



FAKULTA STROJNÍ
ZÁPADOČESKÉ
UNIVERZITY
V PLZNI

DISERTAČNÍ PRÁCE

Ing. Petr Kozel

Plzeň, 28. 11. 2012



FAKULTA STROJNÍ
ZÁPADOČESKÉ
UNIVERZITY
V PLZNI

DISERTAČNÍ PRÁCE

v oboru

Průmyslové inženýrství a management

Multikriteriální hodnocení kvality montážních systémů

Multi-Criteria evaluation of assembly lines quality

Autor: Ing. Petr Kozel

Školitel: Doc. Ing. Gejza Horváth, CSc.

Plzeň, 28. 11. 2012

Anotace

Česká anotace:

Práce se zabývá určením stupně kvality montážních linek na základě definování a kvantifikování multikriteriálních podmínek, které mají zásadní vliv při posuzování linky. Cílem je vyčíslení kvality montážního systému ať už se jedná o novou linku či optimalizovanou. Metoda popsaná v této práci je postavena na kvantifikaci kritérií a jejich příspěvku daného jejich váhou k výsledné hodnotě. Jako kritéria byly použity: **Kapacita systému** – schopnost produkovat výrobky požadovanou rychlostí. Dále **efektivita lidské práce**, která je definována jako poměr ztrátových časů k výrobním. Efektivita **využití plochy**, kdy je pohlíženo na layout systému jako na soubor dílčích ploch, které mají svoji důležitost pro linku. **Flexibilita** systému je schopnost plynulé reakce na požadavky kladené na produkované množství za jednotku času. Jako poslední dvě kritéria jsou použité veličiny spadající do kategorie **interní logistický tok** a to poměr sumy přepravních délek materiálu k celkové délce linky a poměr rozpracované zásoby k předpokládanému minimálnímu množství rozpracované zásoby.

Výstupem je popsaná metodika, přenesená do podoby elektronického řešení, kdy při vložení požadavků a hodnot odpovídajících kritériím je vypočtena číselná hodnota, která je tvořena z dílčích evaluací a vah těchto kritérií. Tím je možné určit kvalitu systému založenému na tomto multikriteriálním hodnocení. Metodika doplňuje cyklus návrhu nebo optimalizací montážních systémů tak, že poskytuje tvůrcům jednoznačnou informaci o kvalitě navrženého (realizovaného) řešení.

English summary:

This dissertation deals with the definition of quality level of assembly lines based on quantification of multi-criteria indicators which play a main role in the evaluation of production lines. The aim is to define the quality level accomplished by the current design or some redesign. The final result of this thesis is a method based on evaluation of the individual criteria and then by the contribution made by each criterion's weight on the final level. The 1st criteria used here is the ability of the system **to produce parts in sufficient amount** and time. Second, **the level of efficiency**, which is defined as the percentage of lost working time in relation to the total sum of cycle times. **The layout of the production area** is described as a place where the nine defined types of area can occur in any assembly line. Every area makes its own contribution to the total area evaluation based on its importance. **Flexibility** is also considered as a criterion which reflects the ability to react to fluctuating customers' demands or internal issues. The last two criteria are the sum of trajectories' lengths of the components in relation to the length of the production line and real **inventory amount** in relation to the expected inventory amount.

The software output is a calculated number which consists of the contribution made by the defined indicators. The number shows the final level of the line quality. The methodology also supports improvement in a way which relays to the line designers, clear information about the improvement level of the line.

Prohlášení

Tímto prohlašuji, že jsem práci na téma:

Hodnocení kvality montážního systému

vypracoval samostatně, pod odborným dohledem školitele a za použití pramenů uvedených v příložené bibliografii.

Upozornění

Využití a společenské uplatnění výsledků disertační práce, včetně uvedených vědeckých poznatků nebo jakékoli nakládání s nimi, je možné pouze na základě autorské smlouvy a souhlasu fakulty strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Ing. Petr Kozel

V Čížové dne 28. 11. 2012

Poděkování:

Na tomto místě bych rád poděkoval mému školiteli Doc. Ing. Gejzovi Horváthovi, CS.c. za pomoc a vedení při zpracování této disertační práce. Poděkování patří také členům katedry Průmyslového Inženýrství a Managementu Západočeské univerzity v Plzni, kteří svými odbornými radami a morální podporou přispěli ke zdárnému dokončení této práce. Dále spolupracovníkům za jejich konstruktivní připomínky a pomoc při ověřování metodiky v reálných podmínkách průmyslového podniku.

V neposlední řadě patří můj velký dík mé rodině, především mé ženě, která mne po celou dobu studia s velkou mírou trpělivosti a pochopení podporovala.

Čížová 28. 11. 2012**Petr Kozel**

Obsah

Anotace.....	I
Seznam obrázků.....	VI
Seznam tabulek.....	VII
Seznam použitých zkratk a výrazů	VIII
Úvod	1
1 Cíl disertační práce	3
2 Použité vědecké metody	6
3 Úvod do problematiky montážních linek	11
3.1 Výrobní a montážní linky	14
3.1.1 Přímá linka - „I“ Typ	16
3.1.2 Semicirkulární linka - „U“ typ.....	19
3.2 Organizace práce	21
4 Přehled činitelů a metrik používaných v praxi	23
4.1 Činitele výrobního procesu.....	24
4.1.1 Člověk - Lidské zdroje	24
4.1.2 Stroj	28
4.1.3 Materiál.....	30
4.1.4 Metody.....	32
4.2 Metriky	33
4.2.1 TT - Takt Time	33
4.2.2 CT_T – Celkový cyklus výroby	34
4.2.3 CT_{STi} – Cyklus pracovního úseku.....	36
4.3 Metody hodnocení a návrhu výrobních a montážních linek.....	38
4.4 Metody balancování linek	41
4.5 Multikriteriální rozhodování - pomocné metody a obecné algoritmy	45
5 Nedostatky v hodnocení linek	47
6 Hodnocení linek – báze parametrů	49
6.1 Časová využitelnost linky vzhledem k její velikosti	49
6.1.1 Výrobní kapacita.....	49
6.1.2 Parametry systému v závislosti na vyráběném množství	50
6.1.3 Využitelnost linky v čase.....	52
6.2 Flexibilita - pracovní časy operátorů	60
6.2.1 Ztrátové časy.....	60
6.2.2 Flexibilita - Řízení výkonu linky počtem pracovníků	64
6.3 Velikosti ploch a jejich poměry	70
6.4 Logistika výrobního systému	81
6.4.1 Přepravní výkon v rámci výrobního procesu.....	82
6.4.2 Rozpracovaná výroba	84
6.4.3 Transportní plochy (transportní zařízení)	92
7 Metodika multikriteriálního hodnocení linky.....	96
7.1 Vstupní informace	98
7.2 Vstupní metriky pro metodiku.....	98
7.3 Hodnotící kritéria.....	100
7.3.1 K_K - Kapacita systému.....	101
7.3.1 K_E – Efektivita lidské práce.....	103
7.3.2 K_V – Využití plochy	104

7.3.3	K_F - Flexibilita systému	105
7.3.4	K_U, K_R - Interní logistický tok	106
7.4	Váhy kritérií	108
7.5	Výpočet kvality systému – multikriteriální funkce	110
8	Elektronická podpora	111
9	Případová studie použití metodiky	114
9.1	Sumarizace výsledků	114
10	Přínosy pro obor průmyslové inženýrství a praxi	117
	Seznam literatury	120
	Seznam internetových zdrojů	122
	Přílohy:	I
	Metodický postup kvantifikace ploch	I
	Výsledky hodnocení kvality linek	V

Seznam obrázků

Obr. 1 Vazby mezi výrobním systémem, výrobním procesem a výrobkem [43].....	2
Obr. 2 Symbolické znázornění diskrétního systému.	16
Obr. 3 Linka typu „I“ [21].	16
Obr. 4 Linka typu „U“ [21].	19
Obr. 5 Karavanový a štafetový systém výroby [Kaizen školící silabus HOSHIN].....	22
Obr. 6 Rozložení směnnosti - příklad.....	28
Obr. 7 Příklad rozložení CT jednotlivých stanic [vlastní zdroj].....	36
Obr. 8 Časová osa pracovních úkonů pracoviště A 515 [KP Janovice Hoshin]	37
Obr. 9 Postup tvorby linky [24].....	40
Obr. 10 Rozdělení CT před a po „Merge and Split“ [24]	42
Obr. 11 Rozdělení CT před a po „Pressure Difference“	42
Obr. 12 Příklad <i>Sliding Window</i>	43
Obr. 13 Sled výrobního systému [příklad]	44
Obr. 14 Požadavky a skutečnost hodnocení montážního systému [vlastní zdroj].....	48
Obr. 15 Graf závislosti požadovaného hodinového výkonu (příklad)	53
Obr. 16 Rozložení objemu výroby na směnu při realizaci během: 1, 2, 3 směn.....	53
Obr. 17 Kapacitní možnosti linky vzhledem k požadavku na výstupu [vlastní zdroj].....	57
Obr. 18 Trasy pro varianty výrobků A, B, C pro layout 3 a 4 [vlastní zdroj]	63
Obr. 19 Příklad linky s variantním počtem pracovníků – [KP Janovice].....	66
Obr. 20 Grafické znázornění položek pro pracovní modely – [vlastní zdroj].....	68
Obr. 21 Rozdělení ploch montážních linek [vlastní zdroj].....	72
Obr. 22 Postup výpočtu zabrané plochy [vlastní zdroj]	77
Obr. 23 Původní rozestavení montážní linky (varianta „A“) [vlastní zdroj].....	78
Obr. 24 Nový návrh montážní linky (varianta „B“) [vlastní zdroj].....	78
Obr. 25 Procentuální zastoupení ploch před a po změně vzhledem k původní podobě linky [vlastní zdroj].....	79
Obr. 26 Zabrané plochy před a po přestavbě [vlastní zdroj]	79
Obr. 27 Příklad grafického zobrazení toku materiálu [vlastní zdroj].	83
Obr. 28 Tabulka transportních časů a délek zpracovávaných dílů [vlastní zdroj]	84
Obr. 29 Vztah mezi CT_{TP} a TT [vlastní zdroj]	102
Obr. 30 Vývojový diagram postupu hodnocení.....	113
Obr. 31 Layout montážní linky [vlastní zdroj].....	II
Obr. 32 Pracovní prostor [vlastní zdroj].....	II
Obr. 33 Prostor pohybu pracovníků [vlastní zdroj].....	III
Obr. 34 Skladovací prostory [vlastní zdroj]	III
Obr. 35 Kontrola [vlastní zdroj]	IV
Obr. 36 Únikové prostory – Ostatní [vlastní zdroj].....	IV
Obr. 37 Plochy bez účelu [vlastní zdroj]	V

Seznam tabulek

Tabulka 1 Výsledek balancování metodou „sliding window”	44
Tabulka 2 Hodnoty výkonu pro pracovní modely – [vlastní zdroj]	67
Tabulka 3 varianty pracovníků s denními výkony – [KP Janovice].....	69
Tabulka 4 Výroba v dávkách, manuální přesun dílů [vlastní zdroj]	88
Tabulka 5 Tok dílců po jednom za sebou, manuální přesun dílů [vlastní zdroj]	89
Tabulka 6 Tok dílců pomocí dopravních zařízení (min) [vlastní zdroj].....	90
Tabulka 7 Tok dílců pomocí dopravních zařízení (max) [vlastní zdroj].....	91
Tabulka 8 Typ manipulace s materiálem a jeho vliv na velikost rozpracované výroby	92
Tabulka 9 Vstupní informace k systému (příklad) [vlastní zdroj]	98
Tabulka 10 Příklad predikce předpokládaných prodejů – [vlastní zdroj]	99
Tabulka 11 Vstupní požadavky na systém (příklad) – vlastní zdroj	99
Tabulka 12: Ztrátové časy [vlastní zdroj].....	103
Tabulka 13 Sumarizace ploch [vlastní zdroj]	105
Tabulka 14 Tabulka nastavených preferencí ploch [vlastní zdroj].....	105
Tabulka 15: Hodnocení flexibility systému [vlastní zdroj].....	106
Tabulka 16: Flexibilita [vlastní zdroj]	106
Tabulka 17: Interní logistický tok [vlastní zdroj].....	107
Tabulka 18 Saatyho doporučená bodová stupnice s deskriptory [44]	108
Tabulka 19 Saatyho tabulka preferencí kritérií definovaná pro metodiku [vlastní zdroj]	109
Tabulka 20: Výsledné průměrné hodnoty sledovaných systémů	115
Tabulka 21 Předpis pro zakreslování ploch [vlastní zdroj]	I
Tabulka 22 Suma ploch [vlastní zdroj].....	V

Seznam použitých zkratk a výrazů

5S - Program dokonalého pracovního prostředí

BPR - Business Process Reengineering systém tvorby procesů

CT_i – **Cycle Time i-té Stanice**: čas trvání operací i-té pracovní stanice

CT_T - **Cycle Time Total**: celkový čas za jaký jsme schopni vyrobit jeden dobrý kus

CT_{TP} – **Cycle Time Total Přepočítaný**: cyklus, který zohledňuje schopnost vyrobit počet výrobků za jeden den (24 hod minus přestávky)

FIFO: First In First Out – tok materiálu systémem první dovnitř (sklad) první ven (ze skladu).

Flow Chart: Grafické zobrazení toku materiálu výrobou.

JIT -Just In Time: dodávání materiálu zákazníkovi v čase blížícím se momentu spotřeby na jeho straně.

KAIZEN: proces neustálého zlepšování.

Lead time – doba která uběhne pro realizaci jedné jednotky (od vstupu až po výstup)

OEE: Overall Equipment Efficiency – Celková efektivita využití strojního zařízení

One Piece Flow: popis toku materiálu mezi dvěma jednotkami. Minimální skladová zásoba je jeden kus

Push – Pull: Tlačný – Tažný systém. Základní principy logistického toku, kdy dodávání materiálu je řešeno buď dodáváním materiálu a tím vyvolání spotřeby tzv. tlačný systém. Anebo spotřeba si vyžádá dodávku a v tomto případě mluvíme o tzv. tažném systému.

TT - Takt Time: kadence odebírání dílců od zákazníka. Rychlost s jakou musíme minimálně vyrábět, abychom netvořili prostoje z důvodu čekání na straně zákazníka.

TOC – Teorie Omezení

TPM: Total Productive Maintenance

TPS: Toyota Production System – systém aplikovaný společností Toyota a v hojně míře následovaný společnostmi po celém světě.

TQM: Total Quality Management

VSM: Value Stream Mapping

WIP: rozpracovaná zásoba [work in process] – zásoba, která čeká na další zpracování. Hodnota je sledována za účelem zpřehlednění toku a minimalizace skladových zásob.

Úvod

Cílem výrobních podniků je tvorba výrobků, které jsou dobře uplatnitelné na trhu a přinášejí zisk. Podniky jsou čím dál více tlačeny do lepší kvality, nižší ceny, včasnosti a úplnosti dodávek atd. Toho je možné dosáhnout různými způsoby. Jedním z řešení je zvýšení efektivity průmyslové výroby.

Průmyslová výroba je definována jako soubor metod užívaných ve výrobních závodech produkujících výrobky. Zde nacházíme dva základní aspekty: technologii výrobku (konstrukce a charakteristické znaky výrobku) a technologii procesu (organizace a provoz strojů, plánovací a řídicí systémy). Technologie procesu zahrnuje i řízení výroby, které se soustřeďuje na lidské, kapitálové a technické zdroje, potřebné pro uskutečňování výroby a současně na problémy plánování a kontroly.

Za hledáním efektivní výroby, je snaha podniků snižovat plýtvání (snižovat náklady) ve všech výrobních a podpůrných procesech. Z tohoto hlediska je možné vidět velký potenciál v technologickém uspořádání výroby, technologických celků, logistických toků, skladových zásob, řízení výroby apod. Nejde jen o úsporu přímých finančních nákladů, ale i o snížení pracnosti, únavy zaměstnanců, nemocí z povolání, chybovosti atd. Jedním z důležitých aspektů je i zvyšování flexibility¹ výroby.

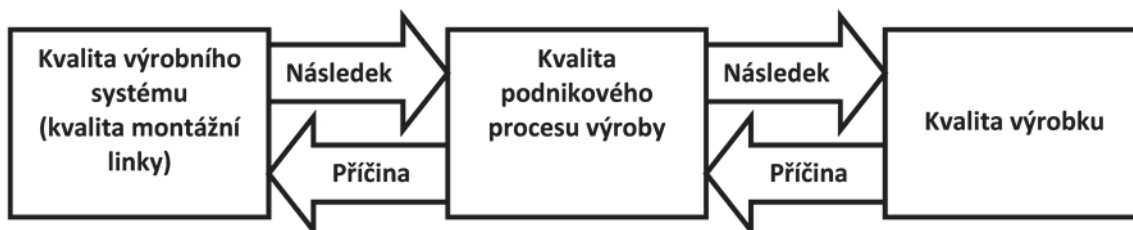
Návrhy linek jsou jednou z důležitých součástí profesního života každého výrobního podniku. Díky výpočetním systémům, je možné v dnešní době zpracovávat velká množství dat a následně vytvářet simulace a modelovat složité procesy. Tato část průmyslového inženýrství prošla ve své historii mnoha změnami. Návrhy linek jsou předmětem celé řady zkoumání a k jejich řešení bylo navrženo mnoho postupů a metod, jak pro tvorbu nových linek, tak i pro optimalizace již vytvořených. Potřeba změny systému nastává vždy, když se významně změní podmínky, za kterých je systém provozován a to ať už se jedná o požadavky trhu anebo životní cyklus výroby daného výrobku.

Montážní linka[43] je vysoce organizovaný výrobní systém určený k podpoře podnikového procesu výroby výrobku, nebo skupiny navzájem podobných produktů. Cestou ke vzniku výrobku je podnikový proces výroby. Můžeme tvrdit, že mezi kvalitou výrobku a kvalitou podnikového procesu výroby je příčinně následková souvislost, tj. dodržení navržené kvality výrobku je následkem konkrétní kvality podnikového procesu výroby. Toto tvrzení

¹Flexibilní uspořádání výroby: flexibilita je dnes jedním z rozhodujících parametrů skutečně štíhlých výrobních systémů. Doba jednoúčelových velkých a těžkých zařízení a jednoúčelových montážních linek je nenávratně pryč. Flexibilní výrobu lze stavět pouze na malých, mobilních zařízeních, které zvládají co největší rozsah produkce, a to vše při minimálních časech potřebných pro jejich přetypování. Rovněž na montážní lince musíme být schopni kompletovat několik typů výrobků, a to plynule, téměř v libovolném pořadí. Příkladem dokonalé flexibility je pro nás výrobní buňka jedné firmy z oblasti automobilového průmyslu. Tato výrobní buňka dokáže produkovat 5 různých typů výrobků, každý v různých objemech produkce. A v čem tkví tajemství úspěchu? Celá buňka je uspořádána do tvaru písmene U, tak aby byly vzdálenosti v případě obsluhy více pracovišť jedním operátorem minimální. Obsazení buňky pracovníky se mění dle požadavků zákazníka. Resp. jsou možné tři varianty rozložení pracovišť a operací mezi operátory. Klade to samozřejmě vysoké požadavky na samotnou flexibilitu pracovníků, kteří jsou schopni každý pracovat minimálně na čtyřech různých pozicích. V případě, že se změni typ vyráběného výrobku, dokážou reagovat u třech typů naprosto plynule a u dalších dvou dojde k mírné úpravě layoutu a změně vstupního materiálu. To vše však netrvá, vzhledem k tomu, že pracoviště jsou na kolečkách, déle než 5 min. 12. 04. 2010 - Jaroslav Dlábač

<http://e-api.cz/article/69775.stihle-vyrobní-systemy-8211-princip-8222-best-of-best-8220/>

je základem moderního chápání kvality výrobků. Ovšem konkrétní realizace podnikového procesu výroby je určena kvalitou výrobního systému, který je účelově sestaven tak, aby umožnil realizaci podnikového procesu výroby s požadovanou kvalitou. Jedná se tedy o tři entity, mezi kterými je příčinně následková souvislost, schematicky znázorněna na obrázku 1.



Obr. 1 Vazby mezi výrobním systémem, výrobním procesem a výrobkem [43]

Montážní linka je systém uspořádaný z prvků dvou druhů:

- Pracovníci, kteří mají znalosti a dovednosti umožňující vykonávat montážní operace, ze kterých je složen podnikový výrobní proces.
- Stroje, nástroje a zařízení, které podporují pracovníky při vykonávání montážních operací.

Kvalita pracovníků, kvalita strojů, nástrojů a zařízení a kvalita uspořádání prvků tohoto systému určuje kvalitu montážní linky jako celku.

Na základě výše uvedeného tvrzení o vztahu mezi kvalitou výrobního systému (montážní linky) a kvalitou podnikového procesu výroby, můžeme dále tvrdit, že kvalitu výrobního systému (montážní linky) můžeme hodnotit pomocí metrik, kterými lze charakterizovat kvalitu podnikového procesu výroby.

Tato práce se zabývá koncepcí a přístupy, jak kvantitativně hodnotit uspořádání (zřetězení) montážních linek v průběžných systémech. Cílem práce je zmapování současných přístupů a trendů. Shromáždit informace o používaných indikátorech a popsat jejich vzájemné vztahy a provázanosti. Určit vhodnost sestavení výrobní linky dle předem stanovených premis. Stěžejní část je zaměřena na nastavení metodiky pro rozhodování vhodnosti systému, který je uplatnitelný v praxi.

1 Cíl disertační práce

Téma disertační práce:

Cíl disertační práce vyplývá z rozboru současného stavu dané problematiky. Na základě poznatků a následně vydefinovaných tezí je hlavní cíl disertační práce následující:

Hodnocení struktury a rozložení montážních linek ve výrobě s vysokou opakovatelností (sériová, hromadná). Linky jsou koncipované jako jednoúčelové, určené pro úzký sortiment výrobků, kde není vysoká diverzifikace výrobního sortimentu (výrobky jsou si podobné a při přechodu na jinou referenci (výrobek vykazující shodné nebo jen málo odlišné parametry) nedochází k zásadní změně technologického postupu nebo výrobního systému).

Ještě v nedávné minulosti byla za nejvyšší formu organizace montáže pokládána proudová montážní linka s vysokým stupněm synchronizace jednotlivých operací a vázaným montážním rytmem (pevný takt). Vyplývá z toho, že při hodnocení byla vzata v úvahu pouze ekonomická kritéria a nebyly respektovány poznatky psychologie práce. Nejnovější poznatky ukazují, že je nutné zabývat se celým problémem komplexně, a že lidský faktor hraje podstatnou roli při zvýšení výkonnosti montážních procesů².

Faktorem zasahujícím do ekonomičnosti výrobních systémů je jejich adaptabilita na změnu požadavků na výstupu. Jestliže dojde k poklesu poptávky, pak linky vykazují nadbytečnou kapacitu (ztráta vzniklá z nadprodukce). Pokud dojde k navýšení, pak je třeba operativně řešit chybějící kapacitu. To se uskutečňuje dalším navýšením kapacity, která opět při poklesu poptávky je nadbytečná. Z toho plyne, že reakce na změnu požadavků musí být taková, aby plynule reagovala na podněty a zároveň minimálně zatěžovala nákladovou stránku výroby.

Pro tuto práci lze následovně nadefinovat tři základní teze:

- Velká část linek v automobilovém průmyslu jsou montážní linky (založené na postupové výrobě). Většina dodavatelů a zároveň i koneční výrobci v automobilovém průmyslu, staví svojí výrobu na redistribuci pracovních úkonů ve výrobních linkách. Pro dosažení co nejvyššího finančního efektu jsou linky stavěny tak, aby byly schopny produkovat co největší počet výrobků za jednotku času s minimem nákladů.
- Linky jsou řetězce výrobních prostředků a jejich rozestavení ovlivňuje náklady na proces výroby.
- Různým uspořádáním výrobní linky se mění jednotlivé parametry, které jí charakterizují.

² HUMÁR, Anton: TECHNOLOGIE MOTÁŽE, Sylaby předmětu, Ústav strojírenské technologie, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, str. 41.

Hypotézy:

- Linky „I“ i „U“ jsou si rovny z pohledu maximální kapacity výkonu.
- „U“ linka umožňuje více alternativ pro tvorbu možných pracovních stanic, oproti lince typu „I“.
- Linka koncepčně řešena pro výrobu ve třech směnách zabírá menší plochu než linka určená pro výrobu v jedné směně.
- Každému konkrétnímu uspořádání konkrétní linky v konkrétních podmínkách, lze přiřadit charakteristické číslo, které kvantifikuje výhodnost daného řešení linky.

Definice cíle:

Najít a zobecnit postup, který umožní vyhodnotit variantní architekturu výrobního systému, jenž odpovídá multikriteriálním požadavkům, definovaným at' vnitřně, tak zvenčí. (Vnitřní požadavky jsou firemní zvyklosti, konvence a praxe. Požadavky zvenčí jsou požadavky zákazníka, legislativní a ostatní).

Řešit problematiku stupně zlepšení systému pomocí moderních metod hodnocení na základě multikriteriálních požadavků.

Ověřit na konkrétních případech z praxe, že navrhovaný postup přináší očekávané výsledky.

Základní ukazatele používané pro definování výrobního systému jsou³:

Doba změny výroby	[min]
Doba cyklu (CT)	[s]
Počet zaměstnanců	[osob]
Kusy na zaměstnance (produktivita)	[kusy/hodina]
Velikost rozpracované výroby	[kusy]
Hotové výrobky	[kusy]
Podlažní plocha (Layout)	[m ²]
Výkon linky	[kusy/hodina]

Tuto skupinu metrik je možno doplnit ještě o skupinu doplňujících činitelů, která může více zobjektivnit hodnocení výrobního systému.

Lidské zdroje

- Mzdové náklady
- Skladba personálního obsazení
- Povaha a charakter práce
- Požadavek na zaškolení operátorů
- Počet možností kombinací počtu operátorů
- Poměr doby čekání ke strojnímu času
- Plánovaný počet vyrobených kusů za jednotku času

³ IMAI, Massaki: Gemba Kaizen: Brno, Computer Press, a.s., Czech edition 2005. ISBN 80-251-0850-3.

- Plánovaný počet vyrobených kusů za jednotku času na operátora
- Vhodnost muž x žena (fyzická kondice)
- Směnnost
- Práce vsedě a vestoje

Strojní zařízení

- Poměr strojů k manuální práci (stupeň automatizace)
- Počet únikových míst
- Poměry velikostí jednotlivých pracovišť
- Poměr stran linky
- Systém transportu dílů:
- Poruchovost strojů (prostoje – vazba na CT)
- Dostupnost při poruše údržbou

Materiál

- Druh materiálu
- Četnost odvozu hotových výrobků
- WIP technologická
- WIP procesní
- Typ obalového materiálu vstupních dílů
- Prostorové uspořádání
- Počet druhů obalového materiálu
- Typ obalového materiálu hotových výrobků
- Vzdálenost dílců od pracoviště, počet dílců v jednom balení, kanban regál
- Materiálová spotřeba
- Zmetkovitost – Strait Run Ration (SRR)
- Šrot – Scrap Rate
- Způsob odvozu materiálu

Metody

- Poměr kontrolních úkonů stroj x člověk
- Délka přechodu (přestavby) na jinou referenci
- Typ práce na lince (štafetová, karavanová, buňková)
- Tok výroby (levotočivý, pravotočivý, kombinovaný)

Výsledkem je metodika, která hodnotí systém a tím napomáhá jeho lepšímu porozumění.

Tato disertační práce je příspěvkem pro ty, co zlepšují výrobní systémy, podporuje pochopení souvislostí a vazeb vlastností výrobního systému, a je součástí procesu tvorby výrobní linky.

Nový předpis, je platný pro sériovou a hromadnou výrobu. Je nástrojem (metodikou) podporující tvůrce výrobního systému při jejich snaze navrhnout výrobní systém vyhovující požadovaným multikriteriálním požadavkům.

Snahou je vytvořit soubor obecně platných standardů, které jsou stavebními kameny při sestavování výrobního systému a ty vhodně provázat. Na základě jejich vazeb, obdržet co nejpřesnější obraz o kvalitě systému.

2 Použité vědecké metody

Při realizaci této disertační práce byly použity vědecké metody, které jsou nezbytnou podmínkou pro vznik nových poznatků v teoretické oblasti. Problematika, která je zde řešena vyžadovala použití celé řady obecných a specifických metod. Díky aplikaci těchto metod, bylo možno dosáhnout finální podoby navrhované metodiky v této disertační práci.

Při tvorbě vědecké práce jsou vědecké metody základním stavebním pilířem, bez kterého se žádná vědecká práce nemůže obejít. Pro popis těchto metod bylo čerpáno především z práce prof. Molnára, ve které se zabývá problematikou vědeckých prací. Jelikož metody jsou určené pro široké pásmo použití, je jejich aplikace možná v mnoha případech a stavech. Vybrané metody byly s efektivním a pozitivním výsledkem použity i v souvislosti řešení problematiky v předkládané disertační práci.

Analýza a syntéza:

Analýza je proces faktického nebo myšlenkového rozčlenění celku (jevu, objektu) na části. Je to rozbor vlastností, vztahů, faktů postupující od celku k částem [20].

Syntéza znamená dle [20] postupovat od částí k celku. Dovoluje poznávat objekt jako jediný celek. Je to spojování poznatků získaných analytickým přístupem.

Detailně analyzovaná problematika je prvním předpokladem inovativních myšlenek pro danou oblast zkoumání. Analýza a syntéza jsou nejvíce využívané obecné vědecké metody, které jsou použité v této vědecké práci.

Analýzou zkoumané oblasti v hodnocení výrobních systémů bylo zjištěno, že i přes velkou jak teoretickou, tak praktickou znalost návrhu výrobních systémů, není v dostupné literatuře dostatečně popsána metodika vyhodnocování finální podoby výrobního (montážního) systému. Při vytváření metodiky pro tuto oblast bylo nutno analyzovat jednotlivé příspěvky ukazatelů k finální podobě systému a jejich vzájemnou provázanost. V disertační práci byla detailně analyzována především tato oblast.

Při tvorbě metodiky byla prováděna podrobná analýza možných přístupů k řešení nadefinovaných problémů a cílů, byly zkoumány vztahy, klady a zápory. O rozsahu prováděných analýz značně napovídá i množství zkoumaných výrobních systémů realizovaných pro různé technologie (výrobní linka – svařovací procesy; montážní linky – kompletace kinematických komponentů pro automobilový průmysl).

Poté byla za pomoci syntézy navržena nová specifická metodika hodnocení linky. Dopad nových myšlenek vzešlých ze syntézy a dalších uvedených metod musel být pak ještě zpětně analyzován.

Abstrakce:

Abstrakce je dle [20] myšlenkový proces, v jehož rámci se u různých objektů vydělují pouze jejich podstatné charakteristiky (nepodstatné se neuvažují), čímž se ve vědomí vytváří model objektu obsahující jen ty charakteristiky či znaky, jejichž zkoumání nám umožní získat odpovědi na otázky, které si klademe.

Při prvním zvažování jak by metodika měla vypadat, bylo uvažováno o co největším počtu začleněných ukazatelů. Pokud by se ovšem začlenily všechny ukazatele a podmínky, pak by metodika byla natolik komplikovaná, že by v konečném důsledku nevedla k požadovaným výsledkům. Proto za pomoci abstrakce bylo využito jen těch ukazatelů, které jsou důležité.

Při výběru ukazatelů autor využíval své více jak čtrnáctileté zkušenosti s výrobními a montážními systémy.

Analogie:

Analogie je [20] založena na přenosu závěrů o platnosti určitého znaku jednoho objektu na objekt jiný, vycházející ze zjištění příbuznosti obou objektů podle jiného znaku.

Využití analogie je jednou ze stěžejních aktivit, která je implementována v této práci. Jedná se především o porozumění souhlasných podmínek a ukazatelů, které jsou shodné pro daný okruh zkoumání. Při návrhu metodiky bylo nutné ověření a definování shodných znaků, které by byly obecně aplikovatelné.

Získané metody je možné aplikovat přímo, vždy je ale nutno respektovat rozdílné požadavky na systém z pohledu jak z vnitřku, tak z vnějšku. Tyto podmínky je pak nutno vhodně začlenit a chápat, při aplikaci metodiky pro různé případy.

Aplikace systémového přístupu:

Aplikace systémového přístupu [20] znamená, že na předmět našeho zájmu nahlížíme jako na systém a zvažujeme všechny jeho děje a části ve významných souvislostech. Systémem se přitom rozumí neprázdná množina prvků a množina vazeb mezi nimi, přičemž vlastnosti prvků a vazeb mezi nimi určují vlastnosti (chování) celku.

Metodika je tvořena dílčími kroky a prvky. Při návrhu nové metodiky byly podrobně zkoumány charakteristiky:

- účel systému
- struktura systému
- vlastnosti prvků
- vlastnosti vazeb
- okolí systému

Subjekty systému v metodice jsou ukazatele, které tvoří páteřní strukturu. Ukazatele jsou ve smyslu systémového přístupu základ vertikální linie, která ukazuje na vlastnosti celku.

Tvůrčí metody:

Cílem metod tvůrčího myšlení je dle [20] zvýšit pravděpodobnost úspěšného vyřešení problému v průběhu tvůrčího procesu.

Při vytváření nové metodiky, jako v podstatě v jakékoliv vědecké práci, je nutné použít pro nalezení nových postupů či řešení také tvůrčích metod. Tyto metody vyžadují využití kreativity i určitou dávku intuice a znalostí autora.

Za pomoci tvůrčích metod byly navrženy ukazatele, které je možné kvantifikovat, a závislosti mezi nimi slouží k vhodnému nastavení a aplikování metodiky.

Experiment (ověření):

Cílem experimentu je ověření, že navržená metodika je nejen příspěvkem pro vědecké zkoumání a teorii jako takovou, ale že její využití v praxi je přínosné. Metodika byla vyvíjena pro potřeby při navrhování a optimalizacích montážních systémů. Její aplikovatelnost a využitelnost byla zjišťována ve společnostech KP Janovice nad Úhlavou s.r.o., OLHO Löhne GmbH. Germany (KP Löhne GmbH). V roce 2013 bude tato metodika aplikována dále ve společnosti Shanghai Key Automotive Plastic Component China– sesterská společnost Key Plastics Janovice s.r.o.. Metodika byla a je aplikována ve společnosti KP Janovice nad Úhlavou s.r.o. Pro co nejjednodušší aplikaci a užití byla vytvořena aplikace v softwaru MS Excel. Výstupy z provedených analýz byly podrobně zpracovány do *kapitoly: 9 Případová studie použití metodiky*.

V práci byly použity kromě obecných vědeckých metod i některé specifické metody.

Interview:

Metoda interview slouží k získávání informací na základě přímého rozhovoru s dotazovanou osobou. Metoda velice často slouží k výměně podrobnějších informací, které nelze provést za pomoci dotazníkových šetření a umožňuje vzájemnou zpětnou vazbu mezi dotazovaným a dotazujícím.

V rámci tvorby metodik disertační práce se tato metoda velice osvědčila, jelikož umožnila konzultovat nabyté teoretické znalosti s odborníky z výzkumu (např. Doc. Horváth – ZČU FS KPV a UJEP FVTM KMEP , Doc. Šimon - ZČU, Doc. Preclík - ČVUT) a praxe. Metodika, tak byla porovnáována se zkušenostmi těchto expertů a nabyté zkušenosti do ní byly následně zpracovány.

Metoda zobrazení struktury procesu:

Algoritmus řešení je znázorněn vývojovým diagramem. Pomocí přesně definovaných pravidel se vykonává konečný počet elementárních operací, který vede k řešení úloh určitého typu. Vývojový diagram je grafický způsob zápisu algoritmů, v němž jsou k zápisu jednotlivých kroků použity značky, které se spojují vodorovnými nebo svislými spojnicemi. Do značek se slovně nebo symbolicky vpisují operace (skupiny operací) nebo symboly, blíže specifikující účel jednotlivých značek diagramu. Spojnice určují pořadí kroků, šipkou se označuje orientace spojnice.

Metoda, byla použita při tvorbě elektronického podpory. Algoritmem bylo umožněno systematického zobrazení postupu při výpočtu ukazatelů v krocích.

Špagety diagram:

Špagety diagram⁴ (*Engl. Spaghetti Diagram*): vizualizace pohybů a toků, které se skutečně nacházejí v reálném prostředí. Metoda se používá pro zobrazení toků materiálů, pohybů zaměstnanců v případě kanceláří, vizualizace toku dokumentů apod. Vizualizací je dosaženo velice přehledného zaznamenání stavu, který je možné lépe zkoumat a analyzovat.

V této práci byla metoda Špagety diagramu použita při zjišťování a měření toků materiálu a pohybů zaměstnanců jako vstupních podkladů pro vyhodnocování.

Metoda mapování toku (VSM – Value Stream Mapping):

VSM je analytický nástroj pro mapování **hodnotového toku**⁵ ve výrobních i administrativních procesech, díky kterému jsme schopni odkrýt veškeré ztráty vznikající při realizaci produktu. Výstupem je ucelený pohled na hodnotový tok vytipovaného výrobku nebo služby.

VSM je metoda obecně používaná pro aplikaci *lean*⁶ systémů. Modelováním toku materiálu, výrobků a výroby samotné, se nejdříve vytvoří obraz aktuálního stavu systému a procesů. Pak za pomoci expertních skupin a pomocí optimalizačních metod je vytvořen model, který redukuje ztráty. Tento model je zaimplementován do reálného prostředí a kontrolními metodami vyhodnocen.

VSM je aplikován v pěti základních krocích:

- Definování úkolu
- Mapování aktuálního stavu
- Vyhledávání ztrát a jejich redukce
- Vytvoření modelu optimalizované varianty
- Vyhodnocení modelu na základě reality

Metoda vícekritériálního hodnocení variant – Saatyho Metoda (*Thomas I. Saaty*):

Metoda byla použita pro porovnávání a hodnocení vah jednotlivých kritérií. Protože kritéria nemají shodnou důležitost vzhledem systému a zároveň pohledy na systém v různých prostředích se mohou lišit.

Základním aspektem při hodnocení variant je celkový počet kritérií. Lze říci, že čím je počet kritérií vyšší, tím je hodnocení obtížnější. V této disertační práci byla použita

⁴ A flow charting method that uses a continuous line to trace the path of a part through all phases of manufacturing. Spaghetti diagrams expose inefficient layouts and large distances traveled between steps. <http://www.toolingu.com/definition-900240-13478-spaghetti-diagram.html> 2012/05/15

⁵ Hodnotový tok je souhrn všech aktivit v procesech, které umožňují vlastní transformaci materiálu na produkt, který má hodnotu pro zákazníka. Patří sem jak aktivity, které přidávají hodnotu, tak aktivity, které hodnotu nepřidávají.

⁶ Štíhlá výroba či *Lean manufacturing* je metodika, kterou vyvinula firma Toyota po 2. světové válce jako *Toyota Production System (TPS)*. Duchovními otci této metodiky jsou *Taichi Ohno* a *Shigeo Shingo*. Jedná se přístup k výrobě způsobem, kdy se producent snaží uspokojit v maximální míře zákaznickou požadavky tím, že bude vyrábět jen to, co zákazník požaduje. Snaží se vytvářet produkty v co možná nejkratší době a pokud možno s minimálními náklady, bez ztráty kvality nebo na úkor zákazníka. Dosáhne toho minimalizací plýtvání [http://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%A0%C3%ADh%C3%A1_v%C3%BDrobai] 2011 02.

Saatyho metoda stanovení vah kritérií [44]. Tato metoda spočívá ve stanovení preferenčních vztahů pro každou dvojici kritérií a následné stanovení vah kritérií.

Určené váhy byly použity při vyhodnocování jednotlivých kritérií a následně pak určena výsledná hodnota montážního systému.

3 Úvod do problematiky montážních linek

Proces je řada kroků (postupů) určených k vytvoření produktu nebo poskytnutí služby [45].

Profesor Zelenka charakterizuje Výrobní proces strojírenského závodu jako souhrn technologických, kontrolních a řídicích činností, jejichž účelem je měnit tvar, rozměry, složení, jakost a spojení výchozích materiálů a polotovarů z hlediska požadovaných technickoekonomických podmínek vyráběného výrobku [6].

Výrobní proces [37] str. 274: je uskutečňován prostřednictvím **výrobních systémů** [37] str. 327, které lze v obecném pojetí charakterizovat jako věcné, technologicky, časově, prostorově a organizačně jednotné seskupení hmotných zdrojů (materiálů, energií, výrobních a pracovních prostředků) a pracovních sil určených pro výrobu vybraného sortimentu výrobků [6].

DRUHY VÝROBNÍCH PROCESŮ:

1. dle účasti pracovníků
 - pracovní - při jejich účasti, ruční a strojní
 - nepracovní – bez účasti, automatizované, přírodní
2. dle funkce jednotlivých částí výrobního procesu
 - technologické - mění se výrobek, fyzikální, chemické
 - netechnologické - výrobek se nemění
3. dle opakovanosti
 - cyklické
 - necyklické
 - sezónní
4. plynulosti
 - nepřetržité
 - přetržité
5. dle výrobního procesu z časového hlediska
 - předvýrobní
 - výrobní
 - odchylková

Systém je soubor prvků, které ovlivňují sebe navzájem i chování celku. Každý z jednotlivých prvků je nějakým způsobem závislý alespoň na jednom dalším prvku. Mohou se slučovat do podsystémů. Když systém rozdělíme na jednotlivé části, ztrácí své vlastnosti.

Výrobním systémem lze v obecném pojetí nazvat vše, co transformuje vstupy na výstupy s určitou přidanou hodnotou [46] a smyslem výrobního systému je umožnit realizaci požadovaného výrobního procesu⁷.

⁷ Doc. Ing. Gejza HORVÁTH, CSc.: konzultace a odborné diskuse na dané téma

Výrobní systém lze tedy chápat jako soubor prostředků jimiž je vytvářen produkt a kde výrobní proces je množina úkonů, které předepisují způsob přeměny vstupů na tyto produkty.

Výrobní činnost - souhrn dílčích procesů, které mají jako cíl změnit tvar, složení, jakost výchozích surovin a vytvořit výrobek.

Typy výroby:

1. kusová výroba – malé množství na kusy, odbornost
2. sériová výroba - určitý počet výrobků opracovaný při jednom seřízení stroje - malo, středo, velko sériová
3. hromadná výroba vyrábí stále jeden typ výrobku

Výrobní kapacita: je maximální objem produkce, který může daný podnik vyrobit za jednotku času.

Výrobní kapacita je ovlivněna:

1. výrobním zařízením
2. časovým fondem
3. směrností
4. pracností
5. počtem pracovníků a jejich výkony
6. atd.

Z hlediska systémového přístupu je výroba způsob přeměny souboru vstupních prvků (zdrojů), na určitý soubor výstupu (výrobků, výkonů, odpadů) v určitých výrobních jednotkách. Taková přeměna zdrojů (vstupů) na výstupy je proces transformace a probíhá na různých úrovních komplexnosti. Podle toho se pak jedná o výrobní systémy složité nebo jednoduché.

Struktura výrobních systémů je dána především charakterem a typem výroby, objemem práce, zamýšlenou strategií vlastníků a managementu, předpoklady z hlediska kooperací a dalšími faktory. Každá výrobní jednotka má dle svého vybavení a organizace vymezenou úlohu a postavení ve výrobě, jakož i vzájemné vnější a vnitřní vztahy.

V podnicích s hromadnou výrobou je nashromážděno velké množství pracovníků, kteří se podílejí jen dílčími aktivitami na výrobním procesu. To sebou přináší zeslabení vztahu mezi pracovníkem a výrobkem. Dalším negativem dělby a specializace práce je velice úzká kvalifikace zaměstnanců a díky stereotypním úkonům s vysokou opakovatelností, kdy rychlost je odvislá od rychlosti stroje nebo výrobního pásu, dochází k únavě a stresu. Psychika zaměstnance je nejvíce ovlivněna při práci, kdy zaměstnanec kopíruje takt stroje. To vedlo ke snahám vytvořit takovou strukturu, kdy zaměstnanec nepracuje konstantně v taktu zařízení. Nejvíce únavné operace jsou ty operace, kdy rytmus není řízen zaměstnancem a zároveň je vyžadováno při této práci duševní úsilí.

