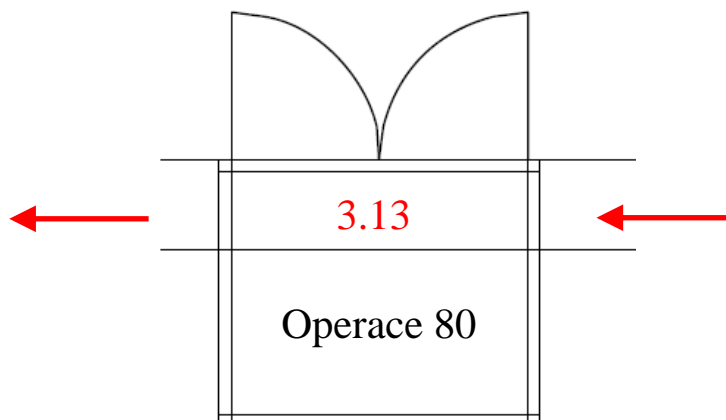
Tab. 16 Popis pracovní činnosti operace 70 [12].

Činnost	Popis pracovní činnosti	Čas [s]		MTM kód
		ruční	strojní	
1	Zkompletovat klec a váleček.	13,2		N
2	Vložit sestavu do drážky hřídele. Naolejovat vnitřek tělesa.	13,9		N
3	Uvolnit doraz a posunout paletu na pásový dopravník do další operace.	1,3		N

Operace 80

Tab. 17 Popis pracovní činnosti operace 80 [12].

Činnost	Popis pracovní činnosti	Čas [s]		MTM kód
		ruční	strojní	
1	Automatický proces nastavení úhlu natočení hřídele a senzoru.		36,6	Ch

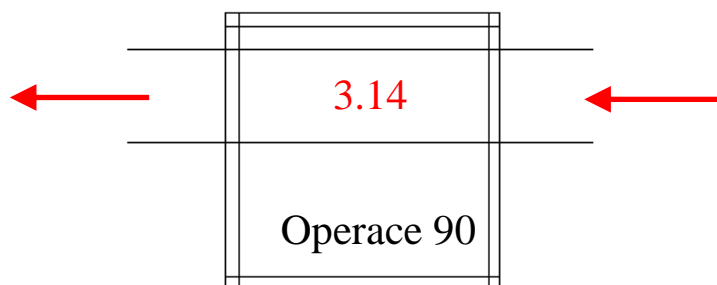


Obr. 54 pracoviště 3.13 pro operaci 80 [12].

Operace 90

Tab. 18 Popis pracovní činnosti operace 90 [12].

Činnost	Popis pracovní činnosti	Čas [s]		MTM kód
		ruční	strojní	
1	Zavést paletu do stanice na doraz. Vložit vysokotlakou hlavu do trnu lisu. Sundat krytku z hlavy. Polohovat hlavu a píst hlavy.	22,9		N
2	Zavřít dveře a spustit lisovací proces obouručně.	3,1		N
3	Lisování hlavy.		13,6	Ch
4	Kontrola křivky průběhu lisování. Kontrola zalisování. Uvolnit doraz a posunout paletu na další pracoviště.	5,9		N

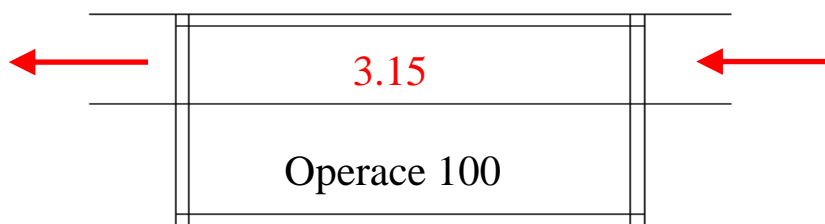


Obr. 55 Pracoviště 3.14 pro operaci 90 [12].

Operace 100

Tab. 19 Popis pracovní činnosti operace 100 [12].

Činnost	Popis pracovní činnosti	Čas [s]		MTM kód
		ruční	strojní	
1	Sundat krytku z magnetického regulačního ventilu DMV10 a vsunout ho do tělesa, zasunout magnetický ventil DMV12 do vysokotlaké hlavy.	6,6		N
2	Zajistit ventil DMV12 podložkou k tělesu. Umístit držák kabelů na těleso a zajistit šrouby.	15,1		N
3	Vložit 4 ks šroubů do vysokotlaké hlavy a uchytit je. Posunout paletu pod lis a zajistit ji pomocí zarážky.	14,8		N
4	Zalisovat magnetický ventil DMV12.	5,0		N

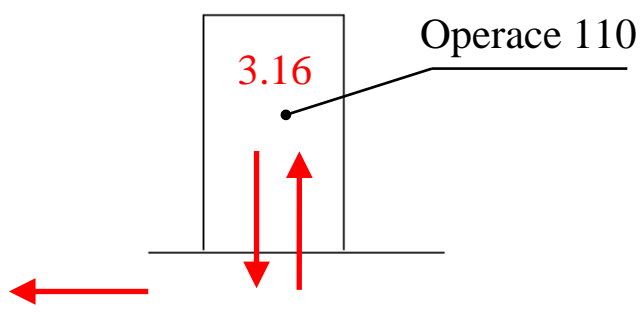


Obr. 56 Pracoviště 3.15 pro operaci 1000 [12].

Operace 110

Tab. 20 Popis pracovní činnosti operace 110 [12].

Činnost	Popis pracovní činnosti	Čas [s]		MTM kód
		ruční	strojní	
1	Vyjmout čerpadlo z palety, vložit ho do přípravku. Vložit přesuvník do tělesa a nasadit víčko.	9,0		N
2	Zajistit víčko. Vložit skrz otvory víčka šrouby a utáhnout je pneumatickým utahovákem.	13,8		N
3	Vložit čerpadlo zpět na dopravní paletu. Uvolnit doraz a posunout paletu na pásový dopravník do další operace.	5,9		N

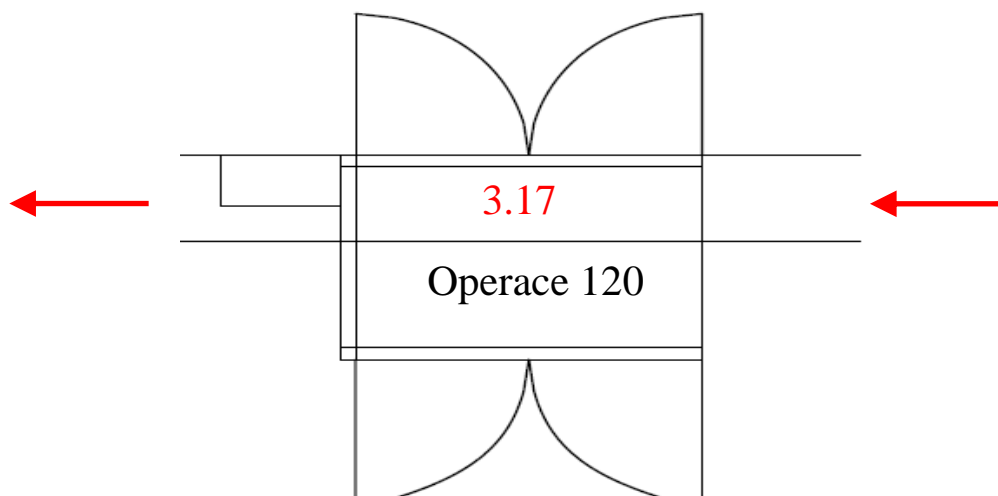


Obr. 57 Pracoviště 3.16 pro operaci 110 [12].

Operace 120

Tab. 21 Popis pracovní činnosti operace 120 [12].

Činnost	Popis pracovní činnosti	Čas [s]		MTM kód
		ruční	strojní	
1	Automatický šroubovací cyklus. Utažení hlavy a ventilu DMV10 a DMV12.		37,5	Ch

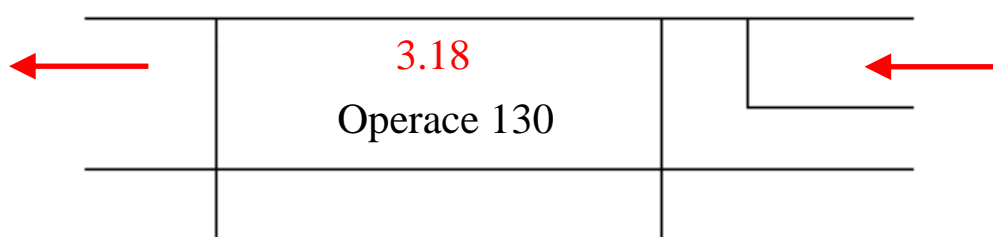


Obr. 58 Pracoviště 3.17 pro operaci 120 [12].

Operace 130

Tab. 22 Popis pracovní činnosti operace 130 [12].

Činnost	Popis pracovní činnosti	Čas [s]		MTM kód
		ruční	strojní	
1	Vložit podložku do vysokotlaké hlavy.	9,3		N
2	Našroubovat hrdlo do otvoru hlavy s podložkou.	5,5		N
3	Uvolnit doraz a posunout paletu na pásový dopravník do další operace.	1,2		N

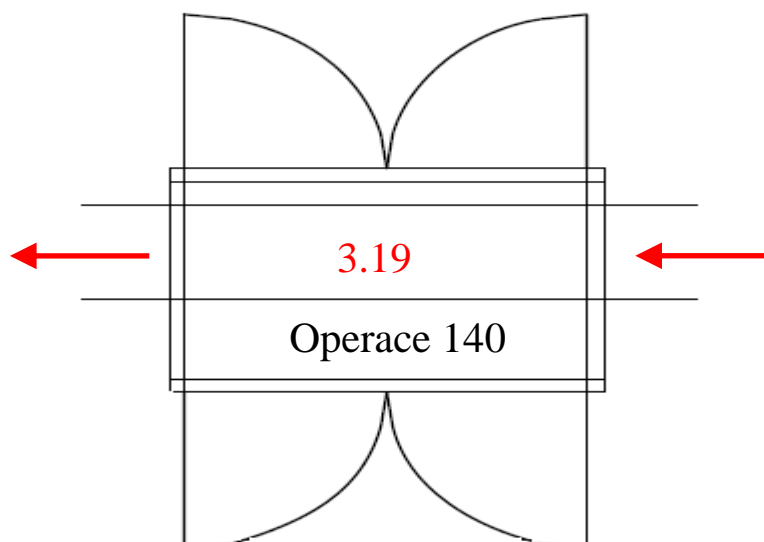


Obr. 59 Pracoviště 3.18 pro operaci 130 [12].

Operace 140

Tab. 23 Popis pracovní činnosti operace 140 [12].

Činnost	Popis pracovní činnosti	Čas [s]		MTM kód
		ruční	strojní	
1	Automatický šroubovací cyklus. Utažení hrdel.		37,9	Ch

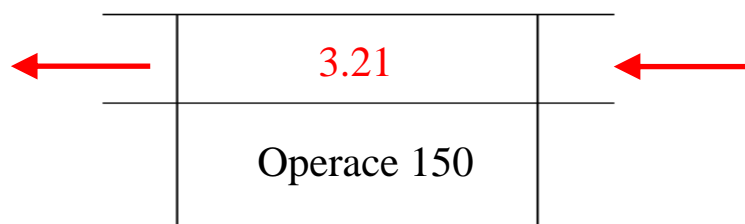


Obr. 60 Pracoviště 3.19 pro operaci 140 [12].

Operace 150

Tab. 24 Popis pracovní činnosti operace 150 [12].

Činnost	Popis pracovní činnosti	Čas [s]		MTM kód
		ruční	strojní	
1	Zavést paletu do stanice na doraz. Přetočit čerpadlo a položit ho na hroty. Povolit šroub na řídicí jednotce.	9,9		N
2	Vzít víčko a nasadit ho na řídicí jednotku. Vzít čtyři šrouby, prostrčit je otvory. Utáhnout šrouby pneumatickým utahovákem na požadovaný moment.	28,3		N
3	Kontrola momentu klíčem s pevnou hodnotou.	13,2		N
4	U kabelů trvale spojených pomocí konektoru použít stahovací pásy pro stažení kabelů. Uvolnit doraz a posunout paletu na pásový dopravník do další operace.	32,3		N

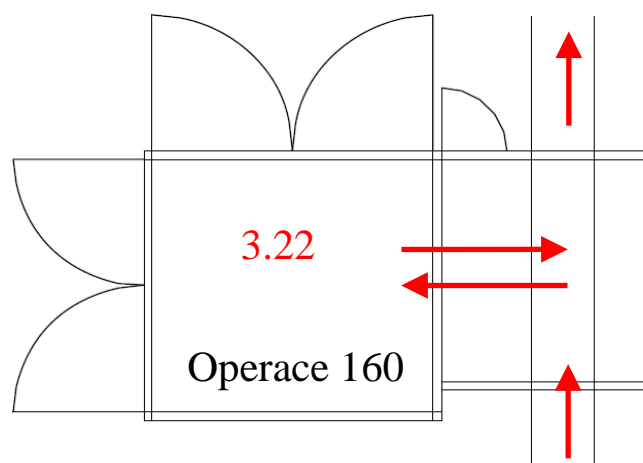


Obr. 61 Pracoviště 3.21 pro operaci 150 [12].

Operace 160

Tab. 25 Popis pracovní činnosti operace 160 [12].

Činnost	Popis pracovní činnosti	Čas [s]		MTM kód
		ruční	strojní	
1	Automatický cyklus - zkouška těsnosti héliem.		85,5	Ch

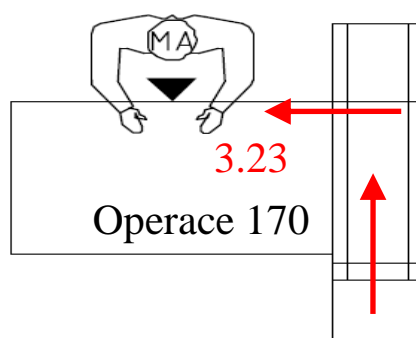


Obr. 62 Pracoviště 3.22 pro operaci 160 [12].

Operace 170

Tab. 26 Popis pracovní činnosti operace 170 [12].

Činnost	Popis pracovní činnosti	Čas [s]		MTM kód
		ruční	strojní	
1	Vyjmout čerpadlo z dopravní palety a vložit ho do přípravku. Našroubovat na hřídel přípravek pro měření axiální vůle. Zajistit hřídel proti protočení.	9,4		N
2	Měření axiální vůle.	17,5		N
3	Odjistit proti protočení hřídele. Přemístit čerpadlo do přípravku pro programování řídicí jednotky.	5,9		N

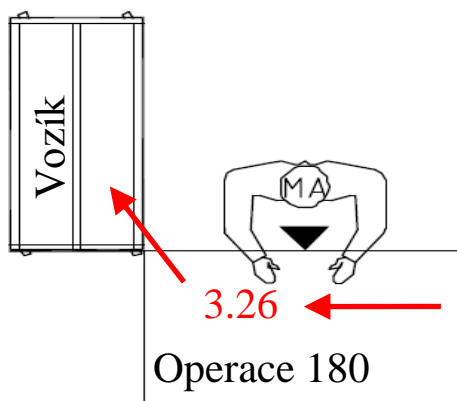


Obr. 63 Pracoviště 3.23 pro operaci 170 [12].

Operace 180

Tab. 27 Popis pracovní činnosti operace 180 [12].

Činnost	Popis pracovní činnosti	Čas [s]		MTM kód
		ruční	strojní	
1	Připojit k řídicí jednotce kabel programovací stanice.	10,2		N
2	Spustit automatický cyklus programování čerpadla.		86,3	Ch
3	Odpojit kabel programování.	2,1		N
4	Přemístit čerpadlo na vozík.	3,0		N



Obr. 64 Pracoviště 3.26 pro operaci 180 [12].

Tab. 28 Časy operací 10 až 90

Operace	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Označení času	t_{op10}	t_{op20}	t_{op30}	t_{op40}	t_{op50}	t_{op60}	t_{op70}	t_{op80}	t_{op90}
Čas ruční [s]	69,5	33,7	19,6	28,3	85,9	27,3	28,4	0	31,9
Čas strojní [s]	0	11,5	0	13,7	0	0	0	36,6	13,6

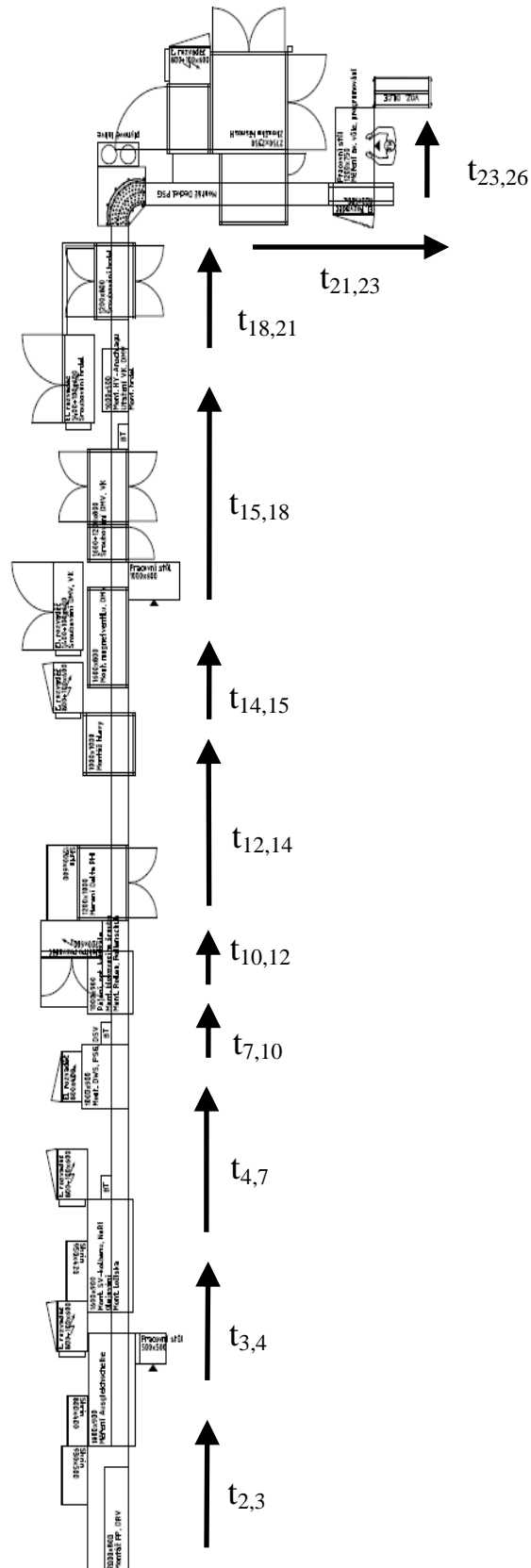
Tab. 29 Časy operací 100 až 180

Operace	100	110	120	130	140	150	160	170	180
Označení času	t_{op100}	t_{op110}	t_{op120}	t_{op130}	t_{op140}	t_{op150}	t_{op160}	t_{op170}	t_{op180}
Čas ruční [s]	41,5	28,7	0	16,0	0	83,7	0	32,8	15,3
Čas strojní [s]	0	0	37,5	0	37,9	0	85,5	0	86,3

Pro stanovení normy spotřeby času cyklů pracovníků je nutno stanovit časy přechodů operátorů mezi jednotlivými pracovišti. Pro stanice, jejichž provoz je plně automatický, nebudou časy přechodů zpracovány, protože zde se operátor nezastavuje. Jedná se o pracoviště 3.13, 3.17, 3.19 a 3.22. Pokud se dvě operace vykonávají na jednom stole, je hodnota času přechodu rovna nule a v tabulce 30 není tento čas uveden.

Tab. 30 Časy přechodů mezi jednotlivými pracovišti.

Pracoviště	Čas chůze [s]	Označení času	MTM kód
3.02	1,4	$t_{2,3}$	N
3.03	3,4	$t_{3,4}$	N
3.04	1,2	$t_{4,7}$	N
3.07	1,2	$t_{7,10}$	N
3.10	1,2	$t_{10,12}$	N
3.12	3,4	$t_{12,14}$	N
3.14	1,2	$t_{14,15}$	N
3.15	1,2	$t_{15,18}$	N
3.18	1,2	$t_{18,21}$	N
3.21	3,9	$t_{21,23}$	N
3.23	0,6	$t_{23,26}$	N



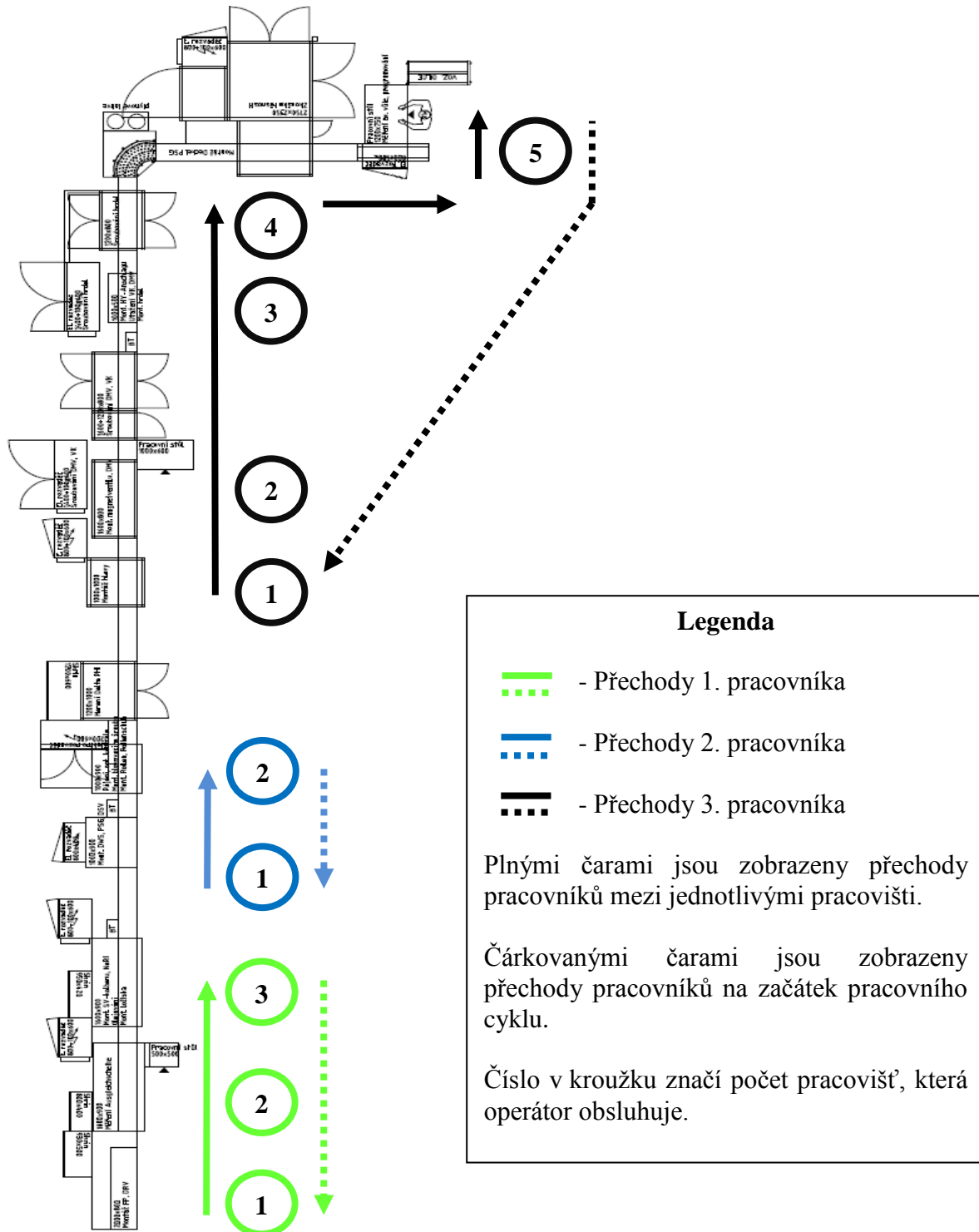
Obr. 65 Ukázka přechodů mezi pracovišti.

Tab. 31 Souhrn charakteristik montážní linky.

Umístění linky:		WI	Středisko:				515445	Produkt:		VP44
Klasifikace montážní linky	Tvar linky:		L							
	Prostorové uspořádání:		jednoduchá linka							
	Obsazení stran:		jednostranná linka							
	Stupeň mechanizace:		poloautomatizovaná linka							
	Způsob pohybu výrobku:		linka s pohybujícím se výrobkem							
	Druh montážního taktu:		linka s pevným montážním taktem							
	Směr pohybu linky:		jednosměrná linka							
Operace	Postavení pracoviště		Použité technologie				Čas operátora [s]		Přemístování výrobku	
	přímé	boční	šroubování	lisování	pájení	měření	ruční	strojní	ručně	dopravník
10	X		X				X		X	
20	X	X					X	X	X	
30	X			X			X		X	
40	X			X			X	X	X	
50	X		X				X		X	
60	X				X		X		X	
70	X						X		X	
80	-	-				X		X		X
90	X			X			X	X	X	
100		X	X				X		X	
110	X						X		X	
120	-	-						X		X
130	X						X		X	
140	-	-	X					X		X
150	X		X				X		X	
160	-	-						X		X
170	X					X	X		X	
180	X					X	X	X	X	
Legenda		BUŇKE SE VYPLŇUJE								
		PŘEDEPSANÉ CHARAKTERISTIKY								
		NETÝKÁ SE PRACOVIŠTĚ								
		- NERELEVANTNÍ PRO DANÉ PRACOVIŠTĚ								
		X TÝKÁ SE PRACOVIŠTĚ								

3.3 Analýza spotřeby práce

V současné době na montážní lince pracují tři operátoři, z tohoto důvodu bude analýza provedena při tomto obsazení linky. Pro snadnější zjištění, které operace pracovníci vykonávají, je vytvořen obrázek přechodů pracovníků, který je zobrazen na obrázku 66.



Obr. 66 Obrázek přechodů pracovníků mezi jednotlivými pracovišti - současný stav řešení.

[12].

3.3.1 Spotřeba času 1. pracovníka

Na obrázku 66 je vidět, že pracovník 1 přechází mezi třemi stanovišti. Na stanovišti 1 dělá operaci 10, na stanovišti 2 operaci 20 a na stanovišti 3 operaci 30 a 40. Délku cyklu 1. pracovníka se získá jako součet ručních časů operací 10, 20, 30, 40 a přechody mezi stanovištěm 1, 2, 3 a zpět.

$$CC_{P1S} = t_{op10} + t_{op20} + t_{op30} + t_{op40} + 2 \cdot (t_{2,3} + t_{3,4})$$

$$CC_{P1S} = 69,5 + 33,7 + 19,6 + 28,3 + 2 \cdot (1,4 + 3,4) = 160,7 \text{ s}$$

3.3.2 Spotřeba času 2. pracovníka

Pracovník 2 přechází mezi dvěma stanovišti. Na stanovišti 1 vykonává operaci 50 a na stanovišti 2 operace 60 a 70. Stejně jako u prvního pracovníka součtem ručních časů operací a přechodů mezi jednotlivými stanovišti získáme čas cyklu 2. pracovníka.

$$CC_{P2S} = t_{op50} + t_{op60} + t_{op70} + 2 \cdot (t_{7,10} + t_{10,12})$$

$$CC_{P2S} = 85,9 + 27,3 + 28,4 + 2 \cdot (1,2 + 1,2) = 146,4 \text{ s}$$

3.3.3 Spotřeba času 3. pracovníka

Postup stanovení času cyklu 3. pracovníka se provede stejně jako u pracovníků v předchozích dvou případech. Z přechodů pracovníků na obrázku 66 je zřejmé, že pracovník přechází mezi pěti stanovišti. Na stanovišti 1 provádí operaci 90, na stanovišti 2 operaci 100 a 110, na stanovišti 3 operaci 130, na stanovišti 4 operaci 150 a na stanovišti 5 operace 170 a 180. K ručním časům opět přičteme přechody mezi pracovišti.

$$CC_{P3S} = t_{op90} + t_{op100} + t_{op110} + t_{op130} + t_{op150} + t_{op170} + t_{op180} + \\ + 2 \cdot (t_{14,15} + t_{16,18} + t_{18,21} + t_{21,23} + t_{23,26})$$

$$CC_{P3S} = 31,9 + 41,5 + 28,7 + 16,0 + 83,7 + 32,8 + 15,3 + \\ + 2 \cdot (1,2 + 1,2 + 1,2 + 3,9 + 0,6) = 266,1 \text{ s}$$

3.3.4 Souhrn časů cyklů a diagram taktu

Pro vytvoření diagramu taktu byly časy jednotlivých operací a výsledných časů cyklu pracovníků shrnuty do tabulky 32. V diagramu se vyznačí nejdelší čas cyklu, který je zároveň taktům linky. Dále bude zobrazen zákaznický takt, jenž byl vypočten dle vztahu 4 a má hodnotu:

$$ZT = \frac{PDV \cdot 60}{Q_z} = \frac{440 \cdot 60}{113} = 233,6 \text{ s,}$$

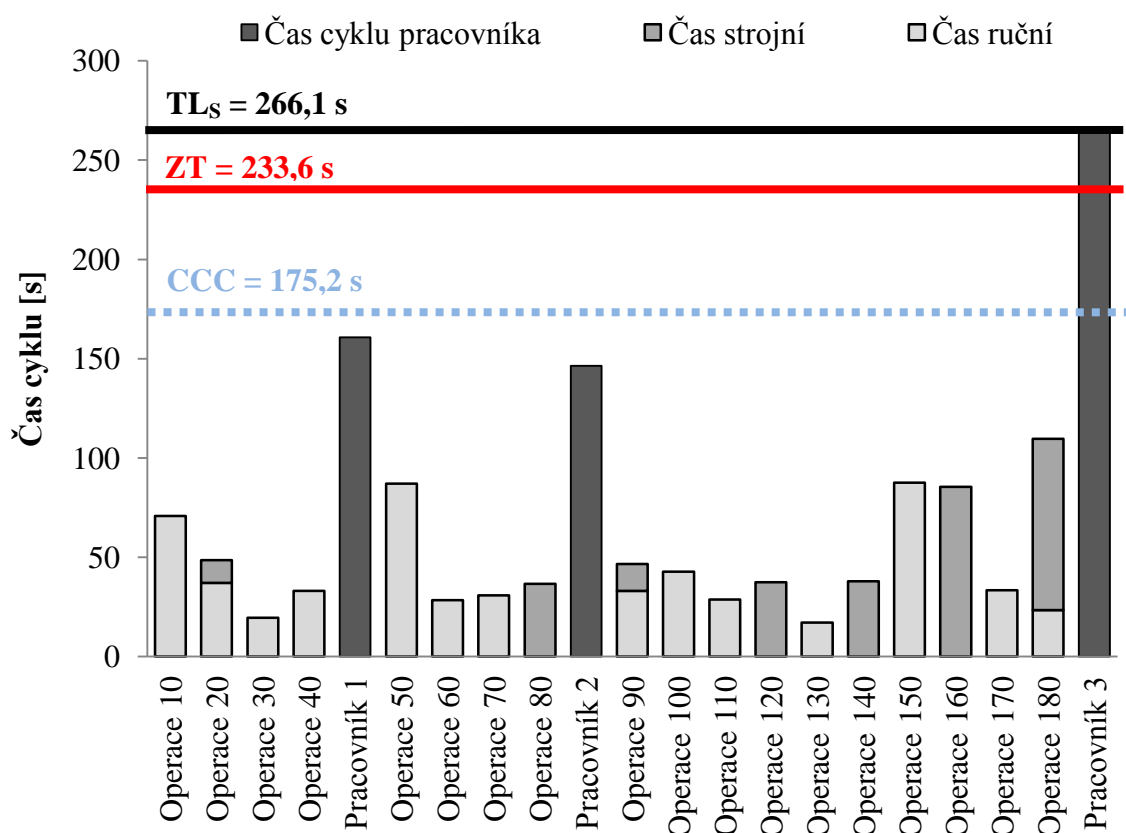
ze kterého následně dle vztahu 13 vypočteme cílový čas cyklu, který v časových ukazatelích zohledňuje ztráty daného zařízení. Pro výpočet CCC se použije hodnota OEE=75%, která udává velikost ztrát z předchozího měsíce.

$$CCC = ZT \cdot \frac{OEE}{100} = 233,6 \cdot \frac{75}{100} = 175,2 \text{ s}$$

Do celkového času cyklu pracovníka jsou zahrnuty pouze ruční časy a časy přechodů Operátora. Strojní časy se do tohoto cyklu nezahrnují, protože na vytížení pracovníka nemají vliv. V tabulce 32 v kolonce Čas přechodu je uvedena doba chůze pracovníka. Šipka u časové hodnoty naznačuje směr přechodu operátora na další pracoviště.

Tab. 32 Souhrn časů jednotlivých operací [12].

Operace	Čas ruční [s]	Čas strojní [s]	Čas přechodu [s]
10	69,5	0	↓ 1,4
20	33,7	11,5	↓ 3,4
30	19,6	0	↓ 0,0
40	28,3	13,7	↑ 4,8
Celkový čas cyklu 1. pracovníka ⇒ CC_{P1S} = 160,7s			
50	85,9	0	↓ 1,2
60	27,3	0	↓ 1,2
70	28,4	0	↑ 2,4
80	0	36,6	↓ 0,0
Celkový čas cyklu 2. pracovníka ⇒ CC_{P2S} = 146,4s			
90	31,9	0	↓ 1,2
100	41,5	0	↓ 1,2
110	28,7	0	↓ 0,0
120	0	37,5	↓ 0,0
130	16,0	0	↓ 1,2
140	0	37,9	↓ 0,0
150	83,7	0	↓ 3,9
160	0	85,5	↓ 0,0
170	32,8	0	↓ 0,6
180	15,3	86,3	↑ 8,1
Celkový čas cyklu 3. pracovníka ⇒ CC_{P3S} = 266,1s			



Obr. 67 Diagram taktu současný stav řešení.

Z obrázku 67 vyplývá, že při současném stavu řešení je takt linky delší o 32,5s než zákaznický takt. Z předcházejících kapitol je zřejmé, že nemohou být splněny požadavky zákazníka na počet vyráběných kusů. Hodnota CCC ukazuje zákaznický takt po zohlednění ztrát výrobního zařízení z minulého měsíce. Ideálním stavem je, aby TL_S byl pod úrovní CCC. Jestliže by ztráty výrobního zařízení byly v současném měsíci menší než v měsíci předcházejícím, je pro splnění požadavků zákazníka dostačující, aby TL_S bylo pod ZT.

4 NÁVRH ZLEPŠENÍ PRO SNÍŽENÍ VÝROBNÍHO TAKTU

V níže uvedené části práce bude proveden rozbor možných řešení pro snížení výrobního taktu montážní linky čerpadel. Ze získaných a zpracovaných výstupů by měly být stanoveny standardy, které povedou ke snížení maximální doby cyklu.