Prostorové řešení (uspořádání) výroby znamená technologicko-organizační řešení výrobního procesu ve vymezeném prostoru s ohledem k danému sortimentu a objemu výroby⁸.

Prostorové řešení výroby je ovlivňováno:

- **Uspořádání celého závodu:** rozložení, povaha a charakter budov (výrobní prostory, sklady, servisní střediska apod.).
- **Sít' a charakter komunikací:** jestli se jedná o komunikace vhodné pro přepravu vozy, vlaky, manipulátory, přepravními mechanismy apod. Jestli jde o pozemní komunikace, lanovkové dopravníky apod.
- **Charakter budov:** Velikost, podlahová plocha, půdorysné a prostorové řešení, statické vlastnosti jako jsou nosnosti umístění dveří apod.
- **Inženýrské sítě:** rozvody vody, páry, elektrické energie, technických plynů a kapalin.
- **Typ výroby:** uspořádání výroby je odvislé od typu a charakteru výroby a jaký je případně stupeň automatizace.
- **Manipulační prostředky:** Jeřáby s pevnými jeřábovými drahami, železniční vlečky, lanovkové dopravníky apod.
- **Technologický postup**

Mezi další činitele ovlivňující rozložení pracovišť můžeme řadit:

- **Požadavky ergonomie**
- **Kvalitativní podmínky**
- **Systém řízení**
- **Snadná manipulace:** s materiálem, nástroji, odpadem apod.

Individuální uspořádání:

U nižších typů výrob, kde není taková opakovatelnost procesů a celkový počet pracovišť je malý mluvíme o „Individuálním uspořádání“. Jde především o laboratoře, vývojové, pokusné nebo prototypové dílny apod.

Skupinové uspořádání:

Ve složitějších výrobních procesech se uplatňuje skupinové uspořádání. Je zde uplatněna v široké míře dělba práce. Pracoviště jsou slučována podle stanovených kritérií, a to buď podle příbuznosti operací (Technologické (díleenské) uspořádání), anebo podle charakteru vyráběného předmětu (Předmětné uspořádání).

- **Technologické (díleenské) uspořádání:** Při tomto uspořádání jsou stroje a zařízení shlukována tak, že na jedno místo jsou umístěna zařízení odpovídající svým charakterem a povahou stejným charakteristickým rysům (například lisovna, válcovna, obrábění, lakování...).

⁸ BUCHIN, Yossi; MEDELLER, Russell; LIU, Qi: Assembly system facility design, IIE Transactions; Jan2006, Vol. 38 Issue 1, str.68

- **Předmětné uspořádání:** se vyznačuje tím, že pracoviště nestejného charakteru (druhu technologie) jsou řetězena do celků, kde výrobek postupuje od jedné technologie ke druhé. Existují dvě základní formy uspořádání:
 - **Hnízdové:** vhodné pro více druhů výrobků a pro výrobky nižšího výrobního množství, technologicky si podobných výrobků. U takové výroby není stanoven takt a proto je nutno v tomto rozestavení počítat s mezioperačními sklady.
 - **Linkové (linka typu „I“):** vhodné pro velké množství výrobků stejného druhu a technologické shodnosti (pružná linka – více předmětná; proudová linka – jedno předmětná). Je charakterizovaná tokem výroby v jednom směru. Na jednotlivých pracovištích jsou prováděny přesně definované úkony s definovanou dobou trvání. Takový typ rozložení pracovišť umožňuje maximální eliminaci mezioperačních skladových zásob.
 - **Modulární uspořádání (linka typu „U“):** jsou vytvořeny shluky pracovišť (Pracovní stanice) tak, aby v rámci jednoho shluku bylo možno vyrobit dílec.

3.1 Výrobní a montážní linky

Montážní linky⁹ jsou z velké části semi-automatizované systémy, kterými produkt prochází. V každém diskretním systému je uskutečněn jeden nebo skupina procesních úkonů. Stroje a pracovníci jsou stacionární z pohledu linky, zatímco výrobek plyne linkou. Výrobní linky byly vytvořeny za účelem zvýšení produktivity práce v podnicích.

Tradiční přístupy tvorby linek jsou dosti časově náročné. Nejdříve je proveden návrh, pak analýza, experimentální testování při výrobě pro zjištění správnosti návrhu (Robert M. Eastman 1987). Tento proces vývoje a experimentů se opakuje až do chvíle, kdy je finální podoba akceptovatelná. Při hledání vhodného návrhu je třeba brát v úvahu tři limitující okruhy: neznalost, nejistota a nepředvídatelnost [25].

Neznalost: potřebné informace pro stavbu linky nejsou.

Dva druhy informací obvykle nejsou známé:

- Detailní popis operací výrobní linky. Je poměrně složité včlenit požadavky zákazníka na design výrobku jako vstupní data pro tvorbu linky.
- Data pro nastavení výrobního zařízení nastavit tak, aby neovlivňovaly parametry linky. Současné techniky staví v převážné míře na intuitivním přístupu.

⁹ **Montážní linky** jsou souborem (ohrazenou částí výrobního prostoru) diskretních systémů, pomocí kterých jsou dílce zpracovávány nebo skládány v sekvencích, za účelem vytvoření finálního výrobku.

HUMÁR, Anton: TECHNOLOGIE MOTÁŽE, Sylaby předmětu, Ústav strojírenské technologie, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, str 41: **Montážní linka** - souhrn pracovišť, rozmístěných podle technologického postupu, spojený mezioperační dopravou, určený k provádění stanovených operací při montáži celého výrobku nebo jeho částí.

Nejistota: Vlivy, které vstupují do procesu jako změny v rámci možného očekávání. Jsou to změny, které jde velice obtížně predikovat, a často závisí na stavu okolí, jako jsou požadavky trhu, změny designu výrobku, změny procesu, nástrojů apod. I přesto, že jsme schopni tyto obtíže eliminovat opatřeními, tak jsou náročné nejen z pohledu finančního, ale i časového apod.

Nepředvídatelnost: Jedná se o fakta, která nelze předvídat, a tato fakta mohou mít fatální účinek na výrobu linky. Tyto skutečnosti mohou mít za následek dramatické výsledky se zásadním vlivem na ekonomiku výroby. Eliminace těchto vlivů může být dosažena tím, že řetězec diskretních systémů bude stavěn co nejvíce variabilně.

Pro co největší robustnost systému je nutno, aby finální podoba výrobního systému byla flexibilní a v případě obtíží bylo možno v rámci variability pokračovat ve výrobě jinou variantou výrobního procesu. **Flexibilita systému**, je schopnost plynulé reakce na změnu požadavků na výstup. Je možné jí chápat jako soubor pravidel, který zaručuje efektivní výrobu bez ohledu na vyráběné množství.

Wing To Ka uvádí pět základních typů flexibility ve výrobních systémech [25]:

- **Flexibilita Strojní:** možnost výměny opotřebovaných nebo zničených nástrojů, výměny nástrojů, bez vlivu na výstup linky. Vhodným řešením je aplikování automatických zařízení nebo robotů, kdy přenastavením můžeme vyřadit zařízení a plynule pokračovat ve výrobě na jiném.
- **Flexibilita procesní:** Možnost volby jiného druhu procesního zpracování. Stejný úkon může být vykonán více způsoby při zachování stejného výsledku z hlediska požadavků zákazníka.
- **Flexibilita procesních sekvencí:** Možnost měnit pořadí operací aniž byl ovlivněn výsledek z hlediska požadavků zákazníka.
- **Flexibilní rozložení strojního zařízení:** Možnost tvorby náhradních řešení rozložení strojního zařízení (Layout).
- **Flexibilita výkonu:** Možnost flexibilně reagovat na změny v potřebách zákazníka co do počtu odvolávaných kusů v čase.

Z pohledu rozložení výrobního systému v současné době jsou implementovány dva typy seskupení diskretních systémů: **přímé linky** (značené jako „I“) a linky **semi-cirkulární** (značené jako „U“).

Linka „I“ je soubor diskretních systémů, které jsou zařazeny v linii, a výroba plyne v linii také. Zaměstnanci po vykonání předepsaných úkonů přesunou (nebo je přesunout) výrobek na další stanoviště, kde další zaměstnanec provede další úkony. Tento systém se s výhodou uplatňuje pro kompletaci velkých celků, například v automobilovém průmyslu. V tomto případě se výrobek pohybuje a zaměstnanci svého pracovního úseku provádí předepsané pracovní úkony. Každý zaměstnanec vykonává činnosti, které jsou souborem po sobě jdoucích úkonů v rámci výrobního procesu.

V případě linky „U“ je zásadní rozdíl v možnosti distribuce pracovních úkonů na zaměstnance, kde naproti typu „I“ může být jeho soubor činností nejenom část úkonu po sobě následujících, ale může obsahovat i úkony, které na sebe nenavazují z pohledu toku

výrobního procesu. „U“ linka nám umožňuje více alternativ pro tvorbu možných pracovních buněk oproti lince typu „I“. Je to díky tomu, že v lince „U“ je možné vytvářet kombinace napříč (v obou větvích může operovat jeden pracovník).

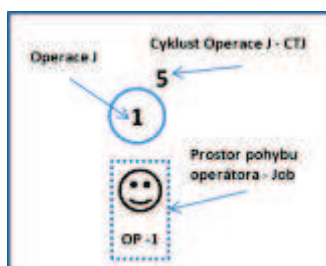
To znamená:

V lince typu „U“ pracovní úkony (shluky pracovních úkonů pro jednoho zaměstnance) nejdou v linii s linkou jako v „I“, ale díky paralelním větvím můžou jít i kolmo na tok výroby.

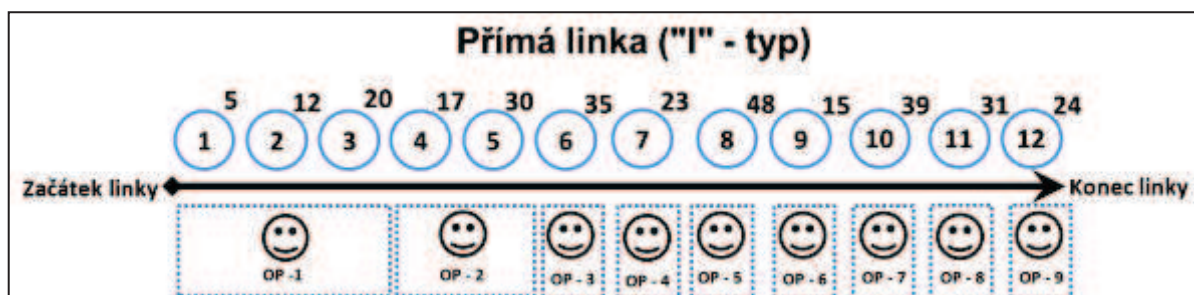
Tento typ linky je vhodný pro výroby menších výrobků, kde ztrátové časy zapříčiněné přecházením zaměstnanců nejsou zásadního charakteru a neomezují výkon linky.

3.1.1 Přímá linka - „I“ Typ

Přímá linka („I“ Typ) – Tak jako Ford se snažil vytvořit montážní linku jako jeden pás a ustoupit, do té doby zcela běžnému způsobu výroby podobnému manufaktuře, tak i dnes je do jisté míry snaha poskládat sled pracovních úkonů do jedné řady tak, aby jednotlivé části procesu byly rozděleny na co nejjednodušší úkony. Tím se dosáhne procesního řetězce, který může být uskutečňován řadou jednoduchých operací. Takové jednoduché operace mohou být uskutečňovány obsluhou se základním zaučením. Neustále se opakující jednoduché úkony vedou k získání rutiny obsluhy.



Obr. 2 Symbolické znázornění diskretního systému.



Obr. 3 Linka typu „I“ [21].

Plusy:

- **Jednoduché úkony => levná pracovní síla.**

Výrobní systém je navržen tak, aby umožnil vyrobit výrobek **množinou jednoduchých úkonů**. Rozdělením procesu na řetězec jednoduchých úkonů, dosáhneme toho, že

pracovníci, kteří se na výrobě podílejí, jsou specialisté na daný úkon. Tím umožníme každému z nich naučit se opakovat pracovní úkon velice rychle, a jelikož se jedná o jednoduchou, standardizovanou práci, tak díky této opakovatelnosti jednotlivé **úkony nevykazují** velkou **variabilitu**. Pracovníci na takových pracovištích jsou pouze zaučení a není potřeba jejich hlubších znalostí o celém procesu či dané technologii. Jsou specialisté na omezenou množinu znalostí a dovedností.

- **Jednoduchý systém => levné výrobní zařízení.**

Při tvorbě výrobního systému, který vychází z technologie výroby, při současném požadavku o co nejjednodušší pracovní úkony, je snaha tento výrobní systém vytvořit tak, aby bylo možno na něm při provedení jednoduchých pracovních úkonů docílit požadovaného výrobku v požadované kvalitě a ceně. Definovat co je to jednoduché výrobní zařízení je problematické, nicméně se jedná o zařízení umožňující takové pracovní úkony, které ze své podstaty již není vhodné dále dělit. Z toho vyplývá, že pojem jednoduchosti je velice abstraktní. Pokud bychom definici aplikovali na postupovou výrobu s ohledem na lidskou pracovní sílu, tak jednoduchý výrobní systém je zařízení nebo pracoviště, které umožní vykonat již nedělitelný pracovní úkon.

- **Jednoduše definovatelný tok výroby (materiálu).**

Tok výroby výrobní linkou je jednoduše definovatelný díky jednoznačně definovanému postupu, kdy každé následující pracoviště **je v linii** s předchozími pracovišti.

- **Jednoduché začlenění do podnikového layoutu.**

Komplex diskretních systémů musí být začleněn do podnikového layoutu. Logistický tok výroby předurčuje rozložení linek tak, že postup výroby jde z jedné strany na druhou. Z tohoto pohledu linka typu „I“ je velice vhodná. Zpravidla jsou výrobní závody designované tak, že na jednom konci přichází vstupní materiál a na druhém konci (výstupní sklad) jsou připravované výrobky k expedici. Z tohoto nadřazeného principu je i včleňování linek toho typu do logiky toku jednodušší.

- **Vhodné pro hromadnou výrobu.**

Jedná se o diskretní systém stavěný tak, aby jednotlivé úkony byly co nejjednodušší a jejich sled byl plynulý. Linka umožňuje eliminaci skladových zásob a logistické toky jsou minimální. Pracovníci vytvářejí hodnotu v cyklu opakujících se jednoduchých úkonů. Jednoúčelové, jednoduché robustní stroje nepotřebují ke své obsluze vysoce kvalifikovanou obsluhu. Zároveň údržba takových strojů je jednoduchá a může na ně být aplikována TPM (Total Productive Maintenance) v plném rozsahu.

- **Jednoduché zavážení dílci.**

Linka je obsazená obsluhou z jedné strany. Zadní část linky je přístupná pro logistiku a údržbu. Pomocí gravitačních dopravníků je možné zavážet linku dílci, aniž bychom přerušovali práci pracovníka. Ten má díky kontinuálnímu dodávání dílců dostatek materiálu pro výrobu, kterou nemusí přerušovat. Tímto jsou do jisté míry eliminovány cyklické operace opakující se nad rámec cyklu výroby na daném pracovišti.

- **Jasný tok materiálu.**

V přímé lince (I typ) je tok výroby i materiálový tok jednoznačně definován. Díky tomu je **linka** velice **přehledná a zvenčí dobře popsatelná**. Počátek je jasně definován a pracovník na tomto prvním pracovišti vstupuje do procesu jako první. V dalším postupu výroby se přidává hodnota výrobku na dalších pracovištích.

- **Pracovník dělá na výrobku v jednom stupni rozpracovanosti.**

Jedná se o jednoduché pracovní systémy, kdy pracovní úkony jsou rozděleny na triviální akce, a pracovník se nemusí soustřeďovat na vyšší stupeň komplexnosti. Díky tomu je dosaženo, že každé pracoviště obsahuje jeden stav rozpracovanosti. To umožňuje, že v případě kvalitativní neshody, je jednoduše dohledatelné místo vzniku.

Mínusy:

- **Obtížná komunikace mezi pracovišti. Nižší schopnost reakce na problémové jevy (kvalita, logistika, poruchy apod.).**

Pro rychlou reakci na případné podněty je třeba zabezpečit dobrý tok informací a dat. Při tomto rozložení zaměstnanců je v porovnání s U tvarem linky obtížnější předání informace. Jde o informace, které vytvářejí databázi, jenž je podkladem pro tvorbu znalosti o pracovišti. K tomu aby rychlost toku informací byla co nejvyšší, je třeba vytvořit vhodné prostředí. Vzdálenost mezi začátkem a koncem znesnadňuje rychlou odezvu. Reakční doba na podnět se prodlužuje a řízení takovéto linky není optimální.

- **Dlouhá výrobní cesta.**

Tak jak je výhodou jednoznačně definovaný tok, tak na druhé straně, díky tomuto jednoznačně definovanému toku se prodlužuje délka linky. Linka je úzká, ale výrobek musí urazit dlouhou trasu. To znamená, že reakce na obtíže v systému jsou delší (komunikace, kvalita apod.).

- **Omezená možnost balancování linky (změna počtu pracovníků).**

Výrobní čas jednoho výrobku je CT_T (Cycle Time Total). Tento CT_T je součtem všech CT_i jednotlivých diskretních systémů. CT_T pracoviště obsahuje součet časů výrobních a nevýrobních. Jestliže dojde k požadavku na snížení výkonu linky, tak ve variantě, se snížením počtu pracovníků, zpravidla dochází k **navýšení nevýrobních** časů, jako je například přechod mezi pracovišti.

Díky tomu že pracovníci jsou pouze zaučení na úzký okruh prací, tak schopnost práce na více pracovištích je omezená. **Polyvalence na pracovištích je nízká**. Nejvýhodnějším způsobem jak variovat výstup z linky je flexibilně nastavovat výrobní čas plně obsazené linky. To ale přináší problémy se směnností a přesčasovými hodinami pracovníků.

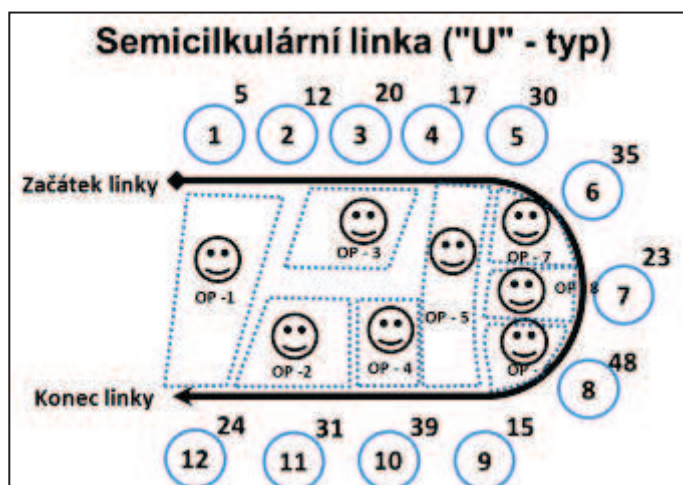
- **V případě velkého stroje eliminace variability počtu zaměstnanců.**

Jestliže v řadě výrobních zařízení se nachází stroj, jehož rozměry jsou natolik veliké, že operátor by musel v rámci svých pracovních úkonů chodit velké úseky, pak je nutno výrobky dopravovat pomocí dopravníkových zařízení. To řeší problém přepravy dílců, ale

na druhé straně to limituje možnost práce operátora na více pracovních stanic a tím znesnadňuje tvorbu variantního modelu pro různé počty operátorů.

3.1.2 Semicirkulární linka - „U“ typ

Semicirkulární linka („U“ typ) – V současnosti je možné pozorovat stále častější opouštění koncepce přímé linky a častější použití koncepce linky tvaru U. Taková linka umožňuje velkou kompaktnost sestavení výrobních systémů a procesů [21]. Obsluha pracovišť může pracovat v jednom pracovním cyklu na více pozicích (nenavazujících na sebe – nejsou svázané), aniž by musela přecházet velké úseky. Díky tomu se může variovat s počtem pracovníků, toto má velkou výhodu především ve schopnosti „plynule“ měnit CT_T linky a tím plynule odpovídat na změny požadavků od zákazníka z pohledu množství a sortimentu (TT – Takt Time). Jestliže můžeme měnit počet pracovníků v lince, pak potřebujeme více zacvičené pracovníky, kteří jsou schopni zvládat více pracovních úkonů při dodržování kritérií kladených jak na výrobní systém, tak na proces.



Obr. 4 Linka typu „U“ [21].

Plusy:

- **Řízení rozpracované výroby.**

Řízení rozpracované výroby je jednodušší, protože zaměstnanci v rámci pracovního cyklu musí dokončit sled operací a aby mohly pokračovat, musí uvolnit zařízení a tím vytvořit místo pro další výrobek. Protože zaměstnanci pracují na více pracovních pozicích, jsou daleko více nuceni dodržovat CT pracovišť a nepředbíhat ve výrobě na některém pracovišti. Pracoviště je více kompaktní.

- **Lepší komunikace mezi vstupem a výstupem linky.**

U linky tvaru „U“ je snaha o co neblíže umístění vstupu a výstupu. Při rozdělení systému do sektorů, které jsou rozvržené podle střední osy linky, pak vstup a výstup se nachází ve stejném sektoru. Blízkost vstupu a výstupu umožňuje jednodušší řízení a kontrolu chodu linky. V případě tažného systému je přímá vazba mezi požadavky výstupu na vstup.

- **Větší možnost balancování.**

Při shodnosti linky „U“ a „I“ co do výroby a počtu pozic, jme schopni dosáhnout shodného výrobku z pohledu kvality. Tažný systém určuje množstevní požadavky výstupu a tím určuje takt linky. Pokud takt výstupu se změní, přeorganizováním (přeskupením) nebo změnou počtu zaměstnanců se může flexibilně zareagovat. Tím se udrží kontinuální chod linky a není třeba linku zastavovat. To má výhodu také z pohledu spotřeby energií, kdy spotřeba se nemění skokem.

- **Umožňuje jednodušší zvyšování polyvalence.**

Díky variabilitě počtu zaměstnanců na lince je třeba, aby každý zaměstnanec byl schopen pracovat na více pracovních pozicích. K tomu je nutno vypracovat kombinační modely pro různé počty pracovníků. Tyto modely slouží jako předpis (mapa) požadavků na zaučení, na zvyšování polyvalence. Tím je dosaženo toho, že každý pracovník, aby vyhověl variabilitě, musí být schopen pracovat na více pracovištích. Tím jsou nuceni nejen přímí zaměstnanci, ale i vedení, k neustálému monitorování stavu zaučení (zaškolení) zaměstnanců na lince.

- **Lepší schopnost reakce na problémy.**

Lepší kompaktnost linky znamená kratší vzdálenosti, které nejen že přispívají k lepšímu toku materiálu, ale i lepšímu toku informací. Díky tomu je v takovém kompaktním pracovišti jednoduché reagovat na podněty spojené s nekvalitou, prostoji nebo produktivitou. Tím je možné zkrátit čas prostojů.

- **Vytváří lepší podmínky pro vnímání vlastního teritoria týmem.**

Díky tomu, že pracovníci pracují v sekvencích, které nejsou v rámci jednoho pracoviště (objem prací jednoho pracovníka) na sobě závislé, dochází k tomu, že pracovníci sdílejí pracovní výsledky pracovníků pracujících na pracovních úkonech před nimi a i po nich, tím lépe vnímají celý výrobní tok a výrobní proces. Protože výrobek jednoho zaměstnance může být pro druhého zaměstnance vstupní materiál a zároveň na dalším pracovišti od tohoto pracovníka jeho výsledek práce obdrží jako vstupní výrobek.

Mínusy:

- **Obtížnější údržba.**

Linka „U“, je hůře přístupná pro zásahy údržby z místa kde se pohybuje obsluha. Vnější prostory zaručují stejný přístup jako u linky „I“. Prostor pro případné údržbářské práce uvnitř linky je třeba řešit už při tvorbě linky tak, aby v případě potřeby bylo možno přesunout zařízení do prostoru s lepším přístupem.

- **Lidé jsou uzavřeni v lince (bezpečnost práce).**

Bezpečnost práce z pohledu únikových cest je horší. V případě „I“ linky mohou zaměstnanci odstoupit od zařízení. V případě „U“ linky jsou uzavřeni v prstenci pracoviště. V případě ohrožení, tak mají jedinou únikovou cestu, pracoviště číslo 1. Aby se zvýšila možnost opuštění pracoviště, tak se linka staví jako dvě paralelní větve, kde možnost úniku je na obou koncích.

- **Potřeba lidí, kteří jsou schopni pojmout větší množství zaškolení (dosáhnout vyšší polyvalence).**

Při možnosti měnit počet lidí na lince vyvstává potřeba pracovníků s větším počtem zaškolení na pracovištích. Každý zaměstnanec musí umět pracovat na více než jednom pracovišti (v případě linky „I“ stačí zaučení na „jedno pracoviště“). Díky tomu musíme vynaložit více zdrojů na školení. Úroveň zaměstnanců musí být taková, aby byli schopni obsáhnout pracoviště co do znalostí, ale i do dovedností. To klade větší nároky na jejich schopnosti a zvyšuje požadavky na odměňování.

3.2 Organizace práce

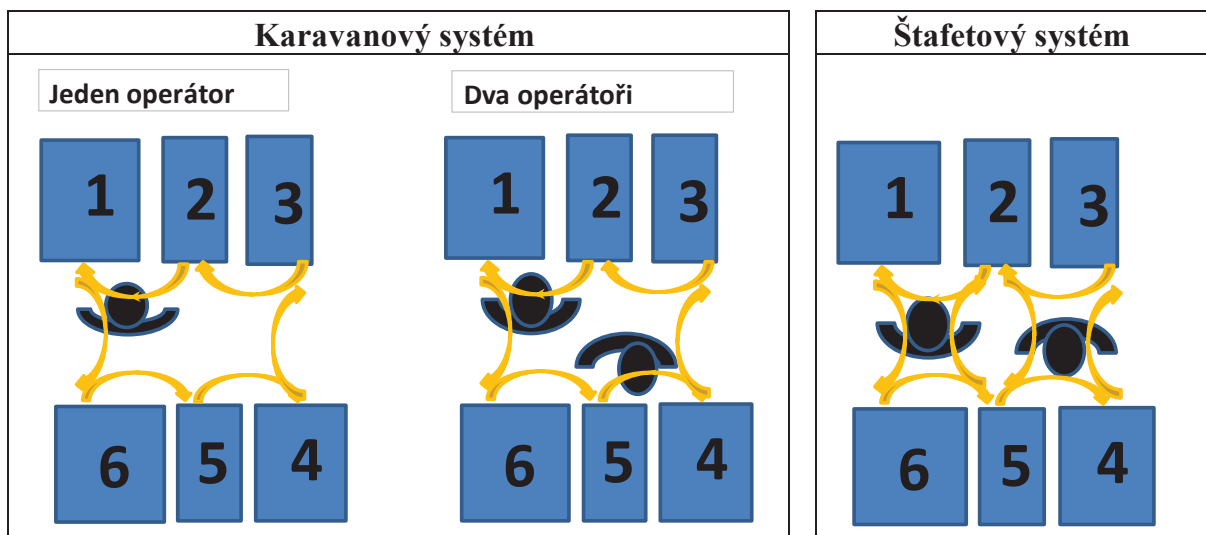
Práci na lince typu „U“ je možno navrhnout ze dvou možných přístupů. Karavanový systém výroby a štafetový systém.

- **Karavanový systém**

předpokládá, že ve výrobní lince se každý operátor podílí na výrobě výrobku od jeho začátku až do jeho finální podoby. Každý operátor musí umět a znát každý krok výroby, což klade vysoké nároky na zapracovanost, dovednost a znalost procesu operátorem. Proces je velice snadno adaptovatelný na různé požadavky na výstup. Pouze variováním počtu operátorů v lince se dá měnit CT_T . Nevýhodou je, že takt je určován nejpomalejším operátorem a systém není výhodný pro větší množství operátorů. Tento systém nevyžaduje vybalancování pracovišť z pohledu vyváženosti objemů pracovních úkonů mezi pracovníky (každý operátor musí projít každým pracovištěm), pak není nutné vypočítávat a přeskupovat pracovní úkony mezi pracovišti. Pro variantu „jeden operátor“ je sled operací 1, 2, 3, 4, 5, 6, 1, atd. to samé pro více operátorů.

- **Štafetový systém**

Systém založen na principu, že operátor vykonává jen část úkonů spojených s výrobkem. Náplň práce je rozdělena na více pracovníků a tím je snadnější zaškolení pracovních sil. Tím nejsou kladeny takové nároky na kvalifikaci a zdatnost pracovníků. Na druhou stranu zaměstnanci mohou být lépe a v kratším časovém intervalu zaučeni na požadovanou sadu pracovních úkonů. Díky rozložení pracovních úkonů na více operátorů, může montážní linka obsahovat větší počet pracovníků. Výhodné u postupové výroby, kde je velké množství rozdílných pracovních úkonů jako například kombinace jemné motoriky a manipulace s těžkými výrobky, práce s nutností vyšší koncentrace apod. Tento systém vyžaduje poměrně sofistikovaný přístup k výpočtu a přidělení pracovních úkonů na jednotlivá pracoviště. Dále je zapotřebí, aby byla definovaná předávací místa, kde výrobky ve stádiu rozdílné rozpracovanosti přecházejí z jednoho pracoviště do druhého. Aby byl tento systém variantní z pohledu požadavků na výstup, tak musí být vypracovány varianty pro různé modely (počty pracovníků). Z pravidla se definují pracovní postupy pro model n pracovníků a $n+1$ a $n-1$ pro $n \geq 2$. Množství pracovních úkonů je závislé od velikosti pracoviště a množství pracovníků v lince. Při snaze o co nejrovnoměrnější časové rozprostření úkonů mezi operátory může dojít, že počet úkonů připadajících na jednoho operátora může být jiný než na druhého (rozdílnost v délce trvání jednotlivých úkonů).



Obr. 5 Karavanový a štafetový systém výroby [Kaizen školící silabus HOSHIN]

4 Přehled činitelů a metrik používaných v praxi

Při řešení a návrhu výrobního (montážního) systému jsou využívány různé přístupy. Linka je tvořena na základě požadavku na produkované množství. Je zřejmé, že tento požadavek je jednoznačně určující pro celý další proces. Nicméně při řešení je nutno zohlednit celou řadu dalších kritérií, která ukazují na okolnosti a podmínky, které systém omezují. Tyto ukazatele se pak vyhodnocují každý zvlášť.

Běžně v praxi je zpravidla hodnocení systému postaveno na manažerském rozhodnutí, kdy výhodnost je spolu s dosaženými cíli dále hodnocena expertní skupinou. Při návrhu nového rozestavení systému se definují základní požadavky, které jsou s ohledem na možné varianty vyhodnocovány, a při dosažení nejlepšího výsledku je nejvýhodnější varianta implementována. To umožňuje velice exaktní hodnocení na základě relativně malého množství indikátorů. Při začlenění dalších podmínek, může dojít ke zjištění, že jednou hodnocený návrh jako vyhovující, nemusí podruhé vykazovat stejně dobré hodnocení.

Při návrhu je systém koncipován tak, aby odpovídal požadavkům na bezpečnost a hygienu práce, protipožárním požadavkům atd. Vždy, ale musí být respektovány ty požadavky, které splňují zákonné normy a nejsou v rozporu s místní legislativou. Dále interním (firemním, koncernovým apod.) požadavkům, pokud tyto jsou přísnější než daná legislativa. S tímto je možné se setkat u velkých nadnárodních společností, kde je snaha o jednotné normy aplikované globálně. Ty jsou tvořeny požadavky jednotlivých regionů tak, aby byly obecně aplikovatelné všude, kde má společnost provozy.

Dále je hodnocení stavu linky založeno na finančních ukazatelích, jako jsou náklady na produkované množství, mzdový náklad, výše investic do systému atd. Takové nastavení parametrů a jejich vyhodnocování je zpravidla již součástí při návrhu změny. Pro zjednodušenou představu lze sumarizovat základní množinu požadovaných kritérií a množinu znaků kvalitního systému.

Hodnocení kvality montážního systému je založeno převážně na:

- Schopnosti produkovat dostatečné množství dílů
- Poloze a rozložení systému
- Produktivitě výroby

Rozhodování o podobě layoutu je založeno na několika základních kritériích:

- 1) Musí být zohledněny: specifické vlastnosti a kritéria na výrobek, velikost požadovaného prostoru a vzdálenosti mezi pracovišti, přepravní vzdálenosti výrobků.
- 2) Prostorové požadavky vyplývající z velikosti vyráběných dílů.
- 3) Požadavky na vyráběné množství.
- 4) Procesní požadavky ve smyslu počet pracovišť a operací, množství přepravovaných dílů mezi operacemi na lince.
- 5) Prostor, který je možno využít v závodě, oddělení apod.

Známky dobrého rozložení výrobního systému:

- 1) Přímý tok výroby.
- 2) Pokud možno eliminovaný zpětný pohyb.
- 3) Stanovené výrobní časy operací.
- 4) Minimální množství mezioperačních zásob.
- 5) Takové rozložení systému, že je všeobecný přehled o pracovištích (otevřený prostor).
- 6) Úzká místa výroby jsou pod kontrolou.
- 7) Pracoviště jsou co nejbliže k sobě.
- 8) Uspořádaný transport a manipulace s materiálem.
- 9) Eliminace nepotřebných manipulací s materiálem.
- 10) Snadno měnitelný a nastavitelný systém

Toho, aby systém odpovídal všem výše zmíněným kritériím a požadavkům je velmi složité a někdy i nemožné dosáhnout, proto je nutno stanovit priority, které určí hlavní kritériální osu a doplňující kritéria podpoří návrh svými příspěvky k těmto hlavním kritériím.

Metody balancování linek jsou jedním z velice dobře a detailně popsáním procesem, kterým se zabývá řada průmyslových inženýrů. Metodiky balancování jsou velice často publikovány a v praxi používány. Při hodnocení balancovaného systému jsou publikace většinou zaměřené na hodnocení jen z jednoho, nebo velice omezeného počtu kritérií. Takové hodnocení nemusí mít komplexní plnohodnotnou vypovídací schopnost o kvalitě navrženého systému.

4.1 Činitele výrobního procesu

Správnost návrhu (modelu) je nutno vyhodnotit a ověřit na základě metrik. Správně kvantifikovat požadavky poskytuje základ pro vyhodnocení stupně zlepšení. Zlepšení nemusí být ve všech vyhodnocovaných úsecích, ale výsledná hodnota by měla ukazovat zlepšení oproti předcházejícímu stavu, anebo nejlepší hodnotu z možných návrhů.

Činitele je možné rozdělit podle Ishikavova Diagramu:

- Člověk (MAN)
- Stroj (MACHINE)
- Materiál (MATERIAL)
- Metoda (METHOD)

4.1.1 Člověk - Lidské zdroje

- Mzdové náklady

Mohou být čistě vázány na počet vyrobených kusů (vyrobený objem), anebo jsou odvislé od odpracovaného času. Často se kombinují oba způsoby navzájem. Při naplňování požadavku TOC to znamená maximálního vytížení úzkého místa, pak výkon je normován jako maximum a zaměstnanec v rámci svého pracovního času svými cyklickými

operacemi naplňuje požadavek. Jestliže je norma postavena jako 100 % maxima, tak operátor nemůže vyrobit více. V případě, že dojde k prostojům, pak je třeba tyto prostoje analyzovat a vyvodit taková opatření, aby se jejich výskyt eliminoval. Mzdové náklady jsou jedním z určujících kritérií. Napomáhají motivovat zaměstnance, kdy hodinová sazba pomáhá u zaměstnance vytvořit pocit jistoty a výkonová sazba pocit soutěživosti.

Nicméně, z ekonomického hlediska je důležitější celková mzdová úroveň, ať je vázána na hodinovou či výkonovou sazbu. Vždy se mzdové náklady sledují k vyrobenému objemu. Z celopodnikového pohledu je mzdový náklad vázán na prodej, a z pohledu linky je odvislý od počtu odpracovaných člověkohodin k vyrobenému objemu.

$$M_n = \frac{M_j}{(\sum k_s * C_j)} [\%]$$

M_n – Mzdový náklad na vyrobený kus [%]

M_j - Mzda proplacená za jednotku času [kč]

K_s - Počet kusů za jednotku času [ks]

C_j - Cena za kus [kč]

- **Skladba personálního obsazení**

Podle stupně sofistikovanosti výrobní linky je třeba mít adekvátně zaučenou a proškolenou obsluhu. Čím více linka vyžaduje zásahy do výrobního procesu jako například seřizování, nastavování, měření, vyhodnocování apod., tak je třeba i více znalého personálu. To má nejen přímý vliv na mzdové náklady (vyšší stupeň zaučení vyžaduje kvalifikovanější, a tím i dražší obsluhu), ale i na podpůrné složky, které mají za úkol dodávat tento personál. S tím souvisí i stupeň automatizace aplikovaný v různých místech světa. Pokud mzdový náklad převyšuje z pohledu životnosti cenu zařízení (projektu), pak je třeba přistoupit k eliminaci mzdového nákladu (nároku na personální obsazení).

Skladbu personálního obsazení můžeme vidět z pohledu mzdových nákladů, nebo z pohledu znalostí a dovedností v rámci polyvalence (kombinační tabulky polyvalence). Skladba nemusí záviset pouze na stupni automatizace, ale je také přímo odvislá od distribuce a velikosti pracovních stanovišť nebo od typu pracovního systému (karavanový, štafetový, buňkový).

- **Povaha a charakter práce**

Zakládání dílů, jemná motorika, nastavování parametrů, manipulace s rozměrnými díly, manipulace s těžkými díly apod. Tento ukazatel zohledňuje vhodnost práce dle charakteru a povahy pro určitou skupinu lidí. Snahou je, aby práce byla co nejuniverzálnější. Potom nalezení vhodných zaměstnanců je jednodušší.

- **Požadavek na zaškolení operátorů**

(polyvalence a poly-kompetence): závisí nejen na požadavcích zaškolení nových pracovníků nebo při změně pracovního postupu. Jedním ze základních požadavků jsou

požadavky zákonné a legislativní. V tomto případě je třeba si uvědomit, že vzrůstá nejen požadavek na vyšší znalosti a schopnosti zaměstnanců, ale i na školící personál a tím vzrůstá nepřímý mzdový náklad.

- Počet operátorů

Pokud se jedná o vybalancovaný výrobní systém, tak se jedná o celé číslo k požadovanému CT stanic. Možnost variability počtu operátorů na lince ukazuje na schopnost flexibilní reakce na aktuální stav odvolávek (TT). Dle směrnice (*Faurecia Excellence Systém*) je stanoven maximální počet operátorů vhodný pro výrobu z pohledu řízení. Směrnice udává rozmezí od 5 do 8 lidí, kdy k této skupině je přiřazen jeden zaměstnanec (*GAP Leader - předák*), který dohlíží a řídí výrobu. Pokud počet operátorů se zvýší nad stanovené doporučení, tak řízení je již komplikovanější a méně operativní. Při nižším počtu je produktivita méně výhodná.

- Počet možností kombinací počtu operátorů

Linka je stavěna pro základní počet operátorů n . Tento počet je z pohledu produktivity a výkonu zpravidla optimální. Základní požadavek je postavit linku tak, aby počet byl možný měnit pro $n+1$, n a $n-1$. Čím větší počet možností, tím je umožněna lepší schopnost plynulé reakce na změny požadavků výkonu. Každá kombinace odpovídá určitému počtu kusů za jednotku času. Snahou je, aby produktivita se změnou počtu operátorů neklesala. Pro každou kombinaci může být jiná produktivita práce z pohledu mzdové náklady k počtu vyrobených kusů. Každý počet zaměstnanců je spojen s určitou množinou pracovních úkonů, které se mění podle redistribuce a využitelnosti pracovního času. Tím dochází k tomu, že při nižších počtech zaměstnanců se může zvýšit celková suma ztrátových časů (časy neproduktivní) a poklesnout produktivita.

- Poměr doby čekání ke strojnímu času

Při změnách výrobního modelu n dochází ke změně objemů pracovních úkonů (*Work Content*) pracovníků. Tím vzniká i jejich jiná distribuce. Mění se i poměr mezi pracovními časy s přidanou hodnotou a časy ztrátovými (bez přidané hodnoty). Velikost ztrátových časů vztažená ke strojním časům udává, jak zaměstnanci vytěžují (využívají) strojní zařízení. Pokud suma všech ztrátových časů v rámci jednoho stanoviště překročí strojní čas náležející do tohoto stanoviště, pak dochází k nevyužití strojů a tím strojním prostojům z důvodu nevytížení strojního zařízení (zhoršuje se OEE).

- Plánovaný počet vyrobených kusů za jednotku času

Ukazatel odvislý od CT linky (nejpomalejší pracovní stanice). Ukazuje jak je linka schopna plnit požadavky zákazníka dle TT. Pomocí tohoto ukazatele můžeme porovnávat výrobu mezi skupinami zaměstnanců pracujících v různých směnách, nebo jednu skupinu v rámci různých směn.

$$\text{Plánovaný počet vyrobených kusů} = \text{Plánovaný čas} / CT_T$$

- **Plánovaný počet vyrobených kusů za jednotku času na operátora**

Přímý ukazatel produktivity práce, kde se dá jednoznačně sumarizovat jeho hodnota. Jedná se celkové vyrobené množství za čas děleno počtem operátorů. Při tomto výpočtu je třeba počítat s kusy ať dobrými, tak špatnými (OK kusy + šrot). Tento ukazatel zobecňuje produktivitu tak, že se můžou porovnávat jednotlivé modely n vzájemně mezi sebou a tím vyhodnocovat jejich výhodnost.

$$\text{Kusy na operátora} = \text{Počet kusů za jednotku času (Plánovaný čas / } CT_T) / \text{Počet operátorů}$$

- **Vhodnost muž x žena (fyzická kondice)**

Tento ukazatel je poměrně obtížně definovatelný. Jedná se hlavně o vlastní definování povahy a charakteru práce a její vhodnosti pro tu či onu skupinu zaměstnanců. Obecně je snaha, aby každá práce byla proveditelná všemi zaměstnanci. Jinými slovy, aby byla vytvořena taková opatření, která by umožňovala vykonávat práci bez omezení s ohledem na normy dané zákoníkempřáce.

- **Směnnost**

Směnný rozvrh je důležitý pro rozhodnutí jak stavět linku z pohledu kadence výstupu. Směnnost určuje, jak můžeme vytěžovat linku a určuje jak nastavit základní výrobní model n. Čím více směn je k dispozici, tím více můžeme snížit počet zaměstnanců na směnu a lépe vyrovnat (vybalancovat) výrobu za den, týden.

Na *Obr. 6* jsou uvedeny tři případy A, B, C, Jedná se o stejný výrobní program, ale množství za jednotku času (směnu) je rozdílné. V případě A se denní množství 900 ks vyrobí za jednu směnu, v případě B za dvě a v případě C za tři. Jestliže dodávky k zákazníkovi se uskutečňují jednou denně a jeho potřeba je 900 ks/den, tak jeho potřeba je naplněna za jednu třetinu času (jedna směna = 1/3 dne). Linka v tomto případě musí být postavena tak, aby zaměstnanci byli schopni toto množství dosáhnout. Jestliže dojde k neočekávané situaci, tak přidáním směny nebo přesčasové práce, je možnost do vyrobit požadované množství. Teoreticky lze navýšit vyrobené množství až na 3 x 900 ks za den. Jestliže toto množství není nutno vyrobit, tak strojní zařízení neprodukuje a vzniká ztrátový čas – Plánovaný prostoj. Podobná situace je i v případě B, kdy plánovaný prostoj je 33 % dne. Nejvýhodnější situace z pohledu plánování využitelnosti strojů a zařízení je v případě C. V každé směně se vyrobí 300 ks a během tří směn dojde k naplnění požadavku zákazníka. Nicméně existuje nebezpečí, které je eliminováno předchozími variantami, a to že již neexistuje žádný volný čas, který by se dal využít v případě prostojů. U nestabilní výroby je tato situace riziková. Proto je nutno při návrhu linky přihlídnout nejen ke standardnímu rozvržení směnnosti, ale i stabilitě výroby, zmetkovitosti, lidským zdrojům apod.