4.1 Metoda 1 - balancování linky

Slovem balancování se v této části práce myslí přerozdělení činností v jednotlivých operacích. Aby bylo možné provést balancování operací, je nutno nejprve spočítat průměrný čas cyklu. Časy cyklů jednotlivých operátorů by se k této průměrné hodnotě měly co nejvíce blížit, aby došlo k jejich rovnoměrnému vytížení. Nyní je nutno určit rozdíly mezi průměrným časem cyklu, který lze vypočítat následovně:

$$CC_P = \frac{\sum CC_{Pi}}{P_P} = \frac{160,7 + 146,4 + 266,1}{3} = \frac{573,2}{3} = 191,1 \text{ s,}$$

a cykly pracovníků v současném stavu. Z těchto rozdílů je následně možné stanovit, zda pracovníkům ubrat nebo přidat pracovní činnost a v jaké přibližné časové délce.

$$\Delta_1 = CC_P - CC_{P1} = 191,1 - 162 = 29,1 \text{ s}$$

$$\Delta_2 = CC_P - CC_{P2} = 191,1 - 145,5 = 45,6 \text{ s}$$

$$\Delta_3 = CC_P - CC_{P3} = 191,1 - 266,1 = -75 \text{ s}$$

Z výpočtu rozdílů průměrného cyklu a cyklů jednotlivých pracovníků vyplývá, že 1. pracovníkovi se musí přidat činnost v délce 29s, 2. pracovníkovi se musí přidat činnost v délce 46s a 3. pracovníkovi se musí odebrat činnost v délce 75s. Předání pracovních činností mezi jednotlivé pracovníky musí splňovat určitá pravidla. Například určitý úkon započatý pracovníkem by měl být i tímto pracovníkem dokončen. Pokud by tomu tak nebylo, mohlo by dojít například k namontování nekompletní sestavy dílů. Poměrně snadným řešením je přesunutí určité operace na jiné pracoviště. Ovšem je důležité posoudit, zda je to technologicky a technicky možné. Dalším podstatným hlediskem je, že pokud se rozdělí činnosti v jedné operaci mezi dva operátory, může nastat stav, kdy se oba pracovníci sejdou na stejném pracovišti současně. V této situaci je důležité, aby si oba operátoři vzájemně nepřekáželi a měli dostatek místa k provedení činnosti.

4.1.1 Spotřeba času 1. pracovníka po balancování

Z rozboru spotřeby času 1. pracovníka v současném stavu řešení je zřejmá nutnost zvýšit jeho vytižení o $\Delta_1=29s$. Tento pracovník vykonává operace 10, 20, 30 a 40, a proto by nejjednodušším řešením bylo, aby se operátorovi přidala celá následující operace 50. Toto řešení však nepřipadá v úvahu, protože čas operace $t_{op50} = 87,1s$ je mnohem delší než požadované $\Delta_1=29s$. Operátorovi budou přiřazeny pouze určité pracovní činnosti, které se nejvíce blíží Δ_1 . Jedná se o první dvě pracovní činnosti operace 50, uvedené v tabulce 33.

Tab. 33 Činnosti přiřazené z operace 50 pro vybalancování 1. pracovníka [12].

Činnost	Popis pracovní činnosti	Čas [s]		MTM kód
		ruční	strojní	
1	Zavést paletu do stanice na doraz. Těleso zajistit zakládacím přípravkem. Vložit do tělesa přípravek pro montáž senzoru.	3,9		N
2	Umístit o-kroužky na řídicí jednotku.	22,8		N

Hodnota času nově přiřazené činnosti je rovna:

$$\Delta t_{op50} = 3,9 + 22,8 = 26,7 s$$

S přiřazením nové činnosti vyvstal nový čas přechodu operátora, z pracoviště 3.06 na 3.07 v hodnotě 1,2s, který je nutno do spotřeby času zahrnout. Dále se zvýšil čas přechodu mezi první a poslední operací taktéž o 1,2s. Čas cyklu pracovníka po vybalancování činností se rovná:

$$CC_{P1V1} = t_{op10} + t_{op20} + t_{op30} + \Delta t_{op40} + \Delta t_{op50} + 2 \cdot (t_{2,3} + t_{3,4} + t_{4,7})$$

$$CC_{P1V1} = 69,5 + 33,7 + 19,6 + 28,3 + 26,7 + 2 \cdot (1,4 + 3,4 + 1,2) = 189,8 s$$

4.1.2 Spotřeba času 2. pracovníka po balancování

Pro vybalancování 2. pracovníka byla vypočtená délka činnosti, jež se má operátorovi přiřadit, na $\Delta_2 = 46s$. Tento rozdíl se však ještě zvýší o činnost, která byla 2. pracovníkovi odebrána a přiřazena 1. pracovníkovi. Nová hodnota rozdílu mezi průměrným taktům a současným cyklem pracovníka lze vypočítat následovně:

$$\Delta_{21} = \Delta_2 + \Delta t_{op50} = 46 + 26,7 = 72,7 s$$

V tomto případě je možné pro vybalancování času pracovníkova, jenž v současné době obsluhuje operace 50, 60 a 70, přiřadit následující operace 80 a 90. Součet časů těchto operací je 73,4s a téměř se rovná $\Delta_{21} = 72,7s$.

Čas cyklu 2. pracovníka bude roven:

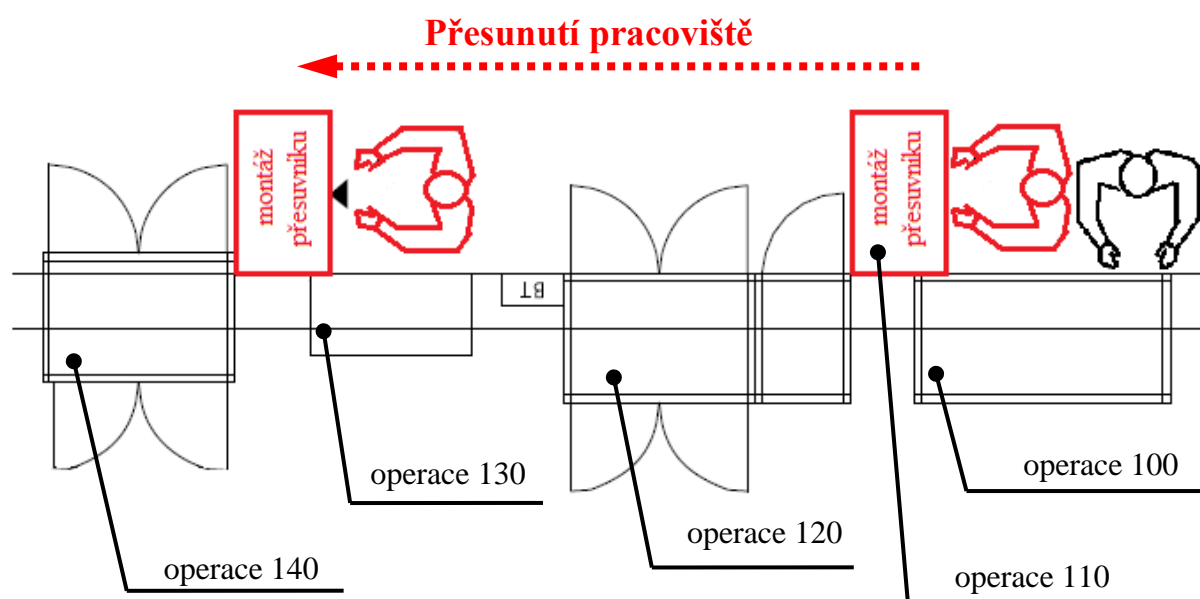
$$CC_{P2V1} = t_{op50} - \Delta t_{op50} + t_{op60} + t_{op70} + t_{op90} + t_{op100} + 2 \cdot (t_{7,10} + t_{10,12} + t_{12,14} + t_{14,15})$$

$$CC_{P2V1} = 85,9 - 26,7 + 27,3 + 28,4 + 31,9 + 41,5 + 2 \cdot (1,2 + 1,2 + 3,4 + 1,2)$$

$$CC_{P2V1} = 202,3 s$$

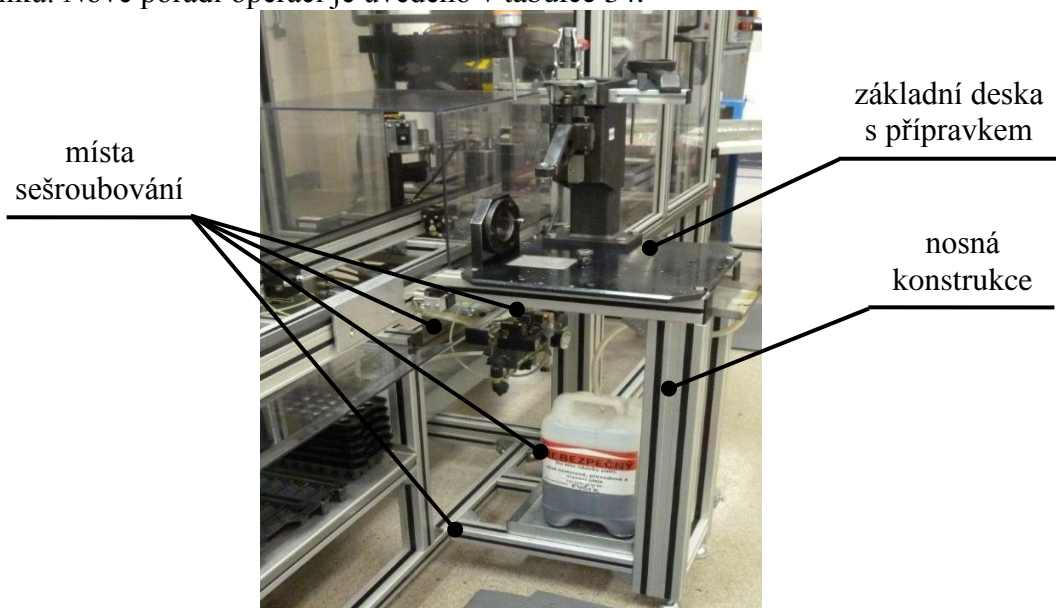
4.1.3 Spotřeba času 3. pracovníka po balancování

Čas cyklu 3. pracovníka byl v současném stavu řešení nejdelší. V kapitole 4.1 bylo vypočteno, že se mu musí odebrat činnost v hodnotě $\Delta_3 = 75s$. K vyrovnání času cyklu došlo odebráním operace 90 a 100, které byly přiřazeny 2. pracovníkovi. Při tomto řešení však nastal ergonomický problém. Důvodem je, že operace 100 a 110 se provádí na stejném pracovišti a mohlo by dojít k situaci, kdy se oba operátoři sejdou na pracovišti současně a budou si navzájem překážet. Tento problém je zobrazen na obrázku 68. Červeně je označen 3. pracovník a černě 2. pracovník. Řešením situace je přesunout pracoviště pro montáž přesuvníku až k pracovišti 3.18. Pracoviště montáž přesuvníku, na obrázku 69, má boční postavení a konstrukčně je provedeno jako základní deska, která leží na nosné konstrukci z hliníkových unifikovaných profilů. Na základní desce je položen přípravek pro montáž přesuvníku. Technicky je přesunutí pracoviště poměrně snadné a časově nenáročné. Z technologického hlediska není v posunutí montážní operace také žádný problém. Výhodou přesunu pracoviště není pouze zlepšení ergonomie, ale také snížení počtu přechodů 3. pracovníka, čímž se sníží čas jeho pracovního cyklu.



Obr. 68 Přesunutí pracoviště pro montáž přesuvníku [12].

Přesunem pracoviště se změní i sled operací, který nemá vliv na předchozí rozbor časů cyklů pracovníků. Nové pořadí operací je uvedeno v tabulce 34.



Obr. 69 Pracoviště pro montáž přesuvníku [12].

Tab. 34 Seznam operací montáže po přesunutí operace montáž přesuvníku [12].

Operace	Pracoviště	Popis činnosti
10	(3.02)	Montáž dopravní pumpy a ventilu
20	(3.03)	Montáž hřídele
30	(3.04)	Montáž pístu a vačkového prstence
40	(3.06)	Montáž ložiska
50	(3.07)	Montáž senzoru řídicí jednotky
60	(3.10)	Pájení senzoru a optická kontrola
70	(3.12)	Montáž klecí a válečků
80	(3.13)	Měření IWZ $\Delta\phi_1$
90	(3.14)	Montáž hlavy
100	(3.15)	Montáž ventilu DMV10 a DMV12
110	(3.16)	Montáž přesuvníku
110	(3.17)	Utažení hlavy a ventilu DMV10 a DMV12
120	(3.18)	Montáž hrdel
130	(3.16)	Montáž přesuvníku
140	(3.19)	Utažení hrdel
150	(3.21)	Montáž víka řídicí jednotky
160	(3.22)	Zkouška těsnosti He
170	(3.23)	Měření axiální vůle
180	(3.26)	Programování řídicí jednotky

Čas cyklu 3. pracovníka:

$$CC_{P3V1} = t_{op120} + t_{op130} + t_{op150} + t_{op170} + t_{op180} + 2 \cdot (t_{16,18} + t_{18,21} + t_{21,23} + t_{23,26})$$

$$CC_{P3V1} = 16,0 + 28,7 + 83,7 + 32,8 + 15,3 + 2 \cdot (1,2 + 3,9 + 0,6)$$

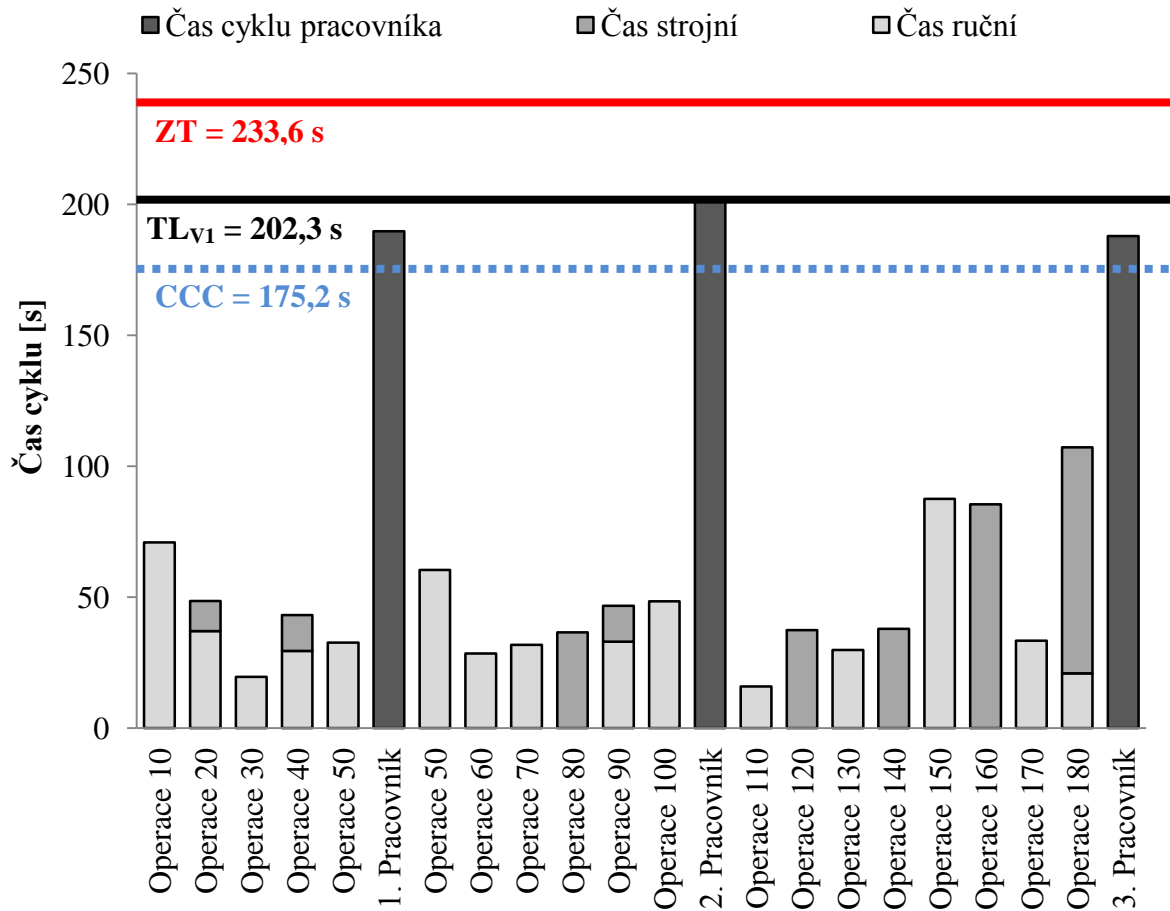
$$CC_{P3V1} = 187,9 \text{ s}$$

4.1.4 Souhrn časů cyklů a diagram taktu po balancování

Do celkového času cyklu pracovníka jsou zahrnuty pouze ruční časy a časy přechodů operátora. Strojní časy se do tohoto cyklu nezahrnují, protože na vytížení pracovníka nemají vliv.

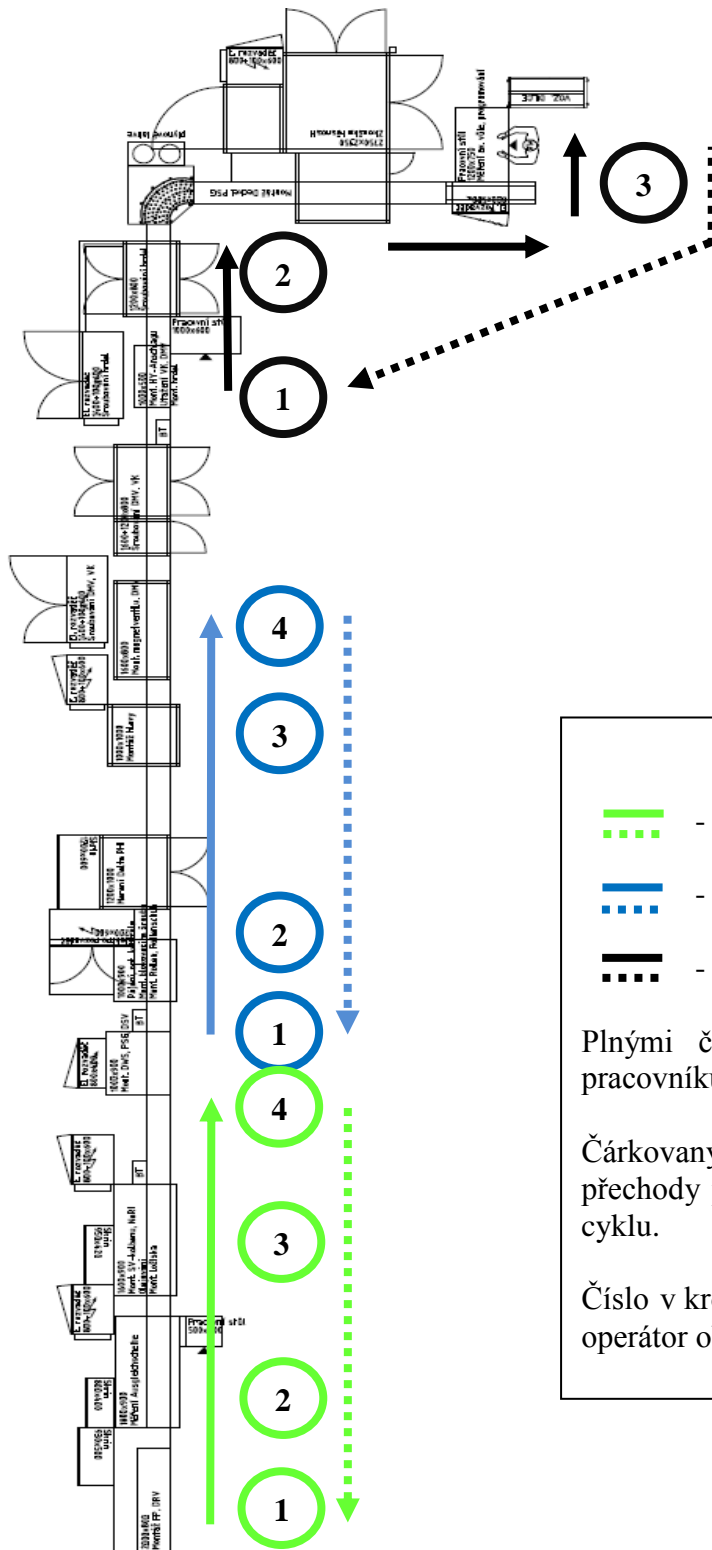
Tab. 35 Souhrn časů jednotlivých operací [12].