A	Den							
	Směna	1	2	3	4	5	6	7
	1	900	900	900	900	900		
	2							
	3							
	Suma	900	900	900	900	900	0	0

A	Směna															Suma			
	Směna	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		15		
Výroba	900			900			900			900			900			900			4500
A	900	900	900	1800	1800	1800	2700	2700	2700	3600	3600	3600	4500	4500	4500				

B	Den							
	Směna	1	2	3	4	5	6	7
	1	450	450	450	450	450		
	2	450	450	450	450	450		
	3							
	Suma	900	900	900	900	900	0	0

B	Směna															Suma			
	Směna	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		15		
Výroba	450	450		450	450		450	450		450	450		450	450		450	450		4500
B	450	900	900	1350	1800	1800	2250	2700	2700	3150	3600	3600	4050	4500	4500				

C	Den							
	Směna	1	2	3	4	5	6	7
	1	300	300	300	300	300		
	2	300	300	300	300	300		
	3	300	300	300	300	300		
	Suma	900	900	900	900	900	0	0

C	Směna															Suma			
	Směna	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		15		
Výroba	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300		4500
C	300	600	900	1200	1500	1800	2100	2400	2700	3000	3300	3600	3900	4200	4500				

Obr. 6 Rozložení směnnosti - příklad

- Práce vsedě a vestoje

Při rozhodování jestli druh práce je vhodný pro práci vsedě či vestoje je nutné zvážit fyzickou a ergonomickou náročnost výroby na daném pracovišti. Jestli operátor bude muset chodit mezi operacemi nebo bude sedět. Záleží to nejen na druhu práce, ale i na typu výroby (štafetový, karavanový, buňkový). To znamená, že při tvorbě linky do „U“ je menší vhodnost tvorby diskretních pracovišť apriorně určených pro práci vsedě. Pokud bychom pracoviště s charakterem práce vsedě zřetězili a navrhli v takovém řetězci např. karavanový systém, tak by nám narostli ztrátové časy díky přemísťování operátorů a dále by vzrostla fyzická náročnost. Pokud je nezbytně nutné zachovat takový styl výroby, pak je vhodné, aby výrobní zařízení rotovalo kolem stacionárních pracovišť.

4.1.2 Stroj

- Poměr strojů k manuální práci (stupeň automatizace)

Jedná se o zohlednění lidské práce k práci stroje. Snahou je, aby lidské práce byla v maximální míře nahrazena prací stroje. Tím se eliminuje nestabilita výroby díky lidské činnosti. Vyrůstá podíl strojní výroby, která má vysokou opakovatelnost a vyšší stabilitu. Přenesení aktivit s přidanou hodnotou na stroj a umožnit člověku soustředit se na aktivity spojené s kontrolní činností, manipulací a řešení nestandardních úkonů.

- Počet únikových míst

Z pohledu bezpečnosti práce je tento ukazatel zásadní pro evakuaci zaměstnanců z pracoviště v případě nebezpečí. Z tohoto pohledu se jeví jako nejvýhodnější linka typu „I“, kdy zaměstnanci v případě nebezpečí mohou jen odstoupit od zařízení. Pro linky typu „U“ je tento bod zásadní, protože tento typ linky má omezený počet únikových východů. To znamená, že operátor pracující na opačné straně než operátor na začátku, v případě nutnosti musí při opouštění linky přejít přes pracoviště operátorů před ním viz Obr. 4.

- Velikost layoutu

Prostorová struktura [6] je jedním z klíčových ukazatelů, který je nutno chápat z více úhlů pohledu. Jedná se o plochu, která je určena pro tvorbu produktu plus pomocnou plochu určenou pro manipulaci s materiálem. Druhý je pohled bezpečnostní. Část rozměrů je dána velikostí strojního zařízení a přípravků další část je dána velikostí prostoru, který je definovaný normou. Tento prostor je dán bezpečnostními limity, jako je šířka pracovního prostoru, únikové cesty apod. Obecnou snahou je co nejmenší zabránit plochy, které by respektovalo co největší využití plochy, a zároveň respektovalo bezpečnostní požadavky. Prostorovou strukturu linky je nutno chápat také z pohledu logistiky, kdy je nutno předem definovat logistický systém. Jedná se jak o prostory pro skladování dílů, tak i pro manipulaci s nimi. Dalším z požadavků na rozložení je dostupnost podpůrných složek ke strojům a pracovního prostoru jako například údržba. Je třeba, aby místo bylo přístupné a čas celkového zásahu byl eliminován o ztrátové časy jako například přesouvání strojů apod.

- Poměry velikostí jednotlivých pracovišť

Velikost strojního zařízení do jisté míry ovlivňuje finální podobu linky. Jestliže jedno zařízení svojí velikostí dominuje ostatním, tak stavba linky do jiného typu než typu „I“ (či „L“) je problematická (např. typ „U“). Jestliže poměry jsou v určitém poměru vzájemně mezi sebou, tak vzniká větší možnost variant rozestavení. Problém s velikostí přichází v úvahu, jestliže velikost (délka) zařízení překročí svojí velikostí součet velikostí ostatních zařízení. Potom toto dominantní zařízení není možné začlenit do linky typu „U“, ale je nutno zvážit možnost postavení ostatních strojů v takovém rozestavení, které by umožňovalo variování operátorů.

- Poměr stran linky

Označuje kompaktnost celého systému. Je třeba brát v úvahu celé rozložení (zabranou plochu) i s pomocnými plochami pro možnost hodnocení linky v rámci celého layoutu firmy. Jestliže se zaměříme jen na layout vlastní výroby, tak ten nám ukazuje, jak jsme schopni variovat s pracovníky na lince.

- Systém transportu dílů

Díly ke zpracování do linky se mohou dodávat zezadu pracoviště, mimo pracovní prostor, aby operátor nemusel přerušovat cyklus. Dodávání dílů je obsluhováno dalším pracovníkem, který není součástí výrobní linky. Tím se nepřerušuje cyklus práce. V kalkulaci mzdových nákladů se musí počítat s vyšším mzdovým nákladem na úkony spojené s interní logistikou. Nebo se mohou díly dostávat na linku z pozice operátora. Ten pak musí přerušit práci. Tím vznikají operace, které snižují výrobnost linky. Je třeba rozhodnout z pohledu celého přístupu k tvorbě linek jaký princip upřednostnit. Jaké má přínosy a případně kolik by stálo celý systém změnit.

- **Poruchovost strojů (prostoje – vazba na CT)**

Poruchovost strojního zařízení ovlivňuje CT necyklickými přerušeními. Poruchy je možné rozděleny do dvou základních skupin podle času, a to na mikro prostoje a prostoje. Definice mikro prostojů není zcela jednotná, ale jde o prostoje, které nezpomalí výrobu o více než 3% a jsou kratší než 5 min. Vše co je nad tuto 3%, je prostoj, který není zahrnut do CT.

- **Dostupnost při poruše údržbou**

Pokud jsou stroje a zařízení v pozicích, kdy v případě opravy není potřeba měnit jejich polohu, tak ztrátové časy vedlejší (mimo cyklus výroby) jsou nižší o eliminaci manipulace se zařízením. Tato skutečnost pozitivně působí na celkovou délku opravy (nicméně z pohledu TPM *Total Productive Maintenance* je cílem eliminovat opravy).

4.1.3 Materiál

Druh materiálu:

- **Četnost odvozu hotových výrobků**

Frekvence jakou jsou odváženy hotové výrobky je indikátorem, který zasahuje do rozhodnutí o tvaru linky z několika aspektů. Skladová plocha určená pro hotové výrobky musí být tak velká, aby bylo možné do doby před odvozem díly skladovat, a přístup k ukládání dílů do konečného balení z pohledu pracnosti a časové náročnosti by se neměl měnit. Z tohoto pohledu je výhodné a často i aplikované, že pracovník na konci linky hotový výrobek uloží na dopravník a další pracovník mimo linku v jiném cyklu než je cyklus linky hotové výrobky uloží do konečného balení.

- **WIP technologická**

Zásoba, která slouží pro to, aby byl zabezpečen kontinuální chod linky. Tato zásoba musí být uvedena v technologickém postupu a její tvorba a zároveň i její spotřeba musí být reflektována v cyklu linky. Čím jsou výrobní dávky větší, tím má menší vliv tvorba (spotřeba) zásoby.

- **WIP procesní**

Velikost skladové zásoby rozpracovaných dílů je ukazatel, který při požadavku OPF (One Piece Flow) by se měl limitně blížit k jedné. Při nastavení tohoto ukazatele je třeba brát v úvahu všechna místa, která jsou potenciálně možnými místy pro uložení dílů rozpracované výroby.

- **Typ obalového materiálu vstupních dílů**

Obalový materiál, jeho povaha, životnost a velikost jsou omezující faktory určující velikost ploch určených pro skladování a transport. Zároveň určuje povahu a charakter způsobu přepravy. Jednou s důležitých otázek v případě typu balení je, jaký bude (má) vliv na ergonomii, pracovní prostředí apod.

- Počet druhů obalového materiálu

Obalový materiál se musí třídít, dopravovat, skladovat apod., jako jiné zboží. Z tohoto důvodu se preferuje co nejmenší počet druhů balení. Unifikace balení napomáhá jednoduššímu skladování prázdných obalů a díky tomu i zabraná plocha je menší. Z pohledu vizuálního managementu je jednotnost velkým pozitivem, protože orientace a určování skladové zásoby je jednodušší.

- Typ obalového materiálu hotových výrobků

Je třeba vzít v úvahu, jakým způsobem jsou hotové výrobky odváženy z linky. Jestli se jedná o odvoz hotových výrobků v balení, které jde přímo k odběrateli, nebo jde o kontinuální odebrání hotových výrobků, které jsou později ukládány do balení, které je požadováno zákazníkem.

- Vzdálenost dílců od pracoviště, počet dílců v jednom balení

Tyto cyklické úkony mimo CT_i pracovní stanice prodlužují výsledný CT_T o dobu, kterou musí zaměstnanec strávit manipulací s materiálem. Jedná se o přenášení, ukládání, uchopování apod.

- Materiálová spotřeba

Pro každé pracoviště je definované balení, které obsahuje daný počet dílců. Podle CT_i stanoviště je možné vypočítat obrátkovost balení a četnost zavážení dílci (balení) do linky. Tento ukazatel v návaznosti na typ *Systém transportu dílů* ovlivňuje CT_i stanice.

$$\text{Navýšení } CT_i = (\text{Čas výměny balení } i / \text{Objem balení } i)$$

$$\text{Navýšení celkové } CT = \sum \text{Navýšení } CT_i$$

$$\text{Výsledný } CT \text{ pracoviště} = \text{Navýšení celkové } CT + CT \text{ pracoviště}$$

- Zmetkovitost – Strait Run Ration (SRR)

Ukazatel popisuje jak je efektivně uskutečňována výroba. Čím více se toto číslo blíží 100%, tím je proces stabilnější (beze zmetků – šrot, kusy na opravu). Tento ukazatel při naplnění na 100 % znamená, že proces je zcela s nulovou zmetkovitostí a všechny výrobky prošly procesem bez jakéhokoli zásahu mimo stanovený základní výrobní postup. Pro popis výrobního systému je tento indikátor informací, která je vyhodnocovací informací zpětného charakteru. Tento indikátor definuje, jestli změna rozložení linky byla pozitivním příspěvkem pro zvýšení propustnosti linky z pohledu výrobní kvality výrobků.

$$SRR = \frac{\text{Skutečný výkon za jednotku času}}{\text{Plánovaný výkon za jednotku času}} [\%]$$

- Šrot – Scrap Rate

Je to podobný ukazatel jako v případě „Zmetkovitost“. V tomto případě nelze daný díl opravit a poslat znovu do výrobního systému. To snižuje nejen celkový výkon linky a

hlavně materiálovou spotřebu. Tento ukazatel je hodnotícím znakem, který ukazuje, jak se změnila výhodnost rozestavení z pohledu neefektivní výroby (ztrátové výroby).

$$SR = \frac{\text{\textit{Šrotované díly}}}{(\text{\textit{Dobré díly}} + \text{\textit{Šrotované díly}})} \quad [\%]$$

4.1.4 Metody

- Poměr kontrolních úkonů stroj x člověk

Protože kontrolní činnosti jsou činnosti, které nepřinášejí přidanou hodnotu, ale jen prokazují shodu mezi požadavky zákazníka a vlastnostmi výrobku, tak je snaha o co největší zautomatizování těchto činností (pokud nejdou eliminovat). Poměr mezi kontrolami strojními a kontrolami prováděnými operátorem ukazuje, jak je tento proces automatizován a jak tato činnost ovlivňuje CT_T linky. Přenesením kontrolních činností na stroj dosáhneme nižšího CT_i operátora (redukce *Work Content*), ale pokud není kontrolní stanoviště zakomponováno do už existujícího zařízení, pak přidáním dalšího zařízení zvyšujeme velikost zabrané plochy a tím snižujeme výtěžnost z m^2 .

- Délka přechodu (přestavby) na jinou referenci

Pokud se jedná o linku, na které je možné vyrábět více druhů výrobků, kde každý výrobek je vyráběn za definovaný CT_T , pak mezi cyklické operace nad rámec CT_T výrobku je třeba započítat i čas určený pro přestavbu linky. *Tento čas je zahrnut v cíli 85 % OEE (10% modelová změna, 3% mikro prostoje, 2% nekvalita)*. Velikost výrobní dávky a poměry výrobních dávek mezi sebou přímo určují četnost modelových přestaveb. Četnost v návaznosti na čas přestavby, navyšují celkový CT_T výrobku.

- Typ práce na lince (štafetová, karavanová, buňková)

Možnosti aplikace různých typů organizace práce umožňují větší adaptabilitu na požadavky.

- Tok výroby (levotočivý, pravotočivý, kombinovaný)

Směr toku je důležitý hned z několika úhlů pohledu. Při pravotočivém směru operátor odebírá rozpracované výrobky levou rukou, jde o úkon nevyžadující vysokou přesnost (většina populace je pravoruká)¹⁰, a pravou je předává po zpracování na další pracoviště. Pokud se jedná o zakládání dílů (štafetový nebo karavanový systém) do zařízení v pravotočivém směru, tak nejdříve musí jednou rukou (pravou) zpracovaný díl vyjmout a levou rukou vložit nový díl do zařízení. Díl z pravé ruky odloží na úložnou plochu, tím si uvolní pravou ruku a může opět pokračovat ve stejném opakování pohybů. Vyjmutí dílce

¹⁰ zdroj: cs.wikipedia.org/wiki/Leváctví : Uvádí se, že leváků je v lidské populaci přibližně 10 %. Mezi muži je větší podíl leváků než mezi ženami.

Podle webu českého Státního zdravotního ústavu má 7 % dospělé populace funkční převahu levé ruky, 30 % dospělé populace funkční převahu levého oka.

V Británii je leváků kolem 13 % mužů a 11 % žen. Mezi lidmi narozenými před rokem 1910 jsou leváků pouhých 3 %. V USA kolem roku 1990, bylo mezi dvacetiletými zjištěno 12 % leváků, mezi padesátiletými 5 % a mezi osmdesátiletými lidmi 1 % leváků.

pravou rukou a založení levou. Protože motorika levé ruky je horší než pravé, je výhodnější, aby založení bylo co nejjednodušší a standardizované. Tím se vymaže celá výhoda pravotočivého směru, protože přesný úkon je přenesen na levou ruku. Z toho vyplývá, že výhodnost toho či onoho směru je třeba hodnotit dle specifika každé výrobní linky zvlášť. Vhodnost je do jisté míry odvislá od stupně automatizace, kdy automatizovaný výrobní systém s ručním zakládáním je výhodnější volit jako levotočivý a čistě manuální jako pravotočivý.

4.2 Metriky

Pro stavbu linky jsou použita kritéria, která jsou určující pro nastavení základních parametrů. Tyto parametry jsou vyjádřeny indikátory, které numericky popisují podobu linky.

TT - počet vyžadovaných kusů zákazníkem za jednotku času.

CT_T - výrobku je součet všech časů, které vstupují do procesu a technologie za účelem vyrobení jednoho kusu.

CT_i - časový úsek, který je nutný pro dokončení jednoho cyklu operace, funkce nebo úkolu.

P_T - je celková plocha určená pro uskutečňování výrobního záměru.

4.2.1 TT - Takt Time

TT - je v literatuře zpravidla definován jako počet vyžadovaných kusů zákazníkem za jednotku času, kdy vlastní TT je časový interval od jednoho kusu ke druhému. Pro definování TT se z pravidla používá: odvolávané množství za den (množství definované logistickým tokem). V rámci logistického toku existuje určené množství a četnost za jednotku času.

Příklad: Zákazník odvolává 5000 ks za týden při jeho stanovené směnnosti ranní, odpolední, noční, 5 dní v týdnu => 15 směn týden. Dodavatel (výrobce) pracuje v jednosměnném režimu ranní v pěti pracovních dnech.

Zákazník potřebuje dodávat na svou linku:

$$\mathbf{TT\ Odběratel = Odvolávka / zákaznický\ plán\ výroby}$$

$$TT\ Odběratel = 5000 / (5\ prac\ dní * 3\ směny * 7,5\ hod * 60\ min) = 0,74\ ks/min = > 81\ sec/ks.$$

Z toho plyne, že každých 81 sekund zákazník vyžaduje další kus do výroby, aby mohl kontinuálně pokračovat ve výrobě. Při prodloužení této doby, zákazník musí svojí výrobu zastavit a čekat na díl. Tím mu vzniká více náklad na prostoj (logistika).

Dodavatel musí být schopen tento požadavek pokrýt. Jestliže jeho směnnost neodpovídá směnnosti zákazníka, tak musí požadavek přepočítat na svůj plán směnnosti.

Požadavek na dodavatele podle jeho plánu směnnosti:

$$\mathbf{TT\ Dodavatel = Odvolávka / Dodavatelský\ plán\ výroby}$$

$TT_{\text{Dodavatel}} = 5000 / (5 \text{ prac dní} * 1 \text{ směna} * 7,5 \text{ ho} * 60 \text{ min}) = 2,22 \text{ ks/min} \Rightarrow 27 \text{ sec/ks.}$

Při takto postavených vstupních podmínkách (TT Odběratel, směnnost dodavatele) vychází, že dodavatel musí zabezpečit, aby každých 27 sekund měl možnost vyrobit jeden kus pro potřebu odběratele. Jestliže zahrneme do výrobního cyklu koeficient nejistoty $1-\eta$.

Např. pro výpočet se OEE stanovuje na hodnotu 85 % \Rightarrow neefektivita je 15 %.

- 10 % na modelovou změnu,
- 3 % na mikroprostoje
- 2 % na nekvalitu,

tak tento čas ještě musíme ponížít o 15 % na hodnotu 22,95 sec.

η - Koeficient míry nejistoty je odvislý od reálných podmínek, které nám ovlivňují výrobu. Jedná se o technologické vlivy ve smyslu technologie a strojního zařízení, přestaveb, kvalitativní (procento zmetkovitosti), lidské schopnosti následovat pracovní postupy apod.

Aby byl naplněn požadavek odběratele, ve smyslu jeho spotřeby dílů, pak hodnota CT_i stanice může být max. 22,95 sec při $\eta = 0,15$.

$$CT_i < \text{Odvolávka} / \text{Dodavatelský plán výroby} * (1-\eta)$$

$$CT_i < TT_{\text{Dodavatel}} * (1-\eta)$$

Pokud se výroba dodavatele skládá z řetězce diskrétních systémů, které v rámci postupové montáže (výroby) vyprodukují finální podobu výrobku požadovaného zákazníkem, pak CT každého diskrétního systému (nebo pracovní stanice) nesmí překročit hodnotu $TT_{\text{Dodavatel}} * 85\%$. Jestliže je tato hodnota vydělena celkovým výrobním časem výrobku ($\text{Total Production } CT = \sum CT_i \text{ } i=1,2, \dots, M$), pak dostaneme minimální počet diskrétních systémů ($\#Job$ - pracovních stanic) potřebných pro výrobu.

$$\#Job = \sum CT_i / TT_{\text{Dodavatel}} * (1-\eta)$$

Pokud nám při dělení vyjde desetinné číslo, pak výsledek musíme zaokrouhlit nahoru. Pokud máme větší míru nejistoty, kterou můžeme zahrnout do koeficientu η pak je možné změnit tento koeficient tak, aby výsledek bylo celé číslo.

4.2.2 CT_T – Celkový cyklus výrobku

Celkový CT_T výrobku je součet všech časů, které vykytují v procesu za účelem vyrobení jednoho kusu. Můžeme vyjádřit celkový cyklus výroby jako:

$$CT_T = \sum CT_p + \sum CT_n + \sum CT_z$$

- CT_p - Přímé (s přidanou hodnotou)
- CT_n - Nepřímé (bez přidané hodnoty)
- CT_z - Ztrátové (bez přidané hodnoty – nejsou v přímé souvislosti s výrobkem)

CT_p - Přímé časy jsou časy, které přímo souvisejí s procesem výroby, a vzniká při nich přidaná hodnota. Tyto časy jsou z pravidla v porovnání s celkovým časem (v případě montážní linky viz Kaizen institut sylabus) pouze okolo jednoho až dvou procent. Během tohoto času je výrobek opracováván, sestavován, apod. Do tohoto času není zahrnuta jakákoli manipulace, transport apod.

CT_n - Časy nepřímé:

- Kontrolní
- Logistické

Kontrolní čas - při kontrole výrobku jsou vykonávány aktivity, které mají zabezpečit, že výrobek opouští pracoviště v kvalitě požadované zákazníkem. Tyto časy jsou spojené jak s manuální kontrolou vizuální, tak kontrolou pomocí měřidel, měřících přípravků apod.

Logistický čas – jsou časy, kdy je s výrobkem manipulováno. Do manipulací se zahrnují časy transportní, ukládání, vyjímání, dále pozicování dílce do přípravku nebo manipulace operátora s dílcem při kontrole apod.

CT_z – Ztrátové časy jsou definovány, jako časy kdy nevzniká přidaná hodnota a nejsou to časy spojené přímo s výrobkem. Jsou to časy, které je třeba eliminovat, abychom dosáhli větší produktivity (lepší časové využitelnosti). Za ztrátové časy můžeme považovat: chůzi pracovníka bez výrobku, čekání at' strojní či operátora, modelová změna, dokládání materiálu, seřizování stroje, zapisování výsledků, různé necyklické a nestandardní operace, apod.

Pokud se podíváme na CT_T z pohledu diskrétního systému, tak můžeme vytvořit časovou osu pracoviště s jednotlivými fázemi, kterými výrobek prochází. Pokud CT_T definujeme jako součet CT_{ST} jednotlivých diskrétních systémů (stanic), tak dostáváme:

$$CT_{STl} = \sum CT_{pli} + \sum CT_{nlj} + \sum CT_{zlk}$$

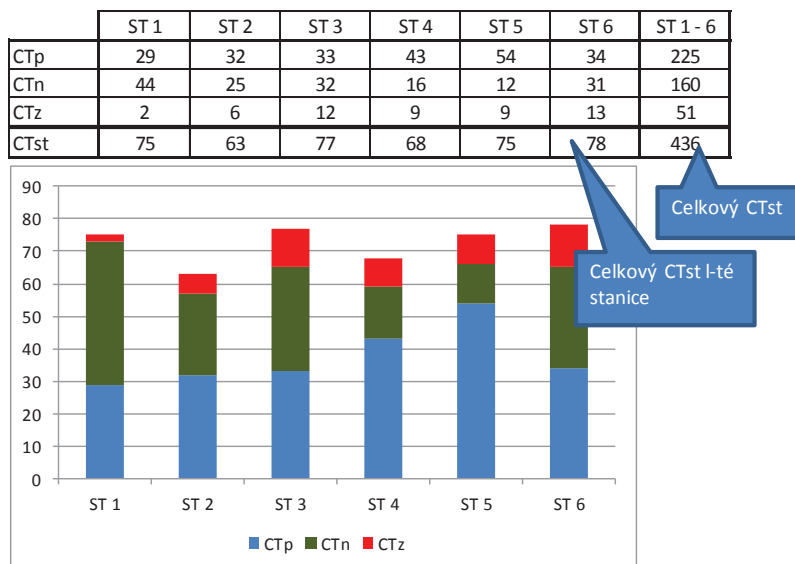
CT_{STl} – celkový čas l-té stanice

CT_{pli} – přímý i-tý čas l-té stanice

CT_{nlj} – nepřímý j-tý čas l-té stanice

CT_{zlk} - ztrátový k-tý čas l-té stanice

$$CT_T = \sum CT_{STl}$$



Obr. 7 Příklad rozložení CT jednotlivých stanic [vlastní zdroj]

Takto stanovený celkový čas výroby je tvořen na základě znalosti procesu, a je základním prvkem při optimalizaci současného stavu výroby. Při balancování se vychází z reálného stavu výroby.

System pro grafické zmapování a následné balancování montážních stanic na montážní lince používaný společností Toyota je metoda YAMAZUMI. Metoda je založena na specifikování úzkého místa. Pomocí grafického znázornění časů, lze vytvořit obraz vyváženosti jednotlivých montážních stanic mezi sebou viz graf v *Obr. 7*. Tento obraz se pak pomocí heuristických postupů a empirických znalostí balancuje s cílem co nejlepší vyváženosti pracovních úkonů na jednotlivých montážních stanicích.

4.2.3 CT_{STi} – Cyklus pracovního úseku

CT_{STi} – časový úsek, který je nutný pro dokončení jednoho cyklu operace, funkce nebo úkolu. Tento časový úsek je definován počátkem a koncem, kdy se z pravidla jedná z pohledu linky o dále nedělený časový interval. CT_{STi} je ovlivňován mnoha vlivy jako např.:

Stroj:

- Rychlost výrobního zařízení
- Velikosti strojního zařízení
- Rozmístění strojů
- Ovladatelnosti strojů
- Materiály nástrojů

Materiál:

- Velikost a komplexnost komponent a výrobku
- Trvanlivost materiálu
- Fyzikální vlastnosti

Prostor (Environment):

- Pracovní prostor
- Celkový layout pracoviště
- Převážná vzdálenosti
- Ergonomie pracoviště
- Vzdálenosti v rámci pracovního shluku
- Pracovní prostředí

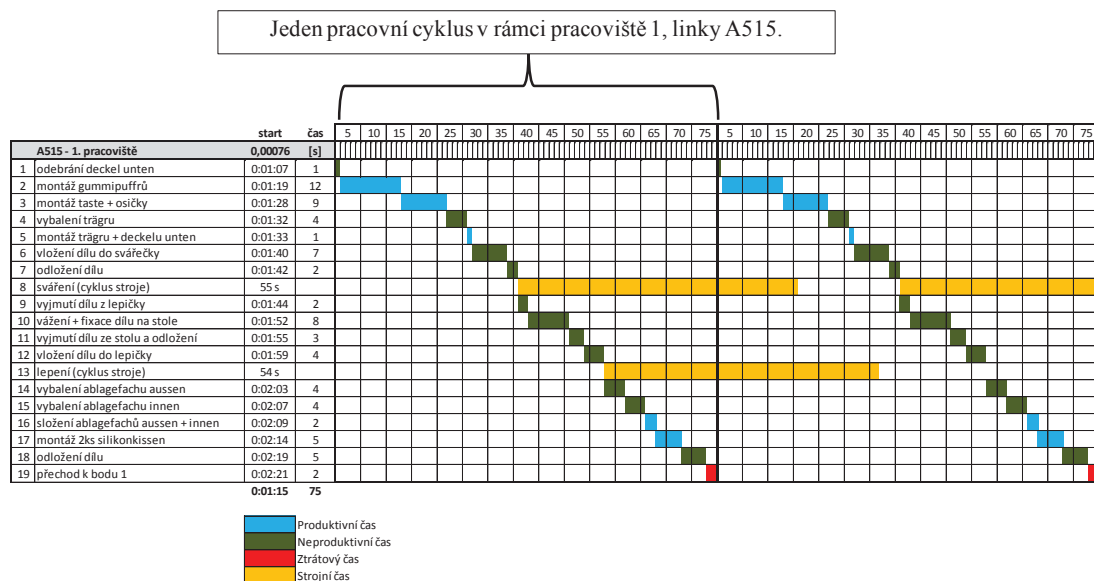
Metody

- Komplikovanost a rychlost technologie zpracování
- Úroveň automatizace (robotizace)
- Způsob organizace práce při One Piece Flow (Karavanový, štafetový systém)

Člověk

- Fyziognomie člověka
- Věk a pohlaví
- Únava a stres
- Stupeň zručnosti a rutiny

Všechny úkony spojené s výrobou produktu je třeba zmapovat (pouze úkony standardizované) a ty zpracovat v podobě, která nám dá vizuální podobu průběhu pracovních úkonů. Úkony, které se dějí nezávisle na obsluze, jako například automatizované zpracování dílce strojem, je nutno vyznačit v celé délce. Souhrn aktivit dějících se mimo stroj by neměl překročit tuto hodnotu, protože pak se vytváří ztrátový čas obsluhy – čekání. V takovém případě je nutno tuto nepřesnost řešit. Přidáním aktivit operátorovi, zkrácením strojního času – jestli je to možné, nebo redistribucí pracovních úkonů tak, aby následující operátor v rámci jeho CT_{STi} přebíral některé aktivity (viz 4.4 *Metody balancování linek*).



Obr. 8 Časová osa pracovních úkonů pracoviště A 515 [KP Janovice Hoshin]

Grafické znázornění reprezentuje sled úkonů, které se musí uskutečnit, aby na pracovišti 1 se vyrobil výrobek, který v určitém stupni rozpracovanosti (pro pracoviště č.:1 je to finální podoba) mohl být přenesen na další pracoviště a tam dále montován a zpracováván. Tabulka obsahuje výčet úkonů, jejich dobu trvání a grafické vyjádření jejich sledu. Jeden pracovní cyklus operátora je balancován tak, aby konec úkonu, který předchází startu stroje, byl ukončen dříve, než skončí nejbližší konec strojního času tohoto stroje. Celkový čas CT_{STi} shluku je 75 s. To znamená, že žádný cyklus stroje nesmí přesáhnou tuto dobu. Z grafu vyplývá, že nejdelší strojní čas je 55 s v případě svařování dílů a proto min čas operátora může být 55 s.

$$\sum CT_{\text{operátora}} \geq \max CT_{\text{stroje}}$$

$CT_{\text{operátora}}$ – Součet všech úkonů přímých, nepřímých a ztrátových

CT_{stroje} – Nejdelší pracovní čas strojního úkonu, který je proveden v rámci jednoho cyklu.

4.3 Metody hodnocení a návrhu výrobních a montážních linek

Inovace je z dnešního pohledu nutností pro zdravý rozvoj každého výrobního podniku. Václav Řepa [5] uvádí dva různé koncepční přístupy (optimalizační a inovační).

Kroky průběžného zlepšovacího procesu:

- Popis současného stavu procesu.
- Stanovení sledovaných metrik
- Sledování provozu procesu
- Měření provozu procesu
- Návrh a implementace zlepšení

Kroky zásadního re-engineeringu:

- Definice rozsahu projektu
- Analýza potřeb a možností
- Vytvoření nové soustavy procesů
- Naplánování přechodu
- Implementace

Václav Řepa [5] se zmiňuje o neslučitelnosti obou přístupů, nicméně je třeba si uvědomit, že i přes rozdílné přístupy k řešení problémů jsou obě metody na sobě navzájem závislé. Pro podporu neustálého zlepšování, musí nezbytně obě metody být mezi sebou vzájemně provázány a tím je i posílen výsledný stupeň zlepšení.

Kdy zlepšování staví na již existujících procesech, zatímco inovace staví „na zelené louce“. Při návrhu je třeba obsahově pokrýt sedm obecně přirozených fází projektu.

Plánování a spuštění projektu

- Výběr týmu
- Stanovení cílů
- Definice rozsahu

- Výběr metodiky
- Vytvoření harmonogramu projektu
- Výběr externích poradců
- Získání sponzorů projektu
- Naplánování změny (první krok řízení změn)
- Příprava týmu

Zhodnocení současného stavu a kompletnosti poznání v oboru

- Globální – přehledová definice procesu
- Benchmarking (srovnávací studie parametrů vůči okolí)
- Zjištění cílových požadavků (V. Řepa uvádí cílových skupin zákazníků)
- Zjištění cílových skupin zaměstnanců
- Zhodnocení technologie.

Globální návrh procesů

- Návrh struktury procesů
- Návrh architektury technologické podpory procesů
- Návrh organizační struktury (nutných změn v organizaci a organizování práce)
- Návrh personální struktury (nutných změn pracovních míst)

Případová studie chystané změny

- Analýza nákladů a přínosů
- Příprava případové studie
- Presentace klíčovým osobám

Detailní návrh systému procesů

- Detailní definice procesů
- Vývoj podpůrného systému informací
- Vytvoření systému školení
- Naplánování implementace
- Naplánování zavedení procesů
- Pilotní projekty a zkušební provoz

Implementace a zavedení systému procesů

- Široce zaměřené pilotní projekty
- Fázová implementace
- Vývoj systémů měření
- Plná implementace systému procesů

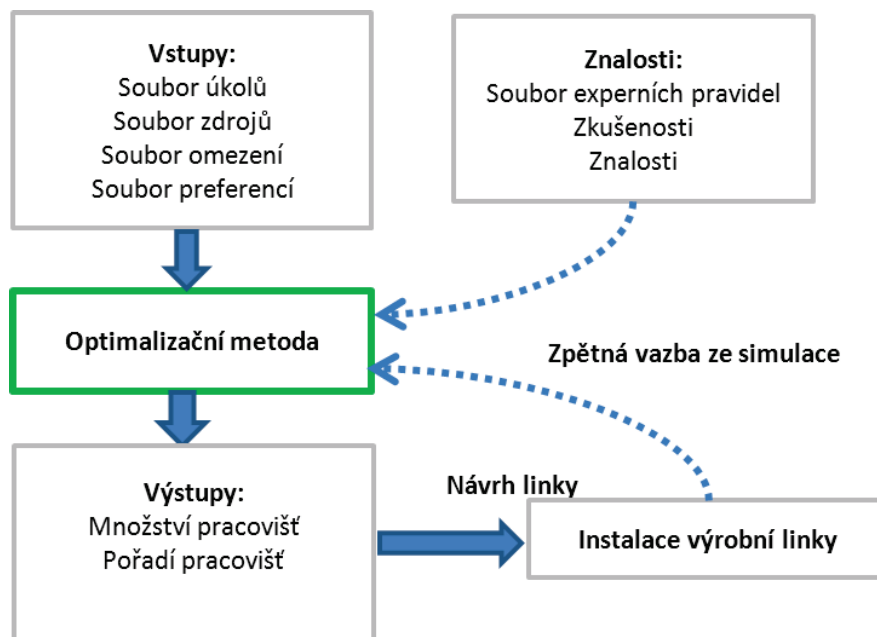
Postupné zlepšování systému procesů

- Neustálé měření a zlepšování nových procesů a podpůrných systémů

Tvorba prostorové struktury linky je založena na dvou různých úhlech pohledu, a to na logický a fyzický. Cílem logického rozestavení je umístění diskrétních systémů podle návazností jednotlivých operací. Zatím co fyzické rozestavení respektuje možnosti místa pro uložení a zároveň velikosti jednotlivých zařízení. Apriorně je nutno přistupovat

k tvorbě z pohledu logického a potom přehodnotit návrh z pohledu omezení, tzn. fyzické možnosti uspořádání [24].

Hybridní montážní linka je charakteristická tím, že pracovní úkony jsou vykonávány buď člověkem anebo automatem. Obecně lze stanovit, že náklady na výrobu jsou závislé na zdrojích. Jestliže máme předpis v jakém sledu a na jakém zařízení má být výrobek vyroben, pak záleží na plánování, aby bylo rozhodnuto, které úkony budou vykonány kde, kdy a kým s ohledem na tyto náklady.



Obr. 9 Postup tvorby linky [24]

Při designování montážní linky je třeba se řídit základními vazbami a souvislostmi viz Obr. 9. Shromáždění vstupních informací a jejich včlenění do optimalizační metody. Spolu s těmito vstupy do optimalizačního procesu vstupují znalosti a zkušenosti. Z tohoto procesu jsou získány výstupy, které slouží pro vlastní modelování výrobní linky. Po tomto procesu je linka vytvořena a z provozu je získána znalost, která může ovlivnit optimalizační metodu vyšším stupněm poznání. Tento přístup zobecňuje chápání přestavby jako neustálý cyklus, kde je určitý stupeň znalostí, který je obohacován o vlastní zkušenosti a poznání.

Jak uvádí B. Rekiek, v převážné míře je problém řešení zaměřen na využití stávajících zdrojů a jejich obslužnosti. Úkolem *Resource Planning (RP)* je vhodné kombinování zavážení díly, manipulace a ostatních vstup/výstup do každého pracoviště. Nazývá skupinu zařízení (jako například: podavače, manipulátory, zakládací zařízení apod.) funkčními skupinami, které symbolizují dané pracoviště. Jinými slovy *RP* problém může být definován takto: máme danou skupinu úkolů a pro každou část máme možné zdroje, které jsou charakterizovány cenou, dostupností a rychlostí v určitém čase, při fixním počtu stanovišť, požadovaný CT a definovanou návazností pracovních úkonů.

- Zdroje musí být definovány ke každému úkonu

- Podmínky v postupu výroby
 - Nejsou omezení v postupu
 - Objem prací je uskutečněn v rámci CT

Musí být splněny následující požadavky:

- Celková cena (náklad) na zdroje musí být co nejnižší.
- Maximální možnost využití linky
- Objem prací je vyrovnaný pro všechna pracoviště.

Navrhovaná metoda je složením tří fází: Přípravná fáze, návrh zlepšení a uskutečnění.

4.4 Metody balancování linek

Mnoho metod pro tvorbu nebo optimalizaci linek se zaměřuje na minimalizaci počtu pracovišť, nákladů a maximalizaci využití. Většina prací je zaměřena na balancování jednoduché linky, kde není možné využívat alternativních možností postupu práce. To znamená, že každý pracovní úkon má svůj definovaný čas a místo.

Při balancování linek mnoho autorů popisuje proces a řeší jej pomocí metody síťové analýzy. Ta slouží pro rozbor, plánování, řízení a kontrolu složitých návazných procesů [7]. Existují dva představitelé síťové analýzy:

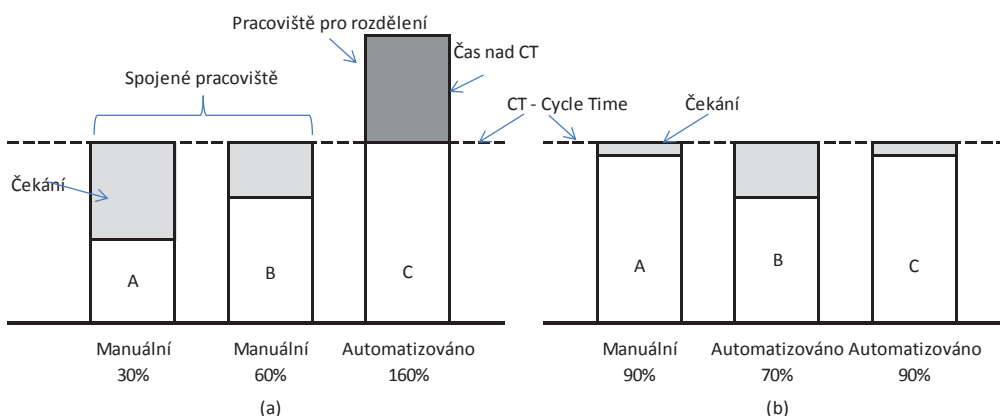
- **Metoda kritické cesty** (Critical Path Method - CPM): vychází z deterministického pojetí řešeného úkolu a hranově orientovaného síťového grafu.
- **Metoda PERT** (Program Evaluation and Review Technique – Technika vyhodnocování a kontroly programu) představuje stochastickou koncepci založenou též na hranově orientovaném grafu.

Základem obou metod je síťový graf. Ten je definován konečnou množinou uzlů a spojením některých dvojic uzlů orientovanými a časově ohodnocenými hranami (spojnicemi). Pro správné vyhodnocení síťové analýzy je třeba, aby graf splňoval požadavky:

- Graf má jeden vstup (počáteční uzel) a jeden výstup (koncový uzel)
- Každá činnost je jednoznačně určena jedním počátečním a jedním koncovým uzlem.
- Musí zachycovat reálné závislosti mezi jednotlivými úkony
- V grafu nesmí být uzavřený cyklus
- V grafu není započata žádná činnost, aniž by byly ukončeny všechny činnosti jí bezprostředně předcházející.

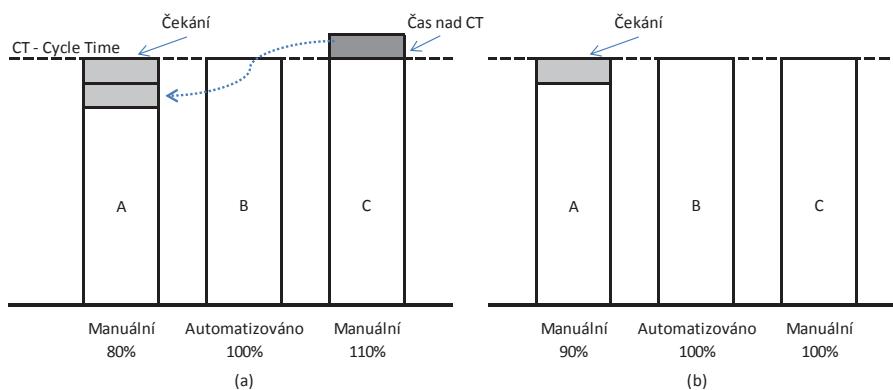
Jedním z přístupů řešení je metoda *Emerge and Split* [24] (dále „ES“), kdy je nejdříve nutné určit stanici, kde její CT_i je vyšší než požadovaný CT a stejně tak stanice s nižším

CT_i než je požadovaný CT. Cílem je snížení časů a úkony přesunout do stanic s nižším CT. Na *Obr. 10* je znázorněna situace, kdy je linka sestavena jak z manuálně obsluhovaných stanovišť, tak z automatizovaných. Pokud manuální pracoviště jsou z pohledu CT naplněna jen z 30 % respektive 60 % a automatizované pracoviště má CT 160 %. Při hledání dobrého vybalancování je jednou z možných cest spojení manuálních pracovišť v jedno a tím dosažení časové vytíženosti na 90% CT. Automatizované pracoviště rozdělit na dvě (70 % a 90% CT), tím dojde k redistribuci CT tak, že všechny CT_i budou pod CT maximálním.



Obr. 10 Rozdělení CT před a po „Merge and Split“ [24]

Druhou možností je *Pressure Difference* [24] (dále „PD“), což znamená přemísťování operací mezi pracovními stanicemi tak, aby došlo k vyrovnání pracovních úkonů. Je třeba projít všechny výměny činností mezi operacemi tak, aby nedošlo k ohrožení pracovního postupu.



Obr. 11 Rozdělení CT před a po „Pressure Difference“

- Nákladová funkce

Úkolem je sjednocení objemů prací (délky jejich trvání) jednotlivých pracovišť, při daném omezení: fixní počet pracovišť. B. Rekiek uvádí funkci, která musí být minimální:

$$f_{EP} = \sum_{i=1}^N (fill_i - CT)^2$$

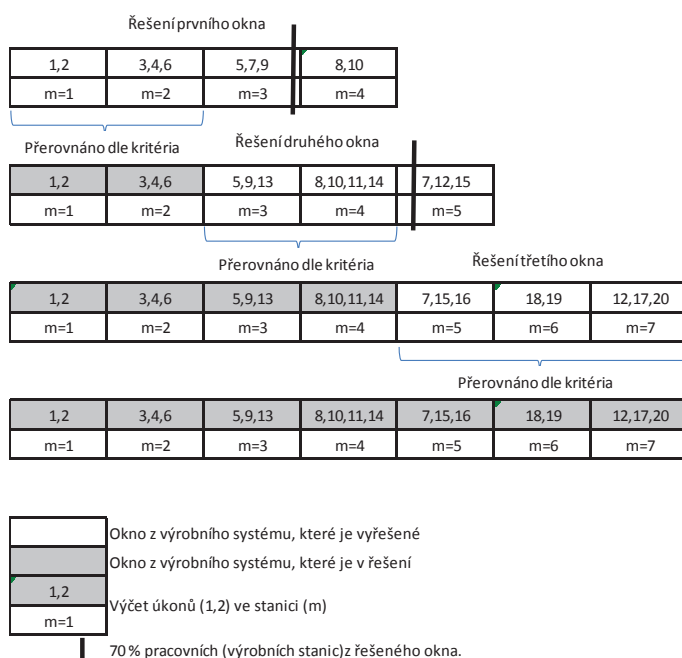
Kde N počet pracovních stanic, $fill_i$ je součet pracovních časů stanice i , CT je požadovaný cyklus, který je definován jako:

$$CT = \frac{\sum_{i=1}^{n_{OP}} t_i}{N}$$

M. Ammen [27], popisuje postup balancování linky založený na nákladovosti procesů. Metoda nazvaná „*exact solution of sliding problem windows*“.

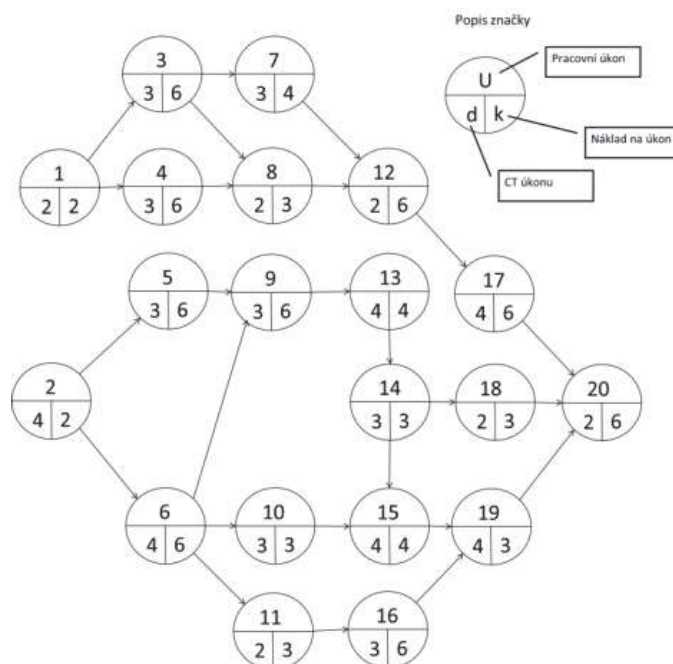
Ve většině heuristických metod, je snaha o co nejvytíženější pracoviště z pohledu objemu prací (časové vytížení). V metodách orientovaných na náklad není tato podmínka prioritou [27], protože vybalancování je postaveno na prioritě nákladovosti.

Metoda je založena na konkrétním vyhodnocování nákladovosti pro jednotlivá pracoviště při dodržení podmínky nepřekročení maximálního povoleného CT. Tím je systém balancován z pohledu nákladu a nikoli časové vytíženosti. Při aplikaci této metody je definována množina úkonů, které jsou přiřazovány na pracoviště podle shodnosti nákladu. Jakmile v rámci výběru úkonů (okna) je seřídění u konce, pak je rozšířena skupina o další úkony vyjma již seřazené úkony. Tím se okno posune a opět probíhá třídění stejným mechanismem.



Obr. 12 Příklad *Sliding Window*

Předpoklad, je topologické členění pracovní stanice viz příklad *Obr. 13*. Jednotlivá pracoviště jsou očíslována od 1 do n.



Obr. 13 Sled výrobního systému [příklad]

Každé pracoviště má svůj CT a náklad na úkon k . Systém posunujícího okna je založen na seskupování úkonů se stejným nákladem za podmínky, že celkový CT pracoviště nesmí překročit definovaný max. CT. Tím jsou stanoveny dvě podmínky (nákladové a časové omezení). Ve vybraném okně dojde k vybalancování, a jestliže minimálně jedna stanice je kompletně vyřešena, okno se posune, a řeší se další stanice viz *Obr. 12*. Takto se postupně projde celý řetězec. Výsledná podoba balancování:

Stanice m	Úkony	čas úkonů [s]	Koeficient nákladů [-]
1	1,2	6	2
2	3,4,6	10	6
3	5,9,13	10	6
4	8,10,11,14	10	3
5	7,15,16	10	6
6	18,19	6	3
7	12,17,20	8	6

Tabulka 1 Výsledek balancování metodou „sliding window“

V praxi při balancování linek se převážně upřednostňuje systém balancování na základě porovnávání časového trvání úkonů a jejich seskupování dle stanoveného technologického postupu (pokud montážní linky nejsou složité systémy z pohledu technologie). Jako první

při optimalizaci přichází na řadu systém balancování „PD“, kdy jde především o redistribuci úkonů. Jestliže požadavky na CT linky jsou zásadního charakteru, tak metoda „ES“, více zasahuje do charakteru linky a struktury linky. Jestliže v případě metody „PD“ se jedná o zlepšování již nastaveného, můžeme tuto metodu charakterizovat Kaizen přístupem, oproti tomu metoda „ES“ se svým charakterem více podobá BRP přístupu v těch okamžicích, kdy mluvíme o přenesení úkonu z manuálního pracoviště na automatický a naopak. Z pohledu upřednostnění jedné z metod je nutno si definovat podmínky, které určí prioritu použití té či oné metody. Metoda „PD“ je více orientovaná na expertní tým, který je schopen přenést úkony na jejich více sofistikovanou verzi (manuální úkon => automatický úkon). S tím souvisí i hlubší znalost procesu jako takového plus znalost inženýrského přístupu k řešení technických problémů. Metoda „ES“ ve své podstatě nemění technologii (proces) jako takovou, ale soustřeďuje se na logickou redistribuci času podle požadavku na CT linky. Z tohoto důvodu není nezbytně nutná hluboká znalost procesu. Díky tomuto faktu, je tato metoda při optimalizačním procesu upřednostňována, protože je možno s minimálním počtem technologických změn dosáhnout zlepšení. Až poté, pokud výsledek nedosahuje očekávání, pak z pravidla je nutno problém řešit i z pohledu změny procesu jako takového.

4.5 Multikriteriální rozhodování - pomocné metody a obecné algoritmy

Rozhodování a výzkum je svázán s algoritmizací a vzájemnými interakcemi. Aplikace evolučních metod pro seskupování pracovišť¹¹ je charakterizována postupným vývojem na základě poznání skutečností a znalostí. Jednou z podmínek je definování dostatečného počtu ukazatelů, které popisují systém a tím vytvoří základnu pro správné určení konečné podoby systému. Nastavení priorit a vazeb mezi ukazateli je odvislé v jisté míře od standardních obecně platných požadavků a zároveň od specifických požadavků.

B. Rekiek staví na definování indikátorů postavených na obecně platných požadavcích jako je: nákladovost, Cycle Time (CT), počet pracovišť a podobně. Upřednostňuje nákladovost před vybalancováním linky. To vede v důsledku k tomu, že výroba je z pohledu nákladů výhodná, ale ostatní kritéria, která mohou ovlivnit linku z širšího pohledu, ať už se jedná o fyzický anebo logický stav věcí ve vazbě na okolí linky nejsou v dostatečné míře respektována. Tento zjednodušený pohled na výrobní systém je použit na základě stanovení priorit ukazatelů. Ukazatele, které minoritně ovlivňující finální výsledek nejsou zahrnuty do základního návrhu. Následné hodnocení konečné podoby není vyhodnocováno z širšího úhlu pohledu a je omezeno jen na finanční ukazatele. Ty jsou směrodatné pro aktuální vyhodnocení, ale ostatní ukazatele (hodnotící) mohou indikovat finanční náklady, které mohou nastat v budoucím období (jako například: nemoci z povolání, zmetkovitost, nutnost přemístění z důvodu prvotní nekonceptnosti apod.).

¹¹ Kim et al. Uvažuje pět úkolů, které je nutno naplnit: 1. Minimalizace počtu stanic; 2. Minimalizace CT; 3. Maximalizace kontinuálního toku výroby; 4. Maximalizace pracovních propojení (pozitivních); 5. Zvyšování vzájemné vazby mezi body 3. a 4.

Suwarnarongsri [30] pro svoji metodu balancování linky definuje vstupní proměnné: počet úkonů (n), výrobní čas, sled úkonů, Cycle Time CT (c). Očekávané výsledné proměnné jsou v jeho práci definované jako: minimalizace pracovišť (m), minimalizace objemu pracovních úkonů (wv), minimalizace ztrátových časů (Tid) a maximalizace efektivit (E). Při hledání optimálního vybalancování se opírá o metodu, kterou navrhl Glover¹². Jde o metaheuristickou¹³ vyhledávací metodu založenou na Stochastické¹⁴ technice, hledání interakcí mezi sousedícími jednotkami pro řešení kombinačních a nelineárních problémů. TS (Tabu Search) je založen na následujícím algoritmu:

- Krok 1: Vymezení prohledávaného prostoru (Ω), TL (tabu list), vyhledávací rádius (R), count a count_{max}.
- Krok 2: Náhodně vybrané prvotní řešení S_0 z prostoru Ω . Necht' S_0 je lokální minimum.
- Krok 3: Náhodně generované N řešení v okolí S_0 o rádius R . Uchovíme řešení N pro skupinu X .
- Krok 4: Vyhodnocení ukazatelů pro každou hodnotu ve skupině X a nastavení S_1 jako minimum pro X .
- Krok 5: Jestliže $f(S_0) < f(S_1)$, pak S_0 se uloží do historie TL a $S_0 = S_1$. Pokud ne, tak S_1 je uloženo do TL.
- Krok 6: Jestliže konečná kritéria jsou dosažena (count = count_{max}), pak je prohledávání ukončeno a S_0 je nejlepší řešení, pokud ne tak se pokračuje krokem 2.

Variováním (balancováním) objemu pracovních úkonů jako cílovou funkcí vyhledávacího procesu TS metoda velice dobře přiřazuje počty úkolů každé pracovní stanici. Zatímco PRP technika může přiřadit sekvence úkolů každé pracovní stanici na základě předem stanovených kritérií (omezení).

¹² Poprvé popsána v roce 1986 [Glover, 1986] jako meta-heuristika pracující nad jinou heuristikou.

¹³ **Metaheuristika** z řečtiny "meta" (= něco na vyšší úrovni) a "heuriskein" (= hledat). Řešení je založené na kombinacích heuristických procedur. Heuristika řeší problém, při kterém hledáme algoritmus, který je výpočetně nejméně složitý a má pravděpodobně nejlepší řešení.

¹⁴ **Stochastika** je matematický obor, který se zabývá zkoumáním a modelováním náhodných jevů. Jedná se o souhrnný název pro teorii pravděpodobnosti a matematickou statistiku.

5 Nedostatky v hodnocení linek

Návrhy výrobních systémů jsou založeny na standardních postupech a metodikách, které ne vždy dokáží zakomponovat celý komplex podmínek a specifik místa a jeho okolí, ve kterém má být systém realizován.

Nepoužívají se metodiky, které by na základě priorit vytvořily páteří strukturu požadavků, ty pak následně se kvantifikovaly, a určily stupeň výhodnosti navrženého systému. Z tohoto důvodu je třeba řešit problém komplexně a brát v úvahu více podmínek (nikoli pouze podmínky z pohledu lidského faktoru, ale i kvalitativního, materiálového atd.), které mohou ovlivnit efektivitu výrobního systému a procesu i v delším časovém horizontu.

Současné metodiky se zaměřují na zlepšení linek převážně za použití omezeného počtu ukazatelů (viz. 4.4), které zahrnují vždy jen určitou úzkou množinu problémů. Jejich vyhodnocování a nastavování je autonomní, bez větších provázaností. Tyto provázanosti na základě komplexního pohledu by měly lépe reflektovat globální problematiku designu linky. Jestliže dnes se setkáváme s balancováním linek postaveném na vyhledávání optima pomocí heuristických metod vázaných na časovou vytíženost nebo nákladovost, tak tyto základní přístupy by měly být podpořeny vhodně nastavenými podpůrnými ukazateli, pomocí kterých jsme schopni nejen určit optimální vyvážení pracovišť, ale i kvantifikovat zlepšení (tj. pozitivní rozdíl mezi současným stavem a stavem předchozím).

V současnosti jsou rozpracovány a v praxi používány metodiky, které jsou založeny na těchto přístupech:

- Určitá struktura výrobního systému je považována za východisko a výrobní proces je variován do té doby, než je nalezena varianta, která vyhovuje jak dosažení požadované kvality výrobku, tak realizovatelnosti výrobního procesu ve výchozím výrobním systému s jeho nepodstatnými úpravami.
- Východiskem je výrobní proces, který byl navržen tak, aby splnil požadavky na kvalitu výrobku, který má být procesem realizován. Následuje návrh výrobního systému, který umožní realizovat navržený výrobní proces.

Výrobní systém by měl být vytvořen za pomoci vhodného výběru a nastavení:

- metrik pro hodnocení kvality výrobního systému
- kritériální funkce umožňující kvantitativně hodnotit kvalitu variant výrobního procesu a výrobního systému
- modelu pro měření a řízení výkonnosti na bázi integrace technických, ekonomických, environmentálních a sociálních aspektů v prostředí výrobního podniku.

Otázka je, jakou metodiku upřednostnit a na základě jakých kritérií se rozhodnout při tvorbě či optimalizaci linek. Požadavkem je vybalancování linky tak, aby poměr pracovních úkonů na počet pracovníků k počtu vyrobených kusů byl co nejvýhodnější a zároveň, aby z dlouhodobého pohledu byl tento stav udržitelný (nebo ještě lépe

vylepšován). Snahou je vytvoření takových podmínek, které nám umožní v rámci redistribuce pracovních úkonů co nejefektivnější využití strojního času, plochy vyčleněné pro systém, a efektivní využití lidské práce při současné minimalizaci provozních nákladů. Při designování výrobního systému je důležité se rozhodnout jaké parametry (indikátory) si nastavit a sledovat, aby finální podoba systému vystihovala náš požadavek. Je nutno dosáhnout větší možnosti kombinovat pracovní úkony mezi pracovníky a to nejen v linii, ale i napříč výrobního toku (linka „I“ versus „U“). Tím můžeme docílit menšího počtu pracovních stanic.

Za předpokladu, že se výkon linky za jednotku času nezmění, tak redukcí pracovníků dosáhneme vyšší produktivity práce.

	Požadavek	Skutečnost
Výrobní systém by měl být vytvořen za pomoci vhodného výběru a nastavení:	Vhodné metriky pro hodnocení kvality výrobního systému	Používá se limitovaná množina ukazatelů, které nedává 100 % komplexní obrázek o situaci. Další kritéria je nutno zohledňovat zvlášť a případné dopady na podobu linky jsou aplikovány separátně => návrh je nutno provádět vícekrát, jelikož vyhodnocením prvotního návrhu nebylo vzato v potaz více limitujících prvků.
	Takové kritériální funkce, které umožní kvantitativně hodnotit kvalitu variant výrobního procesu a výrobního systému	Mnoho požadavků je stanoveno jako soupis, který musí být v případě jednotlivých kritérií posuzován expertní skupinou. Ta na základě shody rozhoduje o začlenění požadavku.
	Vytvoření modelu pro měření a řízení výkonnosti na bázi integrace technických, ekonomických, environmentálních a sociálních aspektů v prostředí výrobního podniku.	V současné době je snaha o vytvoření modelu pomocí celé řady softwarových designových aplikací, které napomáhají vývojářům modelovat virtuální podobu systému.

Obr. 14 Požadavky a skutečnost hodnocení montážního systému [vlastní zdroj]

6 Hodnocení linek – báze parametrů

Smyslem nové metodiky je rozšířit užití základních metrik, aby v širším rozsahu popisovaly systém. Dále tuto metodiku podpořit skupinou činitelů, která doplní základní hodnocení a dokreslí celkový obraz systému. Nová metodika by měla být schopna vhodně začlenit všechny potřebné požadavky a limitující faktory, aby výsledné vyhodnocení stupně zlepšení bylo odpovídající reálnému provozu.

Metodika platí jak pro porovnání variant nových linek mezi sebou (Reengineering), tak pro určení stupně změny při re-designu (Improvement – Kaizen Activities).

Jak bylo uvedeno v kapitole 4 *Přehled činitelů a metrik používaných v praxi str. 23* Znamky dobrého výrobního systému je například možné rozdělit do deseti obecných požadavků. Na základě těchto požadavků byly definovány následující metriky a činitele vyhovující výše zmíněným obecným požadavkům a charakteristikám systému.

6.1 Časová využitelnost linky vzhledem k její velikosti

V současné době je jedním z požadavků kladených na výrobu, vyrábět co možná nejdříve a tím i efektivně. Snahou majitelů a manažerů závodů je získat maximum z dostupných zdrojů. Vhodným plánováním, organizováním a řízením, lze eliminovat nedostatky a ztráty, na velice dobrou úroveň v rámci možného využití dostupných zdrojů.

Při detailnějším pohledu na využití výrobní plochy v čase, je možné vyzorovat, že při včlenění dalších pohledů z jiných úhlů na možnosti organizace práce, problematika dostává zcela nové rozměry. Lepším využitím prostoru v čase, lze dosáhnout vysokého uplatnění všech vstupních zdrojů a tím pozitivně přispět ke snížení jak variabilních, tak fixních nákladů a tím ke zvýšení zisku.

S tím je spojen i vlastní život produktu jako takového. Každá výroba produktu prochází třemi hlavními fázemi. V první fázi se jedná o rozjezd výroby, kdy produkované množství narůstá z nulové hodnoty až po očekávané množství (v anglosaské literatuře je tento časový úsek označován jako „Ramp Up“), po této fázi nastává časové období, kdy je výroba již ustálená a je dosahováno očekávaných výkonů. Závěrečná část výrobního cyklu je konec projektu (v anglosaské literatuře je označován tento úsek jako „Ramp Down“). Během tohoto časového úseku je produkce redukována, až je výroba plně zastavena.

6.1.1 Výrobní kapacita

Výroba je uskutečňována v čase. Za jednotku času vzniká produkt, jinými slovy, pro vytváření hodnoty je vyčleněn určitý čas. Výrobek je vyráběn za sumu dílčích časů, které jsou potřebné pro realizaci dílčích úkonů viz: *CTSTi – Cyklus pracovního úseku str. 36*. Konečný výrobek je vyroben tehdy, když jsou uskutečněny všechny potřebné úkony, které jsou realizované za čas pro něj určený.

Pro realizaci výroby v praxi je použita jako základní jednotka (vztažená na člověka) jedna směna. Při standardní výrobě jsou zpravidla realizovány tři směny během dne, kdy každá

trvá jednu třetinu dne. Během těchto tří směn je možno uskutečňovat výrobu. Požadovaný počet kusů za den může být rozložen do jedné dvou či tří směn. Podle toho jaká je nastavená směnnost, je nutno volit rozložení montážní linky, aby její výkon byl adekvátní vůči požadavku. Jestliže je potřeba uskutečnit výrobu během jedné směny, pak i podoba linky bude odlišná oproti jinému požadavku na rozložení výroby do více směn.

Pro sledování výroby během směny, se využívá průběžné monitorování a vizualizace vyráběného množství, zpravidla jde o sledování založené na využití výpočetní techniky. Jednotlivé kusy jsou zaznamenávány do systému elektronicky a vizuálně zobrazovány, aby bylo umožněno tuto informaci sdílet (například: montážní linka automobilů). Pokud není elektronický systém implementován, tak je snahou do jisté míry simulovat vizualizaci vyprodukovaných kusů za jednotku času. Velkou výhodou pokud je možné použít hodinové sledování, kdy v pravidelných intervalech (jednou za hodinu) je zaznamenávána informace o vývoji výroby v montážní v lince. Tím je dosaženo přehledného „online“ stavu výkonu linky.

Pokud je výroba směřována do jedné směny (denní požadavek zákazníka je splněn), tak po zbytek dne je montážní linka nevyužita, a tím vzniká neproduktivní čas (ztrátový čas) po dobu následujících dvou směn. Toto nerovnoměrné rozložení výroby má za následek nakumulování veškerých zdrojů do času jedné směny, jde jak o zdroje lidské, tak o energie, dopravu materiálu apod. Pokud se výroba rozloží do více směn, tak potřeby pro tvorbu hodnoty jsou rovnoměrněji rozloženy a to napomáhá lepší organizaci výrobního (montážního) procesu.

6.1.2 Parametry systému v závislosti na vyráběném množství

Velikost výrobního systému (montážní linky) závisí nejen na velikosti výrobních strojů a zařízení s ohledem na ergonomické požadavky, ale i na požadavcích na výstup z výrobní linky. Pokud stroje a výrobní zařízení jsou z pohledu své velikosti neměnné, tak proměnnou je jejich rozložení a využití v čase. S tím je svázán do jisté míry i počet pracovníků, kteří se podílejí na uskutečňování výroby. Jestliže firma pracuje v jednosměnném režimu, tak celkové požadované množství výrobků musí za tuto směnu vyrobit. Pokud nedojde k naplnění výrobního požadavku, tak se musí vyrábět mimo plánovaný čas, což zvyšuje mzdové náklady. Na druhou stranu, je zde možnost dohnat ztrátu ve výrobě, právě prací přesčas (v tomto případě je možné „přidat“ ještě dvě směny). U dvousměnného provozu zbývá jedna směna a u tří směnného provozu je možné eventuální ztráty ve výrobě dohnat přidáním přesčasové výroby pouze ve dnech pracovního volna.

Pokud linka umožňuje flexibilní změnu výrobního cyklu, tak možnost dohnání ztrát v rámci definovaného směnného systému bez přesčasových hodin je možné. Tento způsob variování s produkovaným množstvím na výstupu výrobního systému, je hlavně využíván

na montážních linkách finálních výrobců automobilů - OEM¹⁵. Tam je možné se setkat s tím, že v případě nutnosti zrychlení výstupu je linka dočasně zrychlena, aby se dohnaly ztráty ve výrobě. Toto řešení je zaměřeno na odstraňování krátkodobých výpadků a ztrát ve výrobním systému.

Zvyšování objemu na výstupu

Při řešení rozdílů překračujících rámec možného výstupu, je nutno přistoupit ke globálnímu řešení a to pře-designováním výrobního systému tak, aby výstup odpovídal požadavkům a náklady byly pokud možno stejné, ne-li nižší. Jestliže jde o požadavek na nárůst výkonu, tak potřebu je možné řešit:

- Zrychlení výroby

Zrychlení výroby může být až 25% nad standardní rychlost. Například linka pro kompletní montáž Octavií (Škoda Mladá Boleslav) vyrábí průměrně od šesti set do sedmi set padesáti vozů. Během dne se mění rychlost výrobního pásu, aby se vyrobilo potřebné množství vozů. Produktivita práce se mění podle rychlosti a počtu obsluhujících zaměstnanců.

- Přidání směn (přidání člověko-směn)

Přidání směn je nejčastější možnost jak vyprodukovat větší počet jednotek na výstupu. Jedná se o navýšení počtu člověko-směn. Produktivita práce by měla být pro každou směnu shodná. Pokud se jedná o přesčasovou práci, tak se zvyšují mzdové náklady.

- Zvětšení výrobního systému (přidání takových prvků systému, kdy se vykryjí úzká místa systému vzhledem k požadavkům na výstup)

Zvětšení výrobního systému je spojeno s investicí do dalšího výrobního zařízení a zvětšením zabrané plochy. S tím jsou spojeny další nutné případné změny jako například zvětšení logistických toků skladovacích prostor a podobně. Nevýhodou daného řešení je, že v případě poklesu poptávky toto technologické zařízení a zabraná plocha jsou nevyužitá.

¹⁵ **OEM** (zkratka anglického **Original Equipment Manufacturer**) je obchodní termín, který označuje výrobce zařízení, jenž při výrobě používá díly, komponenty a zařízení od jiných výrobců, a hotový výrobek prodává pod svou vlastní obchodní značkou.

Výrobky, určené pro výrobce OEM, se označují jako OEM výrobky. Typickými OEM výrobky jsou základní desky počítačů, monitory, myši a jiné komponenty spotřební elektroniky, které nejsou určené pro koncového zákazníka.

Termín OEM se používá i v jiných oborech než ve výpočetní technice, např. v automobilovém, papírenském a chemickém průmyslu. Označují se tak výrobci takových produktů, jež se montují z dodaných dílů od jiných výrobců. V těchto oborech se ale častěji používá termín subdodavatelé a subdodávky. Zdroj (http://cs.wikipedia.org/wiki/OEM_produkce) 2012 01 25

Snižování objemu na výstupu

Ke snižování objemu výroby je možno přistupovat v krocích, které je možné rozdělit do tří skupin:

- **Krátkodobé**

snižování se odehrává v rámci několika směn nebo hodin. Řešením jsou odstávky, kdy zaměstnanci přerušují práci a linka je nevyužita, aby se netvořila nepotřebná skladová zásoba.

- **Střednědobé**

v rádu měsíců – přestavba linky by vzhledem k vedlejším nákladům a dalším požadavkům na personál byla nevýhodná. V tomto případě přichází jako jedna z možností změna směnného modelu.

- **Dlouhodobé**

situace je natolik odlišná od původního záměru, že provozování takového systému by bylo ekonomicky nevýhodné. Potom se musí přehodnotit současná podoba linky.

Nová podoba linky závisí na mnoha kritériích. Jedním z nich je i vytíženost linky v čase.

6.1.3 Využitelnost linky v čase

Jeden z ukazatelů vytíženosti linky v čase je odvislý od nastaveného směnného modelu, kdy je možné pohlížet na linku jako na organismus, který je funkční po určitý časový úsek dne (jedna, dvě, tři směny).

Pokud je výroba uskutečňována ve třisměnném provozu a přesto potřebujeme provést změnu zásadního charakteru jako například zmenšit linku (z důvodu nutnosti uvolnění prostoru), pak je nutno změnu na základě reengineeringu, zatím co v případě optimalizace může jít pouze o metodu KAIZEN (kontinuální zlepšování).

Z pohledu časové využitelnosti je využíván čas pro výrobu, který koresponduje se směnností:

- jednosměnný provoz = 1/3 dne
- dvousměnný provoz = 2/3 dne
- třisměnný = 1 den

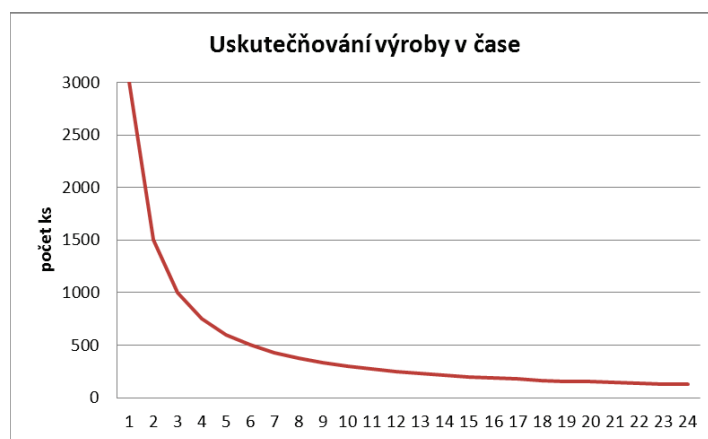
Čím vyšší je vytíženost během dne, tím je menší možnost přidávání dalších výrobních přesčasových úseků během dne (časovým úsekem je rozuměno: minuty, hodiny, směny – vždy se jedná o úsek který je roven nebo větší než násobek CT linky).

Z ekonomického pohledu je snaha o co největší využití prostoru (plochy) v čase. Z toho vyplývá, že tomuto požadavku nejvíce vyhovuje třisměnný provoz (nebo varianta nepřetržitého třisměnného provozu, tzv. čtyř-směnném provozu).

Předpoklad: linka vyrábějící jednu směnu za den, vyrábějící výrobek shodnou technologií jako linka vyrábějící plných 24 hodin (tři směny), pak linka pracující tři směny je z pohledu výkonu třikrát menší než linka pracující v jednosměnném provozu.

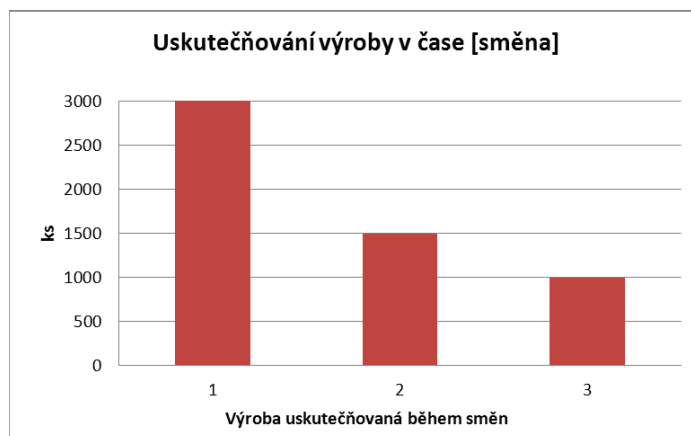
Při reorganizaci linky dochází k přeskupování pracovišť a tím k novému rozložení výrobních úkonů mezi zaměstnance. Dále, typ linky (linka typu: „I“ a „U“) umožňuje rozdílné možnosti variability pracovních úkonů mezi zaměstnanci. Při redesignu linky ať směřujícímu ke zmenšení či naopak k rozšíření, vždy existuje skupina ploch bez přidané hodnoty, která negativně ovlivňuje poměr ploch, kde vzniká přidaná hodnota vzhledem k celkové ploše.

Požadovaný počet vyrobených kusů za jeden den (24 hod) je X ks, pak požadovaný minimální výkon pro naplnění požadavku je: počet požadovaných kusů / délka pracovní doby. Z toho plyne, že čím je delší čas produkce, tím při konstantním požadavku na výstupu, klesá potřebný výkon za jednotku času *Obr. 15*. S tím souvisí i množství výrobního zařízení a i velikost výrobní linky. Velikost montážní linky není v přímé úměře s poklesem požadovaného vyráběného objemu za jednotku času a velikost linky při modifikaci se může měnit skokově.



Obr. 15 Graf závislosti požadovaného hodinového výkonu (příklad)

Pokud výrobu rozložíme do směn a požadovaný objem za den zůstává stejný, pak na *Obr. 16* je vidět jak se skokově mění průměrné požadované vyráběné množství za směnu.



Obr. 16 Rozložení objemu výroby na směnu při realizaci během: 1, 2, 3 směn

Díky tomu je možné i přizpůsobit celý montážní systém tak, aby byl schopen vyprodukovat požadované množství a zároveň jeho velikost byla tomuto množství přizpůsobena. Může se konstatovat, jak je znázorněno na *Obr. 16*, že teoreticky by linka mohla zabírat jen třetinovou velikost linky potřebné produkovat požadované množství za jednu směnu. Tento předpoklad je limitován nemožností proporcionálně měnit všechny druhy ploch, které jsou zahrnuty do layoutu linky.

- P_{vz} - Výrobní zařízení

Výrobní zařízení je dáno technologií výroby a zpracováním, dále může být dáno typem organizace práce atd. Při potřebě zvýšení kapacity celého systému je možné v případě nemožnosti zvýšení rychlosti výrobního zařízení, znásobit ta pracoviště, která jsou úzkými místy. V případě snížení kapacity, při snaze efektivního využití, je proces zmenšení výrobních zařízení komplikovaný (měnit jejich rozměrové parametry). Pokud tento problém nastane v případě násobných pracovišť, pak redukcí jejich počtu se dá skokově měnit možnost vyráběného množství.

- P_v - Pohyb operátora

Tento prostor je závislý na potřebě přístupu k výrobnímu zařízení a od ergonomických požadavků. Je nutno počítat s místy, jejichž velikost nelze měnit, jako jsou únikové cesty, průchozí cesty apod. Určení velikosti prostoru pro pohyb operátora má vyšší prioritu než ostatní plochy. Tato plocha také závisí na počtu osob, které se budou podílet na výrobě. Proto při tvorbě linky je nutno počítat s maximálním počtem operátorů podílejících se na výrobě.

- P_{TR} – Transport

Při designu linky je tato plocha v největší možné míře eliminována. Interní logistika (pohyb materiálu v rámci montážní linky) je jedním z důležitých podpůrných prostředků při realizaci výroby. Její velikost napomáhá plynule zásobovat pracoviště a tím minimalizovat ztrátové časy výroby, jako je čekání na materiál a podobně. Interní logistikou se také rozumí pohyb obalového materiálu a odpadů. Všechny tyto aktivity sebou přinášejí i potřebu vyhrazení plochy. Při redesignu linky, pokud nejde o technologickou zásobu, je snaha o aplikování jednotného standardu a minimalizaci zabrané plochy. Pokud je to možné a technologie to nevyžaduje, zmenšení transportní plochy můžeme dosáhnout zkrácením přepravních vzdáleností, zmenšením balení, anebo například transportem zboží, aniž by byla zabraná půdorysná plocha (tak zvané 3D rozložení, kdy materiál je dopravován nad ostatními plochami).

- P_s – Skladování

Skladování komponent spolu se skladováním hotových výrobků, anebo skladování ostatního materiálu zabírá prostor, který je možné redukovat pomocí různých metodik a technik. Tento prostor je možné redukovat při změně balení, uchovávaného množství rozpracované výroby (lean production - komponenty musejí být připraveny k montáži ve správném pořadí tak, aby nedocházelo k prodlevám a k přeplnění zásobníků komponentami určitých typů a zároveň bylo v daný moment minimální množství dílů), pravidelným zavážením a odvozem materiálu, kdy je transportovaný takový objem, který

je minimální a zároveň zabezpečuje dostatečnou plynulost výroby a i z pohledu nákladovosti na tento transport.

- P_K – Kontrola

Pro kontrolní činnosti je nutno vyčlenit takový prostor, který splňuje požadavky jak na vlastní kontrolu, tak zabezpečuje tuto kontrolní aktivitu vykonávat. Dále by měl umožňovat vykonávat tento kontrolní proces, bez poklesu míry jistoty opakovatelnosti. To platí jak pro úkony prováděné manuálně, tak pro automatizovaná pracoviště. Tento prostor se dá eliminovat například tím, že kontrolní činnosti se přesunou v rámci redistribuce pracovních stanic na místa, kde vzniká přidaná hodnota. Tento prostor bude po určité části CT bez tvorby přidané hodnoty – toho je možné využít v případě, že dojde ke snížení produkovaného množství a tím k redistribuci pracovních úkonů. Při balancování linky je nutno vytvořit takový model, který umožní přidělit tento kontrolní úkon na některé z pracovních stanic.

- P_{TE} - Manipulační prostor

Zpravidla tento prostor není možné redukovat a je tudíž jeho velikost konstantní pro danou linku a technologii bez rozdílu jestli je provedena reorganizace na jiný počet směn. Jeho změna je možná až při změně technologie (změna procesu).

- P_T – Technická plocha

Velikost technické plochy není možné redukovat. Je možné ji sdílet s jiným pracovištěm, a to v rámci jedné linky anebo se sousední linkou. Technickou plochu je nutno dimenzovat tak, aby bylo možné vykonat všechny funkce spojené s technologickými a údržbářskými úkony.

- P_O - Ostatní plocha

Většinou se jedná o plochy, které jsou standardizované. Při změně layoutu většinou nedochází k jejich změně. Mohou být přemístěny na vhodnější místo například využití prostoru bez účelu anebo může být tento prostor sdílen s jinou linkou.

- P_N – Bez účelu

V případě tohoto prostoru je při redesignu zaměřeno největší úsilí o jeho eliminaci v maximální míře. Tento prostor má z hlediska přidané hodnoty nulovou hodnotu. Pokud při re-designu dojde ke zmenšení této plochy, tak dokud tato plocha není využita pro tvorbu hodnoty, je na ní nahlíženo jako na plochu bez účelu. Nicméně je to potenciální prostor pro další výrobu.

Při porovnání layoutů montážních systémů můžeme prostým číselným vyjádřením určit změnu velikosti layoutu před a po změně, která činí:

Změna velikosti = Nový layout (před) / původní layout (po) [%]

$$\text{Poměr [\%]} = \frac{(\sum P_{VZ \text{ před}} + \sum P_V \text{ před}) + (\sum P_T \text{ před} + \sum P_S \text{ před} + \sum P_K \text{ před} + \sum P_{TE} \text{ před} + \sum P_O \text{ před} + \sum P_N \text{ před})}{(\sum P_{VZ \text{ po}} + \sum P_V \text{ po}) + (\sum P_T \text{ po} + \sum P_S \text{ po} + \sum P_K \text{ po} + \sum P_{TE} \text{ po} + \sum P_O \text{ po} + \sum P_{N(po)})} = P_{\text{celková před}} / P_{\text{celková po}}$$

CT linky:

Vysvětlení pojmů:

Plánovaná produkce linky [ks] = T_p / CT

T_p - plánovaný výrobní čas [s]

Plánovaný výrobní čas je doba plánovaná na uskutečňování výroby. Za jednu směnu (8 hodin) je 7,5 hod¹⁶ výrobních a 30 min nevýrobních (Přestávka v práci na jídlo a oddech). Při výrobě bez dalších prostojů (nevýrobních časů) je možné vyrábět až 1350 min. Na základě směnnosti, přesčasových směn, počtu operátorů apod., je možno měnit počet vyráběných kusů za časový úsek. Změnou těchto parametrů se mění CT linky. Pokud se jedná o výrobu více typů (druhů) výrobků, pak vstupují do plánovaného času vedlejší časy, jako přestavba, seřízení apod., které celkový objem vyrobených kusů snižují.

Maximální možná produkce linky [ks] = T_{max} / CT_{min}

T_{max} – maximální možný výrobní čas [s]

Možný výrobní čas je v rámci jednoho dne maximálně 24 hodin (mínus 3 x 30 min). Pokud linka bude produkovat na maximální výkon po tuto dobu, pak její maximální výkon během dne bude 1350 min / CT. Maximálním výkonem se rozumí výroba s nejnižším CT na vyrobený kus (maximální rychlost linky s možným maximálním počtem zaměstnanců), při zahrnutí vedlejších nevýrobních časů spojených s přestavbami a seřizováním při přechodu na jiné typy produkce.

Vytížení linky v čase [%] = $(T_p / CT) / (T_{max} / CT_{min})$

plánovaná produkce linky / maximální možná produkce linky

Je to procentuální hodnota, která ukazuje jak je linka využívána k její maximální kapacitě. Tímto ukazatelem jsme schopni zohlednit, jak je využita výrobní kapacita.

Využití plochy v plánovaném čase = Plánovaná produkce linky [ks] / layout [m²]

Výroba je uskutečňována v plánovaném čase a tím je naplňován předpoklad vyrobení potřebného počtu kusů. Linka je rozložena na ploše, na které je vytvářen produkt. Vyráběné množství a velikost linky, je poměr, který znázorňuje jak je vytvářena hodnota vzhledem k její velikosti za plánovaný čas.

Využití plochy v max. možném čase = Plánovaná produkce linky (24 h) / layout [m²]

Využití plochy v maximálním čase reprezentuje, jak je plánovaný výkon na plochu využíván v poměru k Maximálnímu možnému výkonu linky vztaženému na velikost linky.

¹⁶ V některých podnicích se může tento čas krátit ještě o další nevýrobní časy, jako je například rozjezd výroby, další přestávky na oddych nebo na konci čas určený na úklid pracoviště. 7,5 hod je 450 min. Pro třísměnný provoz je to 3*450 = 1350 min.

Ověření požadavků na výstup linky.

Zákazník odvolává (v dlouhodobých odvolávkách) určité množství dílů N při smluvním možné fluktuaci $\pm P[\%]$. Z toho plyne, že možný požadovaný počet vyrobených kusů může být v intervalu:

$$\text{Požadovaný počet kusů} \in \{N - (N \cdot P); N + (N \cdot P)\}$$

Stanovení minimální dostatečné výrobní kapacity linky

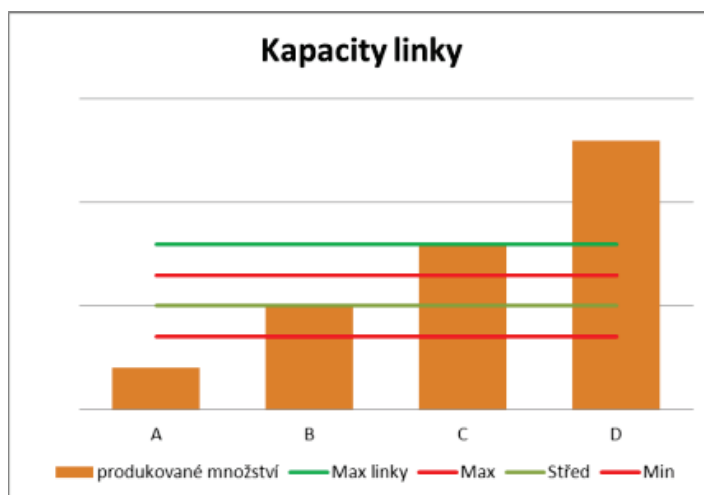
Pro potřeby jistoty vyrobitelnosti je nutno kapacitu montážní linky povýšit o jistý procentuální díl, který zaručí dodávání dílů zákazníkovi dle požadavku. Z toho plyne, že výsledná očekávaná kapacita by měla být:

$$\text{Min dostatečná kapacita} = N + (N \cdot P) + (N \cdot Z)$$

Poměr mezi maximální kadencí linky a požadavkem na odběr by se měl blížit k hodnotě, která zabezpečí při dostatečné jistotě dodávat dostatečné množství výrobků bez zbytečných nadlimitních kapacit. Snahou je eliminovat tyto nadměrné kapacity, které jsou zbytečné. Pokud by byl poměr mezi kapacitou a potřebným množstvím nižší než jedna, pak vzniká riziko, že výroba by nemusela naplnit požadavky na výstup.

Pokud by poměr klesl pod hranici výkonu povýšeného o možné smluvní navýšení, pak by došlo k ohrožení výkonu při smluvně dohodnutém navýšení.

Plnění výkonu by se muselo dorovnávat víkendovou výrobou (při čtyř-směnném výrobním cyklu to není možné) nebo jiným způsobem. Pokud schopnost linky vyrobit počet kusů poklesne pod hranici Min Dostatečná kapacita, pak je nutno přestavět výrobní systém, aby byl schopen reflektovat požadavek na počet vyrobených kusů.



Obr. 17 Kapacitní možnosti linky vzhledem k požadavku na výstupu [vlastní zdroj]

Teoretická maximální využitelnost prostoru

Teoretická využitelnost prostoru je poměr mezi Maximální možnou produkcí linky a její velikostí. Lze použít poměr vyrobených kusů na jednotku čtvereční, anebo vyprodukovanou hodnotu v penězích na jednotku čtvereční (většinou se používá jako jednotka čtvereční m^2 , ale lze se setkat i s jinými jednotkami jako například v anglosaských zemích s jednotkou square foot – ft^2 , a podobně). Tento poměr popisuje

jaká je maximální možná produkce linky, pokud je využita její plná výrobnost (CT minimální) při plném časovém využití ve všech směnách ku velikosti linky.