Operace	Čas ruční [s]	Čas strojní [s]	Čas přechodu [s]
10	69,5	0	↓ 1,4
20	33,7	11,5	↓ 3,4
30	19,6	0	↓ 0,0
40	28,3	13,7	↓ 1,2
50	26,7	0	↑ 6,0
Celkový čas cyklu 1. pracovníka ⇒ CC_{P1V1} = 189,8s			
50	59,2	0	↓ 1,2
60	27,3	0	↓ 1,2
70	28,4	0	↓ 3,4
80	0	36,6	↓ 0,0
90	31,9	13,6	↓ 1,2
100	41,5	0	↑ 7,0
Celkový čas cyklu 2. pracovníka ⇒ CC_{P2V1} = 202,3s			
110	0	37,5	↓ 0,0
120	16,0	0	↓ 0,0
130	28,7	0	↓ 1,2
140	0	37,9	↓ 0,0
150	83,7	0	↓ 3,9
160	0	85,5	↓ 0,0
170	32,8	0	↓ 0,6
180	15,3	86,3	↑ 5,7
Celkový čas cyklu 3. pracovníka ⇒ CC_{P3V1} = 187,9s			



Obr. 70 Diagram taktu po balancování.

Po použití první metody se takt linky snížil pod zákaznický takt. Pokud by nedocházelo k žádným ztrátám zařízení, je podnik schopen splnit požadavky zákazníka na požadovaný počet kusů. V průběhu výroby se ovšem ztráty vyskytují, proto je nutné snížit takt linky pod úroveň CCC. Na obrázku 71 je zobrazen nový způsob přechodů pracovníků na lince. 1.pracovníkovi přibylo jedno stanoviště, 2.pracovníkovi dvě stanoviště a 3.pracovníkovi ubyly dvě stanoviště. Důležité je seznámit všechny pracovníky s novým standardem přechodů.



Legenda

- Přejechy 1. pracovníka
- Přejechy 2. pracovníka
- Přejechy 3. pracovníka

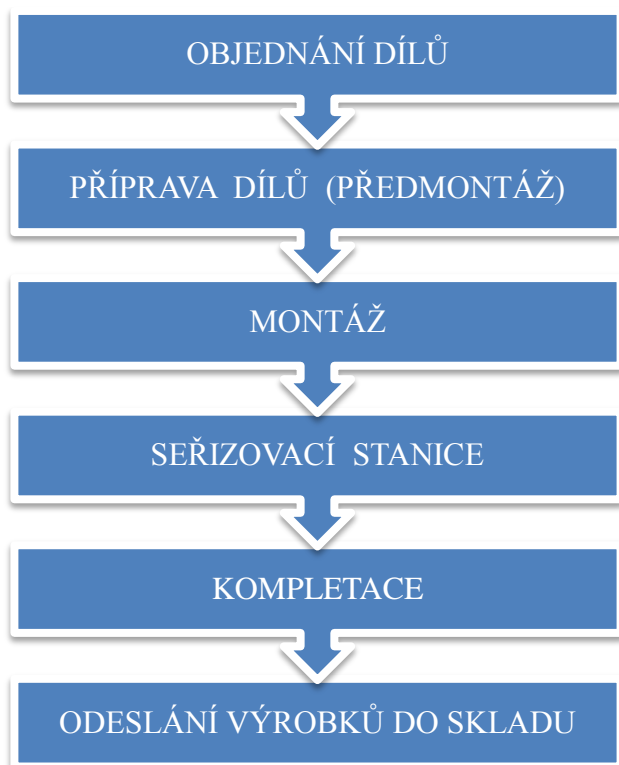
Plnými čarami jsou zobrazeny přechody pracovníků mezi jednotlivými pracovišti.

Čárkovanými čarami jsou zobrazeny přechody pracovníků na začátek pracovního cyklu.

Číslo v kroužku značí počet pracovišť, která operátor obsluhuje.

Obr. 71 Přejechy pracovníků mezi jednotlivými pracovišti po balancování [12].

4.2 Metoda 2 - snížení počtu činností



Obr. 72 Tok materiálu provozem.

Jednou z možných metod pro snížení taktu linky je odebrat některé činnosti z montážní linky čerpadel. V provozu, kde se tento projekt zpracovává, je tok materiálu zajištěn postupem zobrazeným na obrázku 72. Pokud by se na základě rozboru došlo k závěru, že lze některé činnosti odebrat z montážní linky, je nutné stanovit, kde se mají následně vykonat. Důležité je též udělat analýzu, zda by na zvolených pracovištích měli volnou časovou kapacitu pro vykonání požadované činnosti.

V této části bude proveden rozbor, jestli je možné snížit pracnost některých operací na montážní lince s následným návrhem, kde by se mohla daná činnost provést. Vychází se z předpokladu, že na navržených pracovištích je prostor pro jejich vykonání.

4.2.1 Spotřeba času 1. pracovníka po redukci činností

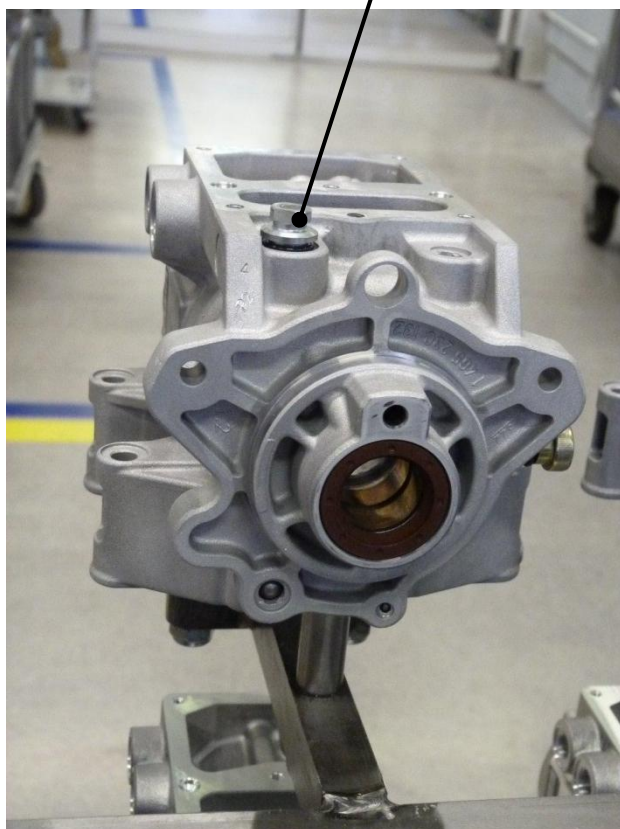
Při rozboru činností 1. pracovníka byla nalezena jedna činnost, v operaci 10, jejímž odebráním by se snížil cyklus pracovníka. Jedná se o našroubování nastavovacího ventilu na těleso a jeho utažení momentovým klíčem. Podrobný popis je uveden v tabulce 36.

Tab. 36 Činnost odebraná 1. pracovníkovi.

Operace	Činnost	Popis pracovní činnosti	Čas [s]		MTM kód
			ruční	strojní	
10	2	Našroubovat na těleso nastavovací ventil a utáhnout ho klíčem s pevnou hodnotou.	8,8		N

Utažení nastavovacího ventilu se provádí na dopravním vozíku (viz. obr. 73) pomocí klíče s pevnou hodnotou (viz. obr. 74) a není zapotřebí žádného přípravku. Z technologického pohledu je pouze podmínkou, aby byl ventil utažený před operací 160, což je zkouška těsnosti héliem. Z technického a technologického hlediska tedy nebrání nic tomu, aby činnost byla přesunuta do předmontáže.

nastavovací ventil



Obr. 73 Těleso uložené na vozíku připravené k utažení nastavovacího ventilu [12].



Obr. 74 Klíč s pevnou hodnotou pro utažení ventilu [12].

Doba odebrané činnosti činí:

$$\Delta t_{op10} = 8,8 \text{ s}$$

Nový čas operace 10:

$$t_{op10.1} = t_{op10} - \Delta t_{op10} = 69,5 - 8,8 = 60,7 \text{ s}$$

Čas cyklu pracovníka v tomto případě činí:

$$CC_{P1V2} = CC_{P1V1} - \Delta t_{op10} = 189,8 - 8,8 = 181 \text{ s}$$

4.2.2 Spotřeba času 2. pracovníka po redukci činností

V analýze operací 2. pracovníka se vycházelo z faktu, že po vybalancování byl čas jeho cyklu nejdelší. Hledaná činnost pro přesunutí by tedy měla být o něco delší než u 1. a 3. pracovníka. Při podrobném rozboru se došlo k závěru, že nejlepším řešením by bylo přesunout celou operaci 60 pájení senzoru řídicí jednotky.

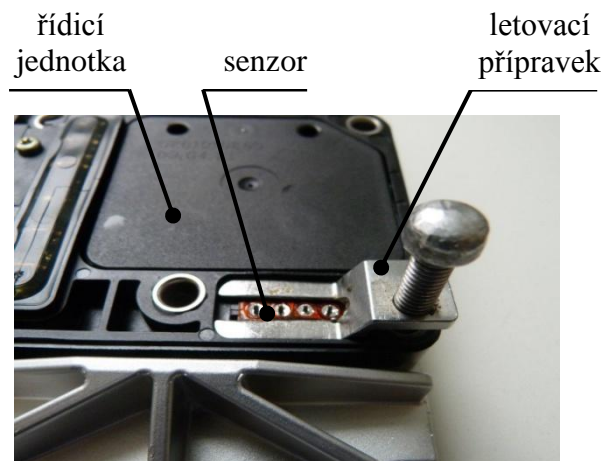
Tab. 37 Operace 60 odebraná 2. pracovníkovi.

Operace	Činnost	Popis pracovní činnosti	Čas [s]		MTM kód
			ruční	strojní	
60	1	Nasadit otvory senzoru na piny řídicí jednotky. Nasadit přípravek pro letování.	4,6		N
60	2	Letovat čtyři spoje.	14,8		N
60	3	Opticky zkontrolovat kvalitu spojů. Odložit pomůcky.	5,5		N
60	4	Zavést paletu do stanice.	1,1		N
60	5	Otočit čerpadlo.	1,3		N

Doba odebraných činností z operace 60:

$$\Delta t_{op60} = 4,6 + 14,8 + 5,5 = 27,3 \text{ s}$$

Pro letování senzoru se používá pájka značky WELLER zobrazená na obrázku 76. Toto zařízení je mobilní a je snadné ho přesunout na jiné pracoviště. Pro přidržení senzoru v místě letování se používá jednoduchý přípravek zobrazený na obrázku 75. Nejvhodnější nové zařazením operace je do procesu předmontáže. Z technického a technologického hlediska nebyly nalezeny žádné překážky pro přesunutí operace.



Obr. 75 Řídicí jednotka s příprvkem [12].



Obr. 76 Zařízení pro pájení senzoru [29].

Při přesunutí operace 60 do předmontáže jsou některé činnosti, které se musí přidat do předchozí nebo následující operace. Na stejném pracovišti jako operace 60 probíhá i operace 70, z tohoto důvodu budou činnosti, označené v tabulce 38 červeně, přesunuty do operace 70.

Tab. 38 Popis pracovní činnosti operace 70 po přidání činností z operace 60 [12].

Činnost	Popis pracovní činnosti	Čas [s]		MTM kód
		ruční	strojní	
1	Zavést paletu do stanice.	1,1		N
2	Otočit čerpadlo.	1,3		N
3	Zkompletovat klec a váleček.	13,2		N
4	Vložit sestavu do drážky hřídele. Naolejovat vnitřek tělesa.	13,9		N
5	Uvolnit doraz a posunout paletu na pásový dopravník do další operace.	1,3		N

Doba přidáných činností do operace 70:

$$\Delta t_{op70} = 1,1 + 1,3 = 2,4 \text{ s}$$

Nový čas operace 70:

$$t_{op70.1} = t_{op70} + \Delta t_{op70} = 28,4 + 2,4 = 30,8 \text{ s}$$

Celkový čas cyklu operátora:

$$CC_{P2V2} = CC_{P2V1} - \Delta t_{op60} + \Delta t_{op50} = 202,3 - 27,3 + 2,4 = 177,4 \text{ s}$$

4.2.3 Spotřeba času 3. pracovníka po redukci činností

Po vybalancování operací byl čas operátora $CC_{P3V1} = 187,9\text{s}$. Analýzou činností pracovníka bylo nalezeno několik variant pro snížení jeho cyklu. Jednou z možností bylo snížení pracnosti operace 150. Jedná se o odebrání činnosti kontrola utažení šroubů klíčem s pevnou hodnotou. Tato činnost je totiž zdvojená. Dalším místem, kde se vykonává, je pracoviště kompletace. Tudíž odebrání činnosti, uvedené v tabulce 39, z montážní linky nic nebrání.

Tab. 39 Činnost odebraná 3. pracovníkovi [12].

Operace	Činnost	Popis pracovní činnosti	Čas [s]		MTM kód
			ruční	strojní	
150	1	Kontrola utažení šroubů klíčem s pevnou hodnotou.	13,2		N

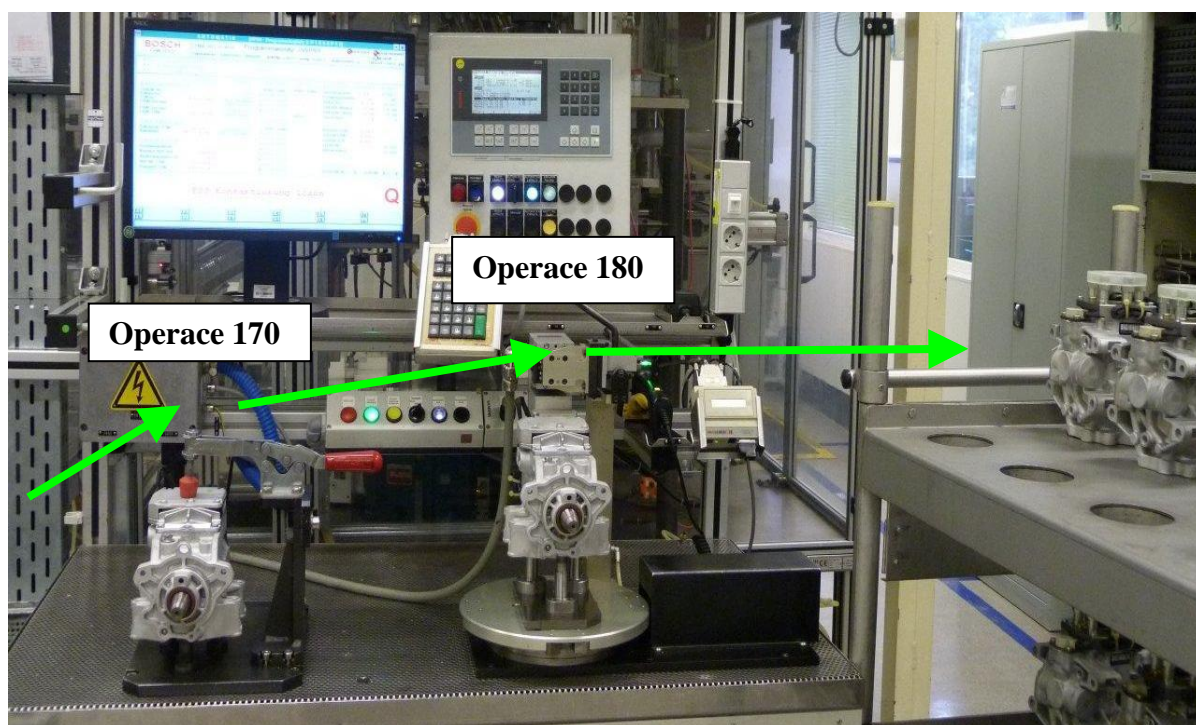
Doba odebraných činností operace 150 má hodnotu:

$$\Delta t_{op150} = 13,2 \text{ s}$$

Nový čas operace 150:

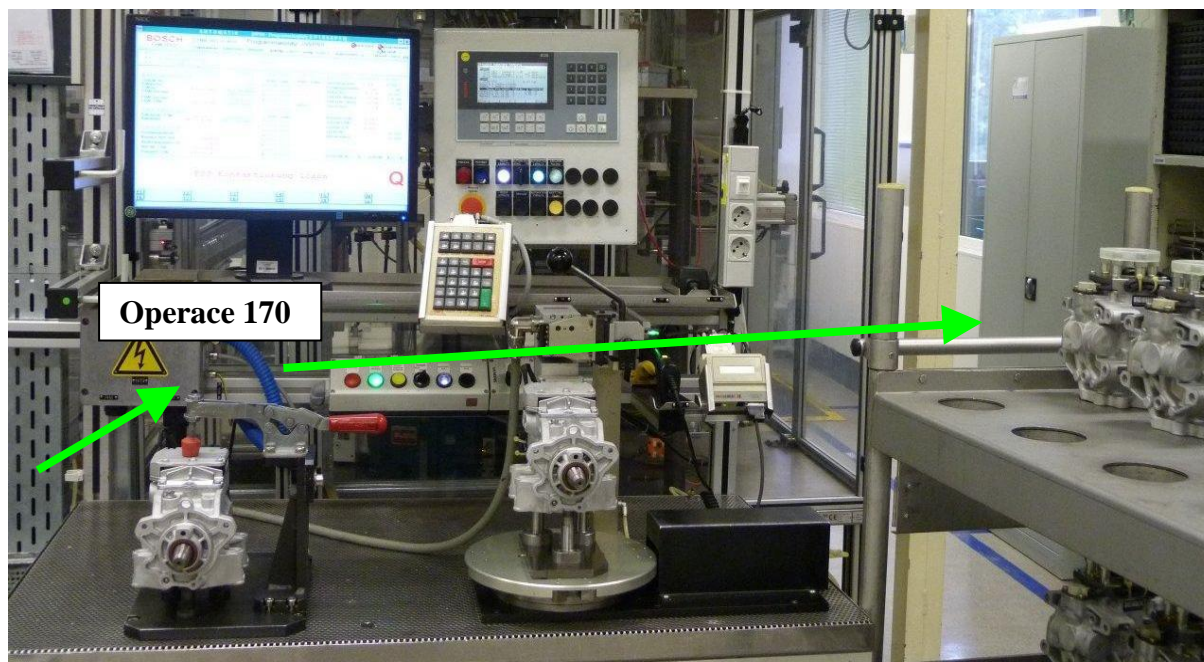
$$t_{op150.1} = t_{op150} - \Delta t_{op150} = 83,7 - 13,2 = 70,5 \text{ s}$$

Druhou variantou pro snížení cyklu pracovníka je odebrat celou operaci 180 programování řídicí jednotky. Konzultací s odpovědnými osobami bylo zjištěno, že naprogramovat lze řídicí jednotku i na zkušební stanici.



Obr. 77 Současný stav řešení operací 170 a 180 [12].

Na obrázku 77 je vidět současný stav řešení operací 170 a 180. Po vykonání zkoušky těsnosti héliem přijede čerpadlo na paletě k pracovišti měření axiální vůle, což je operace 170. Zde operátor vyjme čerpadlo z dopravní palety a vloží ho do přípravku pro měření axiální vůle. Po provedení zkoušky je pumpa předána na přípravek pro operaci 180. Zde pracovník k pumpě připojí kabel stanice a zmáčkne tlačítko pro naprogramování. Po skončení programování se čerpadlo vloží na vozík, kam si pro něj přijdou obsluhy seřizovacích stanic.



Obr. 78 Návrh zlepšení pro snížení cyklu 3.pracovníka [12].

Při odebrání operace 180 by se tok materiálu pracovištěm změnil, jak je zobrazeno na obrázku 78. Postup až po měření axiální vůle by byl stejný jako u současného stavu. Avšak místo předání čerpadla na pracoviště programování, by bylo čerpadlo předáno rovnou na vozík pro zkušební stanice, kde se následně provede i naprogramování řídicí jednotky. Se změnou toku materiálu se změní i činnosti operátora v operaci 170. Návrh nových činností je uveden v tabulce 40 červeně.

Tab. 40 Návrh nového postupu činností v operaci 170 [12].

Operace	Činnost	Popis pracovní činnosti	Čas [s]		MTM kód
			ruční	strojní	
170	1	Vyjmout čerpadlo z dopravní palety a vložit ho do přípravku. Našroubovat na hřídel přípravek pro měření axiální vůle. Zajistit hřídel proti protočení.	9,4		N
170	2	Měření axiální vůle.	17,5		N
170	3	Odjistit hřídel proti protočení.	3,9		N
170	4	Přemístit čerpadlo na vozík pro zkušební stanice.	3,0		N

Čas činností přidaných do operace 170:

$$\Delta t_{op170} = 3,0 \text{ s}$$

Nový čas operace 170:

$$t_{op170.1} = t_{op170} + \Delta t_{op170} = 32,8 + 3,0 = 35,8 \text{ s}$$

Doba odebrané operace 180:

$$\Delta t_{op180} = 10,2 + 2,1 + 3,0 = 15,3 \text{ s}$$

Čas cyklu pracovníka:

$$CC_{P3V2} = CC_{P3V1} - \Delta t_{op150} + \Delta t_{op170} - \Delta t_{op180} = 187,9 - 13,2 + 3,0 - 15,3$$

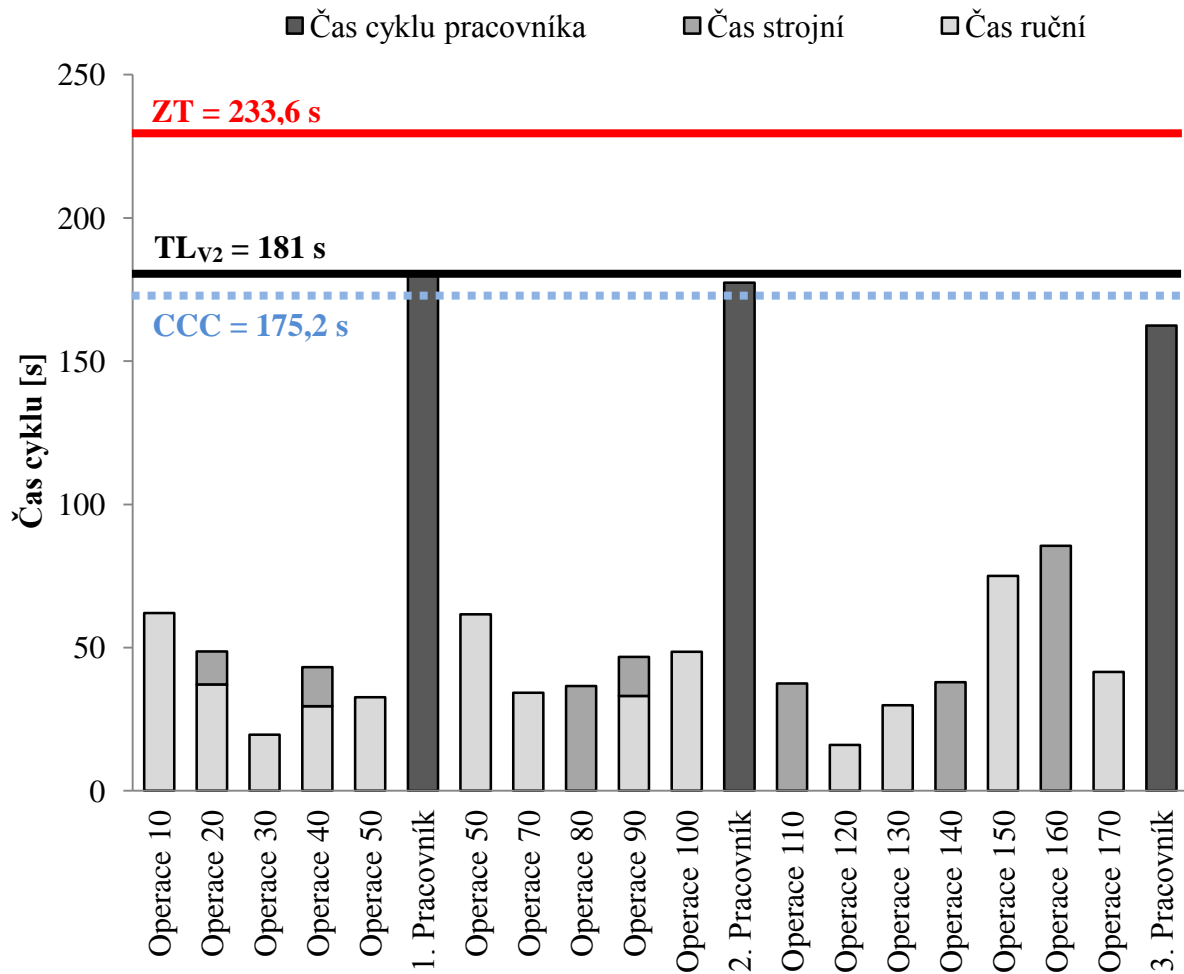
$$CC_{P3V2} = 162,4 \text{ s}$$

4.2.4 Souhrn časů cyklů a diagram taktu po redukci činností

Do celkového času cyklu pracovníka jsou zahrnuty pouze ruční časy a časy přechodů pracovníka. Strojní časy se do tohoto cyklu nezahrnují, protože na vytížení pracovníka nemají vliv.

Tab. 41 Souhrn časů jednotlivých operací po redukci činností [12].

Operace	Čas ruční [s]	Čas strojní [s]	Čas přechodu [s]
10.1	60,7	0	↓ 1,4
20	33,7	11,5	↓ 3,4
30	19,6	0	↓ 0,0
40	28,3	13,7	↓ 1,2
50	26,7	0	↑ 6,0
Celkový čas cyklu 1. pracovníka ⇒ CC_{P1V2} = 181s			
50	59,2	0	↓ 2,4
70.1	30,8	0	↓ 3,4
80	0	36,6	↓ 0,0
90	31,9	13,6	↓ 1,2
100	41,5	0	↑ 7,0
Celkový čas cyklu 2. pracovníka ⇒ CC_{P2V2} = 177,4s			
110	0	37,5	↓ 0,0
120	16,0	0	↓ 0,0
130	28,7	0	↓ 1,2
140	0	37,9	↓ 0,0
150.1	70,5	0	↓ 4,5
160	0	85,5	↓ 0,0
170.1	35,8	0	↑ 5,7
Celkový čas cyklu 3. pracovníka ⇒ CC_{P3V2} = 162,4s			

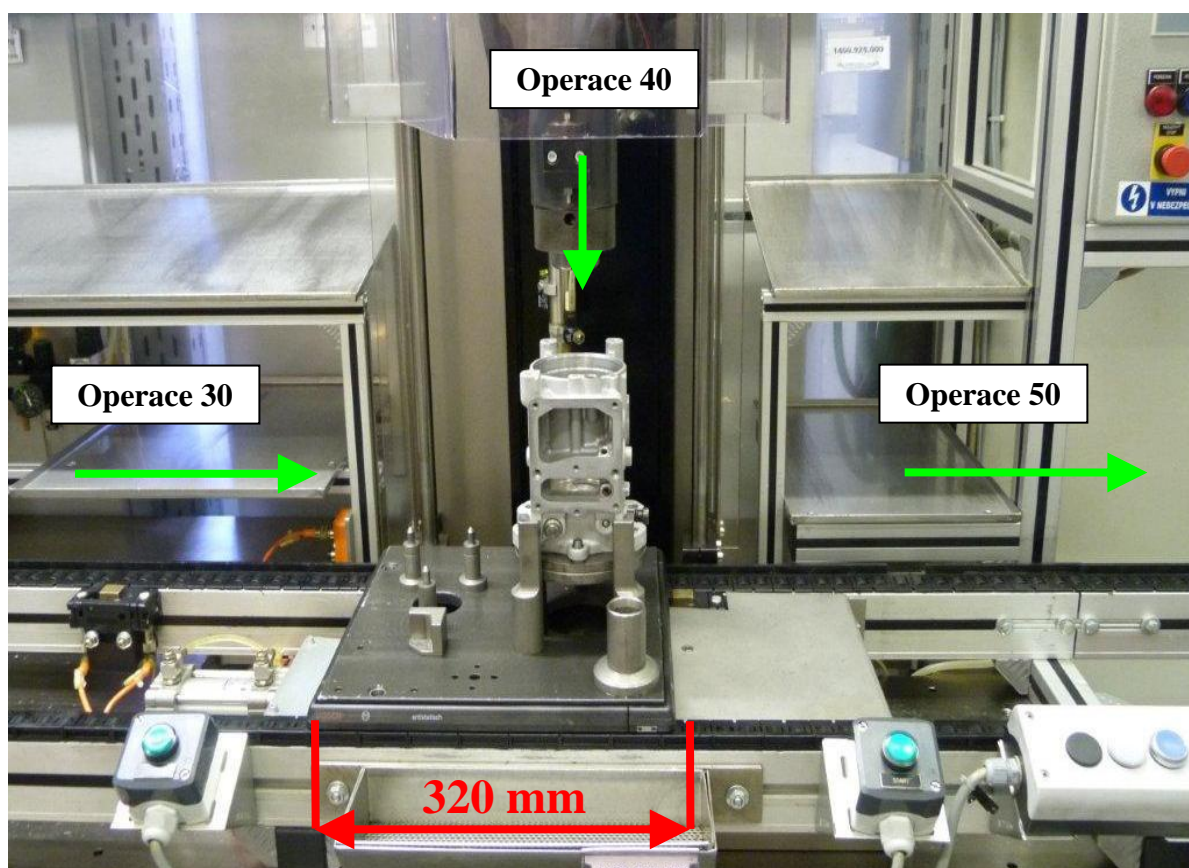


Obr. 79 Diagram taktu po redukcí operací.

Pomocí redukce činností operací se podařilo dosáhnout snížení TL_{V2} velmi blízko k úrovni CCC. V tuto chvíli je společnost schopna dostát požadavku zákazníka na počet vyráběných kusů. Navíc se velmi přiblížila úrovni ztrát výrobních zařízení z předcházejícího měsíce. Jinými slovy, pokud by hodnota ztrát byla menší než v měsíci předcházejícím, výroba by byla zcela optimální.

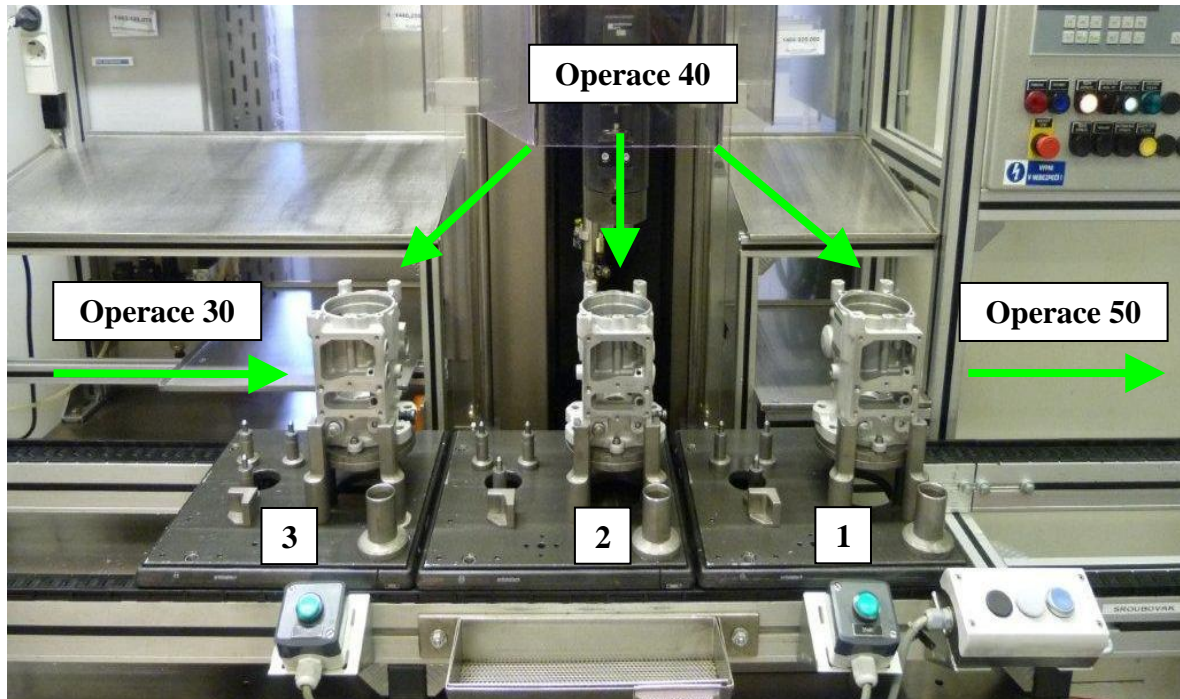
4.3 Metoda 3 - změna výrobní dávky

Jedním z cílů MTM analýzy je definovat úkony pracovníka, které nepřidávají výrobku hodnotu, a zákazník za ně neplatí. Základním z těchto ztrátových pohybů je přecházení operátora mezi jednotlivými pracovišti. Pro zvyšování efektivity procesu je potřeba tyto ztráty co nejvíce eliminovat. Možným řešením je změnit velikost dopravní dávky. V současné době je na montážní lince tok jednoho kusu. To znamená, že montážním procesem prochází pouze jeden výrobek, který je ihned po dokončení jedné operace předán na další pracoviště k provedení následující operace. V případě zvoleného provozu to znamená, že pracovník si vezme jedno čerpadlo, udělá na něm všechny operace stanovené ve svém cyklu. Na konci cyklu předá čerpadlo dalšímu operátorovi a jde opět na začátek. Princip toku jednoho kusu je zobrazen na obrázku 80.



Obr. 80 Tok jednoho kusu na montážní lince, současný stav řešení [12].

Pro stanovení vhodné dopravní dávky byla změřena délka dopravní palety. Dále byly změřeny délky dopravníků u jednotlivých pracovišť. Na základě podílu nejmenší délky dopravníku u pracoviště 3.06 je stanovena dopravní dávka na $d_d = 3ks$. Princip toku dávky tří kusů je zobrazena na obrázku 81. Podstatou je, že operátor si vezme tři čerpadla, po dopravníku si je dopraví k pracovišti. Nejprve provede operaci na prvním kusu. Po skončení odsune paletu dále po dopravníku, aby mu nepřekážela. Vezme další čerpadlo, provede požadované činnosti a opět posune paletu po dopravníku. Stejný postup opakuje i u třetího čerpadla a následně na dalším pracovišti.