Základní hodnotou pro určení stupně využitelnosti je vytvoření představy, jaký je požadavek na výstup linky. Tento požadavek je určován nejenom okamžitou poptávkou, ale možnými výkyvy (pravděpodobnými) v rámci předem definovaném časovém úseku (zpravidla jeden rok). Například v automobilovém průmyslu se vychází z předpokládaného průměrného předpokládaného prodeje daného vozu. Toto číslo se může pohybovat v rozmezí, které bývá zpravidla smluvně definováno (zpravidla se jedná o $\pm 15\%$ ročního předpokládaného prodeje). Tímto vznikne přepokládaná střední hodnota a možné meze, které definují, jaké jsou požadavky na variabilitu linky. Při předpokladu, že celé období se bude vyrábět o 15% více než je střední hodnota, tak výrobce musí být schopen tento požadavek splnit.

Montážní linku je možné porovnat s těmito předpoklady a určit její schopnost tento předpoklad naplnit viz *Obr. 17*.

- A. Jestliže je linka pod spodní hranicí požadovaného množství, tak je nutno udělat takové změny (do jisté míry související s layoutem), které by zvýšily výkon.
- B. Jestliže linka je schopna z dlouhodobého hlediska produkovat pouze střední hodnotu požadovaného výkonu, tak je nutno posoudit, jestli je nezbytně nutné měnit linku jako takovou, anebo stačí uskutečnit požadovaný objem za pomoci přesčasové práce. V tomto případě je nutno i započítat (tak jako vždy) i reálné nevýrobní časy jako jsou prostoje, nekvalita a pod (paralelu s touto neefektivitou výroby je možno vidět podobně jako v OEE strojů).
- C. Optimální kapacita z pohledu očekávaného množství na výstupu je, když linka je schopna produkovat takový objem produktů, který vykryje případná navýšení požadavků zákazníkem, plus případné známé případy ne výroby, jako jsou prostoje, nekvalita apod.
- D. Pokud linka je schopna produkovat větší množství než je množství potřebné povýšené o smluvní navýšení plus ztráty zapříčiněné prostoji či nekvalitou, a pro tyto výrobky není uplatnění na trhu, tak vzniká nadprodukce a tím z pohledu Lean Production Managementu ztráta. Tuto ztrátu je nutno řešit například technickou změnou linky – přestavěním => zmenšení plochy.

Případová studie

Zákazník odvolává 1000 ks denně s tím, je smluvně domluveno, že případné nárůsty a poklesy v definovaném časovém úseku mohou být $\pm 15\%$ (**850 ks – 1150 ks**).

Původního rozestavení montážní linky

Velikost:	1332 jed ²
Směnnost:	2 směny

Počet operátorů	18 operátorů
Počet vyrobených kusů za den:	1500 ks
Počet vyrobených kusů za směnu:	750 ks
Velikost průběžné zásoby [kč]:	30 000 kč
Ztráty ve výrobě:	50 ks/směna

Na základě těchto parametrů je možné vytvořit obraz využitelnosti linky vzhledem k požadavku. Linka je schopna produkovat 750 ks ve třech směnách, to je 2250 ks/den. Při nevyrobených 50 ks/směna = 150 ks/den, je linka reálně schopna produkovat 2250 – 150 = 2100 ks/den. Maximální denní požadavek zákazníka je 1150 ks/den. Tím kapacita montážní linky překračuje potřeby o 950 ks/den (o 82,6 %). Díky tomu, je část montážní plochy každý den nevyužita. Vzhledem k maximální kapacitě, je layout v čase využíván jen na 54,76 % = 729 jed². Zbylá část layoutu je z pohledu kapacitního využití linky nadbytečná, a tudíž je hodnocena jako ztráta.

Nové rozestavení montážní linky:

Velikost:	576 jed ²
Směnnost:	3 směny
Počet operátorů	18 operátorů
Počet vyrobených kusů za den:	1500 ks
Počet vyrobených kusů za směnu:	500 ks
Velikost průběžné zásoby [kč]:	10 500 kč
Ztráty ve výrobě:	30 ks/směna

Přebudovaná linka je schopna produkovat 500 ks/směna => 1500 ks/den. Při 30 ks/směna nevyrobených kusů, je linka schopna reálně vyprodukovat za den 1500 – 90 = 1410 ks/den. Tím nám vzniká možná nadprodukce 1410 – 1150 = 260 ks/den. To je o 22,6 % překročení požadovaného počtu kusů. Při přepočtu kapacity linky na velikost layoutu je vidět, že využitelnost plochy se zvýšila z původních 54,76 % na 81,56 %. Využití linky je rozprostřeno do tří směn, při zachování stejného celkového počtu zaměstnanců jako v původní podobě linky. Z tohoto hlediska je nová verze linky jednoznačně výhodnější pro definovaný objem požadované výroby zákazníkem.

Dílčí závěr

Rozhodnutí o změně výrobního (montážního) systému je závislé na tom, jak je rozprostřena (plánována) výroba ve směnách. To za jakou dobu je možné vyrobit požadované množství, do jisté míry i ovlivňuje velikost výrobního systému. Je snaha co nejlepší využití zdrojů nejen co do prostoru, ale i tohoto prostoru v čase. Jestliže je prostor linky využíván na 80%, ale jen jednu směnu za den, pak celkové využití tohoto prostoru v rámci dne je pouze 26%. Oproti tomu linka, kde je využití prostoru jen 50%, ale produkuje ve třech směnách, je využití tohoto prostoru v čase 50%.

Z tohoto důvodu je nutno přidat do hodnocení linky další pohled. Kdy se k prostorovému využití připojuje ještě pohled časový.

6.2 Flexibilita - pracovní časy operátorů

Uspořádání montážní linky zabírá určitý prostor, který je využíván v čase. Uspořádání linky a výrobní proces jsou činitelé, kteří se navzájem ovlivňují. Výrobní proces se skládá z definovaných úkonů a postupů, které vedou k tvorbě výrobku prostřednictvím výrobního systému. Velikost a rozložení výrobního systému ovlivňuje jak tok výroby, tak i pohyb zaměstnanců produkujících výrobky. Standardizované výrobní úkony jsou vázány na určitou pracovní stanici nebo stanice v rámci pracovního postupu. Při změně rozložení linky se zpravidla mění i vzdálenosti mezi pracovišti a tím se mění i časy pro přechod pracovníků mezi nimi. Jedná se o pracoviště, kde je uskutečňována výroba karavanovým anebo štafetovým systémem, kdy se zaměstnanec pohybuje mezi více pracovišti (buňkový typ výroby je ovlivněn především transportní délkou a transportními časy výrobků). Při změně rozložení linky je potřebné zhodnotit stupeň změny i vzhledem k vedlejším časům zaměstnanců.

6.2.1 Ztrátové časy

Každá pracovní operace obsahuje spolu s operacemi, které přidávají hodnotu, také operace a pohyby, které obsahují ztrátové časy.

Tyto ztrátové časy můžeme dělit podle původu jejich vzniku. Podle TPS (Toyota Production System) je rozeznáváno 8 druhů plýtvání¹⁷. Plýtváním je nazýváno vše, co zákazník není ochoten zaplatit (pokud je nalezen způsob, jak ještě zdokonalit to co je ochoten zákazník zaplatit, tak z pohledu zdokonalení je předchozí stav také ztrátou). Ztráty spojené s prací zaměstnance jsou především úkony „Čekání“ a „Zbytečné pohyby“. Při tvorbě layoutu je nutno tyto ztráty zohlednit a eliminovat je. Tyto ztráty mají vliv na CT výroby a tím i vliv na výrobní cenu výrobku.

Ztráty:

- *Nadvýroba*
 - *Čekání – vzniká díky nedostatečnému vybalancování operací mezi sebou*
 - *Nadbytečná manipulace*
 - *Špatný pracovní postup*
 - *Vysoké zásoby*
 - *Zbytečné pohyby – zbytečná chůze mezi pracovišti, pro díly (materiál), nástroje, apod.*
 - *Chyby pracovníků*
 - *Nevyužití myšlenek*
- => *Důsledky plýtvání*
- *Nevyužití stroje úzké místa a vysoké prostoje*

¹⁷ <http://e-api.cz/article/68428.casove-studie-8211-nastroj-prumysloveho-inzenyrstvi/> (12. 2. 2012)

<http://www.businessinfo.cz/cz/clanek/management-msp/slovník-prumysloveho-inzenyrstvi/1001663/52893/> (12. 2. 2012)

- *Vysoké zásoby, rozpracovaná výroba*
- ***Přetíženost některých pracovních pozic***
- *Nekvalita, zmetky*
- *Mnoho nadpráce s repasováním zmetků*
- ***Neuspořádané pracoviště***
- ***Složité materiálové toky***
- *Neplnění plánu*
- *Vysoké náklady*

Vhodným rozestavěním výrobního zařízení je možné dosáhnout takové struktury výrobního řetězce, že tyto ztrátové časy budou v maximální míře eliminovány. Eliminace těchto časů za pomoci změny layoutu nesmí ohrozit bezpečnost a hygienu pracovního prostředí¹⁸. Časy, které je především možné eliminovat změnou layoutu, jsou časy týkající se manipulace s materiálem, přecházení a čekání.

Manipulační časy:

- Převážní operace

Do tohoto druhu manipulace se zařazuje jakékoli zacházení s produktem za účelem jeho dopravení z jednoho místa na druhý. Jestliže k tomuto úkonu je nutná účast zaměstnance, tak tento úkon musí být zahrnut do jeho objemu prací v rámci pracovního úseku (CT pracoviště).

- Technologické manipulace

Technologickou manipulací se rozumí úkon, při němž je potřeba umístit výrobek tak, aby bylo možné jej dále zpracovávat předepsaným procesem [8]. Tyto časy jsou součástí objemů prací zaměstnance a spadají do jeho CT.

- Nakládání

Nakládání, vykládání jsou standartní operace, kdy výrobek nebo díly jsou manipulovány za účelem vyjmutí z balení, podavače apod., nebo při nakládání je výstupní výrobek v pracovišti uložen na místo (do místa) odkud bude dále transportován. Tyto časy jsou součástí objemů prací zaměstnance a spadají do jeho CT.

- Skladování

Skladování je úkon, při kterém díl čeká na další zpracování a není tudíž ve stavu zpracování či transportu. Zvláštním stavem skladování je technologické skladování, které je předepsáno technologickým postupem, za účelem dosažení kvalitativních požadavků na díl. Skladovaný objem má zásadní vliv na prostor, ale nikoli na CT výroby výrobku. Tyto časy nejsou součástí objemů prací zaměstnance a nespádají do jeho CT. Skladování ovlivňuje Lead Time výrobku.

¹⁸ 361/2007 Sb. NAŘÍZENÍ VLÁDY ze dne 12. prosince 2007,

- **Kontrola jakosti**

Při kontrolní činnosti dochází k manipulaci s výrobkem za účelem zjištění kvalitativních vlastností. Protože kontrola kvality není aktivita, při které vzniká přidaná hodnota (pouze její potvrzení), pak i čas z tohoto důvodu lze považovat za čas ztrátový.

Výpočet vedlejších a ztrátových časů

Abychom mohli rozhodnout, jaká podoba linky je výhodnější, je třeba zohlednit „kompaktnost“ linky z pohledu pracovníků a kvantifikovat jejich ztrátové časy, způsobené přecházením mezi pracovišti. Tím se zohlední změna CT při různých variantách výroby.

Montážní linka, kde je vyžadován přechod zaměstnanců mezi pracovišti v rámci CT výroby, bude s největší pravděpodobností obsahovat ztrátové časy. Při balancování montážní linky je snaha o maximální eliminaci těchto ztrátových časů vhodným rozložením pracovišť, s ohledem na objem operací na těchto pracovištích tak, aby pracovníci nemuseli (nebo minimálně) přecházet na velké vzdálenosti.

Změna layoutu sebou nese i jistou změnu poměru těchto ztrátových časů a časů, při kterých vzniká přidaná hodnota. Je možné předpokládat, že zmenšením zabraného prostoru linkou, dojde i k celkovému zmenšení součtu všech ztrátových časů. Tento poměr nemusí být v přímé úměře s vyráběným množstvím výrobků a ani se změnou velikosti linky. Může dojít i k nárůstu těchto ztrátových časů pro některá pracoviště, ale celkové CT_{STi} daného pracoviště by neměla být větší než požadovaný celkový CT.

Požadovaný CT => max CT z množiny CT_i (kde $i=1$ do j)

$$CT_i = \sum CT_{\text{prod}} + \sum CT_{\text{ztrát}}$$

CT_i – množina cyklů pracovních úkonů v lince

$\sum CT_{\text{prod}}$ – množina cyklů při kterých **vzniká** přidaná hodnota

$\sum CT_{\text{ztrát}}$ – množina cyklů při kterých **nevzniká** přidaná hodnota

Velikost množiny CT_i je dána počtem pracovních pozic v lince což zpravidla odpovídá počtu operátorů.

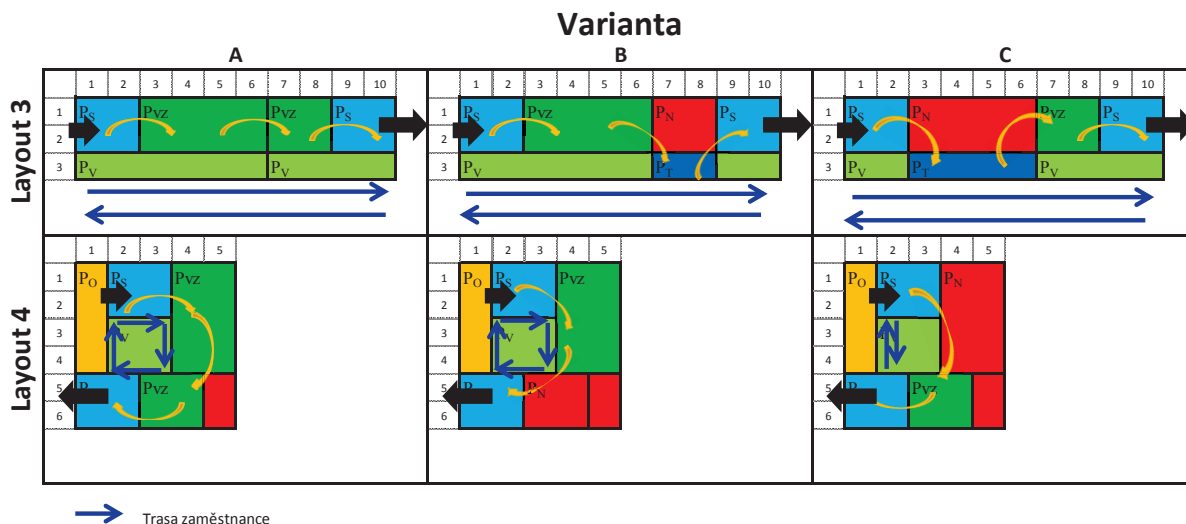
Případová studie

Pro porovnání dvou různých rozložením výrobních systémů je nutno si sumarizovat, pro každou variantu úkony, při kterých nevzniká přidaná hodnota a produkované množství za jednotku času. Tím je určen základní indikátor pro kvantifikaci zátěže nevýrobními časy na celkovém výrobním čase.

Pokud jsou odlišné ukazatele výstupu i množství zaměstnanců, tak je nutno sjednotit pohled na velikost ztrátových časů jako poměr výkonu k celkovým ztrátovým časům. Tím je dosaženo jednotného pohledu na danou situaci, která je vyjádřena vztahem:

Koeficient ztrátových časů = $\frac{\sum \text{Ztrátových časů}}{\sum \text{Vyrobených kusů za jednotku času}}$

V případové studii je porovnáván případ linky typu „I“ s typem „U“, kde je předpoklad, že každá ze dvou variant má stejný výstup co do množství a skladby výrobků za jednotku času. Tím je možné při porovnání linek jen začlenit součty ztrátových časů pro každou variantu, a tím určit výhodnost toho či onoho layoutu .



Obr. 18 Trasy pro varianty výrobků A, B, C pro layout 3 a 4 [vlastní zdroj]

Varianta A:

Layout 3: Operátor musí projít s výrobkem dráhu od bodu jedna do bodu deset (P_{S1} , P_{VZ1} , P_{VZ2} , P_{S2}). Po ukončení poslední výrobní operace, musí projít celou cestu zpět (bez výrobku) a začít opět na místě jedna. Tím vykoná cestu 10 m s výrobkem a 10 m bez výrobku. Celkově během jednoho výrobního cyklu ujde 20 m.

Layout 4: Operátor musí projít s výrobkem od počáteční operace (P_{S1} , P_{VZ1} , P_{VZ2} , P_{S2}) až po konečnou operaci 6 jed. V okamžiku vykonání poslední operace se nachází jednu jed od počáteční operace. Z toho plyne, že musí ujít 8 jed, aby opět mohl stát na první pozici. Celkem během jednoho výrobního cyklu ujde 8 jed.

Varianta B:

Layout 3: Opět jako při variantě A. Operátor musí projít pracovišti (P_{S1} , P_{VZ1} , P_{S2} – pro tuto variantu toto pracoviště mívá, P_{S2}). Celkově během jednoho výrobního cyklu ujde 20 jed.

Layout 4: Shodně jako při variantě A. Operátor musí projít pracovišti (P_{S1} , P_{VZ1} , P_{S2} – pro tuto variantu toto pracoviště mívá, P_{S2}). Celkem během jednoho výrobního cyklu ujde 8 jed.

Varianta C:

Layout 3: Opět jako při variantě A i B. Operátor musí projít pracovišti (P_{S1} , P_{VZ1} – pro tuto variantu toto pracoviště mívá, P_{VZ2} , P_{S2}). Celkově během jednoho výrobního cyklu ujde 20 jed.

Layout 4: Operátor musí projít pracovišti (P_{S1} , P_{VZ1} – pro tuto variantu toto pracoviště mívá, P_{VZ2} , P_{S2}). Protože pracoviště P_{VZ1} nemusí obsluhovat, tak s výrobkem může jít

rovnou k PV_{Z2} . Tím zmenší nutnost přecházení v rámci jednoho výrobního cyklu. Celkem během jednoho výrobního cyklu ujde 4 jed.

Dílčí závěr

Se změnou rozložení linky, zpravidla, dochází i k přerozdělení úkonů (pracovních časů) mezi operátory. Změna se zpravidla týká vedlejších a ztrátových časů, pokud je zásah do výrobního procesu (technologie výroby), tak i produktivních časů, kdy vzniká přidaná hodnota. Se změnou rozestavení by měl být vyčíslen i stupeň změny pro jednotlivé dílčí časy na základě jejich kvantifikace. Možnost porovnání stavu před a po změně je jedním z důležitých ukazatelů, indikující výhodnost či nevýhodnost rozestavení výrobního systému. Koeficient určující velikost ztrátových časů k produkovanému množství, ukazuje na efektivitu montážního procesu. Ukazuje na vytíženost pracovníků a napomáhá při balancování linky. Při dalším členění na časy čekání a časy přechodu, je možné určit, jestli systém nezatěžuje zaměstnance z pohledu bezpečnosti a hygieny práce.

6.2.2 Flexibilita - Řízení výkonu linky počtem pracovníků

Pro výrobu (uskutečňování výrobního záměru) musíme vyčlenit určité lidské zdroje, pomocí kterých je výroba realizována. Počet pracovníků v lince je odvislý od technologie, pracovních stanic, požadavků na vyrobené množství atd. Zpravidla je omezený počet variant nejvýhodnější pro danou linku a jiný počet, ať více či méně, je z pohledu nákladů méně výhodný. Na druhou stranu je možné flexibilně (popis pojmu flexibilita, str.: **Chyba! Záložka není definována.**; číslo poznámky pod čarou: 1) reagovat na změny požadavků na výstup. Zhoršení ukazatele mzdového nákladu na vyrobený kus (prodražení výroby díky mzdám) může znamenat úsporu v jiných položkách, jako jsou nepřímé náklady spojené se zaměstnanci, či náklady spojené s provozem velké linky jako jsou energie, obslužnost, chybovost apod.

V dnešní době je snaha, aby linka byla z pohledu časového co nejvíce flexibilní a to ne jen v případě změny výrobního sortimentu, ale i z pohledu vyráběného množství za jednotku času. Proto jedno z kritérií při hodnocení je, jaké možnosti linka poskytuje z pohledu obsazenosti zaměstnanci.

Dále je možné nastavit počet zaměstnanců podle požadovaného CT linky. To znamená, že rozdělením výroby na krátké úseky (pokud možno rovnoměrné – dílčí CT_i), dostaneme množství úkonů, které je nutno vykonat a jestliže ke každému úkonu přiřadíme právě jednoho zaměstnance, tak dostaneme množství zaměstnanců pro maximální vyráběné množství za jednotku času. Jediným limitem pro rozčlenění výroby do velice malých časových úseků je technologie (technologické celky a jejich CT – úzká místa) a na druhé straně mzdový náklad, který je složen z časů výrobních a z časů nevýrobních. Při rychlejším růstu nevýrobních časů než časů výrobních dochází k zhoršování produktivity práce a tím vzrůstu mzdových nákladů viz odstavec v této práci: 4.2.2 CTT – Celkový cyklus výrobku.

V praxi je možné se setkat s mnoha rozličnými způsoby realizace pracovních modelů, do kterých jednoznačně zapadá právě i počet zaměstnanců ve výrobním systému. Limitující a řídicí faktory počtu zaměstnanců v lince jsou:

- technologie
- úzká místa
- ztrátové časy

Pro malé kompaktní linky, kde počet pracovníků nepřesahuje 5 až 6 zaměstnanců a výrobní systém to umožňuje, zpravidla se připravují výrobní modely pro n a $n+1$, $n-1$ zaměstnanců. „ N “ model je počet, při kterém je nejvíce reflektován požadavek na produkované množství a zároveň se jedná o výhodné mzdové náklady. Zpravidla model s plusovými čísly (větší počet operátorů) umožňuje vyrobit větší množství za stejný časový úsek, ale náklady jsou vyšší. Oproti tomu u modelu se zápornými čísly (menší počet zaměstnanců) může být produktivita i vyšší, ale produkované množství za jednotku času nestačí potřebě a proto je tento model využit při náhlých poklesech požadovaného výkonu. Z dlouhodobé perspektivy, jestli linka vyrábí s vyššími mzdovými náklady ve standardním modelu než v jiném, tak je nutno tuto situaci řešit a linku modifikovat tak, aby pro konstantní výkon byly mzdové náklady minimální a tím byla dosažena optimální hodnota nákladů vůči výkonu.

V případě větších komplexů montážních systémů, pokud to situace dovoluje, je možné v praxi vidět i modely s větším počtem případných variant počtu pracovníků podílejících se na montáži v jeden okamžik.

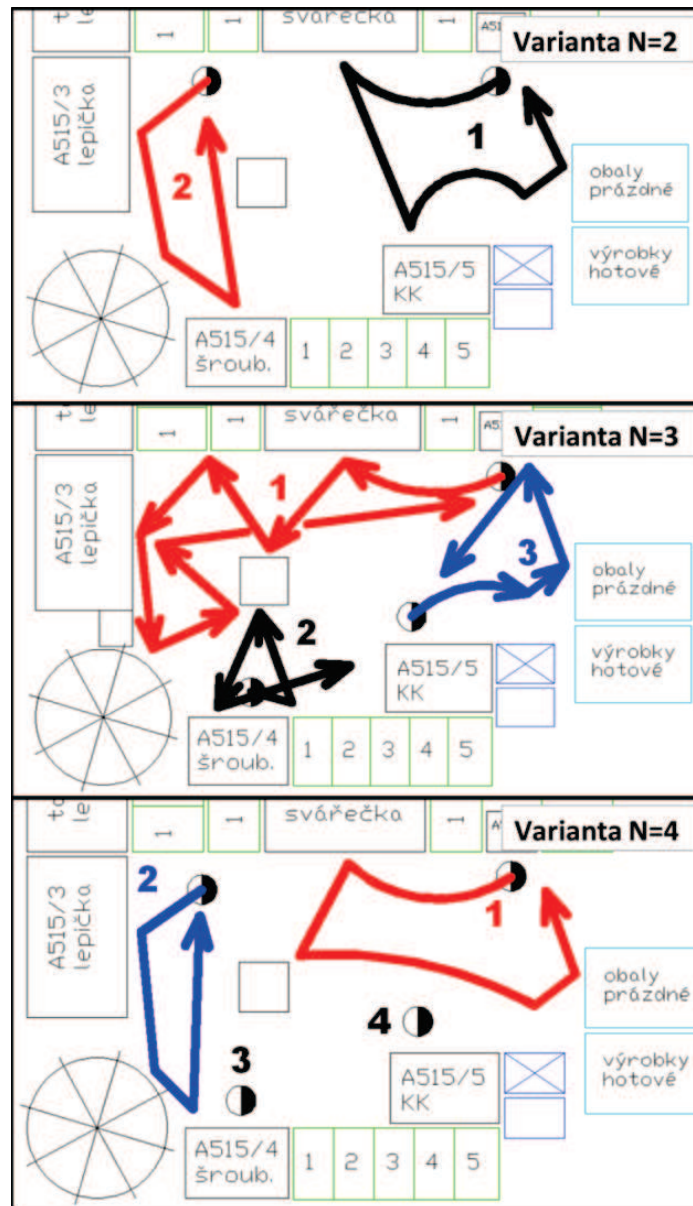
Je možné konstatovat, že spodní limit pro počet zaměstnanců v lince (bez ohledu na efektivitu a produktivitu práce) je pro každý systém roven 1. Horní hranice je specifická pro daný výrobek a linku, a není možné obecně tuto hranici stanovit. Pouze v teoretickém případě, že při nárůstu zaměstnanců by vždy byla produktivity – mzdový náklad stejný, pak by tento počet mohl být teoreticky neomezený.

Změnou počtu pracovníků v systému je možné měnit CT výroku a tím měnit vyrobený počet kusů za jednotku času. Při předpokladu, že systém je možné provozovat jen za konstantního počtu zaměstnanců, pak počet možností počtu zaměstnanců je roven jedné.

Případová studie

Pro názornost je použit jako příklad model linky pro montáž kinematických jednotek (loketních opěrek) pro automobilový průmysl, kde pracují ve standardním obsazení tři zaměstnanci viz *Obr. 19 Příklad linky s variantním počtem pracovníků – [KP Janovice]*. Linka je koncipována tak, že je možné počtem zaměstnanců měnit vyrobené množství. V lince je základní model N (standardní počet) nastaven na 3 pracovníky. Je možné měnit počet pracovníků v rámci modelu N na $N+1$ a $N-1$ => počet variant: 3, počet zaměstnanců: 2, 3, 4.

Počet možných kombinací pro daný model lze popsat jako součet kombinací s opakováním. Kde n = počet možných kombinací a k = počet směn.



Obr. 19 Příklad linky s variantním počtem pracovníků – [KP Janovice]

Příklad výpočtu pro $n=3$ ve třisměnném provozu $k=3$.

Výběr jedné varianty ze tří možných.

$$C'_k(n) = \binom{n+k-1}{k} = \binom{n}{k} = \frac{n!}{k!(n-k)!}$$

Výsledný počet kombinací je:

$$\text{Výsledný počet kombinací} = \sum_{k=1}^3 C'_k(n)$$

Příklad:

Pro: $n = 3$; $k = 1$

$$C'_1(3) = \binom{3+1-1}{1} = \binom{3}{1} = \frac{3!}{1!(3-1)!} = \frac{6}{2} = 3$$

Pro: $n = 3$; $k = 2$

$$C'_2(3) = \binom{3+2-1}{2} = \binom{4}{2} = \frac{4!}{2!(4-2)!} = \frac{24}{4} = 6$$

Pro: $n = 3$; $k = 3$

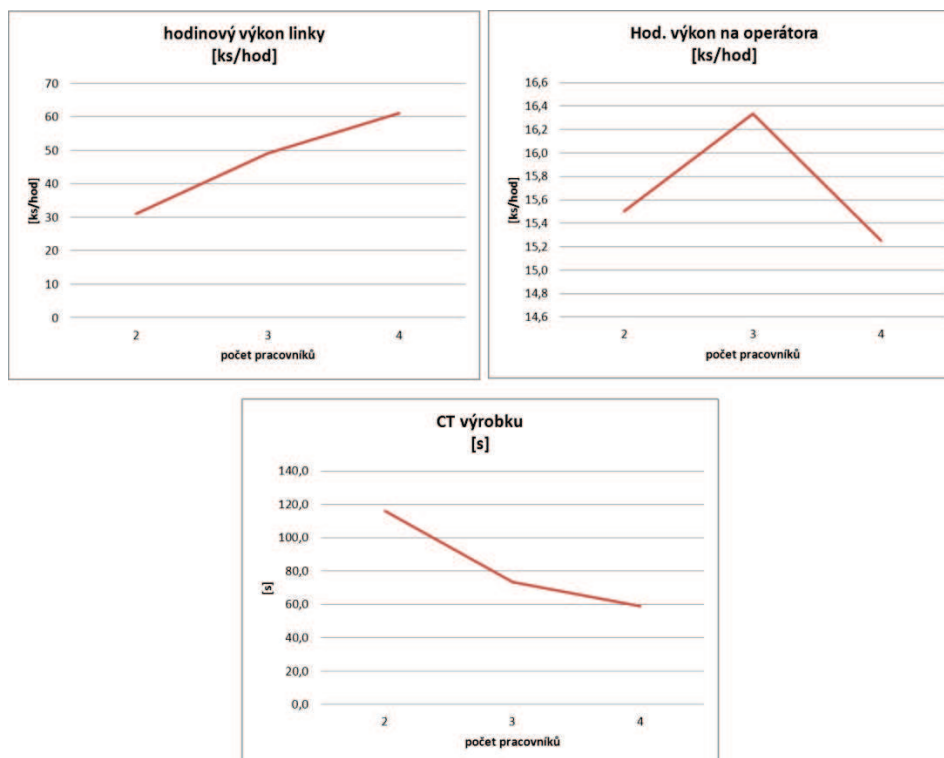
$$C'_3(3) = \binom{3+3-1}{3} = \binom{5}{3} = \frac{5!}{3!(5-3)!} = \frac{120}{12} = 10$$

$$\text{Počet kombinací} = \sum_{k=1}^3 C'_k(n) = C'_1(3) + C'_2(3) + C'_3(3) = 3 + 6 + 10 = \mathbf{19}$$

Linka je koncipována tak, že je na ní možné vyrábět s 2; 3; 4 pracovníky ve třísměnném provozu. Denní výrobní plán je možné sestavit 19 možnými kombinacemi, viz *Tabulka 3* část, kdy platí $N=3$. Denní produkované množství může být 233 ks při dvou zaměstnancích až po 1373 ks při celkem 12 zaměstnancích. Hodnoty dosahovaných výkonů jsou, viz *Tabulka 2*:

počet pracovníků	hodinový výkon linky [ks/hod]	Hod. výkon na operátora [ks/hod]	CT výrobku [s]
2	31	15,5	116,1
3	49	16,3	73,5
4	61	15,3	59,0

Tabulka 2 Hodnoty výkonu pro pracovní modely – [vlastní zdroj]



Obr. 20 Grafické znázornění položek pro pracovní modely – [vlastní zdroj]

Dílčí závěr

Tento příklad koresponduje s běžným vývojem ukazatelů, hodinový výkon, hod. výkon na operátora a CT výrobku dle výrobního modelu. Je nutno si uvědomit, že linka by měla být koncipována tak, aby byl nalezen jeden model s daným počtem zaměstnanců, který je nejvýhodnější. Další možné varianty výroby s jiným počtem zaměstnanců, jsou pouze doplňkem, aby byla zaručena flexibilita.

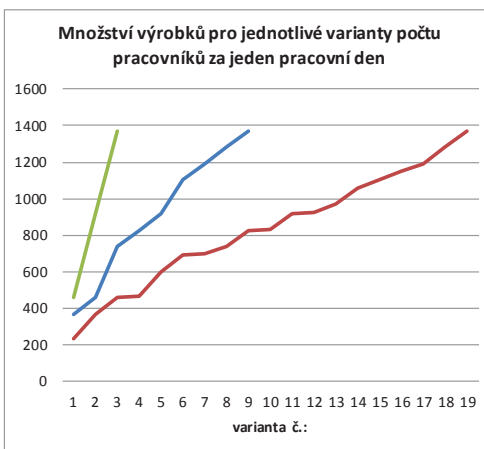
Jak je zřejmé z

Obr. 19, linka je koncipována do tvaru „U“, který umožňuje nejlépe aplikaci výrobu s různým počtem zaměstnanců. Tabulka 2 a na Obr. 20 jsou shrnuty hodnoty dosahovaných výsledků pro jednotlivé varianty obsazenosti linky. Nejvýhodnější (základní) rozložení pracovníků je varianta se 3 pracovními pozicemi. Pro tuto variantu jsou výkonnostní parametry nejlepší z pohledu produktivity práce, kdy jeden pracovník může vyrobit 16,3 ks/hod. Maximální počet kusů za hodinu ve třech pracovnících je 49 ks. Pokud je požadavek na okamžité navýšení výkonu, je možné začlenit do linky čtyři pracovníky. Potom je průměrný počet kusů za hodinu a pracovníka nižší 15,3 ks (pokles výkonu o více než 6 %). Na druhé straně je zde požadovaný nárůst produkovaného množství za hodinu z původních 49 ks na 61 ks (při nárůstu počtu zaměstnanců ze 3 -> 4 a poklesu produktivity je nárůst produkovaného množství o 19,6 %). Tím je spojen i pokles CT, díky rychlejší produkci.

Při požadavku na dočasný útlum výroby je možné reagovat snížením počtu zaměstnanců. V tomto případě pokles produktivity práce bude nižší než v případě se čtyřmi pracovníky,

a to 4.9%. Počet kusů, které je možné vyrobit za hodinu poklesne na 31ks z 49 ks (pokles je 36,7 %, při snížení počtu pracovníků ze 3 -> 2).

počet kombinací	Směna			Celkem pracovníků za den	Celkem ks/den	CT _{TP}	
	1	2	3				
	Počty pracovníků ve směně						
N = 1	1	4	0	0	4	458	177
	2	4	4	0	8	915	89
	3	4	4	4	12	1373	59
N = 2	1	3	0	0	3	368	220
	2	4	0	0	4	458	177
	3	3	3	0	6	735	110
	4	3	4	0	7	825	98
	5	4	4	0	8	915	89
	6	3	3	3	9	1103	73
	7	3	3	4	10	1193	68
	8	3	4	4	11	1283	63
	9	4	4	4	12	1373	59
N = 3	1	2	0	0	2	233	348
	2	3	0	0	3	368	220
	3	4	0	0	4	458	177
	4	2	2	0	4	465	174
	5	2	3	0	5	600	135
	6	2	4	0	6	690	117
	7	2	2	2	6	698	116
	8	3	3	0	6	735	110
	9	4	3	0	7	825	98
	10	2	2	3	7	833	97
	11	4	4	0	8	915	89
	12	2	2	4	8	923	88
	13	2	3	3	8	968	84
	14	2	4	3	9	1058	77
	15	3	3	3	9	1103	73
	16	2	4	4	10	1148	71
	17	4	3	3	10	1193	68
	18	4	4	3	11	1283	63
	19	4	4	4	12	1373	59



Tabulka 3 varianty pracovníků s denními výkony – [KP Janovice]

Variování s počtem pracovníků a jak je vidět z příkladu zhoršení produktivity => zvýšení mzdových nákladů na kus, musí být kompenzováno jinde. Například nižšími náklady na chod linky, udržení technologií v provozu, eliminace nákladů na přesčasovou práci atd.

Podle možností, které jsou dány možnými kombinacemi pracovníků v lince je zřejmé, že je možné během tří směn (jeden den) pracovat v lince od 2 zaměstnanců až po plné naplnění to je 12 zaměstnanců. Jednotlivé varianty s výkony jsou sepsány viz Tabulka 3. Tato flexibilita umožňuje nejen řídit vyráběný objem, ale i napomáhá jednodušší práci s plánováním lidských zdrojů.

Tabulka 3 znázorňuje nárůst možných kusů za den pro varianty N = 1; 2; 3. Z tabulky je patrné, že pro variantu, kde není možné variovat s pracovníky N = 1 je možné měnit výkonnost linky pouze třemi způsoby pro variantu N = 2 deseti a pro variantu N = 3 až devatenácti způsoby. Čím je křivka hladší a méně strmá, tím je systém schopen plynuleji pokrývat požadavky na výstup variováním počtu pracovníků.

V běžné praxi není obvyklé využívat celou škálu variant, protože je snahou o dodržení co nejdelší kontinuity nastavení. Praxe ukazuje, že nejvýhodnější je, když takt zákazníka TT se pohybuje mezi 130 – 140 % CT_{TP} viz kapitola 7.3.1. Větší počet variant dává plánovačům větší volnost při plánování obsazenosti linek. Pokud se zaměříme na

flexibilitu lidských zdrojů z perspektivy celého závodu, či oddělení, pak vhodným plánováním lze dosáhnout značných úspor ve mzdových nákladech.

6.3 Velikosti ploch a jejich poměry

Pozornost je zaměřena na hodnocení kvality montážní linky z pohledu jejího prostorového uspořádání a uspořené místo.

- úspora plochy je dílčím kritériem pro hodnocení kvality montážní linky.
- úspora plochy má význam např. při porovnávání dvou technologicky odpovídajících variant uspořádání montážní linky.

Layout – prostorová struktura

Layout montážní linky¹⁹ se skládá z ploch, které slouží k uskutečňování výrobního záměru. Jedním z důležitých ukazatelů při návrhu rozložení linky je co nejvyšší využitelnost prostoru. Zpravidla je plocha, na níž se nachází linka, tvořena souborem výrobních, skladovacích, transportních a ostatních ploch.

Před vyhodnocováním změny linkou zabrané plochy, je nutno definovat skupiny ploch, které odpovídají předem stanoveným požadavkům. Základním rozdělením je členění do skupin, kde vzniká a kde nevzniká přidaná hodnota a jaký účel daná plocha v rámci systému má.

Plochy můžeme rozdělit:

Plochy, na kterých vzniká přidaná hodnota: Při výrobě dochází k tvorbě hodnoty, která je uskutečňována na plochách, kde vzniká přidaná hodnota.

- **P_{VZ} - Výrobní zařízení**

Na tomto místě fyzicky dochází ke zpracování surovin a dílů na výrobek.

Jedná se o stroje a strojní zařízení²⁰, stoly, pracovní stojany, držáky samostatně stojící na zemi (zabírající půdorysnou plochu), robotická pracoviště apod.

- **P_V - Pohyb operátora**

Plochy, kde se zaměstnanec pohybuje²¹. Je to prostor, který je určen k vykonávání operací při výrobě. Na těchto místech se zaměstnanec pohybuje za účelem uskutečnění výrobního

¹⁹ Montážní linku lze v základním tvaru chápat jako tandemovou síť hromadné obsluhy, jejíž jednotlivé prvky jsou tvořeny systémy. Doc. RNDr. Gejza Dohnal, CSc., České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní, Ústav technické matematiky, Karlovo nám. 13, 121 35 Praha 2; modelování montážní linky; MŠMT 1M06047 - CQR

²⁰ Definice: **Stroj** je systém mechanismů, které ulehčují a nahrazují fyzickou práci člověka.

Stroj je technické zařízení, které přeměňuje jeden druh energie nebo síly v jiný - ať už kvalitativně nebo kvantitativně. Původně byly stroje jen mechanické, ale dnes se tak označují i zařízení pracující na jiných fyzikálních či technických principech - například elektrický transformátor. <http://cs.wikipedia.org/wiki/Stroj> 12/12/2011

Systémová definice:

Výrobní stroj je uměle vytvořená dynamická soustava, sloužící k realizaci úkonů technologického procesu-vedoucího k trvalému přetvoření výchozího materiálu.

procesu v rámci operací s ním souvisejících. Jedná se o výrobu, přecházení mezi operacemi či přenos dílců.

Plochy, na kterých nevzniká přidaná hodnota: můžeme rozdělit na **pomocné plochy** a na **plochy nevyužité**.

Pomocné plochy: místa nutná k uskutečňování výrobního procesu. Jejich minimalizace je možná, ale nelze je eliminovat v plné míře.

- **P_{TR} - Transport**

Účelně uspořádaný množiny transportních prostředků a zařízení určených pro přepravu výrobků.

- **P_S - Skladování**

Skladování dílců vyjma transportní plochy. Slouží pro skladování rozpracované výroby, hotových výrobků, balení, pomocného materiálu, odpadů atd. Její velikost je závislá na nadefinování výrobního toku, výrobních dávek, velikosti výrobků apod. Dále souvisí s balením (množstvím dílů v něm uložených), které je použito, jestli je sklad řízený nebo neřízený apod.

- **P_K - Kontrola**

Kontrola kvality výrobků, zaměstnancem nebo automaticky za pomoci měřících zařízení, robotů apod.

- **P_{TE} - Manipulační prostor**

Prostor nutný pro správnou a bezpečnou manipulaci s výrobkem.

Plochy nevyužité (vzniká ztráta): plochy ovlivněné rozložením výrobního zařízení a technologií jako takovou. Jestliže diskrétní systém je sestaven jako kompaktní výrobní buňka, tak další výrobní buňka by měla být umístěna tak, aby plochy neproduktivní byly minimální.

- **P_T – Technická plocha**

Slouží pro přístup ke strojům a zařízením zaměstnanci, z důvodu oprav, seřízení, nastavení a podobně.

- **P_O- Ostatní plocha**

Uložení ochranných pomůcek a zařízení (bezpečnost a ochrana zdraví), nezbytných věcí spojených s cyklickými úkoly mimo výrobní takt pracoviště (v zahraničních firmách

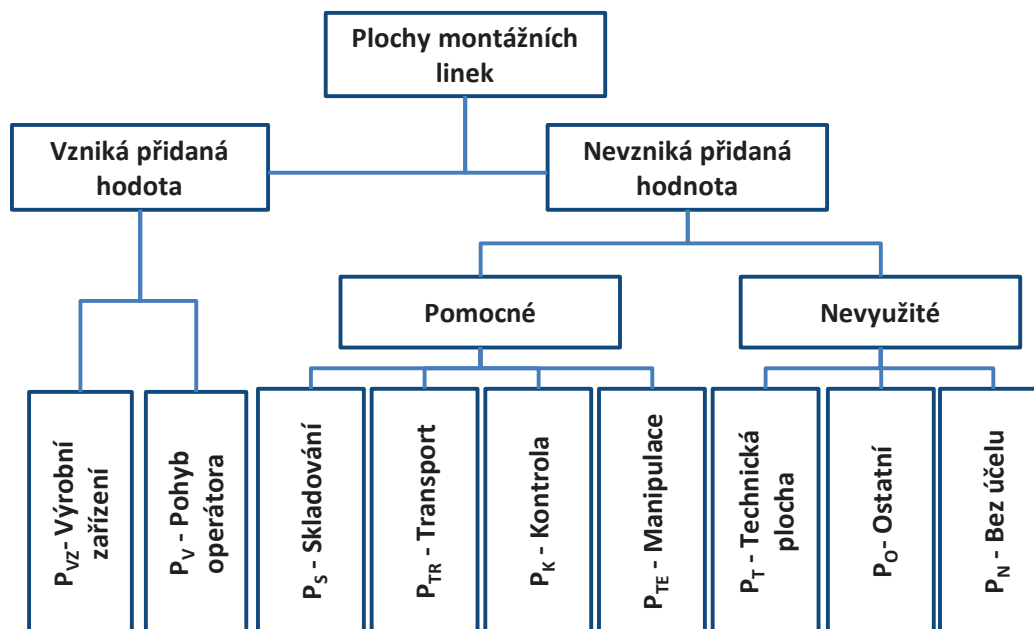
²¹ 361/2007 Sb. NAŘÍZENÍ VLÁDY ze dne 12. prosince 2007, kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci ve znění nařízení vlády č. 68/2010 Sb. §47 Objemový prostor Objemový prostor dle zařazení do třídy IIIa je pro operátory poloautomatických strojů je 15m³.