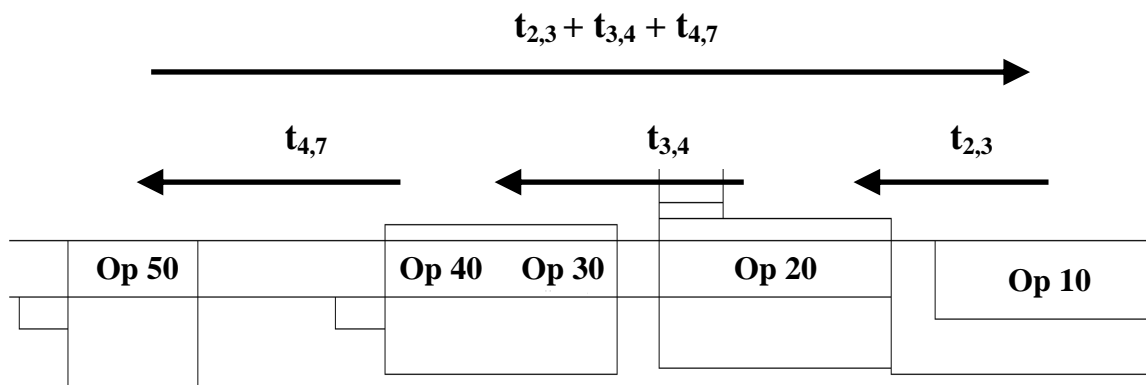


Obr. 81 Princip montáže při dopravní dávce tří kusů [12].

Pro výpočet spotřeby času cyklů jednotlivých operátorů byly převzaty hodnoty časů operací a přechodů z metody 2. Dále bude u každého pracovníka sestrojen obrázek přechodů mezi pracovišti, aby bylo názorně vidět, mezi jakými stanovišti se pohybuje. Šipky s popisem času přechodu uvedené v obrázku 82, 83 a 84 značí směr, kterým se operátor pohybuje. Hodnoty pro jednotlivé časy je možné najít v tabulce 30.

4.3.1 Spotřeba času 1. pracovníka po změně výrobní dávky

Z obrázku 82 je patrné, že pracovník přechází mezi třemi pracovišti. Začíná na operaci 10, poté postupuje až k operaci 50 a následně se vrací zpět. Při dopravní dávce $d_d = 3ks$ se tedy čas jeho přechodů zredukuje o 66%.



Obr. 82 Přechody 1. pracovníka [12].

Čas cyklu 1.pracovníka je roven:

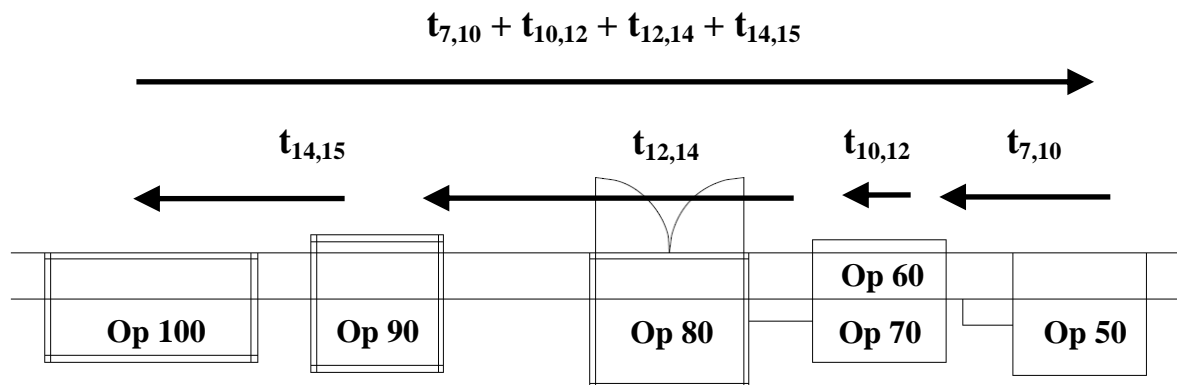
$$CC_{P1V3} = \frac{3 \cdot (t_{op10.1} + t_{op20} + t_{op30} + \Delta t_{op40} + \Delta t_{op50}) + 2 \cdot (t_{2,3} + t_{3,4} + t_{4,7})}{d_d}$$

$$CC_{P1V3} = \frac{3 \cdot (60,7 + 33,7 + 19,6 + 28,3 + 26,7) + 2 \cdot (1,4 + 3,4 + 1,2)}{3}$$

$$CC_{P1V3} = \frac{519}{3} = 173 \text{ s}$$

4.3.2 Spotřeba času 2. pracovníka po změně výrobní dávky

Stejně jako u předchozího pracovníka přechází operátor 2 mezi třemi pracovišti. Použitím zvolené dopravní dávky se dosáhne stejné efektu, a to snížení času ztrátového přechodu o dvě třetiny.



Obr. 83 Přechody 2. pracovníka [12].

Čas cyklu 2.pracovníka:

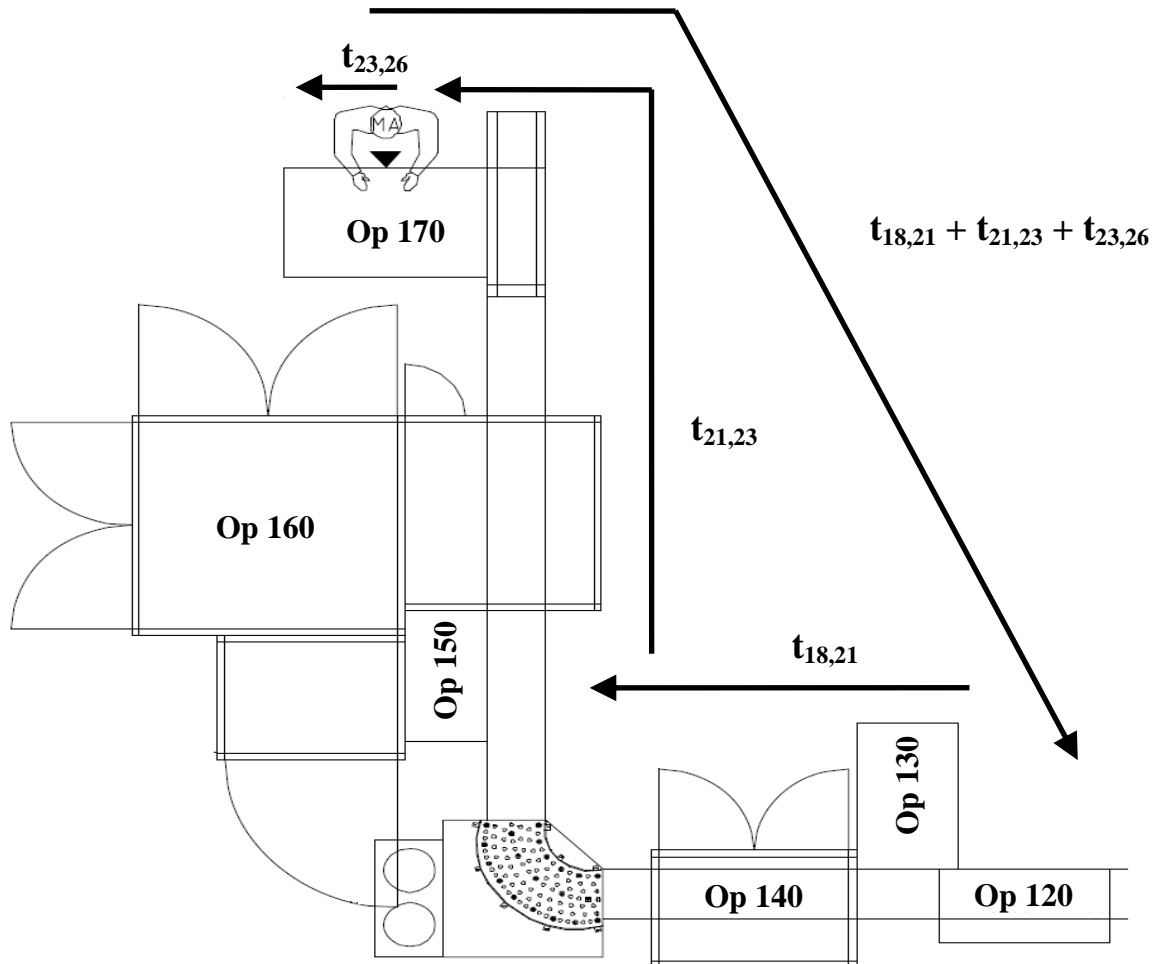
$$CC_{P2V3} = \frac{3 \cdot (t_{op50} + t_{op70.1} + t_{op90} + \Delta t_{op100}) + 2 \cdot (t_{7,10} + t_{10,12} + t_{12,14} + t_{14,15})}{d_d}$$

$$CC_{P2V3} = \frac{3 \cdot (59,2 + 30,8 + 31,9 + 41,5) + 2 \cdot (1,2 + 1,2 + 3,4 + 1,2)}{3}$$

$$CC_{P2V3} = \frac{504,2}{3} = 168,1 \text{ s}$$

4.3.3 Spotřeba času 3. pracovníka po změně výrobní dávky

U pracovníka 3 se pomocí redukci operací dosáhlo snížení přechodů mezi stanovišti ze 4 na 3. Už toto řešení snížilo ztrátový čas, avšak každé snížení tohoto času je žádoucí. Na obrázku 84 jsou naznačeny přechody mezi pracovišti 3. pracovníka, pomocí nichž se vypočte čas jeho cyklu.



Obr. 84 Přechody 3. pracovníka [12].

Čas cyklu 3. pracovníka:

$$CC_{P3V3} = \frac{3 \cdot (t_{op110} + t_{op130} + t_{op150.1} + \Delta t_{op170.1}) + 2 \cdot (t_{18,21} + t_{21,23} + t_{23,26})}{d_a}$$

$$CC_{P3V3} = \frac{3 \cdot (16,0 + 28,7 + 70,5 + 35,8) + 2 \cdot (1,2 + 3,9 + 0,6)}{3}$$

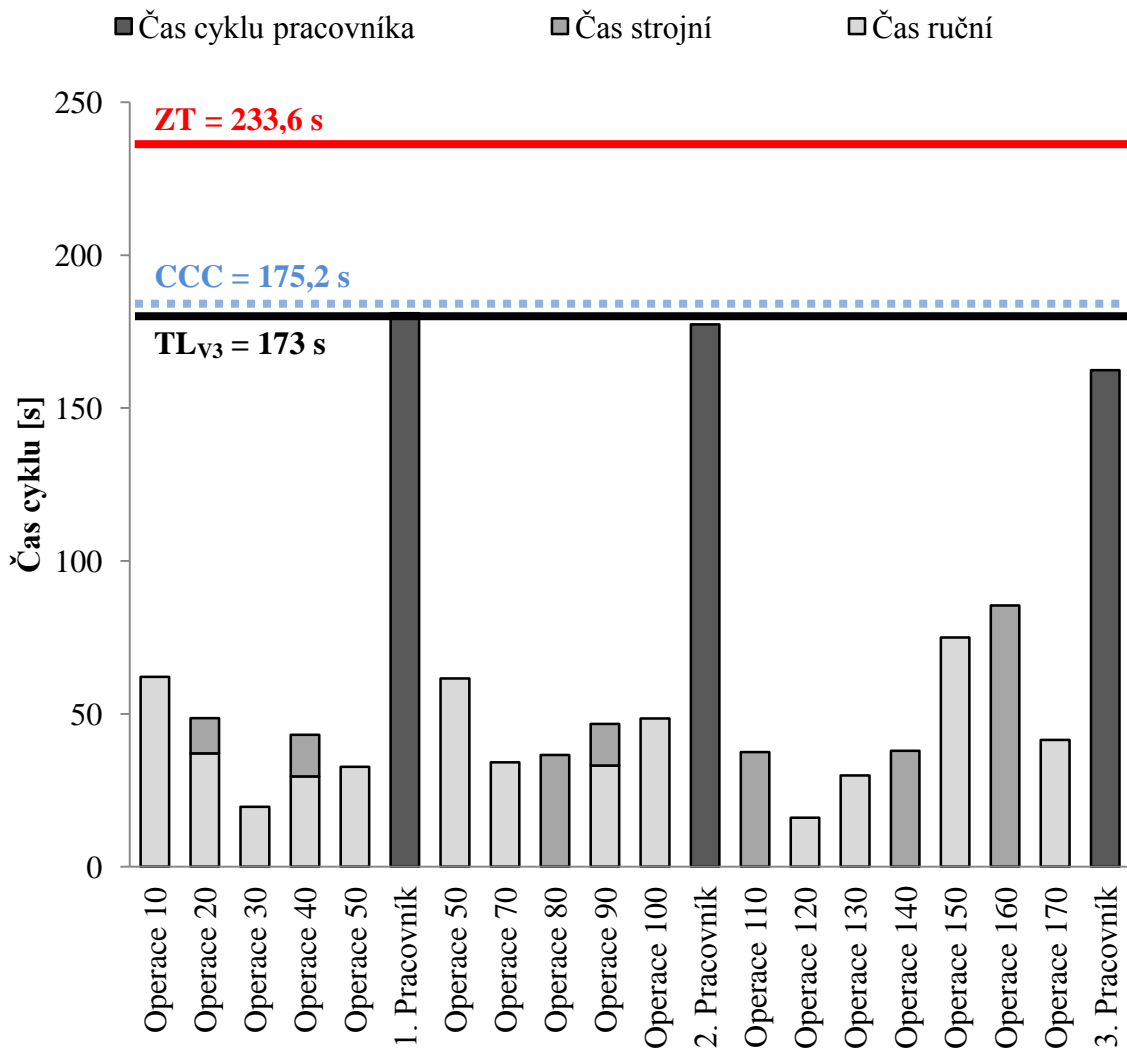
$$CC_{P3V3} = \frac{464,4}{3} = 154,8 \text{ s}$$

4.3.4 Souhrn časů cyklů a diagram taktu po změně výrobní dávky

Do celkového času cyklu pracovníka jsou zahrnuty pouze ruční časy a časy přechodů pracovníka. Strojní časy se do tohoto cyklu nezahrnují, protože na vytížení pracovníka nemají vliv.

Tab. 42 Souhrn časů jednotlivých operací po změně výrobní dávky [12].

Operace	Čas ruční [s]	Čas strojní [s]	Čas přechodu [s]
10.1	60,7	0	↓ 1,4
20	33,7	11,5	↓ 3,4
30	19,6	0	↓ 0,0
40	28,3	13,7	↓ 1,2
50	26,7	0	↑ 6,0
Celkový čas cyklu 1. pracovníka ⇒ CC_{P1V3} = 173s			
50	59,2	0	↓ 2,4
70.1	30,8	0	↓ 3,4
80	0	36,6	↓ 0,0
90	31,9	13,6	↓ 1,2
100	41,5	0	↑ 7,0
Celkový čas cyklu 2. pracovníka ⇒ CC_{P2V3} = 168,1s			
110	0	37,5	↓ 0,0
120	16,0	0	↓ 0,0
130	28,7	0	↓ 1,2
140	0	37,9	↓ 0,0
150.1	70,5	0	↓ 4,5
160	0	85,5	↓ 0,0
170.1	35,8	0	↑ 5,7
Celkový čas cyklu 3. pracovníka ⇒ CC_{P3V2} = 154,8s			



Obr. 85 Diagram taktu po redukci operací.

V této fázi se již podařilo snížit TL_{V3} pod úroveň CCC. Z toho vyplývá, že společnost je schopna dostát požadavku zákazníka na vyráběné kusy, i za situace, kdy ztráty výrobního zařízení dosáhne stejné výše jako předcházející měsíc (tedy 75%). V tento okamžik je TL_{V3} zcela optimální

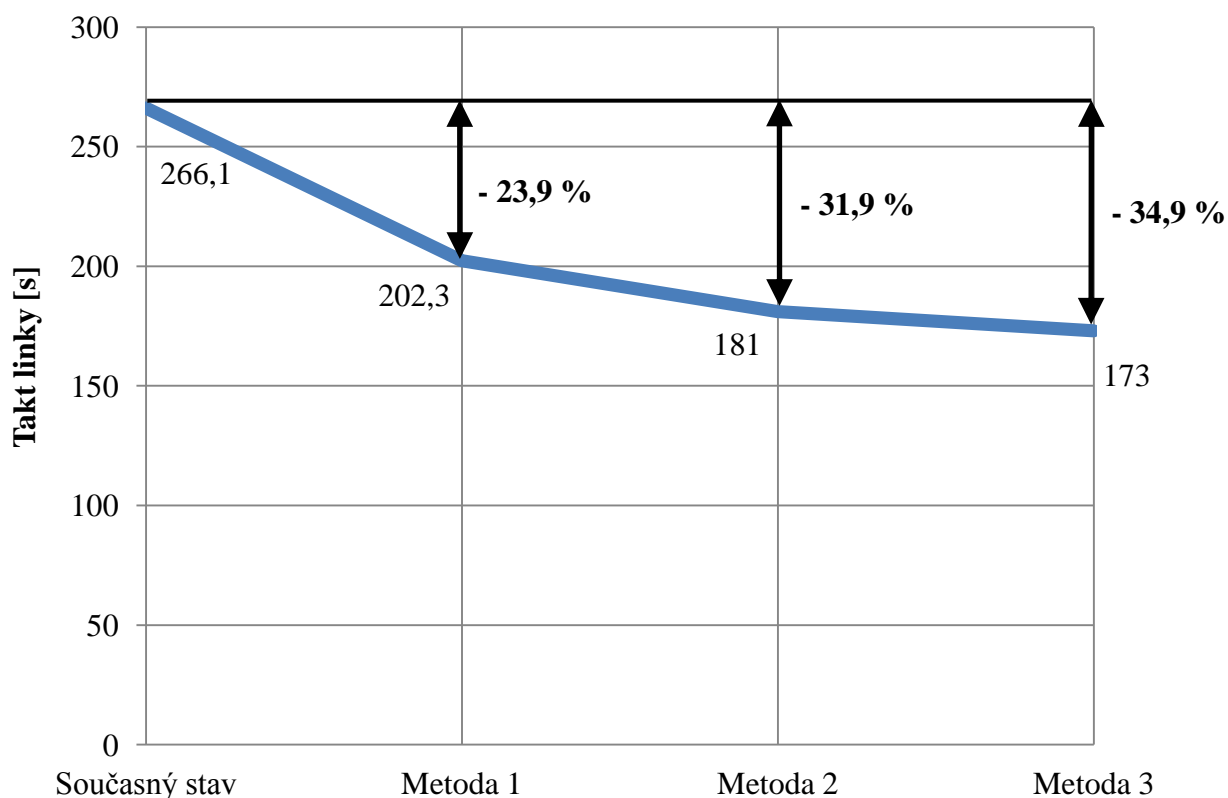
5 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

5.1 Takt linky

Hlavním cílem práce bylo navrhnout zlepšení pro snížení výrobního taktu na montážní lince čerpadel. Pomocí navržených řešení se podařilo zkrátit takt z 266,1s na 173s, což je snížení o 34,9%. Z obrázku 86 je evidentní, že k největší redukci času cyklu pracovníka došlo použitím metody 1, tedy vybalancováním operací. U dalších dvou metod nenastalo tak výrazné zlepšení. Aby bylo možné dosáhnout celkového snížení výrobního taktu linky o 34,9%, je nutné použít postupně všechny tři metody.