§48 Rozměry podlahové plochy Pro jednoho zaměstnance musí být v prostoru určeném pro trvalou práci volná podlahová plocha nejméně 2 m², mimo stabilní provozní zařízení a spojovací cesty. Šíře volné plochy pro pohyb nesmí být stabilním zařízením v žádném místě zúžena pod 1 m

používaný termín Cycle Time – CT) a také se může jednat o informační tabule linky (vizuální management), uchovávání vzorových dílců (kvalita) apod.

- P_N – Bez účelu

Prostor, který z pohledu montážního systému nemá využití. Jedná se o nadlimitní prostory pohybu zaměstnanců, různá zákoutí apod.



Obr. 21 Rozdělení ploch montážních linek [vlastní zdroj]

Plocha obsazená výrobním zařízením

Plocha určená pro realizaci úkonů, které přináší přidanou hodnotu. Do této skupiny je možné zahrnout veškeré výrobní prostředky, jako jsou stroje, strojní zařízení, montážní přípravky, dále stoly, kde dochází k montáži dílců či jinému procesnímu zpracování apod. Do této plochy je nutno zahrnout i prostor práce robota, který je vyčleněn k pohybům nutným pro uskutečňování výrobního záměru. Robotizovaná pracoviště mají zpravidla vyhrazený prostor, který je nejen pracovním prostorem robota, ale obsahuje i plochy, které jsou nutné z pohledu bezpečnosti práce obsluhy, anebo vyplývají z koncepce rozložení pracoviště. To platí obecně pro všechna pracoviště. Prostor výrobního zařízení je vše, co je nutné k funkci vytváření přidané hodnoty.

Jestliže procesní zpracování je obrábění obrobku na soustruhu, tak výrobním zařízením se rozumí celý soustruh. Pokud mluvíme o montáži dílců, tak výrobním zařízením rozumíme celý stůl i s montážním přípravkem.

Plocha pohybu zaměstnanců

Pokud se jedná o linku, kde jsou prováděny operace lidmi, pak je nutné, aby zaměstnanci měli dostatečný prostor pro vykonávání svých pracovních úkonů. Prostor musí být v dostatečné velikosti, aby zaměstnanec mohl vykonávat práci bez negativních vlivů na hygienu a bezpečnost práce a na kvalitu výrobku. Velikost pracovního prostoru je normovaná pro celou řadu pracovních úkonů (Pro ergonomickou úpravu pracovních

prostředků a pracovních stanovišť jsou nezbytné znalosti o anatomických charakteristikách budoucích uživatelů. Z nich vychází konstrukce pracovního nábytku, sedadel, strojů, rozmístění ovladačů v prostoru atd.). Pro práci vsedě i vestoje existuje celá řada studií, které definují vhodný pracovní prostor a zatížení. Výsledkem nevhodného uspořádání pracovišť je rychlejší nástup únavy, různé poruchy pohybového ústrojí, jako nemoci z nadměrného jednostranného a opakovaného zatížení, kloubní poškození a v neposlední řadě zvýšený výskyt pracovních úrazů.

Plocha, po které se zaměstnanec pohybuje, by měla odpovídat potřebám výrobního toku. Pokud možno by měla být navržena tak, aby spojnice mezi jednotlivými pracovišti, mezi kterými zaměstnanec přechází, byly co nejkratší. Měla by být navržena tak, aby se zaměstnanec na ní mohl pohybovat bez obtíží a mohl na ní vykonat běžné pohyby, i ty, které nejsou přímo svázané s pracovním úkonem (například: klek, ohnutí, apod.). Také je nutno brát v úvahu i přístupnost místa v případě nutnosti (případ úrazu apod.).

Velikost prostoru je odvislá nejen od technologie zpracování a výroby výrobků, od velikosti produkovaných dílců, ale i z pohledu bezpečnosti a hygieny práce.

Plocha transportu materiálu, dílů a výrobků

Jedná se o plochu, kde jsou účelně uspořádány množiny transportních prostředků a zařízení. Místo, kudy se dostávají výrobky z jednoho místa na druhé (interní logistický systém). Jedná se o dopravníky, skluzy, různé manipulátory atd. U velkých výrobních zařízení je možné vidět i rozložení dopravníkových systémů v prostoru (3D). Převážně se to týká velkých dopravníkových systémů, kdy přenos výrobků v jedné úrovni by příliš zabíral místo (transportní plochu), anebo by byla ohrožena bezpečnost pracovníků.

V rámci logistického toku existuje pohyb proti toku výroby. V praxi to může být pohyb vratných obalů, které jsou naplněny a po spotřebování obsahu dochází k jejich zpětnému poslání do místa plnění. Jako příklad můžeme použít vratné lahve či pro průmysl (např. automobilový) vratné obaly dílů.

Výhody: Dopravníkové systémy umožňují transport dílců nebo sestav na větší vzdálenosti, aniž bychom museli přidávat ztrátový pracovní čas zaměstnance přenášejícího díly. Transport je bezpečný a plynulý jak z pohledu dílu, tak z pohledu pracovníka. Eliminuje se negativní dopad na zaměstnance, spojený s přenášením břemen. Snižuje se tím ergonomická zátěž. Dopravníkové systémy se mohou shlukovat do komplexních provázaných řetězců. Do jisté míry mohou usnadnit tvorbu linek.

Nevýhody: Dopravníky slouží i jako mezisklad rozpracované výroby mezi pracovišti. To pak ztěžuje držení minimální skladové zásoby rozpracovaných dílů (One Piece Flow). V některých případech není možné tyto vzdálenosti zkrátit. To platí zejména pro linky, kde strojní zařízení jednoduché přemístění neumožňuje. Tím nám vznikají kritická místa, která vytvářejí místní omezení. I přes poněkud snadnější tvorbu linek mohou dopravníkové systémy velikost linek zvětšovat.

Plocha pro skladování

Z procesního i technologického pohledu je nutné, aby byl neustálý přísun a odvoz

materiálu, a tím zaručena plynulá výroba. V ideálním případě by se měl nacházet v místě potřeby vždy jeden díl, který by se měl zpracovávat. Z praktického hlediska to není vždy výhodné nebo možné (logistické náklady). Proto je nutno část výrobního řetězce pokrýt zásobou, která bude minimální, nicméně dostatečná natolik, aby zajistila plynulost výroby a zároveň z pohledu ergonomie výroby pokryla případné nepravidelnosti (iregularity – prostoje, poruchy apod.) výrobního procesu. To platí i pro rozpracovanou výrobu, nejen z výše zmíněných důvodů, ale i z pohledu kvalitativního. Logistický systém by se měl vyznačovat integrací - spojováním vazeb a prvků systémů, sjednocováním vlastností a parametrů pro zvýšení konzistence a homogenity.

Prostory pro skladování je možné dělit do skupin dle skladované komodity, jako například:

- **Uložení vstupního materiálu**
- **Rozpracované výroby**
- **Hotových výrobků**
- **Obalového materiálu**
- **Odpadu a pomocného materiálu**

Pro skladování hotových výrobků se zpravidla používá na konci výrobního toku balení, po kterém je výrobek odvážen zákazníkovi. Někdy je možné se setkat i s balením, které je pouze mezioperační a je většinou konstruováno s ohledem na balancování linky tak, aby balení výrobků do finálního balení bylo prováděno jinou složkou, než jsou zaměstnanci v lince (např. zaměstnanci určení pro přepravu hotových výrobků). Tím je odebrán jistý úkon a celkový objem prací, který je nutno vykonat při výrobě, je snížen právě o tento úkon. Tím se mohou redistribuovat pracovní úkony mezi zaměstnance bez této části a balancování linky se provádí na základě nižšího celkového cyklu výroby.

Plocha, kde se provádí kontrola výrobků

Kontrola je nezbytnou součástí výroby, proto má většina výrobních a montážních linek vyčleněn prostor, kde se kontrola provádí. Na tomto místě není vytvářena přidaná hodnota. Může se jednat na jedné straně o zcela automatizované pracoviště, nebo pracoviště manuální. Z pravidla se kontrola provádí pomocí přípravků a nástrojů k tomu určených. Pokud je kontrola prováděna za pomoci robota, tak plocha určená pro kontrolu je celý úsek vyhrazený pohybům robota. Jedná se o kontrolní stanice určené pro kontrolu, sledování a testování předem daných parametrů, za účelem validace kvality výrobku, požadované zákazníkem.

Manipulační plocha

Je to místo výrobní (montážní) linky, které slouží pro manipulaci s výrobkem při zpracování. Jestliže je výrobek rozměrný, pak je nutno přidat do layoutu pracoviště plochu, která nám umožní bezpečnou manipulaci (mimo plochu pohybu operátora) s tímto výrobkem. Tento prostor je možné do jisté míry eliminovat i vhodnou manipulací s výrobkem.

Technická plocha

Pro dobrou dostupnost ke strojům a zařízením je nutno do layoutu začlenit místa, která umožní jak obsluhu, tak údržbě bezproblémový přístup. Tento prostor lze zpravidla eliminovat velice obtížně. Nicméně je snaha, aby takovýto prostor mohl být sdílen i více stroji a jeho využití bylo větší. Toho se dosáhne například rozestavením strojního zařízení v lince tak, že přístupová místa ke strojům jsou nasměrována na tuto plochu za účelem jejího sdílení. Nebo je možné i různé linky komponovat vůči sobě s tím efektem, že technické prostory těchto linek se mohou sdílet.

Ostatní plocha

Plochy, které jsou začleňovány do linek a neslouží přímo výrobě, ale jsou nutné z pohledu zaměstnance a jeho výkonu. Jedná se o místa s informacemi o výsledcích procesu, bezpečnostními pokyny a podobně. Často jsou na těchto místech organizovány krátké porady před započítáním práce nebo v případě řešení obtíží. Dále slouží tato místa k uložení úklidových prostředků, ochranných pomůcek, případně osobních věcí atd. Tvar, velikost a umístění je zpravidla standardizováno. Tato místa do jisté míry korespondují s firemní kulturou a zvyklostmi.

Plocha bez účelného využití – bez účelu

Neslouží k žádnému účelu - různá zákoutí, nevyužitá místa apod. Jsou to plochy ve značné míře ovlivněny rozložením výrobního zařízení a technologií jako takovou. Snahou je maximální eliminace těchto ploch. Z pohledu celopodnikového se může jednat i o plochy, kde není umístěna žádná technologie.

Postup výpočtu zabrané plochy

Nejjednodušším kvantifikováním zabrané plochy je pouhé sečtení ploch náležících danému výrobnímu systému (určeného výrobním procesem). Tím dostaneme celkovou velikost plochy, kterou jsme si definovali jako plochu určenou pro určitý výrobní systém. Pokud přistoupíme k přestavbě tohoto výrobního systému, tak opětovným sečtením ploch dostaneme číslo, které můžeme porovnat s původní hodnotou pro původní systém (jako procentuální změnu). To je nejčastější způsob, jakým je vyhodnocována změna zabrané plochy (prosté porovnání celkové plochy před a po změně). Taková hodnota popisuje, jestli došlo při změně k celkové úspoře plochy. Případnou uspořenou plochu je možné použít pro jiný účel v rámci jiného výrobního systému. Po dobu, kdy nebude tato plocha využita, je nutno pohlížet na ni jako na stav před změnou (nicméně, při předpokladu, že došlo k efektivnější výrobě, finanční přínos změny je možné určit i z jiných hledisek).

Před vyhodnocováním ploch podle jejich využití, je nutno plochy kvantifikovat. Pak je možné sumarizovat velikost zabraného místa podle kategorií. Tím je možné vytvořit obraz linky podle využití výrobních ploch. Tak dostaneme lepší informaci o změně, jak se mění poměr nejen celkové velikosti plochy, ale i poměr ploch s přidanou a bez přidané hodnoty vůči celku nebo mezi sebou. To je důležitá informace, jestli změna byla provedena efektivně a dále, jakého stupně změny jsme dosáhli.

1) Kategorie ploch

Je možné rozdělení do kategorií podle užití plochy (v praxi by bylo možné si definovat jiné kategorie, podle jiného klíče). Pokud zvyklosti a praxe vyžadují jiný pohled na toto rozdělení, tak z pohledu plastičnosti celého konceptu je to možné. Je nutno přitom dodržet jednotnou linii definice.

2) Váhy kategorií ploch

Každá plocha má z finančního hlediska jinou důležitost v rámci celku. Ne vždy je nezbytně nutné definovat důležitost podle finančního přínosu, ale nastavením priorit je možné zohlednit váhu plochy ve vyhodnocovacím procesu.

3) Přiřazení ploch do kategorií, podle účelu využití

Zmapování rozložení již skutečného (nebo plánovaného) rozložení ploch je prvním krokem k určení **Procentuálnímu Vyčíslení Zabrané Plochy**. Plochy jsou přidělovány do kategorií dle svého účelu využití. Vhodné je barevné rozlišení ploch a následné zakreslení do layoutu.

4) Sumarizování ploch se stejným účelem využití

Jestliže máme plochy rozdělené do kategorií, je nutno je sečíst podle těchto kategorií. Tím se zjistí velikost kategorií v rámci celku.

5) Sumarizování celkové plochy

Součet velikostí jednotlivých kategorií je celková plocha layoutu.

$P_{celková}$ – je celková plocha určená pro uskutečňování výrobního záměru. Je to součet všech ploch, které fyzicky náleží do definovaného výrobního systému.

$$P_{celková} = (\sum P_{VZ} + \sum P_V) + (\sum P_S + \sum P_{TR} + \sum P_K + \sum P_{TE}) + (\sum P_T + \sum P_O + \sum P_N)$$

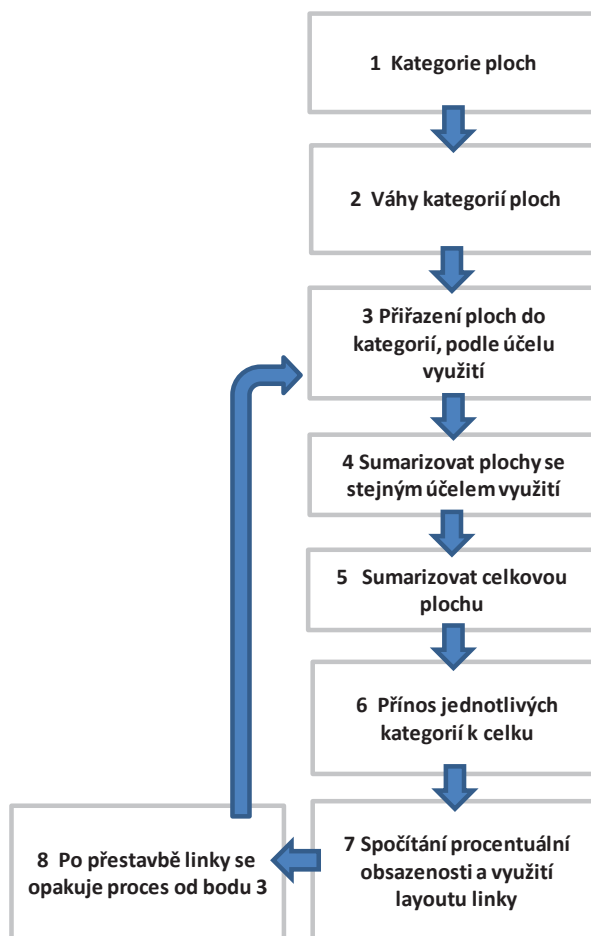
6) Přínos jednotlivých kategorií k celku

Každá skupina je ohodnocena váhou podle své důležitosti. Takto stanovené hodnoty umožňují kvantifikovat důležitost podílů vzhledem k celku. Tím vznikne pořadí, které zohledňuje velikost plochy vzhledem k celku. Toto pořadí (podíly jednotlivých kategorií) se díky různým vahám může lišit oproti prosté sumarizaci ploch.

7) Spočítání procentuální obsazenosti a využití layoutu linky

Procentuální obsazenosti plochy se rozumí podíl dílčích ploch vůči celkové ploše montážního systému.

Po přestavbě linky se opakuje proces od bodu 3. Pro určení velikosti změny se postup opakuje stejným systémem pro novou variantu layoutu a výsledky se pak navzájem porovnávají. Všechny podmínky zavedené v bodech 1 a 2 musí zůstat nezměněné, aby byla zachována konzistentnost výpočtu.



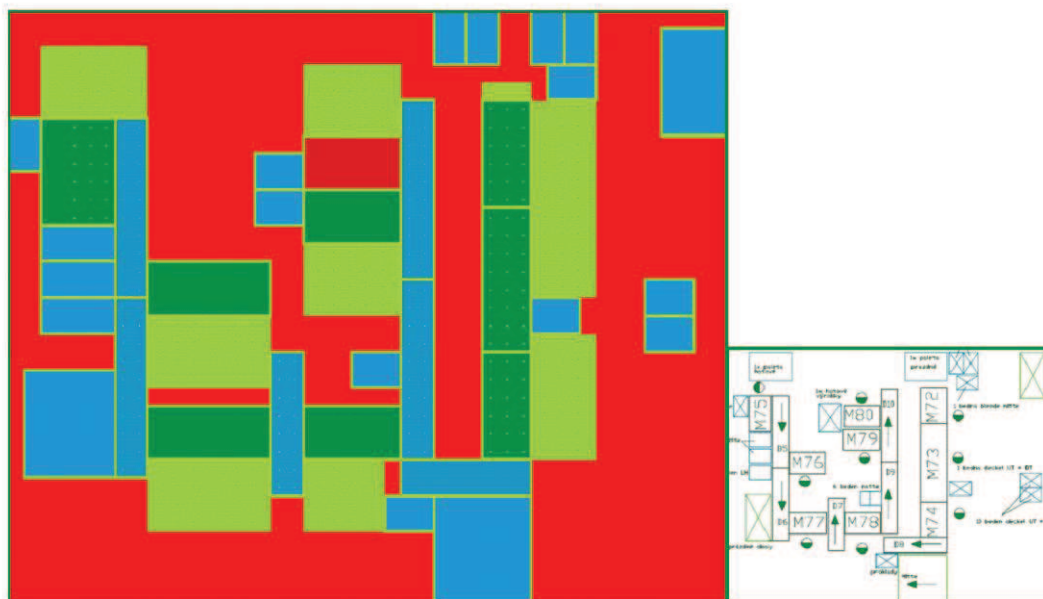
Obr. 22 Postup výpočtu zabrané plochy [vlastní zdroj]

Případové studie

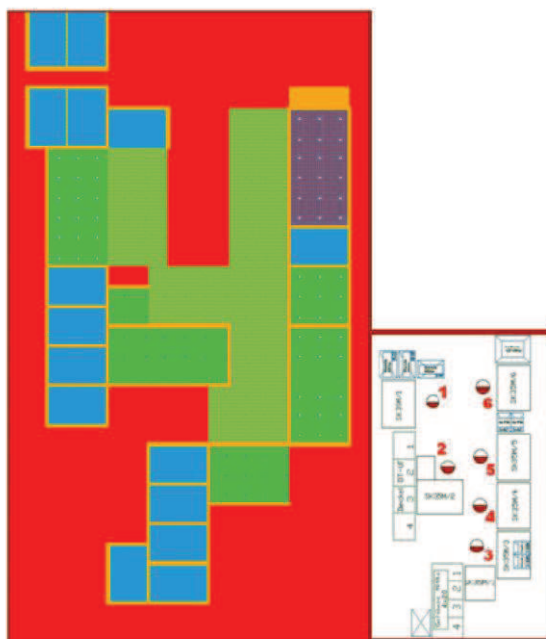
V prvním kroku se nadefinují skupiny ploch, například podle *Obr. 21 Rozdělení ploch montážních linek* [vlastní zdroj].

Jako případ můžeme použít montážní linku sloužící pro kompletaci kinematických jednotek pro automobilový průmysl.

	Původní rozestavení	Nové rozestavení
Velikost [m ²]:	49	30
Směnnost:	2	3
Počet operátorů	18	18
Počet vyrobených kusů za den:	1500	1500
Počet vyrobených kusů za směnu:	750	500
Velikost průběžné zásoby [Kč]:	30 000	10 500



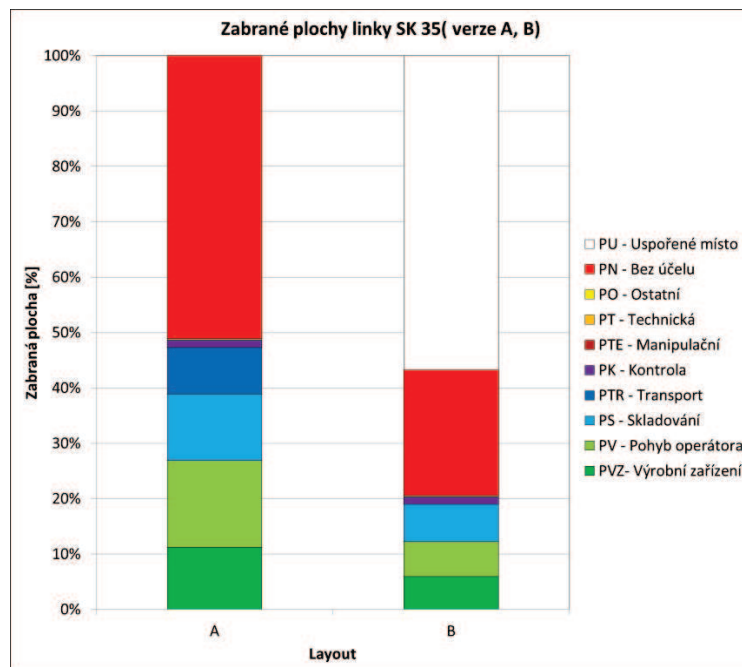
Obr. 23 Původní rozestavění montážní linky (varianta „A“) [vlastní zdroj]



Obr. 24 Nový návrh montážní linky (varianta „B“) [vlastní zdroj]

			Varianta ->			
			A	B	Změna	
			%	%	%	
Plochy montážních linek	Vzniklá přidaná hodnota	P _{VZ} - Výrobní zařízení	11%	6%	47%	
		P _V - Pohyb operátora	16%	6%	60%	
	Nevezniká přidaná hodnota	Pomocné	P _S - Skladování	12%	7%	44%
			P _{TR} - Transport	8%	0%	100%
			P _K - Kontrola	1%	1%	0%
			P _{TE} - Manipulační	0%	0%	0%
		Nevyužité	P _T - Technická	0%	0%	0%
			P _O - Ostatní	0%	0%	0%
			P _N - Bez účelu	51%	23%	56%
			P _U - Uspořené místo	0%	57%	0%
				100%	100%	0%

Obr. 25 Procentuální zastoupení ploch před a po změně vzhledem k původní podobě linky [vlastní zdroj]



Obr. 26 Zabrané plochy před a po přestavbě [vlastní zdroj]

Změna velikosti celkové plochy je znázorněna na Obr. 26. Zabrané plochy před a po přestavbě. Velikost původní plochy se zmenšila z celkových 49 m² na 30 m². Úspora plochy činí 38,77 %. Změna jednotlivých ploch před a po změně je znázorněna v tabulce

Tab. 1 Procentuální zastoupení ploch před a po změně vzhledem k původní podobě linky, ve sloupci „Změna“.

Sumarizace ploch pomocí elektronické podpory

Jako podklad pro výpočet ploch ve většině moderních závodů slouží CAD výkres. Pokud není k dispozici software, který by počítal jednotlivé plochy, pak je nutné tyto plochy počítat jiným způsobem. Pro účely této disertační práce byl použit software firmy Microsoft Excel. Do graficky zpracovaného layoutu, nejlépe CAD softwaru, který byl vložen, jako pozadí listu byly zakreslovány (vybarvovány) barevně plochy podle účelu využití. Ty se pak pomocí funkce Excelu přenáší a přepočítávají v tabulce, která slouží jako celkový sumář ploch pro daný layout.

Postup při počítání ploch pomocí Microsoft Excel.

- Vytvoření tabulky, která obsahuje buňky:

Buňka 1	název
Buňka 2	hodnota a barva pro lepší vizualizaci
Buňka 3	suma (obsahuje vzorec = COUNTIF (měřený layout; odkaz na buňku 2)
Buňka 4	Přepočet buněk na plošnou míru.

- Přenesení podkladu layoutu do Excelu.

Uložený layout v podobě obrázku je funkcí *Rozložení stránky – Vzhled stránky- pozadí*, přenesen do aktuálního listu v Excelu.

- Kvantifikace ploch

Přenesením obsahu buňky 2 do prostoru, kde se nachází v layoutu (podklad) plocha odpovídající specifikaci (Buňka 1). Po vyplnění všech buněk v layoutu příslušnými barvami je kompletně doplněna tabulka obsahující velikosti dílčích ploch.

Mechanismus zakreslování a počítání ploch viz příloha: *str.: 10; název: Metodický postup kvantifikace ploch.*

Dílčí závěr

Tímto rozdělením je možné posuzovat nejenom celkovou změnu velikosti zabrané plochy, ale i změny jednotlivých dílčích ploch vůči sobě. Tím je umožněná kvantifikace ze širšího úhlu pohledu na jednotlivé skupiny nejen v rámci jedné linky, ale i například v rámci celé dílny, oddělení, závodu atd. Tím je možné vytvořit ucelený přehled struktury rozdělení ploch v rámci vybraného úseku. Při změnách tak nejen vedoucí pracovníci, ale i tvůrci linek mohou lépe chápat změny a výsledné podoby globálně. Vizualní podoba napomáhá lépe si uvědomit rezervy a možnosti pro lepší využití plochy (prostoru).

Tato prostá kvantifikace ploch není a ani nemůže být jedinou rozhodovací podmínkou v rozhodovacím procesu. Již při návrhu je nutno včlenit do procesu rozhodování další parametry, na základě kterých je možno rozestavení přesněji ohodnotit. K takovým parametrům se řadí rozložení výkonu v čase, množství a velikost ztrátových časů obsluhy ve vztahu k distribuci pracovních úkonů, schopnost variovat s počtem pracovníků v lince, velikost průběžné skladové zásoby atd.

6.4 Logistika výrobního systému

Každá výroba sebou nese i nutnost přenášení výrobků v různých stupních rozpracovanosti mezi pracovišti, tak zvanou mezioperační dopravu²² (u buňkové výroby, kdy je celý výrobek vyráběn na jednom místě, přenášení rozpracované výroby není relevantní). V anglosaských zemích se této zásobě říká Work In Process – rozpracované výroba. Na tuto zásobu (rozpracovanou výrobu) je nahlíženo z pohledu Lean Production strategie jako na ztrátu, kterou je nutno eliminovat a to z několika důvodů:

- vázané **peníze** v zásobách
- **kvalitativní pohled**, kdy při zjištění chyby je nutno překontrolovat a případně opravit celou rozpracovanou výrobu až k místu vzniku chyby
- Pohled **5S** filozofie, kdy přehlednost a uspořádanost pracoviště je lepší při menším počtu věcí na pracovišti

Podniky typu velkosériové a hromadné výroby obvykle zavádějí pro zvýšení efektivity systémy JIT - tzv. bez-skladové hospodářství.

V montážních linkách je materiál dopravován v průběhu výrobního procesu na daná místa pomocí různé přepravní techniky, jako jsou dopravníky, manipulátory apod. V převážné většině případů jde o jasně definované materiálové toky, kde způsob manipulace, manipulační prostředky a další zařízení, mají vliv na velikost skladové zásoby [9].

Hlavní úkoly výrobní logistiky z hlediska materiálových toků tkví zejména [38]:

- stanovením potřeb všech materiálů a surovin potřebných pro realizaci výrobního a montážního procesu
- přípravou správného sortimentu materiálu, součástí, dílů, montážních celků, polotovarů a surovin
- vychystáním požadovaného sortimentu v potřebném množství
- přemístěním sortimentu na příslušné místo (na výrobní nebo montážní pracoviště, kontrolu, do skladu apod.)
- předáním příslušných položek sortimentu na určeném místě v požadovaném termínu (čase)
- realizací materiálového toku s nejnižšími možnými náklady

²² Mezioperační doprava a manipulace s materiálem představuje poměrně širokou oblast, která zahrnuje veškerý přesun surovin, zásob ve výrobě a pohyb hotových výrobků v rámci výrobního podniku včetně vstupního a výstupního skladu. Hlavním cílem mezioperační dopravy a s tím související nutné manipulace s materiálem je zajištění co nejplynulejšího materiálového toku a dosažení plynulého průběhu výrobního procesu. Mezioperační doprava se uskutečňuje mezi jednotlivými technologickými a kontrolními pracovišti a mezioperačními skladovými místy. Dopravní proces končí ve výstupní kontrole a expedici, kde je výstup celého výrobního systému (Preclík, 2006).

6.4.1 Přepravní výkon v rámci výrobního procesu

Přepravní výkon popisuje jak „tečou“ suroviny procesem a to od vstupní suroviny až po finální výrobek. Řízení toku materiálu, zahrnuje správu surovin, součástek, vyrobených dílů, balicích materiálů a zásob ve výrobě. V různých fázích výroby je monitorován sled pohybu materiálu a jeho intenzita. Efektivního toku je charakterizován plynulostí bez zpětných pohybů, křížení a oklik.

Analýza toku materiálu [6] je nedílnou součástí tvorby každého výrobního systému, ať už se jedná o náklady spojené s přepravováním, anebo s manipulací. Pokud se nezabezpečí efektivní a účinné řízení toku materiálu, pak proces bude vykazovat nepravidelnosti, a tím ztráty výkonu.

Určující veličina pro tok materiálu je intenzita toku materiálu, která se skládá z popisu a sumarizace:

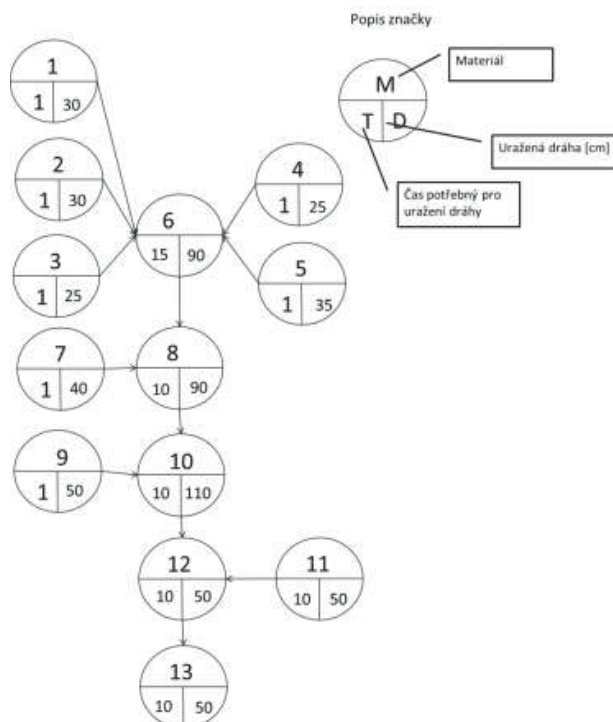
- Tras, jejich směr, vzdálenosti, čas
- Popisu materiálu (materiálové skupiny)
- Informace o průtoku (jednotky / čas)
- Jak transportovat odpad a obalový materiál

Intenzita toku materiálu [6][41] se obvykle vyjadřuje buď číselně jako počet čar nebo jako jejich šířka. V praxi se využívá grafického znázornění například pomocí tzv. Sankeyova diagramu, rozpadových diagramů a podobně, kde se zakresluje intenzita toku přímo do layoutu pracoviště. Tím vznikne vizuální představa o toku materiálu.

Ukazatelem, přímo spojeným s přestavbou a velikostí linky, jsou vzdálenosti dopravovaného materiálu v lince (nejedná se o dopravu materiálu k lince a z linky). Tyto vzdálenosti mohou přímo ovlivňovat Lead Time²³ výrobku a i velikost mezioperační zásoby. Změna transportních časů, spojených s manipulací výrobku operátorem vede k ovlivnění CT výrobku. Ostatní transportní časy mají vliv na *Lead Time* výrobku. Při realizaci montážního systému je nutno zohlednit oba časy, a ty evaluovat v daných (definovaných) podmínkách.

Pro výrobu jako takovou není apriorně důležité, jak dlouhou trasu musí výrobek během své trasy výrobou projít, ale to jakou dobu musí v procesu strávit. Obecná souvislost mezi tím, jakou trasu musí urazit a časem stráveným v procesu není. Pomocí technického zařízení se může přemísťovat materiál poměrně rychle i na větší vzdálenosti.

²³ http://en.wikipedia.org/wiki/Lead_time (Také se objevuje v literatuře jako zpoždění): je v systémové dynamice čas mezi příčinou, která způsobí v systému změnu, a jejím důsledkem (popřípadě uvědomění si tohoto důsledku). Tyto příčiny a důsledky mohou být jak fyzické povahy, tak se může jednat o informace. V tom případě mluvíme o zpoždění v informačních tocích. 05/2012



Obr. 27 Příklad grafického zobrazení toku materiálu [vlastní zdroj].

Pro zjištění jaké změny se dosáhlo, je nutné správně nadefinovat technologický proces a v něm určit jaký je tok materiálu. Definice by měla obsahovat atributy jako je název materiálu, transportní doba, typ transportu, dopravovaná délka, hmotnost, složení apod. Po té se zapracují tyto vstupní informace do podoby vývojového diagramu (Flow Chart) Obr. 27, který graficky popisuje, jak plyne materiál výrobou. Poté se sumarizují jednotlivé ukazatele a hodnotí se velikost jejich změny, pak se vyhodnotí přínos za jednotlivé položky.

Případová studie

Délkou toku se rozumí, součet všech drah, které musí jednotlivé komponenty vykonat, dokud nedojde k jejich spojení (kompletaci) a tím vznikne nový komponent. Tento jev se dá velice dobře simulovat pomocí grafického zobrazení Obr. 27.

Grafické zobrazení popisuje, jak vzniká výrobek a jak proudí materiál výrobou (Flow Chart). Každý materiál je popsán názvem (nebo číslem), délkou transportu k místu zpracování a dobou po kterou se uskutečňuje jeho pohyb. Součtem vzdáleností a času je možné kvantifikovat jak uraženou celkovou dráhu, tak celkový čas strávený v procesu.

Pokud se přidá jako další veličina například váha výrobku, tak je možné monitorovat tok materiálu z pohledu hmotnosti. To je možné využívat tam, kde by hmotnost výrobků vyžadovala řešení pro jejich bezpečnou a snadnou přepravu.

Taková informace je využitelná například v případě, kdy by se jednalo o výši případné investice, která by se měla realizovat do systému dopravy materiálu. Jaké budou dopady na zatížení pracovníků z pohledu hygieny a bezpečnosti práce apod.

Obr. 28 zobrazuje, jaká je finální vzdálenost a čas, které popisují linku z pohledu toku materiálu. Tyto hodnoty jsou odvislé od rozestavení montážního systému. Při změně systému se tyto hodnoty mohou změnit.

Pro vytvoření modelu a simulace toku se v praxi využívá metoda „Value Stream Mapping“, pomocí které je možné vizualizovat neefektivní místa nebo pohyby materiálu.

Díl	Vzdálenost	čas
1	30	1
2	30	1
3	25	1
4	25	1
5	35	1
6	90	15
7	40	1
8	90	10
9	50	1
10	110	10
11	50	2
12	50	10
13	50	10
Součet	675	64

Obr. 28 Tabulka transportních časů a délek zpracovávaných dílů [vlastní zdroj]

Pak za pomoci expertních skupin a pomoci optimalizačních metod je vytvořen model, který redukuje ztráty. Tento model je zaimplementován do reálného prostředí a kontrolními metodami vyhodnocen.

6.4.2 Rozpracovaná výroba

Interní podnikový logistický tok je nedílnou součástí výrobního procesu. Dílce je nutné dopravit k místu montování a i montážní linka vyžaduje tok rozpracované výroby. Dílce musí být řazeny tak, aby byla zajištěna správná návaznost zpracování dílců dle pracovního postupu. K tomu, aby montáž byla co možná nejplynulejší, je nutné stanovit mezioperační zásoby v takové míře, aby případné prostoje²⁴ některého pracovního místa neměly negativní vliv na kontinuitu výrobního toku.

- Proto se z pohledu TOC, při nemožnosti eliminace úzkého místa, musí stanovit taková mezioperační skladová zásoba, která pokryje toto úzké místo a umožní plynulou výrobu s kontinuální dodávkou dílů.

²⁴ V tomto případě se jedná o takové zastavení výrobního toku, kdy celková úhrnná suma těchto přerušení není více než 3% z celkového výrobního času (OEE – 85% výrobní čas, 10% čas na přestavbu, 3% mikro prostoje, 2% nequalita). Pokud je jiný požadavek na kontinuitu fungování linky, pak může být tato hodnota jiná.

- Dalším důvodem tvorby mezioperačních zásob je efektivita dopravování. Jestliže transportní vzdálenosti jsou natolik veliké, že přesun po jednotkách výrobků není efektivní, tak je nutno definovat velikost minimálního přepravovaného množství.
- Technologická zásoba nutná k naplnění kvalitativních požadavků na výrobek.
- Při nevyváženosti systému dochází k neřízenému hromadění dílců, které je nutné vždy v periodách eliminovat. Tím dochází ke ztrátě kontinuity výroby a tyto nárazové efekty mohou zapříčinit kvalitativní chyby.

Výše zmíněné tvorby skladových zásob jsou následky iregularit a chyb vyskytujících se v procesu anebo zapříčiněné procesem jako takovým. Můžeme definovat tři zdroje tvorby nadlimitní interní skladové zásoby:

- Špatné plánování

Nadbytečná skladová zásoba vzniká špatným plánováním výrobního toku nebo nedostatečnou kontrolou a sledováním. V dnešní době implementace Lean Managementu je snaha zavádět taková systémová opatření, která by poskytovala co nejucelnější a nejpřesnější informaci o stavu na lince. Nicméně, je možné se setkat s případy, kdy vytěžování strojního zařízení vede k číslům ukazujícím vysokou efektivitu využití, ale na druhé straně je vytvářena nadlimitní skladová zásoba. To má za následek nevybalancované požadavky na zdroje (lidské zdroje, energie, logistika atd.) a zátěž v podobě vázaných finančních prostředků v mezioperačních zásobách (Cash Flow).

- Dispoziční řešení linky

Další možnou příčinou tvorby skladové zásoby je velikost dopravních ploch zapříčiněná rozložením výrobních zařízení. Veškeré výrobky, které jsou dopravovány z jednoho místa na druhé, jsou považovány za rozpracovanou výrobu. Velikost této rozpracované výroby je odvislá od CT výroby, přepravní vzdálenosti a rychlosti přepravy. Čím je delší přepravní dráha, tím vzrůstá potenciální prostor pro skladování dílů.

- Nestabilita procesu

Jedním z dalších zdrojů tvorby nadlimitní zásoby je nestabilita výrobního zařízení, které prostoji brání plynulému toku výroby a tím dochází k nárazovým tvorbám mezioperační zásoby. Schopnost rychlé reakce je jedním ze základních podmínek pro minimalizaci těchto nežádoucích skladových zásob.

Vyhodnotit, jestli došlo ke zlepšení, není z pohledu prosté sumarizace rozpracované zásoby komplikované. Jedná se o porovnání celkového množství před a po změně. Z tohoto pohledu je vyčíslení jednoznačné. Pokud se, ale zaměříme na stav zásoby v souvislosti s vyráběným množstvím (a to je do jisté míry odvislé od komplexnosti a velikosti montážní linky), stavem výrobního zařízení a potenciálními úzkými místy, pak se zásoba může pohybovat v určitém intervalu. Vždy je nutno chápat rozpracovanou zásobu jako stav věcí, které mají pozitivně ovlivňovat výrobní proces, ale jsou zde limity, které tuto zásobu omezují.

Rozpracovaná výroba

Velikosti rozpracované výroby je veličina, která má proměnlivý charakter. Reflektuje povahu výroby, jako jsou výrobní podmínky, výrobní technologii atd. Je snaha, aby tato hodnota se pohybovala v rozmezí, a to od minimální hodnoty, kdy ještě výroba probíhá plynule bez prostojů jako je čekání na materiál apod., až po maximální definovanou hodnotu, kde je stanoveno, že množství dílů na lince nepřekračuje určenou povolenou (doporučenou) mez. Tím je stanoven rozsah, ve kterém se pohybuje průběžná skladová zásoba potřebná pro výrobu. Z pohledu filozofie Lean Managementu je snaha o co nejmenší rozdíl mezi maximální a minimální hodnotou tak, aby vzniklo co nejužší pásmo, ve kterém se velikost rozpracované zásoby v čase pohybuje.

- **Minimální skladová zásoba** je taková zásoba, kdy ještě dochází k plynulému výrobnímu toku v rámci výrobního systému.
- **Maximální povolená skladová zásoba** je taková zásoba, kdy maximální okrajové podmínky nejsou překročeny. Maximálními okrajovými podmínkami se rozumí, velikost místa pro skladování dílů, maximální zásoba pokrývající plynulost výroby v úzkém místě akceptovatelná hodnota dílů uložených na lince apod. Je to maximální akceptovatelná hodnota pro daný systém.
- **Optimální skladová hodnota** v lince vychází z minimální hodnoty povýšené o míru nejistoty. Tato nejistota je vyčíslena jako množství dílců, které svým počtem udrží plynulý tok výrobků na pracovišti.

Změnu, ke které dochází postupně během výroby (spotřebovávání dílů na jedné straně a dodávání na straně druhé) je možné simulovat pomocí simulačních programů, které se například používají pro modelování digitální fabriky.

*Jaká je **minimální** hodnota rozpracované skladové zásoby?*

Pro definování **minimální zásoby rozpracované výroby** je nutno vycházet ze skutečných podmínek ve výrobním systému jako jsou:

- Počet pracovišť
- Výrobní postup
- Počet pracovníků
- Typ postupu výroby (buňkový, štafetový, karavanový)
- Bezpečnostní zásoby před úzkými místy
- Technologické zásoby

*Jaká je **maximální** hodnota rozpracované skladové zásoby?*

Pro definování **maximální povolené zásoby rozpracované výroby** je nutno přidat:

- Velikost spotřebovávané dávky
- Neshodné výrobky
- Počet hotových výrobků před odvozem

Pro hodnocení je nutno:

- určit celkovou délku určenou pro transport dílců.
- definovat místa, kde se mohou (anebo budou) díly kumulovat.
- definovat maximální počet zpracovávaných dílců v lince (bez rozdílu stupně rozpracovanosti).
- definovat omezení týkající se přepravovaného množství v balení.

Zvláštní skupinou jsou díly odstavené z linky z důvodu neshody (zmetky, šrot).

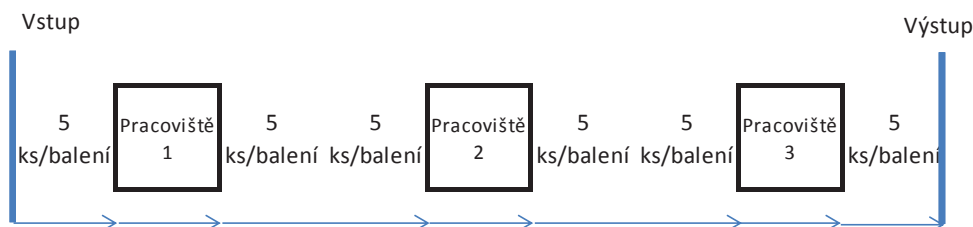
Tím vznikne vztah kde:

$$\sum \text{Dílů} = \sum \text{Na dopravnících} + \sum \text{Kumulované na místech} + \sum \text{Ve zpracování}$$

- *Při sumarizaci počtu dílů je dobré počítat jako jeden kus díl v jakémkoliv stádiu rozpracovanosti. Nejedná se o finanční vyjádření, ale kusové, které zohledňuje zaplněnost linky a popisuje plynulost toku výrobků linkou.*
- *Druhým pohledem je finanční zohlednění, které je důležité pro finanční řízení. Při tomto pohledu může dojít ke stavu, že i velká zásoba v rozpracovaných dílech v počátečních stádiích montáže, může být co do finančního ohodnocení malá. Tím může být naplněn požadavek snížení skladové zásoby, ale negativně ovlivněna plynulost toku výroby.*

Případová studie

Tak jak dochází během směny ke zpracovávání zdrojů a jejich přeměně na výrobky, tak i s touto skutečností dochází k měnícímu se stavu rozpracované výroby (rozpracovaná výroba – díly před zpracováním, díly ve stavu rozpracovanosti a díly v podobě hotových výrobků čekajících na odhlášení a převedení do stavu výrobky k expedici anglická zkratka „FG“ – Finished Goods).



čas CT	ks	ks	ks	ks	ks	ks	ks	ks	ks	ks	ks
1	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
2	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	5
3	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	5
4	2	1	2	0	0	0	0	0	0	0	5
5	1	1	3	0	0	0	0	0	0	0	5
6	5	1	4	0	0	0	0	0	0	0	10
7	4	1	0	→ 5	0	0	0	0	0	0	10
8	3	1	1	4	1	0	0	0	0	0	10
9	2	1	2	3	1	1	0	0	0	0	10
10	1	1	3	2	1	2	0	0	0	0	10
11	5	1	4	1	1	3	0	0	0	0	15
12	4	1	0	→ 5	1	4	0	0	0	0	15
13	3	1	1	4	1	0	→ 5	0	0	0	15
14	2	1	2	3	1	1	4	1	0	0	15
15	1	1	3	2	1	2	3	1	1	1	15
16	5	1	4	1	1	3	2	1	2	2	20
17	4	1	0	→ 5	1	4	1	1	3	3	20
18	3	1	1	4	1	0	→ 5	1	4	4	20
19	2	1	2	3	1	1	4	1	5	5	20
20	1	1	3	2	1	2	3	1	1	1	15
21	5	1	4	1	1	3	2	1	2	2	20
22	4	1	0	→ 5	1	4	1	1	3	3	20
23	3	1	1	4	1	0	→ 5	1	4	4	20
24	2	1	2	3	1	1	4	1	5	5	20
25	1	1	3	2	1	2	3	1	1	1	15
26	5	1	4	1	1	3	2	1	2	2	20
27	4	1	0	→ 5	1	4	1	1	3	3	20
28	3	1	1	4	1	0	→ 5	1	4	4	20
29	2	1	2	3	1	1	4	1	5	5	20
30	1	1	3	2	1	2	3	1	1	1	15

Tabulka 4 Výroba v dávkách, manuální přesun dílů [vlastní zdroj]

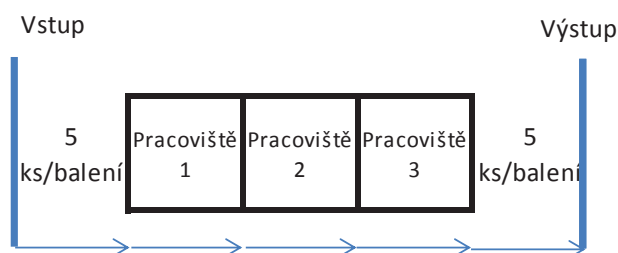
Výroba v dávkách, manuální přesun dílů:

V *Tabulka 4*, je schematicky znázorněn model výrobní linky, která pracuje na bázi dávkové výroby. Pracovní linka o třech stanicích, kde každé pracoviště má definovanou velikost a jsou definovány vzdálenosti mezi nimi. Na pracovišti je zpracováván vždy jeden díl. Dílce jsou přenášeny v balení po pěti kusech. Jestliže na pracovišti je naplněno balení pěti kusy, pak je toto balení celé přeneseno na další pracoviště. Tím vznikají u každého pracoviště tři místa, kde se mohou v jeden čas nacházet dílce v různém stupni

rozpracovanosti. Tabulka ukazuje, jak se začne naplňovat linka díly. V čase $CT = 15$ je první kus ve finální podobě. V čase $CT = 19$ je již připraveno první balení s 5 kusy k expedici (k tomu abychom mohli expedovat první balení je nutno uskutečnit 19 CT). Do té doby vzrůstá skladová zásoba v lince od 5 kusů až po 20 kusů. Jak dojde k naplnění linky, tak zásoba fluktuuje od 15 kusů do 20 kusů v lince.

Příklad toku kus za kusem (One Piece Flow):

V *Tabulka 5* je schematicky znázorněn tok výrobou, kde jsou výrobky montovány na jednom pracovišti a následně předávány na druhé, aniž by byla vytvářena mezioperační zásoba. Tím je dosaženo, že již v čase $CT = 5$ je první díl na výstupu a celé balení (5 kusů) je naplněno v čase $CT = 9$. Skladová zásoba se pak pohybuje od 5 kusů do 10 kusů.

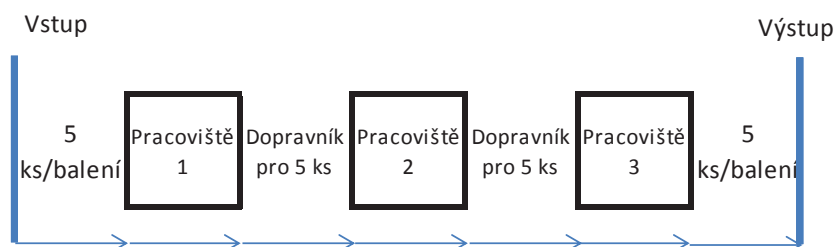


čas CT	ks	ks	ks	ks	ks	ks
1	5	0	0	0	0	5
2	4	1	0	0	0	5
3	3	1	1	0	0	5
4	2	1	1	1	0	5
5	1	1	1	1	1	5
6	5	1	1	1	2	10
7	4	1	1	1	3	10
8	3	1	1	1	4	10
9	2	1	1	1	5	10
10	1	1	1	1	1	5
11	5	1	1	1	2	10
12	4	1	1	1	3	10
13	3	1	1	1	4	10
14	2	1	1	1	5	10
15	1	1	1	1	1	5
16	5	1	1	1	2	10
17	4	1	1	1	3	10
18	3	1	1	1	4	10
19	2	1	1	1	5	10
20	1	1	1	1	1	5
21	5	1	1	1	2	10
22	4	1	1	1	3	10
23	3	1	1	1	4	10
24	2	1	1	1	5	10
25	1	1	1	1	1	5
26	5	1	1	1	2	10
27	4	1	1	1	3	10
28	3	1	1	1	4	10
29	2	1	1	1	5	10
30	1	1	1	1	1	5

Tabulka 5 Tok dílců po jednom za sebou, manuální přesun dílů [vlastní zdroj]

Tok dílců pomocí dopravníkových zařízení:

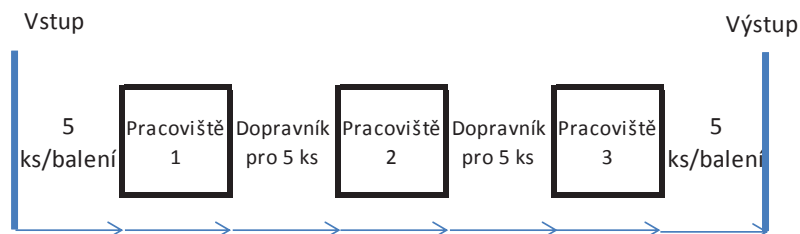
Tabulka 6 jen s tím rozdílem, že přeprava probíhá pomocí mezi-operačních dopravníků. Obrázek znázorňuje situaci, kdy se v daném okamžiku nachází na dopravníku pouze jeden díl. Jedná se o minimální stav rozpracované výroby. V případě, že dojde k situaci, že na dopravníku není žádný kus, tak na dalším pracovišti bude vykázán prostoj do té doby, než bude k dispozici další kus ke zpracování.



čas CT	ks	ks	ks	ks	ks	ks	ks	ks
1	5	0	0	0	0	0	0	5
2	4	1	0	0	0	0	0	5
3	3	1	1	0	0	0	0	5
4	2	1	1	1	0	0	0	5
5	1	1	1	1	1	0	0	5
6	5	1	1	1	1	1	0	10
7	4	1	1	1	1	1	1	10
8	3	1	1	1	1	1	2	10
9	2	1	1	1	1	1	3	10
10	1	1	1	1	1	1	4	10
11	5	1	1	1	1	1	5	15
12	4	1	1	1	1	1	1	10
13	3	1	1	1	1	1	2	10
14	2	1	1	1	1	1	3	10
15	1	1	1	1	1	1	4	10
16	5	1	1	1	1	1	5	15
17	4	1	1	1	1	1	1	10
18	3	1	1	1	1	1	2	10
19	2	1	1	1	1	1	3	10
20	1	1	1	1	1	1	4	10
21	5	1	1	1	1	1	5	15
22	4	1	1	1	1	1	1	10
23	3	1	1	1	1	1	2	10
24	2	1	1	1	1	1	3	10
25	1	1	1	1	1	1	4	10
26	5	1	1	1	1	1	5	15
27	4	1	1	1	1	1	1	10
28	3	1	1	1	1	1	2	10
29	2	1	1	1	1	1	3	10
30	1	1	1	1	1	1	4	10

Tabulka 6 Tok dílců pomocí dopravníkových zařízení (min) [vlastní zdroj]

Tabulka 7 znázorňuje situaci, kdy mezioperační dopravníky jsou plně naplněny (na každém je uloženo pět kusů. První kus na výstupu se objeví po čase $CT = 15$ a celé balení je naplněno v čase $CT = 19$. Pokud dojde ke stavu, že odběr dílů z dopravníku není uskutečňován, tak dojde k prostoji „čekání“, dokud nedojde k uvolnění místa na dopravníku a tím vytvoření možnosti uložit další díl.



čas CT	ks	ks	ks	ks	ks	ks	ks	ks
1	5	0	0	0	0	0	0	5
2	4	1	0	0	0	0	0	5
3	3	1	1	0	0	0	0	5
4	2	1	2	0	0	0	0	5
5	1	1	3	0	0	0	0	5
6	5	1	4	0	0	0	0	10
7	4	1	5	0	0	0	0	10
8	3	1	5	1	0	0	0	10
9	2	1	5	1	1	0	0	10
10	1	1	5	1	2	0	0	10
11	5	1	5	1	3	0	0	15
12	4	1	5	1	4	0	0	15
13	3	1	5	1	5	0	0	15
14	2	1	5	1	5	1	0	15
15	1	1	5	1	5	1	1	15
16	5	1	5	1	5	1	2	20
17	4	1	5	1	5	1	3	20
18	3	1	5	1	5	1	4	20
19	2	1	5	1	5	1	5	20
20	1	1	5	1	5	1	1	15
21	5	1	5	1	5	1	2	20
22	4	1	5	1	5	1	3	20
23	3	1	5	1	5	1	4	20
24	2	1	5	1	5	1	5	20
25	1	1	5	1	5	1	1	15
26	5	1	5	1	5	1	2	20
27	4	1	5	1	5	1	3	20
28	3	1	5	1	5	1	4	20
29	2	1	5	1	5	1	5	20
30	1	1	5	1	5	1	1	15

Tabulka 7 Tok dílců pomocí dopravních zařízení (max) [vlastní zdroj]

Dílčí závěr

Tak jak se mění rozložení pracovišť a použití technického zařízení, tak se mohou měnit i podmínky pro rozpracovanou zásobu, která se nachází v lince během realizace procesu výroby. Způsob přepravy, přepravní množství, počet stanic a počet pracovníků na lince jsou elementární činitele ovlivňující tok materiálu linkou.

Při stanovení mezioperačních zásob odpovídajících balení o definovaném počtu kusů, dojde k realizaci prvního hotového kusu na konci linky v čase odpovídajícímu součtu všech časů vykonaných na tvorbě těchto mezioperačních zásob. Pokud je tato

mezioperační zásoba minimální (nejlépe rovna 0 ks), pak rychlost realizace prvního kusu na výstupu, pouze suma dílčích časů realizace produktu v jednotlivých pracovních stanicích. Lead Time, vyprodukování jednoho kusu, je snížen, právě o tvorbu mezioperační zásoby. V obou případech je jasně stanoveno množství kusů, které se nachází v různých stupních rozpracovanosti na lince.

Oproti tomu, jestliže přidáme dopravníkový systém, pro mezioperační dopravu dílců z jedné pracovní stanice na druhou, vytvoříme podmínky, které umožní udržovat zásobu v rozsahu, který je od minimální možné zásoby až po maximální povolenou zásobu (maximální zásoba je limitována parametry dopravníku).

	Přenášení dílců po skupinách - 5 ks/balení.	Tok dílců po jednom za sebou - One Piece Flow	Tok dílců na dopravnících min.	Tok dílců na dopravnících max.
První hotový kus na konci linky	15	5	7	15
Celé balení na konci linky	19	9	11	19
Min rozpracovaná výroba.	15	5	10	15
max. rozpracovaná výroba	20	10	15	20
Průměrná hodnota	19	9	11	19

Tabulka 8 Typ manipulace s materiálem a jeho vliv na velikost rozpracované výroby

Tabulka 8 obsahuje shrnutí tří variant rozpracované zásoby v souvislosti se změnou rozložení systému a typem postupu výroby. Nejvýhodněji vychází stav, kdy mezioperační zásoby jsou eliminovány a tok výrobků přechází z jednoho pracoviště na druhý. Nevýhodou tohoto stavu je, že jakýkoli prostoj na některém pracovišti, může zpomalit kadenci linky a tím ovlivňovat vyrobené množství kusů za jednotku času. Proto je nutné, aby při návrhu linky bylo přihlédnuto k reálným zkušenostem (anebo alespoň se vycházelo z expertních znalostí), pomocí kterých dojde ke správnému návrhu mezioperačních zásob.

Z logiky věci vyplývá, že je třeba na každém pracovišti vyrobit díly pro vytvoření určité mezioperační zásoby.

6.4.3 Transportní plochy (transportní zařízení)

Transportní plochou se rozumí místo, kde dochází k přemístění produktů z jednoho místa na druhé, přičemž tato plocha slouží výhradně k tomuto úkonu. Doprava je uskutečňována pomocí zařízení, které usnadňují lidskou práci. K těmto zařízením se řadí:

- Dopravníky
- Vysuté lavinové dráhy
- Dopravní skluzy

- Hydraulické dopravníky
- Pneumatické dopravníky
- Válečkové dopravníky a tratě
- atd.

V podnicích je snahou o co nejefektivnější aplikaci technických a technologických zařízení. Každá technologie sebou přináší různé požadavky na způsob přepravy výrobků. Při sestavování layoutu je nutno počítat s touto plochou a tu správně rozvrhnout.

To platí i pro transportní mechanismy a manipulátory. Tomuto požadavku z pohledu montáže velkou měrou vyhovují dopravníkové systémy. Při montáži dochází ke kompletování dílců do podsestav a ty pak do konečných výrobků. Podle povahy a charakteru práce jsou právě dopravníkové systémy s velkou výhodou využívány. Pro dosažení co nejjednoduššího a tím finančně, co do počáteční investice a i ekonomiky provozu, je nejvýhodnější využití dopravníků, kde je pohyb dílců uskutečňován na základě vlastní gravitace. Jde o systém, který je pro svoji jednoduchost velice často využíván. Důvody jsou malé pořizovací náklady a minimální provozní náklady. Velice často jsou používané dopravníky s pohonem především pro transport dílů na větší vzdálenosti, kde by sklon a využití gravitace nebylo možné. Různé transportní mechanismy v podobě lanových drah jsou využívány pro přepravu například mezi technologickými zařízeními a v případě rozměrnějších výrobků. Tím, že jsou výrobky přepravovány nad technologickým zařízením, je dosaženo úspory podlahové plochy, která může být využita jinak. Takové dopravníkové systémy nejen, že jsou konstrukčně komplikované a pořizovací cena je poměrně vysoká, ale i finanční náklady na údržbu je třeba správně zmapovat a vyhodnotit.

Například u lanové dráhy je nutno započítat jako transportní plochu pouze místo nakládky a vykládky, protože transport je uskutečňován nad technologií a tudíž nezabírá podlahovou plochu.

Určení velikosti transportní plochy

S přestavbou linky, kdy dochází ke změně velikostí a poměrů mezi jednotlivými plochami se mění nejen vzdálenosti pohybu zaměstnanců, ale i přepravní vzdálenosti materiálu a dílů.

Pro správné určení velikosti transportní plochy je nutno znát základní veličiny definující výrobní linku [8]:

- **Takt výrobní linky**

průměrný časový interval, ve kterém je z linky odveden jeden smontovaný výrobek nebo skupina výrobků:

$$CT_c = F/Q \quad [s/ks, \text{min}/ks, \text{hod}/ks, \text{směna}/ks, \text{den}/ks, \text{atd.}]$$

F [s, min, hod, směna, den, atd.] je fond pracovní doby za určité plánované období (směna, den, měsíc, atd.)

Q [ks] je množství výrobků, které mají být v plánované době smontovány.

- Rytmus odvodu

ve skutečnosti práce na lince neprobíhá podle výrobního taktu, je třeba vzít v úvahu různé technologické (přestavování pracovišť a zařízení) a organizační přestávky (oddech):

$$r = (F-f) / Q \text{ nebo } r = F \cdot k_v / Q \quad [s/ks, \text{ min/ks, hod/ks, směna/ks, den/ks, atd.}]$$

f [s, min, ...] doba technologických a organizačních přestávek v plánovaném období,

k_v [-] koeficient využití pracovní doby v plánovaném období.

V případě, že se rytmus odvodu vztahuje na dávku stejnorodých výrobků:

$$r = (F-f) \cdot d / Q \quad [s/ks, \text{ min/ks, hod/ks, směna/ks, den/ks, atd.}]$$

d [ks] je počet výrobků v dávce.

- Výrobní cyklus

vyjadřuje časový úsek od začátku první operace na výrobku až po skončení poslední operace (výrobek je smontován):

$$V_c = n \cdot r \text{ nebo } V_c = L_v / v_d \quad [s/ks, \text{ min/ks, hod/ks, směna/ks, den/ks, atd.}]$$

n [-] je počet operací na lince,

L_d [m] je délka dopravníku,

v_d [m/s, m/min, ...] je rychlost pohybu dopravníku.

- Délka linky (dopravníku)

$$L_d = l_p \cdot p \text{ nebo } L_d = l_p \cdot V_c / r \quad [m]$$

kde:

l_p [m] je délka pracoviště,

p [-] je počet na sebe navazujících pracovišť na lince.

Někteří autoři používají místo hodnoty l_p (délka pracoviště) hodnotu K_d [m] - krok dopravníku, což je vzdálenost mezi středy vzájemně sousedících pracovišť. Potom $L_d = K_d \cdot p$ [m].

- Rychlost pohybu dopravníku

$$v_d = K_d / r \quad [m/s, \text{ m/min, ...}]$$

- Počet pracovišť

pokud je doba trvání jednotlivých operací totožná nebo menší než rytmus odvodu r , potom je počet pracovišť totožný s počtem operací.

Pokud doba trvání operace některých pracovišť převyšuje rytmus odvodu, potom je počet pracovišť větší než počet operací a to o počet pracovišť paralelně pracujících na

příslušných operacích. Počet paralelních pracovišť pro provádění dané operace je tedy dán vztahem:

$$P_i = t_i / r \quad [-]$$

t_i [s, min, ...] je technologický čas i -té operace.

Prostou kvantifikací transportních ploch dostaneme sumu ploch, která může být zaplněna výrobky. Větším množstvím dílců ve výrobním procesu dochází k prodloužení celkové doby zpracování výrobku. To je čas, který uplyne od prvního vstupu dílce do procesu (do výrobního systému), až po jeho opuštění linky v podobě hotového výrobku.

Celková doba průchodu dílu linkou je suma dílčích cyklů zpracování.

$$CT = \text{suma } CT_i \quad i = \{j, \dots, n\}$$

Skutečná délka setrvání dílu v lince odpovídá součtu všech dílčích časů plus suma všech časů vedlejších jako je čekání a transport.

7 Metodika multikriteriálního hodnocení linky

V kapitolách 4.1 *Činitele výrobního procesu* a 4.2 *Metriky* jsou uvedeny veličina ovlivňující prostorové rozložení montážní linky. Jejich popis je uveden v kapitolách:

- 6.1 *Časová využitelnost linky vzhledem k její velikosti*
- 6.2 *Flexibilita - pracovní časy operátorů*
- 6.3 *Velikosti ploch a jejich poměry*
- 6.4 *Logistika výrobního systému*
 - o 6.4.1 *Přepavní výkon v rámci výrobního procesu*
 - o 6.4.2 *Rozpracovaná výroba*
 - o 6.4.3 *Transportní plochy (transportní zařízení)*

Jestliže se přistoupí ke každému indikátoru popsanému ve výše uvedených kapitolách jednotlivě, tak je možné velice snadno rozhodnout o výhodnosti změny. Otázkou zůstává, do jaké míry je systém výhodný, z pohledu komplexního hodnocení, kdy každý indikátor svojí vahou ovlivňuje celkový výsledek. Váhy indikátorů musí odpovídat aktuálním preferencím a požadavkům na systém. Z tohoto důvodu je nutno nastavit jednotlivé váhy každého sledovaného indikátoru podle toho, jakým dílem jeho hodnota ovlivňuje celek. Protože nastavení je velice individuální a jeho obecná aplikace není možná z důvodu různých požadavků, je nutno chápat tuto strukturu jako flexibilní, nastavenou jak na obecně platné, tak na specifické požadavky.

Díky tomu, že jsou preference jednotlivých indikátorů při hodnocení systému různé, je nutno také zohlednit individuální charakter podmínek, ve kterém bude systém pracovat. Jednou z možností je nastavení vah na základě expertní znalosti. Ta může být založena na znalosti jednotlivce anebo častěji celé skupiny s profesním zaměřením na danou tematiku. Tato skupina expertů musí postupovat systematicky s důsledným zřetelem na potřeby a podmínky prostředí²⁵.

Proto i hodnocení podle této metodiky je rozděleno na dvě části. Kdy první část je zaměřena pro naplnění potřeb, které jsou stanoveny obecnými požadavky a druhá část je definována jako soubor potřeb, které jsou specifické pro dané prostředí. V metodice se předpokládá, že po splnění požadavků na bezpečnost a hygienu pracovního prostředí, a k ochraně životního prostředí (legislativními požadavky) mandatorní, poté splnění požadavků zákazníka prioritní ukazatel.

²⁵ *Podmínkami prostředí je možno chápat nejenom hranice dílny či závodu, ale i podmínky specifické v širším pohledu, jako například stupeň znalostí v daném regionu, mzdové náklady, možnosti zdrojů, specifické požadavky na bezpečnost apod. To vede k tomu, že systém se stejným výrobním sortimentem může nést jiné charakteristické znaky podle lokace, kde umístěn. Zatím co systém fungující v Japonsku, jenž je plně automatický s minimem lidské obsluhy, by bylo komplikované provozovat v Thajsku, právě pro zcela rozdílné (specifické) podmínky, v Thajsku pracuje se stejnou efektivitou, ale s minimem automatizace. V Thajsku může být nedostatek zaměstnanců se znalostí automatických a řídicích systémů nahrazen nízkými mzdovými náklady a tím může být výhodné provozovat daný systém stejně efektivně bez větší automatizace. Oproti tomu vysoká investice do automatického systému, aby se vyplatila, musí být vyvážená schopností produkovat takové množství za cenu, která jí garantuje konkurenceschopnost výrobku.*

První část: Legislativní požadavky jsou normy a závazná ustanovení, která jsou definována za účelem vytvoření jednotných obecně platných pravidel. Při hodnocení linky musí být tyto požadavky splněny. Pokud nejsou, pak je montážní systém nevyhovující a není možné jej využívat k produkci výrobků.

Druhá část: Požadavky zákazníka jsou dány především potřebami zákazníka nebo zákazníků. Zákazník stanovuje jaké je jeho očekávané odebírané množství za jednotku času (zpravidla jde o denní, týdenní, měsíční nebo roční předpoklady odebíraného množství). Je nutno zjistit, do jaké míry parametry linky splňují tyto požadavky a všechny další charakteristické znaky linky směřovat na tento požadavek.

V metodice je ponechán prostor pro začlenění vlastních specifických požadavků. Tím je umožněno na celý systém pohlížet jako na flexibilní strukturu, která je takto více aplikovatelná v širším rozsahu. Zároveň je možné reagovat na změny podmínek a tím lépe specifikovat systém. V praxi je běžné, že důležitost a tím i váhy jsou definovány expertní skupinou.

Proces s vyhodnocením je zpravidla rozdělen do dvou fází.

První fáze:

definování požadavků, kladených na systém z pohledu managementu. Jedná se především o strategické zaměření, vize a předpoklady s perspektivou zpravidla přesahující vlastní systém a jeho životnost. Strategické a vizionářské uvažování je velice důležité pro určení základních stavebních kamenů. Principiálně lze říci, že hlavním ukazatelem rozvoje je správné nasměrování do budoucnosti.

Druhá fáze:

staví na znalostech a vzbách, které jsou důležité pro montážní systém umístěný v daném prostředí. Jedná se především o požadavky vycházející z technologie, pracovních postupů, znalosti prostředí, dostupných zdrojů atd. V této fázi je nutno se soustředit na reálné možnosti, proto se této fáze účastní realizátoři, kteří jsou schopni aplikovat strategické požadavky managementu do reálné podoby. V této fázi již probíhá realizace projektu a již při plném začleňování požadavků a kritérií. V případě potřeby hodnotit více navržených variant, je nutno posoudit varianty vůči původnímu systému (případ re-engineeringu) a také posoudit jednotlivé varianty mezi sebou navzájem.

V metodice jsou priority a váhy ukazatelů nastavené tak, aby postup při hodnocení byl logicky svázan s postupem, který probíhá při tvorbě systému.

Základní metriky jsou vyspecifikovány tak, aby hodnocení probíhalo od nejdůležitějších požadavků až po ty s nižší prioritou. Priority požadavků vycházejí z kritérií používaných v praxi.

Výsledná metodika:

- Definuje a kvantifikuje ukazatele jednotlivých oblastí
- Popisuje závislosti zmíněných oblastí mezi sebou

- Pomáhá průhledněji zjistit, zda navržený systém je efektivní a v jaké míře vyhovuje požadavkům

7.1 Vstupní informace

Vstupní informace slouží k základnímu popisu prostředí, ve kterém bude systém provozován, viz *Tabulka 9*. Zde je uvedeno, komu je produkce směřována, případně i místo následného zpracování. Dále je uvedeno, co se na lince montuje a jak je linka složena. Dále jsou uvedeny informace o trvání projektu, jako je SOP – Start Of Production (začátek výroby) a EOP – End Of Production (konec výroby).

Dle zvyklostí a potřeb je možné více specifikovat linku dalšími informacemi. Soubor těchto informací je závislý od toho, do jaké míry je řešitelský tým obeznámen o montážním systému v obecné rovině.

	Název projektu		A515
Vstupní informace	Zákazník	:	PSA - Faurecia
	Místo dodání	:	Meru (France)
	Popis programu	:	Montáž kinematických jednotek. Loketní opěrky mezi předními sedadly.
	Popis montážní linky	:	Poloautomatická linka se svářečkou, lepičkou, pneumatickým šroubovákem skládající se ze 3 pracovních pozic, pracující ve třech směnách
	SOP (začátek výroby)	rok	2009
	EOP (konec výroby)	rok	2018

Tabulka 9 Vstupní informace k systému (příklad) [vlastní zdroj]

Dobrá znalost systému vytváří dobré předpoklady pro správné nastavení priorit při hodnocení variant systému jako takového. Tyto podklady také mohou posloužit pro uvědomění si, jakými etapami z pohledu výrobního života bude systém procházet. K tomuto účelu především poslouží informace o počátku a konci výrobního programu. Specifické rozčlenění předpokládaných odebíraných objemů po obdobích dává přesnější obraz o požadavcích na objem produkovaného množství, tím do jisté míry můžeme předurčovat na základě tohoto kritéria podobu montážního systému.

7.2 Vstupní metriky pro metodiku

Vstupní požadavky na montážní systém jsou definovány jako soubor základních metrik vycházející z požadavku na výkon. Tyto požadavky zpravidla vychází z predikce předpokládaných prodejů z pohledu zákazníka (prodejce). Je snaha o co nejpřesnější definování požadovaných objemů v časových úsecích. Při tvorbě rozpočtu se zpravidla používá plánování v ročních objemech. Predikce požadovaných objemů po dobu životnosti projektu je možné specifikovat viz *Tabulka 10* (příklad z automobilového průmyslu).

Program Information	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	OVERALL
Unit Volume	116 600	233 200	233 200	233 200	233 200	233 200	233 200	116 600	1 632 400

Tabulka 10 Příklad predikce předpokládaných prodejů – [vlastní zdroj]

Z tabulky plyne, že v prvním a v posledním roce výroby budou předpokládána odebíraná množství poloviční oproti predikci odběrů v letech 2014 až 2019. Celkové odebrané množství zákazníků předpokládá. Za dobu života projektu v objemu 1632400 ks.

Parametry linky	Kritérium	Jednotka	Linka 1	Linka 2	Změna
	Předpokládané prodané množství	ks	180200	160000	-11%
	Počet pracovních dní v roce	den	250	250	0%
	Počet směn v pracovním dni	směna	3	3	0%
	Pracovních hodin ve směně	hod	7,5	7,5	0%
	Počet pracovních hodin za den	hod	22,5	22,5	0%
	Požadované produkované množství za den	ks	721	640	-11%
	Požadované produkované množství za hodinu	ks	30	27	-11%
	TT - požadovaný	s	119,9	135	13%
	Procento výrobního času za den	%	94%	94%	0%
	Předpokládaná efektivita výroby	%	90%	90%	0%
	Neefektivita procesu 15% (efektivita 85 %)	%	85%	85%	0%
	Potřebné minimální produkované množství s předpokládanou efektivitou výroby	ks/hod	41,88	37,18	-11%
	CT Potřebný pro splnění požadovaného TT	s	86	97	13%
	Optimální počet pracovníků v lince (varianta n)	lidí	3	4	33%
	Kadence dílů za hodinu v optimálním počtu pracovníků	ks/hod	41	54	32%
	CT Skutečný	s	88	67	-24%
	Použitelný prostor pro layout	m ²	46	46	0%
	Plnění Skutečného CT k požadovanému.	%	103%	69%	-33%
	Skutečný CT _{TP} k požadovanému TT	%	95,0%	95,0%	0%

Tabulka 11 Vstupní požadavky na systém (příklad) – vlastní zdroj

Podle toho je možné odvodit předpokládané odebírané množství za den (směnu). Tento údaj je nutno přepočítat podle pracovního kalendáře pro daný rok (ten se může rok od roku lišit: svátky – pracovní dny, celozávodní dovolené, apod.). Přepočtené hodnoty viz *Tabulka 11*.

Tabulka 11 obsahuje vyhodnocené vstupní parametry montážního systému, kdy z předpokládaného ročního požadovaného množství je spočítán průměrný požadavek **odběru za den**. Podle počtu směn a pracovních hodin ve směně, které jsou vyčleněny pro výrobu, je možné spočítat **zákaznický takt** odběru dílců (TT – Tact Time).

Procento výrobního času – zohledňuje kolik času je určeno pro produkci výrobků. Celkový počet hodin za směnu (den) je vyplněn z času výrobního, času určeného na oddych (legislativa), časy určené pro přípravu výroby, přestrojování atd.

Předpokládanou efektivitou výroby je rozuměno, jak je naplněna maximální kapacita linky z pohledu rutinní manuální práce. Pokud se jedná o plně automatickou linku, pak

efektivita bude ovlivněna variabilitou manuální práce jen minimálně. Oproti tomu, při plně manuálním procesu je výkon linky ovlivněn kolísáním výkonu díky **lidskému faktoru**. Čím je montáž výrobků komplexnější, tím vzniká i vyšší pravděpodobnost nestejného (kolísavého) výkonu v čase. **Efektivita výroby** by měla být nastavena podle zkušenosti s podobným (nejlépe stejným) typem montáže. Tento indikátor je ovlivněn mnoha skutečnostmi a to ať už se jedná o různě zdatné a výkonné zaměstnance, tak i měnícím se výkonem jednotlivce během pracovní směny.

Dalším parametrem je předpokládaná **neefektivita procesu** (OEE – montáže). Tento vstupní parametr je závislý na skutečnostech vyplývajících z podobných systémů a na zkušenostech získaných na již realizovaných systémech v daném prostředí. Tento paramet se zpravidla v reálném prostředí mění s tím, jak dochází k zdokonalování rutinního provozu systému. Parametr se skládá z procentuální neefektivity zapříčiněné zmetkovitostí, prostoji a časem potřebným pro případné přestrojování linky.

Příklad nastavení hodnoty neefektivity procesu: Zpravidla se tato hodnota dle OEE stanovuje jako celkový výrobní čas povýšený o 10%, které jsou určeny pro přestavbu linky na jiný typ výrobku, dále je povýšen zpravidla o 3%, která jsou vyčleněna pro mikro prostoje a o 2% určená pro nekvalitu. Pokud se jedná o linku, kde nedochází ke změně typu výrobku, pak 10% povýšení se neaplikuje. Na druhé straně jestliže linka vykazuje vyšší zmetkovitost než dvě procenta, pak je nutno tuto skutečnou zmetkovitost zohlednit.

Možné produkované množství s předpokládanou neefektivitou montáže a neefektivitou montážního procesu specifikuje reálný hodinový výkon produkovaný montážním systémem. Tento reálný výkon musí být schopný pokrýt požadavek zákazníka. Požadavek zákazníka je nutno ještě povýšit o možné smluvně sjednané kolísání odebíraného množství. Z tohoto ukazatele se vypočte **požadovaný výrobní takt linky** (CT_T – Cycle Time Total).

Takto specifikované požadavky dávají ucelený pohled na potřebu vyráběného množství montážním systémem.

K dalším vstupním požadavkům je možno přiřadit specifické požadavky, které jsou dány vnitřními možnostmi prostředí (jako například velikost místa, kam bude systém implementován).

7.3 Hodnotící kritéria

Metodika je založena na předpokladu, že metriky je možné:

- **specifikovat**
- **kvantifikovat**
- **definovat jejich vzájemnou provázanost**

Jako základní metriky byly použity:

- K_K – Kapacita Systému

- K_E - Efektivita lidské práce
- K_V - Velikost Plochy její využití
- K_F – Flexibilita Systému
- K_U - Uražená dráha materiálů k celkové délce linky
- K_R - Rozpracovaná výroba k min potřebě

7.3.1 K_K - Kapacita systému

Kapacita systému je schopnost produkovat maximální množství výrobků při maximálním využití časového fondu.

CT_{TP} – celkový přepočtený cyklus výroby. Jedná se o cyklus, který zohledňuje schopnost vyrobit počet výrobků za jeden den (24 hod minus přestávky).

Je nutno vycházet ze zákaznického TT – množství odebíraných kusů za den. Linka je schopna produkovat určitý počet kusů za jednotku času. Z toho je možné vypočítat, kolik se vyrobí kusů za směnu. Využitelnost linky v čase je dána tím, kolik času je věnováno výrobě a kolik času linka neprodukuje. Přepočtením vyrobeného objemu na maximální možný výrobní čas za den dostáváme maximální možný produkovaný objem linkou za 24 hod (při zohlednění přestávek). Pro jednotnost výpočtu je vhodné použít CT_T linky, který je nutno přepočítat podle počtu směn (možno i hodin), které jsou určeny pro výrobu na CT_{TP} (cyklus výroby přepočtený na možný výrobní čas).

Přepočet CT_T pro jednotlivé směny na CT_{TP} je následující:

- Jednosměnný provoz (jedna směna ze tří možných, tj. počet čistých pracovních hod hod za den => 8 hod – plánovaná nevýroba [hod]):
 - o $CT_{TP} = CT_T / 3$
- Dvousměnný provoz (dvě směny ze tří možných, tj. počet čistých pracovních hod hod za den => 16 hod – plánovaná nevýroba [hod]):
 - o $CT_{TP} = CT_T / (3/2)$
- Třisměnný provoz (tři směny ze tří možných, tj. počet čistých pracovních hod hod za den => 24 hod – plánovaná nevýroba [hod]):
 - o $CT_{TP} = CT_T / (3/3) => CT_{TP} = CT_T$

Takto přepočtený CT_{TP} je nutno porovnat s TT . Toto porovnání popisuje využití systému v čase.

Pro plnění požadavku počtu vyrobených kusů za jednotku času je nutno vycházet ze zákaznického TT (viz kapitola: 4.2.1 TT - Takt Time). Z tohoto požadovaného taktu odebírání výrobků z linky vychází požadavek na rychlost produkce výrobků CT výroby (viz kapitola: 4.2.2 CTT – Celkový cyklus výrobku).

Pro správné vyhodnocení tohoto cyklu, za který je možné produkovat výrobky, je nutné si stanovit meze, které limitují potřeby a možnosti systému.

- $CT_{TP} > TT =>$ systém je nevhodný a výsledek je, že není schopen naplnit potřebu vzniklou na základě TT (výroba je pomalejší než je potřeba na výstupu).

- $CT_{TP} = TT$, systém je schopen plnit TT, ale při výkyvech v TT a anebo v případě neočekávaných prostojů, systém nebude schopen tvořit dostatečné množství dílů.
- $CT_{TP} < TT$, ($CT_{TP} = TT + (TT \cdot 15\%)$), systém je schopen plnit TT s rezervou, která činí 15%. Rezerva 15% vychází ze standardní hodnoty OEE. Případná fluktuace odvolávaného množství může zapříčinit neschopnost systému plnit požadavek, anebo je nutno požadované množství vyrobit přesčasovou prací. Takové řešení je vhodné, když se nepředpokládá kolísání požadovaného množství dlouhodobě (například sezónní výkyv, apod.).
- $CT_{TP} < TT$, ($CT_{TP} = TT + (TT \cdot 30\%)$), systém je schopen plnit TT s rezervou, která činí až 30%. Rezerva 30% zaručuje schopnost systému produkovat množství se standardním OEE 15% plus případnou fluktuaci (nárůst) požadavků zákazníka až 15%.
- $CT_{TP} < TT$, pokud TT přesahuje přes 30% CT_T , pak je systém schopen plnit TT, ale pokud nebude přebytečná kapacita využita, pak vzniká ztráta z nadprodukce, nebo nevyužití zařízení, nebo vysoké investice atd.

CT skutečný / TT požadovaný je v intervalu (CT/TT ε)	{0; 1>	{1; 1,15>	{1,15; 1,3>	{1,3; 1,4>	{1,4; 1,6>	{1,6; "∞"}
Ohodnocení výhodnosti	0%	50%	95%	100%	95%	80%

Obr. 29 Vztah mezi CT_{TP} a TT [vlastní zdroj]

Grafické znázornění jednotlivých pásem CT_{TP} viz Obr. 29. Při sestavení pořadí vhodnosti CT_{TP} vůči TT je možné konstatovat, že nejvýhodnější poměr mezi CT_{TP} a TT je, když TT je 60% - 70% CT_{TP} . Při tomto poměru je zajištěna zdravá míra jistoty při neočekávaných skutečnostech a zároveň je zajištěn kontinuální rytmus pracovního kalendáře (nastavení směn, počtu pracovníků atd.). Pokud je tento poměr jiný, pak vzniká možné riziko, že nebudou splněny požadované výkony (V praxi je možné se setkat i s jinými rozsahy neefektivity nebo fluktuace. Ty je pak nutno specifikovat jako vnitřní požadavek a s ním počítat při hodnocení.

Hodnotící kritérium:

Při $CT_{TP}/TT \in \{0; 1>$ je **systém nevyhovující** a hodnocení už nepokračuje. Je nutno přistoupit k re-designu systému, nebo pokud je to možné nastavit jiný směnný systém.

Při $CT_{TP}/TT \in \{1; 1,15>$, je schopnost systému plnit požadavky vyšší než 100%. Reakce na jakoukoli neočekávanou situaci je **nevyhovující**.

Při $CT_{TP}/TT \in \{1,15; 1,3>$, je schopnost systému plnit požadavky vyšší než 115%, ale **míra jistoty**, že bude naplněn tento požadavek je **nízká** díky variabilitě odvolávaného množství a neplánovaným prostojům, které se mohou objevit.

Pro nastavení systému, kdy $CT_{TP}/TT \in \{1,3; 1,4>$, je jeho schopnost produkovat kontinuálně požadované množství **nejpříhodnější**.

Pro nastavení systému, kdy $CT_{TP}/TT \in \{1,4; 1,6>$, je schopnost systému produkovat kontinuálně požadované množství již uvažována, jako **nadbytečná kapacita**.

Naopak při $CT_{TP}/TT \in \{1,6; \infty\}$, je vždy splněn požadavek na výkon, ale je důležité zvážit, jestli systém není zbytečně **předimenzován**.

Hranice, které jsou limitující pro CT_{TP} je možné nastavit, podle zvyklostí anebo reality daného prostředí. Při tomto nastavení je možné zobrazit tabulku hodnot vstupujících do celkového hodnocení.

7.3.1 K_E – Efektivita lidské práce

Jedná se o jedno z náročnějších dílčích hodnocení co do množství dat, která je nutno shromáždit.

K danému systému je nutno si vytvořit popisy pracovních úkonů pro jednotlivé pracovní pozice (těchto skupin popisů je právě tolik, kolik je pracovních modelů daného systému). Pro hodnocení linky je důležité použít soupis úkonů, které budou standardním modelem výroby.

	Kritérium	Jednotka	Olho Germany	KP Janovice	Změna
Ztrátové časy	Suma ztrátových časů na jeden vyrobený kus	s	59	6	-90%
	Poměr ztrátových časů k sumě výrobních časů.	%	67,0%	96,6%	44%

Tabulka 12: Ztrátové časy [vlastní zdroj]

Při sestavování ukazatele hodnotícího celkovou sumu ztrátových časů k produkovanému množství je nutné si provést měření každé pracovní stanice a provést sumarizaci jednotlivých kategorií pracovních časů. Na základě této sumarizace je možné rozdělit pracovní časy do dvou skupin: časy kdy vzniká přidaná hodnota a kdy nevzniká přidaná hodnota. Vzájemný poměr těchto dvou indikátorů udává, jak efektivně jsou pracovní postupy sestaveny pro jednotlivé pracovní stanice vůči rychlosti, jakou je výsledný produkt tvořen. V obecné rovině lze považovat za efektivní výrobu (montáž), když poměr ztrátových časů k sumě výrobních časů činí maximálně 5% celkového CT_T .

Hodnotící kritérium:

Poměr ztrátových časů k sumě výrobních časů: Pro vybraný model se vypracuje diagram (Ganttův diagram), který popisuje sled pracovních úkonů daného výrobního systému. Z tohoto diagramu se sečtou ztrátové časy, jejichž celkový součet vykazuje velikost neproduktivních časů pro daný výrobní (montážní) model při výrobě jednoho kusu výrobku.

Takto získaná suma všech ztrátových časů k celkovému cyklu výroby CT_T udává, jak je výroba efektivní. Za ideální stav lze považovat, když ztrátové časy jsou nulové a tím veškeré časy pro jednotlivé pracovní stanice jsou složeny pouze z časů, při nichž vzniká přidaná hodnota.

Tímto hodnocením je možné zjistit, jak jsou dílčí úkony vybalancovány a jak efektivně se vyrábí vzhledem k rychlosti výroby. To má dopad na přímé mzdové náklady na vyrobený kus.

7.3.2 K_V – Využití plochy

Změna velikosti systému dokladuje, k jak velké úspoře plochy došlo při přestavbě rozložení linky. Požadavek úspory místa je prioritní, při přestavbách, které jsou uskutečňovány za účelem uvolnění místa. Obecným požadavkem je redukce ploch, kde nejsou uskutečňovány aktivity vedoucí k tvorbě přidané hodnoty. V tomto případě jde o dosažení vyšší výtěžnosti z obsazené plochy.

Jak je popsáno v kapitole: 6.3 *Velikosti ploch a jejich poměry*, při hodnotícím procesu je nutné kvantifikovat plochy, a rozdělit je podle účelu a využitím do předem definovaných kategorií.