Tab. 43 Souhrnná tabulka taktů linky po aplikaci jednotlivých metod.

	Současný stav řešení	Metoda 1	Metoda 2	Metoda 3
$TL_i [s \cdot ks^{-1}]$	266,1	202,3	181	173



Obr. 86 Vývoj taktu linky po aplikaci jednotlivých metod.

5.2 Výrobnost

Snížením taktu linky se dosáhlo zvýšení počtu kusů, které lze vyrobit za směnu. Toto množství je pouze teoretické. Důvodem je, že při stanovení počtu výrobků se nezapočítávají žádné ztráty na zařízení. Teoretický počet kusů vyrobených za směnu lze vypočítat podle vztahu:

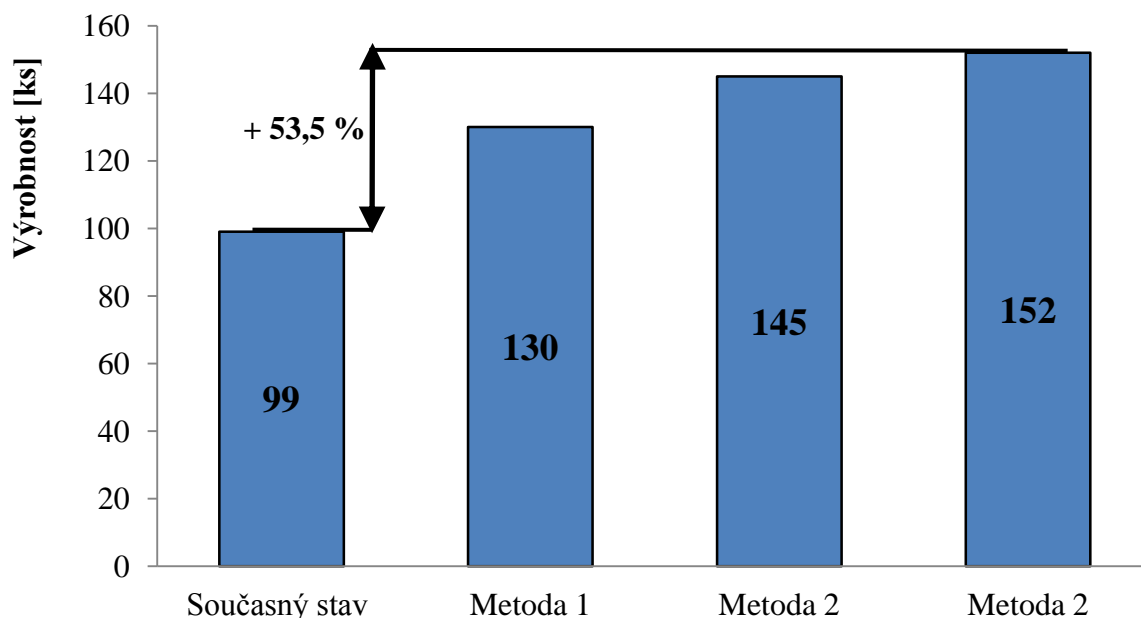
$$Q_{vi} = \frac{PDV}{TL_i}, \quad (14)$$

kde **PDV** je plánovaná doba využití v [s] a **TL_i** je takt linky v jednotlivých variantách v [s].

Tab. 44 Počet vyrobených kusů po aplikaci jednotlivých metod.

	Současný stav řešení	Metoda 1	Metoda 2	Metoda 3
Q_{vi} [ks·směna⁻¹]	99	130	145	152

Na obrázku 87 je vidět teoretické množství produktů, které lze vyrobit za směnu. Největší vliv na produkci mělo balancování činností jednotlivých pracovníků. Použitím všech metod se dosáhlo objemu 152 ks za směnu, což je o 53,5 % více než v současném stavu řešení.



Obr. 87 Výrobnost montážní linky za směnu po aplikaci jednotlivých metod.

5.3 Produktivita práce

Jedním z důležitých měřítek je produktivita práce. Ukazuje společnosti, kolik čerpadel vyrobí jeden pracovník za jednu hodinu. Je žádoucí, aby tento ukazatel rostl. Čím vyšší je hodnota produktivity práce, tím se sníží náklady na výrobu jednoho kusu. Produktivita práce se určí podle vztahu:

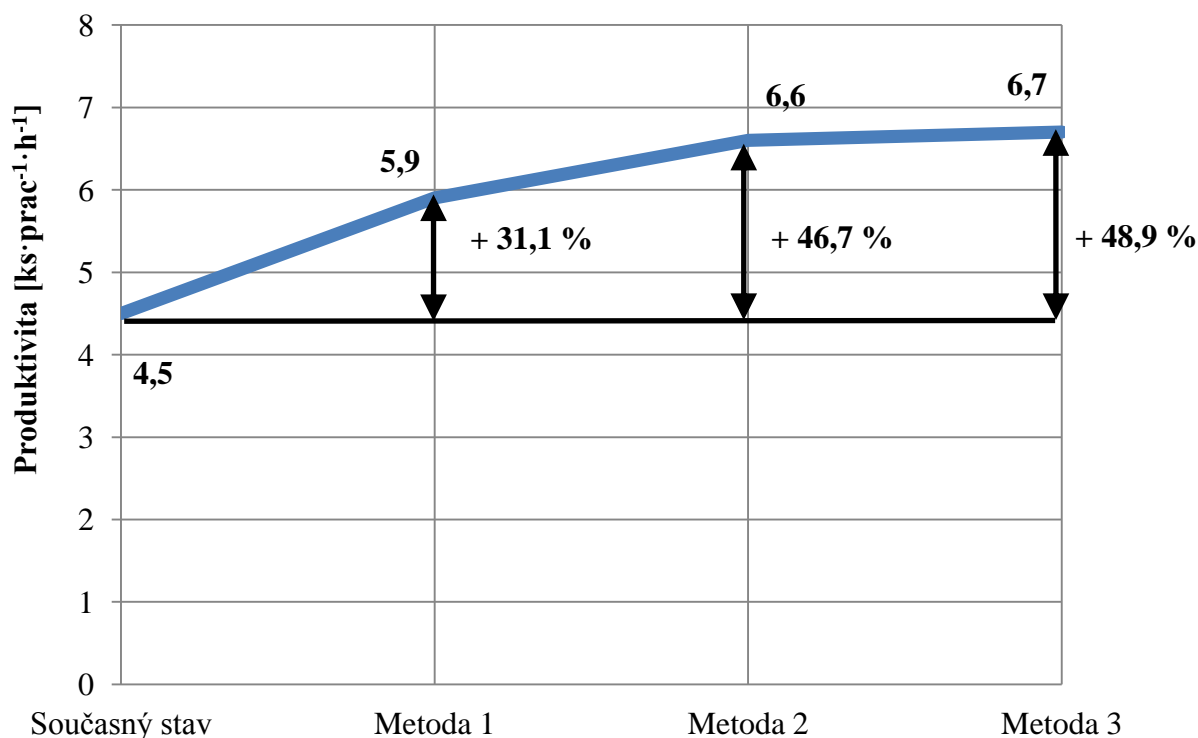
$$Pr_i = \frac{Q_{vi}}{P_P \cdot \frac{PDV}{60}}, \quad (15)$$

kde Q_{vi} je výrobnost v jednotlivých variantách v [ks], P_P je počet pracovníků a PDV je plánovaná doba využití v [h].

Tab. 45 Produktivita práce po aplikaci jednotlivých metod.

Produktivita	Současný stav řešení	Metoda 1	Metoda 2	Metoda 3
Pr_i [ks·prac ⁻¹ ·h ⁻¹]	4,5	5,9	6,6	6,7

Z obrázku 88 lze konstatovat, že stejně jako u vývoje taktu linky a výrobnosti mělo největší význam na růst produktivity použití balancování operací. Produktivita vzrostla o 48,9 % z původní hodnoty 4,5, na 6,7 kusů na pracovníka a hodinu.



Obr. 88 Vývoj produktivity práce po aplikaci jednotlivých metod.

5.4 Stupeň vytížení pracovníků a strojů

Stupeň využití ukazuje, jak efektivně je využit disponibilní čas operátora a výrobního zařízení. Je žádoucí, aby tato hodnota byla co nejvyšší. S rostoucím stupněm využití pracovníka nebo stroje se snižuje jejich ztrátový čas, který produktu nepřidává hodnotu.

Stupeň využití pracovníka je dán vztahem:

$$S_{Pivj} = \frac{Q_{Vi} \cdot CC_{Pivj}}{PDV \cdot 60} \cdot 100, \quad (16)$$

kde Q_{Vi} je výrobnost v jednotlivých variantách v [ks], CC_{Pivj} je čas cyklu i-tého pracovníka v j-té variantě v [s] a PDV je plánovaná doba využití v [s].

Stupeň využití stroje v operaci 160 se určí dle rovnice:

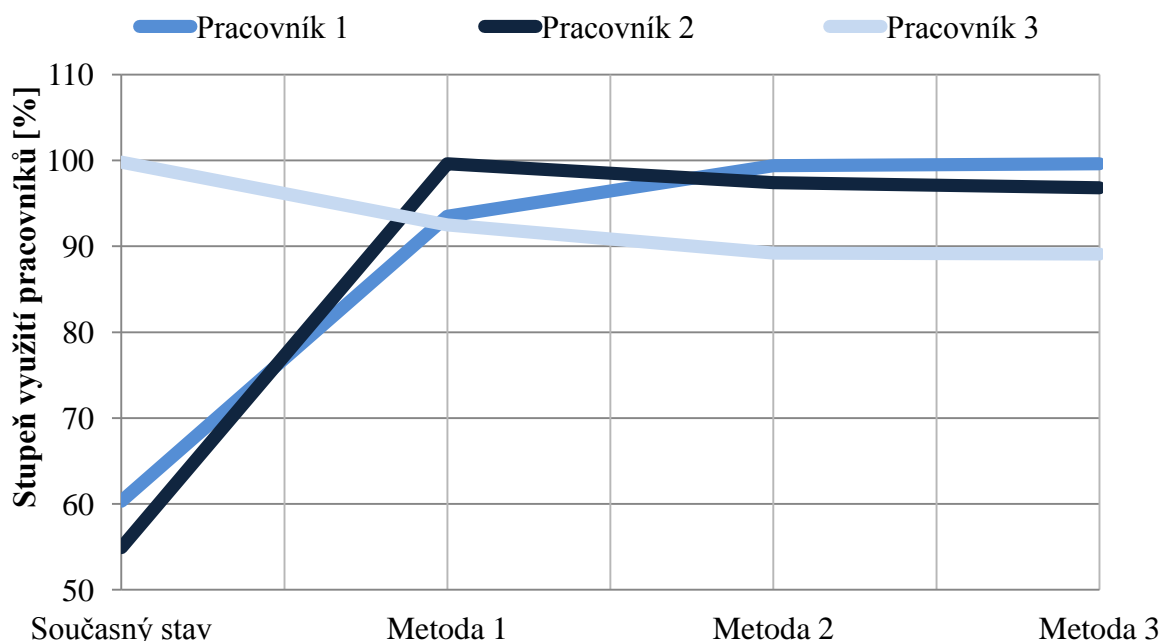
$$S_{Svi} = \frac{t_{op160} \cdot Q_{Vi}}{PDV} \cdot 100, \quad (17)$$

kde t_{op160} je strojní čas operace 160 v [s], Q_{Vi} je počet výrobnost v jednotlivých variantách v [ks] a PDV je plánovaná doba využití v [s].

Tab. 46 Procentuální využití pracovníků a stroje.

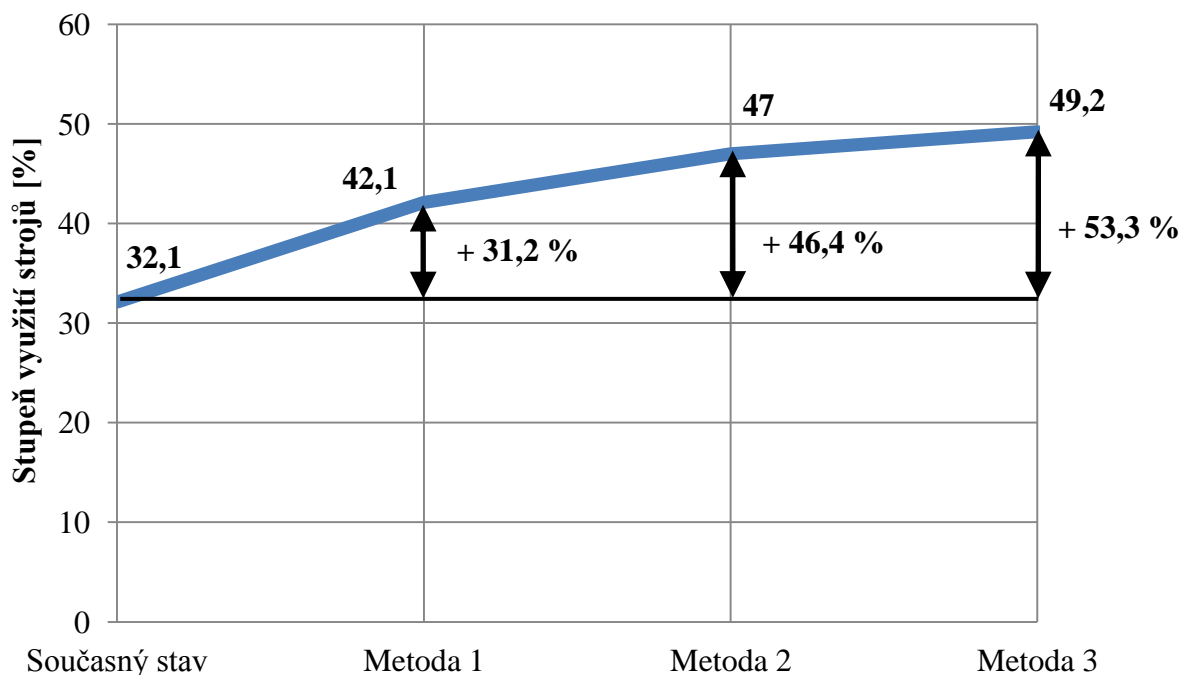
	Stupeň využití [%]			
	Pracovník 1	Pracovník 2	Pracovník 3	Stroj Op160
Současný stav řešení	60,3	54,9	99,8	32,1
Metoda 1	93,5	99,6	92,5	42,1
Metoda 2	99,4	97,4	89,2	47,0
Metoda 3	99,6	96,8	89,1	49,2

Z údajů v tabulce 46 byl sestaven graf na obrázku 89 týkající se vývoje stupně využití pracovníků. Z obrázku 89 lze uvést, že v současném stavu řešení jsou pracovníci 1 a 2 mnohem méně vytíženi než poslední operátor, jehož hodnota vytížení je 99,8 %. U všech použitých metod pro snížení výrobního taktu linky se dosahuje rovnoměrného vytížení všech pracovníků montážní linky. Zásadní efekt na tento ukazatel mělo opět vybalancování operací.



Obr. 89 Vývoj stupně využití pracovníků po aplikaci jednotlivých metod.

Pro ukázkou stupně využití zařízení byla zvolena stanice pro operaci 160 - zkouška těsnosti héliem. Růst hodnoty využití zařízení je způsoben větším počtem kusů vyprodukovaných pracovníky. Větší sklon křivky mezi současným stavem a metodou 1 v obrázku 92 naznačuje, že největší účinek mělo na stupeň využití stroje použití metody 1 - balancování. U všech výrobních zařízení se dosáhlo stejného růstu konkrétně o 53,3%.



Obr. 90 Vývoj stupně využití stanice v operaci 160 po aplikaci jednotlivých metod.

6 ZÁVĚRY PRÁCE

Zpracovaný diplomový projekt se zabývá návrhy pro snížení výrobního taktu montážní linky čerpadel. V teoretické části práce je proveden rozbor charakteru výrobního zařízení a veličin, které se vztahují k montážní lince a montážnímu procesu. V praktické části jsou tyto poznatky aplikovány. Důležitým hlediskem práce je analýza spotřeby časů jednotlivých operací, od které se odvíjí následně doporučené metody. Použitím a kombinací jednotlivých metod bylo dosaženo:

- snížení taktu linky ze současné hodnoty $TL_S = 266,1$ s na $TL_{V3} = 173$ s, což je redukce o 34,9%;
- zvýšení maximálního teoretického výrobního množství kusů o 53,5%, z původních $Q_{VS} = 99$ ks za směnu na $Q_{V3} = 152$ ks za směnu;
- nárůstu produktivity o 48,9%, z počáteční hodnoty $Pr_S = 4,5$ ks na hodinu a pracovníka na $Pr_{V3} = 6,7$ ks na hodinu a pracovníka;
- rovnoměrného vytížení všech pracovníků v rozmezí 89% až 99%, kdy v počátečním stavu byl jeden pracovník vytížen na 99% a zbylí dva pouze na 55% a 60%;
- navýšení stupně využití strojů o 53,3%, což bylo ukázáno na stanici pro zkoušku těsnosti hélíem, kde v počátečním stavu bylo vytížení zařízení $S_{SVS} = 32,1\%$ a po aplikaci všech metod se dosáhlo stupně vytížení $S_{SV3} = 49,2\%$.

V technicko-ekonomickém zhodnocení bylo zjištěno, že k největšímu kladnému efektu u všech měřených veličin došlo aplikací metody 1, což je vybalancování operací. U dalších dvou použitých metod se nedosahovalo tak velkých výsledků jako u metody 1, ale jejich použitím bylo dosaženo optimálního výrobního taktu, který se nachází pod hodnotou cílového času cyklu. Tento čas v sobě zahrnuje ztráty výrobního zařízení. Společnost je tedy i při jejich vzniku schopna dodat zákazníkovi požadované množství výrobků.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Značka	Legenda	Jednotka
Δ_1	Rozdíl mezi průměrným časem cyklu a cyklu 1. pracovníka.	[s]
Δ_2	Rozdíl mezi průměrným časem cyklu a cyklu 2. pracovníka.	[s]
Δ_{21}	Nová hodnota rozdílu mezi CC_P a CC_{P1S} .	[s]
Δ_3	Rozdíl mezi průměrným časem cyklu a cyklu 3. pracovníka.	[s]
Δt_{op10}	Rozdílový čas operace 10.	[s]
Δt_{op150}	Rozdílový čas operace 150.	[s]
Δt_{op170}	Rozdílový čas operace 170.	[s]
Δt_{op180}	Rozdílový čas operace 180.	[s]
Δt_{op60}	Rozdílový čas operace 60.	[s]
Δt_{op70}	Rozdílový čas operace 70.	[s]
CCC	Cílový čas cyklu.	[s]
CC_{MAX}	Čas cyklu maximální.	[s]
CC_P	Průměrný čas cyklu.	[s]
CC_{P1S}	Čas cyklu 1. pracovníka při současném stavu řešení.	[s]
CC_{P1V1}	Čas cyklu 1. pracovníka po balancování.	[s]
CC_{P1V2}	Čas cyklu 1. pracovníka po redukci operací.	[s]
CC_{P1V3}	Čas cyklu 1. pracovníka po změně dopravní dávky.	[s]
CC_{P2S}	Čas cyklu 2. pracovníka při současném stavu řešení.	[s]
CC_{P2V1}	Čas cyklu 2. pracovníka po balancování.	[s]
CC_{P2V2}	Čas cyklu 2. pracovníka po redukci operací.	[s]
CC_{P2V3}	Čas cyklu 2. pracovníka po změně dopravní dávky.	[s]
CC_{P3S}	Čas cyklu 3. pracovníka při současném stavu řešení.	[s]
CC_{P3V1}	Čas cyklu 3. pracovníka po balancování.	[s]
CC_{P3V2}	Čas cyklu 3. pracovníka po redukci operací.	[s]
CC_{P3V3}	Čas cyklu 3. pracovníka po změně dopravní dávky.	[s]
DC	Disponibilní čas.	[s]
h	Počet pracovních hodin ve směně.	[-]
M_D	Míra dostupnosti pro výpočet OEE.	[-]
M_Q	Míra kvality pro výpočet OEE.	[-]
MTM	Metoda předem stanovených časů.	[TMU]

Značka	Legenda	Jednotka
M_V	Míra výkonu pro výpočet OEE.	[-]
n	Počet kusů v dávce.	[ks]
OEE	Stupeň efektivnosti výrobního zařízení.	[%]
PDV	Plánovaná doba využití.	[s, min, h]
P_P	Počet pracovníků.	[-]
Pr_i	Produktivita práce v i-té variantě.	[ks·prac ⁻¹ ·ks ⁻¹]
PS	Doba předání směny.	[min]
P_T	Teoretický počet pracovníků.	[pracovníci]
PU	Doba plánované údržby.	[min]
Q_D	Počet shodných výrobků.	[ks]
Q_N	Počet normovaných výrobků.	[ks]
Q_V	Počet vyrobených výrobků.	[ks]
Q_{Vi}	Maximální teoretické výrobní množství v i-té variantě.	[ks]
Q_Z	Požadavek zákazníka.	[ks]
S_{Pivj}	Stupeň vytížení i-tého pracovníka v j-té variantě.	[%]
S_{Svi}	Stupeň vytížení stanice pro operaci 160 v i-té variantě.	[%]
T	Čas směny.	[s, min]
t_1	Čas práce.	[s, min]
$t_{10,12}$	Čas přechodu mezi pracovištěm 3.10 a 3.12.	[s]
$t_{12,14}$	Čas přechodu mezi pracovištěm 3.12 a 3.14.	[s]
$t_{14,15}$	Čas přechodu mezi pracovištěm 3.14 a 3.15.	[s]
$t_{15,18}$	Čas přechodu mezi pracovištěm 3.15 a 3.18.	[s]
$t_{18,21}$	Čas přechodu mezi pracovištěm 3.18 a 3.21.	[s]
t_2	Čas obecně nutných přestávek.	[s, min]
$t_{2,3}$	Čas přechodu mezi pracovištěm 3.02 a 3.03.	[s]
$t_{21,23}$	Čas přechodu mezi pracovištěm 3.21 a 3.23.	[s]
$t_{23,26}$	Čas přechodu mezi pracovištěm 3.23 a 3.26.	[s]
t_3	Čas podmíněčně nutných přestávek.	[s, min]
$t_{3,4}$	Čas přechodu mezi pracovištěm 3.03 a 3.04.	[s]
$t_{4,7}$	Čas přechodu mezi pracovištěm 3.04 a 3.07.	[s]
$t_{7,10}$	Čas přechodu mezi pracovištěm 3.07 a 3.10.	[s]

Značka	Legenda	Jednotka
t_{A1}	Čas jednotkové práce.	[s, min]
t_{A2}	Čas jednotkových obecně nutných přestávek.	[s, min]
t_{A3}	Čas jednotkových podmíněně nutných přestávek.	[s, min]
t_{B1}	Čas dávkové práce.	[s, min]
t_{B2}	Čas dávkových obecně nutných přestávek.	[s, min]
t_{B3}	Čas dávkových podmíněně nutných přestávek.	[s, min]
t_C	Celkový čas operací.	[s, min]
t_{C1}	Čas směnové práce.	[s, min]
t_{C2}	Čas směnových obecně nutných přestávek.	[s, min]
t_{C3}	Čas směnových podmíněně nutných přestávek.	[s, min]
t_D	Čas osobních ztrát.	[s, min]
t_E	Čas technicko - organizačních ztrát.	[s, min]
t_F	Čas ztrát způsobených vyšší mocí.	[s, min]
t_g	Čas výrobního zařízení.	[s, min]
t_{g7}	Čas chodu výrobního zařízení.	[s, min]
t_{g8}	Čas klidu výrobního zařízení.	[s, min]
t_{g9}	Čas interference.	[s, min]
t_i	Čas i-té operace.	[s, min]
TL	Takt linky.	[s]
TL_i	Takt linky v i-té variantě.	[s]
TL_{P1}	Takt linky při obsazení linky 2 operátory v teoretickém příkladě.	[s]
TL_{P2}	Takt linky při obsazení linky 3 operátory v teoretickém příkladě.	[s]
TL_S	Takt linky při současném stavu řešení.	[s]
TL_{V1}	Takt linky metoda 1.	[s]
TL_{V2}	Takt linky metoda 2.	[s]
TL_{V3}	Takt linky metoda 3.	[s]
t_m	Čas výrobního zařízení.	[s, min]
t_{m4}	Čas chodu výrobního zařízení.	[s, min]
t_{m5}	Čas klidu výrobního zařízení.	[s, min]
t_{m6}	Čas interference.	[s, min]
t_{max}	Čas nejdelší operace.	[s, min]



Značka	Legenda	Jednotka
TMU	Časová jednotka MTM.	[TMU]
T_N	Čas normovaný.	[s, min]
t_{op10}	Čas operace 10.	[s]
t_{op10.1}	Čas operace 10 po redukci činností.	[s]
t_{op100}	Čas operace 100.	[s]
t_{op110}	Čas operace 110.	[s]
t_{op120}	Čas operace 120.	[s]
t_{op130}	Čas operace 130.	[s]
t_{op140}	Čas operace 140.	[s]
t_{op150}	Čas operace 150.	[s]
t_{op150.1}	Čas operace 150 po redukci činností.	[s]
t_{op160}	Čas operace 160.	[s]
t_{op170}	Čas operace 170.	[s]
t_{op170.1}	Čas operace 170 po redukci činností.	[s]
t_{op180}	Čas operace 180.	[s]
t_{op20}	Čas operace 20.	[s]
t_{op30}	Čas operace 30.	[s]
t_{op40}	Čas operace 40.	[s]
t_{op50}	Čas operace 50.	[s]
t_{op60}	Čas operace 60.	[s]
t_{op70}	Čas operace 70.	[s]
t_{op70.1}	Čas operace 70 po redukci činností.	[s]
t_{op80}	Čas operace 80.	[s]
t_{op90}	Čas operace 90.	[s]
T_P	Plánovaný čas výroby.	[s]
T_{PM}	Průběžná doba u postupné montáže.	[s]
T_S	Skutečný čas výroby.	[s]
T_{SM}	Průběžná doba u souběžné montáže.	[s]
T_Z	Čas ztrátový.	[s, min]
ZC	Ztrátový čas.	[s]
ZP	Zákonné přestávky.	[s]



Značka	Legenda	Jednotka
ZT	Zákaznický takt.	[s]
ZT_t	Zákaznický takt v teoretickém příkladě.	[s]
σ	Směnnost.	[-]

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A ZDROJŮ

1. PRODUKTIVITA.CZ, Průmyslové inženýrství přehledně. *Co je průmyslové inženýrství a k čemu slouží* [online]. Dostupný z WWW: <<http://www.produktivita.cz/cs/prumyslove-inzenyrstvi-prehledne/co-je-prumyslove-inzenyrstvi-a-k-cemu-slouzi.html>> [cit. 2013-03-13]
2. BusinessInfo.cz, Dotace, financování, Malé a střední podnikání, Management MSP. *Nové trendy v oblasti průmyslového inženýrství* [online]. Dostupný z WWW: <<http://www.businessinfo.cz/cs/clanky/nove-trendy-prumyslove-inzenyrstvi-2849.html>> [cit. 2013-03-13]
3. PRODUKTIVITA.CZ, Průmyslové inženýrství přehledně. *Zaměření průmyslového inženýrství (PI)* [online]. Dostupný z WWW: <<http://www.produktivita.cz/cs/prumyslove-inzenyrstvi-prehledne/co-je-prumyslove-inzenyrstvi-a-k-cemu-slouzi.html>> [cit. 2013-03-13]
4. Bosch Česká Republika. *BOSCH DIESEL s.r.o. Jihlava* [online]. Dostupný z WWW: <http://www.bosch.cz/cs/cz/our_company_7/locations_7/jihlava_menu/jihlava_menu_uvod.html> [cit. 2013-03-13]
5. Bosch Česká Republika, Press, Publikace. *Bosch dnes* [online]. Dostupný z WWW: <http://www.bosch.cz/media/cz/fakta_a_cisla_media/Bosch_heute_2012_CZ.pdf> [cit. 2013-03-13]
6. Bosch Česká Republika, O společnosti Bosch v České republice, Společnost Bosch v ČR. *Pobočky* [online]. Dostupný z WWW: <http://www.bosch.cz/cs/cz/our_company_7/locations_7/location_9922.html> [cit. 2013-03-13]
7. BOSCH DIESEL S.R.O. *Výroční zpráva společnosti BOSCH DIESEL s.r.o. za rok 20xx* [online]. Jihlava, 2013 46995129. Dostupné z WWW: <<https://or.justice.cz/ias/ui/vypis-sl?subjektId=isor%3a186796&klic=eguv1h>> [cit. 2013-03-16].
8. JhP/PM. *JhP: Prezentace závodu, Historie firmy Bosch Diesel s.r.o.* Interní dokumentace, Jihlava. 20. 02. 2012. [cit. 2013-03-16]
9. Výroční zpráva.cz. INDEX ENTRE s.r.o., ECLAIR DESIGN s.r.o. *K čemu slouží, Komu je určena* [online]. Dostupné z WWW: <<http://www.vyrocnizprava.cz/index.php>> [cit. 2013-03-16].
10. WAUXHALL: Workshop manual. *Ilustrace Common Rail systému* [online]. Dostupný z WWW: <<http://vauxhall.workshop-manuals.com/astra-h/index.php?id=6234>> [cit. 2013-03-17].

11. BOSCH DIESEL S.R.O. *Produkty* [online]. Dostupný z World Wide Web: <http://www.bosch.cz/cs/cz/our_company_7/locations_7/jihlava_menu/jihlava_menu_produkty/jihlava_produkty.html> [cit. 2013-03-17].
12. BOSCH DIESEL s.r.o. *Interní zdroje*. [2013-03-25]
13. PETRŮ, Jana a Robert ČEP. *Základy montáže*. Ostrava, 2012. 123 s. ISBN 978-80-248-2773-5. Dostupný z: <http://projekty.fs.vsb.cz/459/ucebniopory/Zaklady_montaze.pdf> [cit. 2013-03-23]
14. HUMÁR, Anton. *TECHNOLOGIE MONTÁŽE*. Syllabus. Brno. Dostupný z WWW: <<http://drogo.fme.vutbr.cz/opory/pdf/TechnMontaze.pdf>> [cit. 2013-03-24]
15. API - AKADEMIE PRODUKTIVITY A INOVACÍ, s.r.o. *Průmyslové inženýrství: Štíhlá výroba: Optimalizace linky* [online]. Dostupný z WWW: <<http://e-api.cz/page/68402.optimalizace-linky/>> [cit. 2013-04-07].
16. BAHCO - nářadí. Momentové nářadí. *Momentové klíče* [online]. Dostupný z WWW: <<http://www.bahco-naradi.cz/www-bahco-naradi-cz/eshop/5-1-Momentove-naradi/45-2-Momentove-klice>> [cit. 2013-03-30]
17. DEPRAG Schulz GmbH u. Co. Šroubovací technika. *Impulsní pneumatické šroubováky s vypínáním* [online]. Prospekt č.D3571. Dostupný z World Wide Web: <<http://www.deprag.com/cesky/produkte/schraubtechnik/handschrauber/impulsabschalt.htm>> [cit. 2013-03-30]
18. Rexroth Bosch Group. Utahovací systémy. *Utahovací vřetena* [online]. Dostupný z WWW:<<http://www.boschrexroth.com/dcc/Vornavigation/Vornavi.cfm?Language=EN&VHist=g96077,g96768,g153567&PageID=p331601>> [cit. 2013-03-30]
19. LHOTSKÝ, Oldřich. MZDOVÁ PRAXE. *Metody a techniky organizace a normování práce* [online]. 19.7.2005. Dostupný z World Wide Web: <<http://www.mzdovapraxe.cz/archiv/dokument/doc-d1017v993-metody-a-techniky-organizace-a-normovani-prace/?#heading7>> [cit. 2013-03-27].
20. NOVÁK Josef a Pavlína ŠLAMPOVÁ. VŠB - TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA. *Racionalizace výroby*. Ostrava, 2007, 75 s. Dostupné z WWW: <<http://projekty.fs.vsb.cz/414/racionalizace-vyroby.pdf>> [cit. 2013-03-24]
21. NOVÁK, Josef et al. VŠB - TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA. *ORGANIZACE A ŘÍZENÍ*. Ostrava, 2007. Dostupné z WWW: <<http://projekty.fs.vsb.cz/414/organizace-arizeni.pdf>> [cit. 2013-03-27]
22. Svět produktivity. *MTM - Method Time Measurement* [online]. 2012. Dostupný z WWW: <<http://www.svetproduktivity.cz/slovník/MTM-Methods-Time-Measurement.htm>> [cit. 2013-03-30]

23. DUŠÁK, Karel. TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže. *TECHNOLOGIE MONTÁŽE: Základy*. Liberec, 2005, 113 s.
24. Technická univerzita v Liberci. Katedra výrobních systémů. *Metody předem stanovených časů* [online]. 21. března 2012. Dostupný z WWW: <http://www.kvs.tul.cz/download/pi_pvs/8_prednaska.pdf> [cit. 2013-03-30]
25. VAVRUŠKA, Jan. TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI. *Výrobní systémy II: REFA vs. MOST* [online]. 6. 6. 2012. Dostupný z WWW: <http://www.kvs.tul.cz/download/educom/MZ04/VY_03_049.pdf> [cit. 2013-04-03].
26. API - AKADEMIE PRODUKTIVITY A INOVACÍ, s.r.o. *Průmyslové inženýrství: Štíhlá logistika a materiálový tok: Balancování operací* [online]. Dostupný z WWW: <<http://e-api.cz/page/68346.balancovani-operaci/>>. [cit. 2013-04-17]
27. SVĚTLÍK, Vladimír. SYSTEMONLINE. *Sledování a řízení efektivity výroby* [online]. 10/2003. Měsíčník. ISSN 1802-615X. Dostupný z WWW: <<http://www.systemonline.cz/clanky/sledovani-a-rizeni-efektivita-vyroby.htm>> [cit. 2013-04-21].
28. API - AKADEMIE PRODUKTIVITY A INOVACÍ, s.r.o. *Průmyslové inženýrství: Štíhlá výroba: OEE – Overall Equipment Effectiveness z anglického překladu* [online]. Dostupný z WWW: <<http://e-api.cz/page/68415.ukazatel-oeef/>> [cit. 2013-04-17]
29. Garoma plus, s.r.o.: *WELLER letování*. [online]. Dostupné z WWW: <<http://www.garoma.cz/katalog/weller-letovani.html>> [cit. 2013-05-04].
30. T+T Technika a trh. *Stavebnicový systém z hliníkových profilů* [online]. Dostupný z WWW: <<http://www.technikaatrh.cz/komponenty/stavebnicovy-system-z-hlinikovych-profilu>> [cit. 2013-03-20]
31. BOSCH DIESEL s.r.o., Jihlava. *Tisková informace - leden 2012*. [online]. [vid. 2012-02-25]. Dostupné z WWW: <http://www.bosch.cz/press/detail.asp?f_id=1003>. [cit. 2013-03-20]
32. PricewaterhouseCooper. *Poradenství pro lidské zdroje: hrc-zaverecna zprava* [online]. 2012. Dostupný z World Wide Web: <<http://www.pwc.com/cz/cs/poradenstvi-pro-lidske-zdroje/assets/hrc-zaverecna-zprava-cz.pdf>> [cit. 2013-05-08].