Jestliže průmyslový inženýr je limitován prostorem, pak při překročení tohoto prostoru je systém opět vyhodnocen jako neakceptovatelný. Zabraný prostor je nutno hodnotit ze dvou pohledů. Porovnání velikostí v m^2 a porovnání dispozičního rozložení. Z toho vyplývá, že linka může svojí velikostí v m^2 být menší než vyčleněný prostor, ale celková dispozice nebude zapadat do vyčleněného prostoru.

Dále se v metodice porovnávají přínosy jednotlivých typů ploch na základě jejich velikosti k celkové ploše podle koeficientu preference.

Hodnocení se skládá ze tří kroků.

- Sumarizace ploch viz příloha *Metodický postup kvantifikace ploch*
- Přepočtení hodnot vzhledem k nastaveným preferencím
- Vyhodnocení

Pomocí elektronické podpory se spočítají jednotlivé skupiny ploch, které se nacházejí anebo jinak souvisejí s hodnocenou linkou. Součet všech ploch udává skutečnou velikost plochy, která je zabrána. Nastavení preferencí (důležitosti) je v metodice postaveno na předpokladu, že nejdůležitější z pohledu tvorby výrobků je plocha (preference je 100 %), kde vzniká přidaná hodnota. Dále jsou plochy určené pro pomocné a obslužné činnosti (preference je v intervalu od 30 % do 80 %) a jako poslední jsou plochy, které jsou definované jako ztrátové, nevzniká na nich přidaná hodnota (preference je od 0 % do 20 %). Na základě tohoto předpokladu byla vytvořena tabulka preferencí, která slouží k vyhodnocení, jak je využit prostor linky viz *Tabulka 14 Tabulka nastavených preferencí ploch*.

		Kritérium	Jednotka	Olho Germany	KP Janovice	Změna	
Plochy	Vzniká přidaná hodnota	Velikost linky	m ²	45,36	40,5	-11%	
		P _{VZ} - Výrobní zařízení	m ²	5,8	4,0		
		P _V - Pohyb operátora	m ²	5,7	5,7		
	Nevzniká přidaná hodnota	Pomocné	P _S - Skladování	m ²	8,5	11,5	
			P _{TR} - Transport	m ²			
			P _K - Kontrola	m ²	1,4	1,4	
		P _{TE} - Manipulační	m ²	1,6	1,6		
		Nevyužité	P _T - Technická	m ²	0,7		
			P _O - Ostatní	m ²			
			P _N - Bez účelu	m ²	21,6	16,2	
	P _U - Uspořené místo		m ²		4,88		
	Využití plochy		%	37,2%	39,9%	7%	
	Výtěžnost z plochy		ks/m ² /hod	0,90	1,33	48%	

Tabulka 13 Sumarizace ploch [vlastní zdroj]

			Preference	
Plochy	Vzniká přidaná hodnota	PVZ- Výrobní zařízení	100%	
		PV - Pohyb operátora	100%	
	Nevzniká přidaná hodnota	Pomocné	PS - Skladování	40%
			PTR - Transport	30%
			PK - Kontrola	40%
		PTE - Manipulační	80%	
		Nevyužité	PT - Technická	20%
			PO - Ostatní	10%
			PN - Bez účelu	0%

Tabulka 14 Tabulka nastavených preferencí ploch [vlastní zdroj]

Hodnotící kritérium:

Přepočtem poměrů ploch a vynásobením preference se obdrží velikost příspěvku dané plochy k celku. Čím blíže je celkový součet blíže 100%, tím je linka lépe koncipována z pohledu využití ploch pro tvorbu přidané hodnoty.

7.3.3 K_F - Flexibilita systému

Systém s jednou variantou počtu pracovníků v lince je málo flexibilní a umožňuje variovat pouze s počtem směn, anebo s přesčasovými hodinami. Při více možných variantách výrobního modelu (počtu pracovníků) je flexibilita systému vyšší.

Metodika pracuje s indikátorem jako s číselnou hodnotou, která udává jak je systém flexibilní. Velikost flexibility systému je dána jako procentuální možná změna oproti

standardnímu modelu (změna od minima do maxima). Rozdíl maxima a minima udává, počet možných variant.

Při počtu kombinací rovnající se jedné (pouze jedna varianta počtu pracovníků) je možné výkon realizovat – jedna směna, dvě směny, tři směny. Při předpokladu, že za jednu směnu se dá vyprodukovat například 300 jednotek (ks), pak ve dvou směnách je možné vyprodukovat 600 jednotek a ve třech 900 jednotek. V rámci dne je možné řídit výkon skokově pouze po násobcích možného produkovaného množství (při předpokladu, využití plné směny). V tomto případě se nepočítá se zpomalováním výrobního toku technickými omezeními (například zpomalení dopravníků, nižší průtočné množství strojem ovlivněné jeho nastavením apod.).

Varianty výroby s možnými kombinacemi pracovníků n	1	2	3
Počet možných kombinací na den	3	9	19
procentuální vyčíslení množství kombinací k optimu n=3	16%	47%	100%

Tabulka 15: Hodnocení flexibility systému [vlastní zdroj]

Hodnocení systému podle počtu variant je založeno na předpokladu, že linka s jedním modelem je nejméně flexibilní. Linka se třemi a více modely vykazuje vysoký stupeň flexibility (pro model n=3 je počet kombinací 19). Proto při počtu kombinací větším než 3 je hodnocení konstantní. Z toho plyne, že je výhodné se snažit při tvorbě (návrhu) systému jej tvořit tak, aby počet variant rozestavení pracovníků byl minimálně 3 viz kapitola: 6.2.2 *Flexibilita - Řízení výkonu linky počtem pracovníků*.

	Kritérium	Jednotka	Olho Germany	KP Janovice	Změna
Flexibilita	Počet variant počtu pracovníků v lince	n	2	3	
	Stupeň Flexibility	%	47,4%	100,0%	111%

Tabulka 16: Flexibilita [vlastní zdroj]

Hodnotící kritérium:

Stupeň flexibility: Jako maximum je bráno 19 možných kombinací což odpovídá modelu n=3. Při hodnotě n=2 je počet možných kombinací 9 což je 47% a pro případ n=1 je počet možných kombinací roven 3 což odpovídá 16% z případných 19 možných.

7.3.4 K_U , K_R - Interní logistický tok

Množství materiálu, spočtené dle příkladu postupu uvedeného v kapitole 6.4.1 *Přepravení výkon v rámci výrobního procesu*, po zapsání do vyhodnocovací tabulky se automaticky spočte poměrná hodnota vztahující se k délce linky. Při zkrácení linky by mělo dojít ke zkrácení transportních délek materiálu.

Vkládané hodnoty jsou:

- Délka linky
- Celkový součet všech drah materiálu

- Rozpracovaná výroba v kusech
- Technologická zásoba v kusech.

Kritérium	Jednotka	Olho Germany	KP Janovice	Změna
Délka linky	m	16,18	12,84	-21%
Celkový součet všech drah materiálu.	m	30,5	23,7	-22%
Součet drah materiálů k celkové délce linky	%	53,0%	54,2%	2%
Rozpracovaná výroba	ks	32	25	-22%
Technologická zásoba	ks	10	14	
Rozpracovaná výroba k min potřebě	%	40,6%	72,0%	77%

Tabulka 17: Interní logistický tok [vlastní zdroj]

Hodnotící kritéria:

Dráhy materiálů k celkové délce linky: poměr mezi vlastní délkou výrobního systému (montážní linky) a celkového součtu všech drah jednotlivých materiálů. **Celkový součet všech drah materiálu:** Suma všech vzdáleností, které musí jednotlivé komponenty urazit od svého vstupu do procesu, až po realizaci finálního produktu. Toto kritérium hodnotí, jak jsou efektivně navrženy logistické toky. Stoprocentní hodnota je, pokud délka linky a suma všech délek materiálů je totožná (v praxi by to znamenalo, že je zpracováván pouze jeden komponent). Při více komponentním výrobku vždy bude délka drah materiálů větší než délka linky. Čím více se poměr těchto dvou čísel blíží 1 (100%), tím je tok výhodnější.

Rozpracovaná výroba k min potřebě: Tímto kritériem je možno zohlednit jak je systém navržen z pohledu Lean filozofie, kdy základní předpoklad je minimální množství výrobků ve výrobním procesu. Pro výpočet tohoto kritéria je nutno spočítat jaká je možná maximální hodnota rozpracované výroby (v kusech) a tu porovnat s optimální velikostí rozpracované zásoby optimální rozpracovaná zásoba je součet potřebné technologické zásoby a počtu pracovních stanic s operátorem.

7.4 Váhy kritérií

Pro hodnocení kritérií byla zvolena Saatyho metoda, protože oproti jiným metodám (například: párové srovnávání) s její pomocí je poměrně dobře možno postihnout skutečnost odlišné míry mezi kritérii. Dále je metoda jednoznačná a lehce jí lze zapracovat do firemního prostředí. Díky heuristickému přístupu lze uplatnit specifika daného prostředí. Při porovnávání kritérií byla použita Saatyho stupnice porovnávání kritérií, která dostatečně popisuje významnost kritérií *Tabulka 18 Saatyho doporučená bodová stupnice s deskriptory [44]*.

1	Kritéria jsou stejně významná
3	První kritérium je slabě významnější než druhé
5	První kritérium je dosti významnější než druhé
7	První kritérium je prokazatelně významnější než druhé
9	První kritérium je absolutně významnější než druhé

Tabulka 18 Saatyho doporučená bodová stupnice s deskriptory [44]

V prvním kroku se párově porovnávají kritéria a určují se preferenční vztahy dvojic. Kritéria jsou uspořádána v tabulce tak, že se jedná o čtvercovou matici, kde jak ve sloupcích, tak řádcích jsou kritéria zapsána ve stejném pořadí. Při porovnávání dvou kritérií je hodnocena preference a její velikost. Saaty doporučuje, jím definovanou stupnici důležitosti viz *Tabulka 18* (podle Fotra [44] je doporučeno postupovat tak, že nejdříve se uspořádají kritéria od nejvíce do nejméně preferovaného, pak se stanoví rozpětí stupnice a při stanovování preferencí se uplatní upravená stupnice, která nemusí být celočíselná.) Výsledkem je matice velikostí preferencí. Dále byly stanoveny váhy, které byly spočteny jako geometrické průměry řádků Saatyho matice (pronásobení všech prvků matice a určení n -té odmocniny, kdy n = počet kritérií) viz *Tabulka 19*.

Výsledné váhy kritérií byly obdrženy spočítáním geometrických průměrů (pronásobení všech prvků a pro každý řádek určení n -té odmocniny, kdy n je počet prvků). Takto získané geometrické průměry byly znormovány (geometrický průměr daného kritéria byl vydělen součtem všech geometrických průměrů).

Tabulka 19 definuje výsledné váhy kritérií, jaké byly použity v metodice. Jako nedůležitější kritéria byla vyhodnocena kritéria *Kapacita linky* a *Plocha*. Jako nejméně důležité byly určeny kritéria *Dráhy materiálu* a *Rozpracovaná výroba*. Jelikož se jedná o otevřený systém, uživatel si může nadefinovat vlastní preference kritérií. Tato tabulka je součástí elektronické podpory.

Kritérium	Skutečný CT k požadovanému TT	Poměr ztrátových časů k sumě výrobních časů.	Využití plochy	Stupeň Flexibility	Součet drah materiálů k celkové délce linky	Rozpracovaná výroba k min potřebě	Geometrický průměr	Výsledné váhy
Skutečný CT k požadovanému TT	1,00	3,00	3,00	2,00	5,00	7,00	2,93	0,36
Poměr ztrátových časů k sumě výrobních časů.	0,33	1,00	5,00	2,00	7,00	5,00	2,21	0,27
Využití plochy	0,33	0,20	1,00	1,00	3,00	3,00	0,92	0,11
Stupeň Flexibility	0,50	0,50	1,00	1,00	5,00	5,00	1,36	0,17
Součet drah materiálů k celkové délce linky	0,20	0,14	0,33	0,20	1,00	0,20	0,27	0,03
Rozpracovaná výroba k min potřebě	0,14	0,20	0,33	0,20	5,00	1,00	0,46	0,06

Tabulka 19 Saatyho tabulka preferencí kritérií definovaná pro metodiku [vlastní zdroj]

7.5 Výpočet kvality systému – multikriteriální funkce

Kvalitu systému (dále KS) je možné definovat jako shodu parametrů systému s požadavky na něj kladenými.

Parametry jsou popsány indikátory, které je možné kvantifikovat a porovnávat. Výsledná hodnota systému je procentuální vyčíslení, do jaké míry systém odpovídá ideálnímu stavu. Za ideální stav lze považovat situaci, že všechny ukazatele jsou splněny na sto procent (při hodnocení žádný ukazatel nemůže překročit sto procent). Po vyhodnocení každého indikátoru se mění hodnota systému, anebo pokud je systém pro daný ukazatel nevyhovující (možnost umístit linku do vytyčeného prostoru; neschopnost produkovat dostatečné množství výrobků, které pokryjí požadavek na TT), pak hodnocení končí s celkovým výsledkem nevyhovující. Zároveň pro tvůrce systému je to signál v jakém místě je nutné systém přepracovat.

Z definovaných kritérií a jím přiřazených vah lze sestavit multikriteriální funkci. Funkce je sestavena jako součet součinů vyčíslených kritérií a jejich váhy. Tato multikriteriální funkce byla použita pro hodnocení linek.

A jejich váhy V kalkulované dle Saatyho metody *Tabulka 19 Saatyho tabulka preferencí kritérií definovaná pro metodiku*.

$$KS = K_K * 0,36 + K_E * 0,27 + K_V * 0,11 + K_F * 0,17 + K_U * 0,03 + K_R * 0,06$$

Potom lze psát obecnou rovnici:

$$KS = K_1 * V_1 + K_2 * V_2 + \dots + K_i * V_i$$

Z čehož plyne, že rovnice pro výpočet kvality systému je:

$$KS = \sum_{i=1}^n K_i * V_i$$

Kde:

KS	Kvalita systému
K_i	i -tý koeficient
V_i	váha i -tého koeficientu
n	je počet koeficientů

8 Elektronická podpora

Elektronická podpora je koncipována tak, aby byla aplikovatelná v široké míře, bez použití náročné výpočetní techniky.

Algoritmus zabezpečuje, aby při hodnocení byly splněny jednotlivé kroky při dodržení jejich návaznosti. Součástí elektronické podpory je i uživatelské prostředí, které ve své omezené možnosti napomáhá splnit tento požadavek.

Vyhodnocovací algoritmus byl zpracován do elektronické podpory pomocí obecně známého a užívaného Microsoft Office Excel 2010. V podnikové sféře je tento program v široké míře používán a dobře dostupný.

Elektronická podpora (*Hodnocení Montážního Systému*) je řešena jako tabulka s předem definovanými kritérii, které je možno uživatelsky modifikovat podle specifických podmínek prostředí. Struktura uživatelského prostředí je navržena tak, aby uživatel mohl zcela intuitivně postupovat při hodnocení.

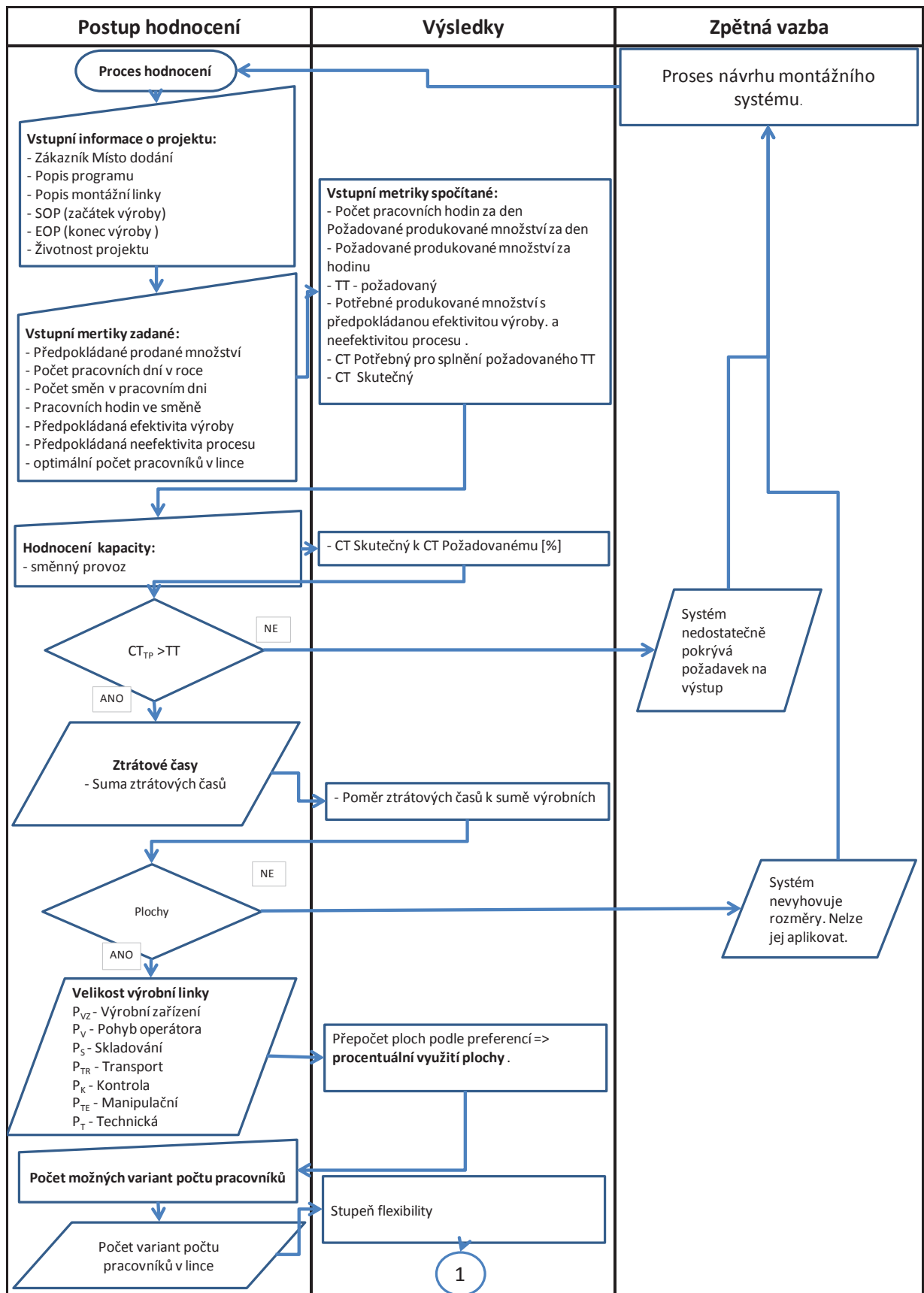
V prvním bloku je nadefinování a sumarizace obecných informací týkajících se montážního systému viz. kapitola 7.1 *Vstupní informace*.

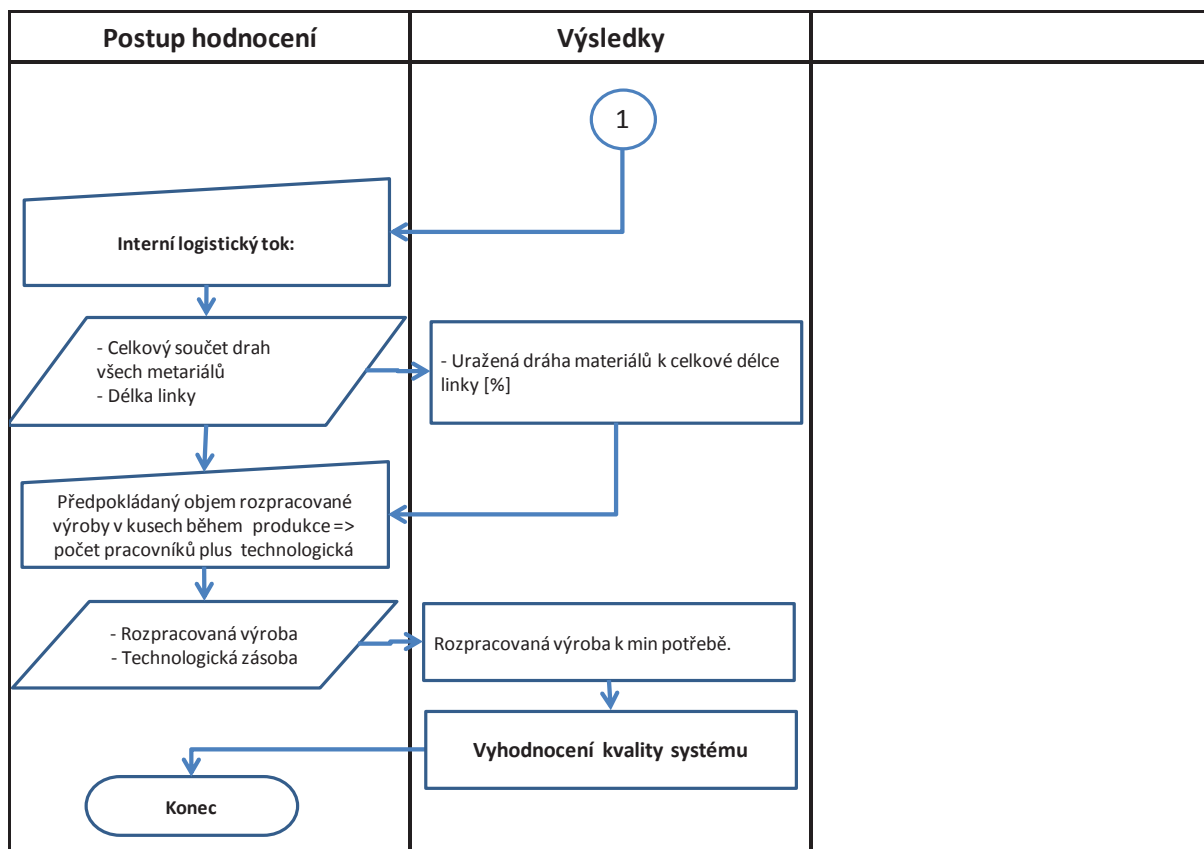
Ve druhém bloku již vstupují informace, které jsou řídicí pro další postup hodnocení viz kapitola 7.2 *Vstupní metriky pro metodiku*.

Vlastní hodnocení probíhá ve třetím bloku, kdy již je nutno vložit vstupní data, která charakterizují systém. Data jsou vkládána do předem definovaných buněk a software sám na základě algoritmu zpracovává a vyhodnocuje data podle předem daných premis. Hodnocení probíhá od ukazatelů, které mají vysokou důležitost až po ty s důležitostí nižší. Pokud během vyhodnocování hodnot dojde k fatální kolizi, kdy není splněn některý ze základních požadavků (linka se nedá začlenit do vyhrazeného prostoru nebo linka není schopna produkovat takové množství výrobků, aby se uspokojila potřeba zákazníka), pak celý hodnotící proces je ukončen a montážní systém je vyhodnocen jako neakceptovatelný.

Pro definování priorit jednotlivých ukazatelů byla implementována elektronická podpora ve formě tabulky, která na základě Saatyho metody počítá preference kritérií mezi sebou navzájem. Tabulka je koncipována tak, aby obsluha si mohla definovat vlastní priority mezi ukazateli. Ty jsou nastaveny podle reálného stavu a potřeb konkrétního prostředí, kam bude systém umístěn. Takto spočítané priority jsou automaticky svázané s vyhodnocovací tabulkou a při vyhodnocovacím procesu je s nimi již kalkulováno.

Pro jednodušší kvantifikaci ploch byl vytvořen elektronický doplněk. Kvantifikace ploch probíhá tak, že obsluha pomocí software *Microsoft Office Excel* vybarvuje plochy podle využití a v tabulce se automaticky dopočítává velikost plochy. Postup kvantifikace ploch je popsán v příloze *Metodický postup kvantifikace ploch*.





Obr. 30 Vývojový diagram postupu hodnocení

9 Případová studie použití metodiky

Metodika byla použita a odzkoušena pro montážní systémy produkující výrobky pro automobilový průmysl. Pro větší transparentnost a důkaz širšího využití byla metodika aplikována jak v prostředí firem působících v Čechách (Key Plastics Janovice s.r.o, tak i společnosti působící v cizině: Key Plastics Lohne Germany sesterská společnost Key Plastics Janovice s.r.o.; Německo a Čína (Shanghai Key Automotive Plastic Component – sesterská společnost Key Plastics Janovice s.r.o.).

Pro lepší doložení širšího použití, je výběr systémů s různým typem výrobku, použitých materiálů a různou technologií zpracování.

Montáž kinematických modulů - linky jsou zaměřeny na montáž dílců do maximální velikosti cca 20 x 20 x 20 cm a maximální hmotnosti 300 g. Jednalo se o plastové díly, které byly kompletovány na universálních stolech a v případě nutnosti byly použity jednoúčelové montážní přípravky.

- Kinematické jednotky – ofukovače, loketní opěrky
- Ovládacích panelů zařízení (navigace, rádio, CD přehrávač, klimatizace, topení atd.) zabudovávaných do interiérů automobilů. Jedná se o díly s vysokými požadavky na jakost jak z pohledu vizuální stálosti, tak funkčnosti.

V současné době probíhá hodnocení montážních systémů v závodě v Číně, kde jsou použity totožné indikátory i jejich váhy, které byly použity v závodě v Key Plastics Janovice (Česká republika). Toto hodnocení proběhne pro porovnání logiky stavby montážních systémů ve dvou odlišných lokacích, které se zásadně odlišují. Hlavní rozdíl je ve mzdových nákladech, kdy v Číně jsou o 40% nižší než v České Republice. Z toho plyne, že eliminace mzdových nákladů není prioritou a tudíž i flexibilita systému není tolik důležitá. V Číně je velký tlak na růst, a proto většina firem v současné době nemusí tlačit na schopnost reakce na změnu požadovaného množství. Očekávané výsledky tudíž by měli vykazovat horší celková čísla.

9.1 Sumarizace výsledků

Porovnáním linek tvořených v Německu a modifikovaných v České republice bylo zjištěno, že při nastavených jednotných kritériích (pro Německou verzi a Českou verzi) a jejich vah, bylo v 16 případech ze 17 dosaženo zlepšení. V jednom případě výsledné hodnocení bylo horší než původní německý návrh. Jednalo se linku, která byla zakomponována do vyššího celku, a prostorové limity neumožnily lepší koncepční řešení. I přes to, že u ostatních linek byly některé ukazatele hodnocené samostatně horší než původní návrh, tak celková výsledná hodnota byla v porovnání s předchozím stavem lepší.

Obecně lze konstatovat, že metodika pomohla prokázat průměrné zlepšení **Hodnoty linek** o 14,0% oproti předchozímu stavu. Konečná průměrná dosažená hodnota byla 68,4% oproti původní průměrné výchozí hodnotě 60,0%. Při detailnějším pohledu na jednotlivé parametry viz *Tabulka 20: Výsledné průměrné hodnoty sledovaných systémů* je patrné, že

v případě kritéria *Uražená dráha materiálů k celkové délce linky* došlo ke zhoršení o -7,7 %. V ostatních případech došlo ke zlepšení.

Kritérium	Jednotka	Olho Germany	KP Janovice	Změna
Skutečný CT k požadovanému TT	%	84,7%	86,8%	2,4%
Poměr ztrátových časů k sumě výrobních časů.	%	77,4%	90,3%	16,6%
Využití plochy	%	36,5%	39,9%	9,2%
Stupeň Flexibility	%	17,6%	41,2%	133,3%
Součet drah materiálů k celkové délce linky	%	44,3%	40,9%	-7,7%
Rozpracovaná výroba k min potřebě	%	12,2%	24,4%	99,2%

Tabulka 20: Výsledné průměrné hodnoty sledovaných systémů

Skutečný CT k požadovanému TT – v 16 případech bylo dosaženo zlepšení nebo shodného výsledku. V jednom případě se hodnota zhoršila z původních 100% na 95%. Tato změna nebyla zásadní pro hodnotu celého systému, protože vysoká míra jistoty splnění očekávaného TT byla splněna.

Poměr ztrátových časů k sumě výrobních časů – ve 3 případech došlo ke zhoršení. Jednalo se linky s komplikovanou strukturou související technologií montáže. Zároveň se jednalo o linky, kde je možné produkovat i jiné typy výrobků. Tento druh flexibility není součástí hodnotících kritérií této metodiky. V ostatních případech se projevil pozitivně zamýšlený trend přestaveb linek do podoby linky typu „U“. Díky tomu bylo vybalancování pracovních činností lepší.

Využití plochy a její využití – toto kritérium neukazuje jednoznačně lepší hodnoty, než bylo očekáváno. 6 linek vykázalo podle předložené metodiky horší využití než předchozí stav. Tento jev byl zapříčiněn provázaností linek a nemožností tvorby systému bez omezení (limitace prostorem). Pozitivní jev byl, že celková plocha po optimalizaci poklesla o 225 m² (z původních 774 m² na 536 m²). Tím došlo k celkovému snížení zabrané plochy o 31%.

Stupeň Flexibility – původní linky vykazovali průměrnou hodnotu kombinací počtu pracovníků v lince $n = 1,1$. Při optimalizaci bylo dosaženo průměrné hodnoty $n = 1,8$ kombinace na linku. Tím došlo ke zlepšení tohoto parametru ze 17,6% (počtu možných kombinací) na 41,2% možných kombinací (100 % odpovídá hodnotě parametru $n = 3 \Rightarrow 19$ kombinacím a více) což odpovídá zlepšení o 133%.

Součet drah materiálů k celkové délce linky – původní linky vykazovali v průměru 44,3% a po optimalizaci se tento parametr zhoršil na hodnotu 40,9 %. Jednalo se o pokles 7,7%. Důvodem je kladený důraz na větší kompaktnost linek a tím jejich zkrácení při nezměněné technologii a postupu zpracování dílů. Tím došlo k tomu, že jednotlivé komponenty při pohybu na pracovišti nezměnili délku trasy kterou musely projít. Rozpracované dílce, pak prošly kratší vzdáleností, ale ta v poměru k celkovým drahám nebyla zásadní. Toto kritérium ukazuje, že zlepšení došlo v případě výrob, kdy se jedná o kompletaci výrobků z menšího počtu dílců a zkrácení linky v poměru k celkové uražené délce je zásadní.

Rozpracovaná výroba k min potřebě – Díky lepšímu rozestavení montážních systémů došlo k lepšímu rozložení rozpracované výroby vůči postupu výroby. Původní hodnota byla 12,2% a po přestavbě bylo dosaženo hodnoty 24,4%. Tím bylo dosaženo zlepšení o 99,2%.

Metodika pomohla porozumět slabým místům při optimalizacích a návrzích linek. Detailní výsledky jednotlivých linek jsou uvedeny v příloze *Výsledky hodnocení kvality linek*.

10 Přínosy pro obor průmyslové inženýrství a praxi

Metodika pro hodnocení kvality montážních systémů, která je popsána v této disertační práci, je určena průmyslovým inženýrům a designérům výrobních linek. Snahou je, aby měli přesnější představu o systému a byli schopni vysledovat kritická místa a ty následně eliminovat. Součástí jejich práce je schopnost umět se rozhodnout o výhodnosti navrženého systému. Pro jednodušší a přesnější rozhodování je sestavena tato metodika, která pomáhá nastavit ukazatele a indikátory, pomocí kterých je možné kontrolovat a hodnotit navržené varianty rozestavení montážních systémů. Práce není zaměřená na hodnocení linky na základě finančních ukazatelů, ale umožňuje projekci stavů a skutečností, které mohou nastat i v dlouhodobějším časovém horizontu. Při běžném finančním hodnocení většinou nejsou zohledněny například skutečnosti, které mohou negativně ovlivňovat bezpečnost, hygienu pracovního prostředí, schopnost reakce na výkyvy potřebného produkovaného množství apod.

Metodika je koncipována jako otevřený systém, ve kterém je umožněno využít znalosti a schopnosti průmyslového inženýra při návrhu výrobních systémů tak, aby výsledná podoba linky korespondovala s potřebami a možnostmi okolí. Metodika je rozdělena fakticky na dva bloky.

- **Hodnotící kritéria**

Jsou předefinovaná kritéria, která byla vybrána tak, aby v maximální míře reflektovala obecné požadavky kladené na systém.

- Definování **vlastních vah** (preferencí) kritérií mezi sebou (Saaty Method)

V této části metodiky je dána možnost měnit předdefinované váhy výše zmíněných kritérií. Váhy jsou nastaveny tak, aby bylo možné metodiku plnohodnotně využívat. Nicméně je možné, že si uživatelé mohou nastavit váhy kritérií tak, aby odpovídali jejich potřebám.

Tato metodika přiřazuje určité kvantifikovatelné charakteristiky konkrétnímu provedení linky při respektování určité množiny metrik a jejich důležitosti vyjádřené vahou.

V metodice jsou nastavena kritéria, která jsou obecně použitelná a v praxi využívaná. Tato kritéria se nemusí vždy plně shodovat s potřebami pro určení kvality systému a proto autor umožňuje doplňovat a měnit kritéria za jiná. Při změně kritérií je nutné jednoznačně definovat jejich povahu, charakter a účel a následně modifikovat tabulku vstupních kritérií. Tím vznikne nová množina kritérií, které mají mezi sebou jiné vztahy, a proto je nutné ve většině případů provést revizi vah a následně je přenastavit. To znamená, že s touto skutečností je nutno revidovat tabulku vztahů kritérií (Saaty Metoda), ať již na základě změny kritérií anebo na základě jiných potřeb (změna situace z závodě, změna produkovaného množství, změna ve zdrojích apod.).

Metodika je rámcový návod jak přistupovat systematicky k hodnocení výrobních systémů. Napomáhá rozvíjet znalosti o logice systémů a napomáhá hledat cesty jak dosáhnout takového systému, který umožňuje vyrábět s vysokou efektivitou lidské práce (minimální úsilí x maximální výkon), minimem vložené energie, efektivním využitím materiálu apod..

Práce nehledá řešení pro maximální výkon, ale jak je definováno v TOC, je hledán optimální stav, kdy linka umožňuje výrobu bez úzkých míst s cílem následovat požadavek zákazníka. Smyslem není kapacitní využívání systému, ale schopnost flexibilní reakce na okamžitý požadavek na výstup.

V metodice je snaho o maximální zohlednění **flexibility, která umožňuje lepší řízení toku a tím i lepší řízení výrobních nákladů**. Schopnost vyrábět podle požadavku, je v metodice postavena na přední místo. Schopnost produkovat výrobky systémem je zohledněna k požadovanému odebíranému množství. To jakého množství je za jednotku času systém schopný produkovat v souvislosti s požadavkem na výstup ukazuje, jestli je systém správně dimenzován. V metodice **není hledáno nejefektivnější produkované množství vzhledem k nákladům**, ale linka je hodnocena z pohledu schopnosti flexibilně produkovat.

Dále je zohledněn pohledem na systém jako na soubor diskretních jednotek zabírající určitý prostor. Je porovnávána **velikost systému s možným vyráběným množstvím**. To umožňuje stanovit, jak je systém využit (nebo může být využit) vzhledem ke své velikosti a jestli nezabírá nadměrnou velikost prostoru. Tento parametr je možné s výhodou využít především při přestavbách systému a optimalizacích, protože designér dostává zpětnou informaci, jak je efektivně využit prostor vůči výkonu a nikoli pouze co do velikosti. To dokresluje, s jakým úspěchem jsou změny realizovány. Pokud poměr mezi potřebným výkonem a velikostí je pozitivní, pak i větší velikost systému (pokud je aplikovatelná v prostředí) nemusí být negativní.

Dále je začleněn do celkového hodnocení i pohled interního logistického toku, jako ukazatele štíhlosti systému. Systém je charakterizován tím, jak je materiál organizován (co systém umožňuje) a jak jím protéká. Aplikace principů štíhlé výroby dokladuje jak je systém vyspělý a jak koresponduje s moderními požadavky na výrobu (montáž).

Začlenění doplňujících činitelů má za úkol zpřesnit hodnocení linky, aby z multikriteriálního pohledu bylo hodnocení co nejvíce vypovídající a aby byly zohledněny specifické požadavky daného prostředí.

Využití metodiky v praxi bylo ověřeno na montážních systémech různých typů výrob. Metodika je vhodná pro montážní systémy, s vysokým stupněm opakování a velkým podílem manuální práce. Limity metodiky jsou především u vysoce automatizovaných systémů, kde případné změny vedou jen k malým úsporám vzhledem k nutnosti vynaložení vysokých finančních prostředků do investice vedoucí k požadované změně. Pomocí této metodiky hodnocení, bylo možno vybrat nejvýhodnější variantu z navržených modelů systému. Dále při sledování a porovnávání linek mezi sebou bylo možno prokázat, která linka byla postavena a vyhovovala kritériím štíhlé výroby nejvíce. To bylo použito jako modelová situace a výhodné prvky byly začleněny do dalších realizací.

Další výhodou této metodiky je, že nejenom vede tvůrce linek při návrhu, ale díky získávání znalostí o principech montážních systémů jim dává širší znalosti daného prostředí. Návrhář se tím stává nejenom člověkem, který tvoří linku jen na základě znalosti technologie, ale zároveň i na základě znalostí z pohledu zákaznických potřeb,

potřeb zaměstnanců, logistiky atd. Takto vytvořený systém potom vykazuje dlouhodobou stabilitu výkonu při vysokém stupni flexibility. Tím je výroba méně náchylná na případné neočekávané situace.

Naplnění hypotéz:

- Linky „I“ i „U“ jsou si rovny z pohledu maximální kapacity výkonu.

Bylo prokázáno, že pouhým přeskupením diskrétních systémů, při zachování technologie a zpracování dochází obecně ke zkrácení vedlejších časů a tím ke zkrácení celkového výrobního času. Na základě toho je možné konstatovat, že linka přestavěná do podoby „U“ z podoby „I“ má vyšší maximální hypotetický výkon za jednotku času.

- „U“ linka umožňuje více alternativ pro tvorbu možných pracovních stanic, oproti lince typu „I“.

Bylo prokázáno, že po modifikaci montážních systémů z „I“ do „U“ došlo ke zvýšení koeficientu flexibility z průměrné hodnoty $n=1,1$ [variant] na $n=1,8$ [variant].

- Linka koncepčně řešena pro výrobu ve třech směnách zabírá menší plochu než linka určená pro výrobu v jedné směně.

Průměrná výchozí hodnota koeficientu směnný provoz byla 2 [směny/den] a po přestavbě bylo docíleno hodnoty 2,4 [směny/den] při současné změně velikosti zabrané plochy, z původních 42,98 [m²] na 29,8 [m²].

- Každému konkrétnímu uspořádání konkrétní linky v konkrétních podmínkách, lze přiřadit charakteristické číslo, které kvantifikuje výhodnost daného řešení linky.

Bylo prokázáno, že je možné přiřadit právě takové číslo, které určuje kvalitu systému na základě vybraných kritérií a jejich vah odpovídajících reálným podmínkám prostředí.

Shrnutí přínosů disertační práce pro rozvoj oboru průmyslové inženýrství a průmyslovou praxi:

- Nová metodika hodnocení montážních systémů z hlediska jejich výhodnosti v konkrétních podmínkách provozování.
- Přiřazení charakteristického čísla, ke konkrétnímu uspořádání montážního systému v konkrétních podmínkách, které podporuje navrhování výhodnější varianty uspořádání montážního systému.
- Aplikace Saatyho metody pro nalezení vah jednotlivých metrik charakterizujících montážní systém.
- Původní metodika hodnocení ploch, které jsou využity pro konkrétní uspořádání montážního systému.
- Jednoduchá matematická forma pro výpočet charakteristického čísla montážního systému je zpracována v elektronické podpoře.

Seznam literatury

- [1] IMAI, Massaki: GEMBA KAIZEN: Brno, Computer Press, a.s., Czech edition 2005. ISBN 80-251-0850-3.
- [2] TOPFER, Armin a kolektiv: SIX SIGMA, Computer press, a.s., 2008, První vydání. ISBN 978-80-251-1766-8
- [3] BASL, J., Majer, P., Šmíra, M.: TEORIE OMEZENÍ V PODNIKOVÉ PRAXI, Grada, 2003. ISBN 80-247-0613-X
- [4] DANĚK, Jan; PLEVNÝ, Miroslav: VÝROBNÍ A LOGISTICKÉ SYSTÉMY, Západočeská univerzita v Plzni, Číslo publikace 1924, Únor 2009, ISBN 978-80-7043-416-1
- [5] ŘEPA, Václav: PODNIKOVÉ PROCESY - PROCESNÍ ŘÍZENÍ A MODELOVÁNÍ, 2., aktualizované a rozšířené vydání, Grada, 2007. ISBN 978-80-247-2252-8
- [6] ZELENKA, Antonín; KRÁL, Mirko: PROJEKTOVÁNÍ VÝROBNÍCH SYSTÉMŮ, Vydavatelství ČVUT 1995, ISBN 80-01-01302-2
- [7] MAINZOVÁ, Eva; ZBORNÍK, Tomáš; ZÁKLADY OPERAČNÍ ANALÝZY, Západočeská univerzita v Plzni, Číslo publikace 1310, červen 2001, ISBN 80-7082-765-3
- [8] HUMÁR, Anton: TECHNOLOGIE MOTÁŽE, Sylaby předmětu, Ústav strojírenské technologie, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojíního inženýrství
- [9] NOVÁK, Josef; HRYZLÁK, Jan: EKONOMIKA A ŘÍZENÍ PROVOZU, Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava. Určeno pro projekt číslo: CZ.04.1.03/3.2.15.3/0414, Ostrava 2007
- [10] RUSSEL-JONES, Neil: MANAGEMENT ZMĚNY, Portál, s.r.o., 2006. Publikace č. 1289
- [11] GOLDRATT, Eliyahu M.: KRITICKÝ ŘETĚZ, InterQuality, s.r.o., 1999. ISBN 80-902770-0-4
- [12] GOLDRATT, Eliyahu M.: CÍL
- [13] HORVÁTH, Gejza: LOGISTIKA VÝROBNÍCH PROCESŮ A SYSTÉMŮ, 1. vyd., Plzeň : Západočeská univerzita, 2000, ISBN 80-7082-625-8
- [14] KOVANICOVÁ, Dana: FINANČNÍ ÚČETNICTVÍ v kontextu současného vývoje, 1. Vydání, únor 1997, Polygon, Praha. ISBN 80-85967-51-0
- [15] SIXTA, Josef; ŽIŽKA, Miroslav. LOGISTIKA používané metody: Computer Press, a.s., 2009, Vydání první. ISBN 978-80-251-2563-2
- [16] COLLISON, Chris; PARCEL, Geoff. KNOWLEDGE MANAGEMENT: Computer Press, a.s., 2005, Vydání první. ISBN 80-251-0760-4
- [17] BUREŠ, Vladimír: ZNALOSTNÍ MANAGEMENT: Grada Publishing a. s., 2007, První vydání. ISBN 978-80-247-1978-8
- [18] VODÁK, Josef; Kucharčíková Alžběta: EFEKTIVNÍ VZDĚLÁVÁNÍ ZAMĚSTNANCŮ: Grada Publishing a.s., 2007, První vydání (2982. publikace). ISBN 978-80-247-1904-7
- [19] HRM line: Elektronický Newsletter Měsíčníku Human Ressource Management. č.15, 3.9.2010, Vydává ECONOMIA, AS.
- [20] MOLNÁR, Zdeněk: ÚVOD DO ZÁKLADŮ VĚDECKÉ PRÁCE, SYLABUS pro potřeby semináře doktorandů
- [21] GERALD R. Aase; JOHN R. Olson; MARC J. Schniederjans: U-SHAPED ASSEMBLY LAYOUT AND THEIR IMPACT ON LABOR PRODUCTIVITY: AN EXPERIMENTAL STUDY: EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH, Production, Manufacturing and Logistic, Received 8 November 2001; accepted 20 December 2002
- [22] TRUNEČEK, Jan: GLOBÁLNÍ PARADIGMATA PRO PROJEKTOVÁNÍ SYSTÉMŮ ŘÍZENÍ ORGANIZACÍ NA PRINCÍPECH CHOVÁNÍ ŽIVÝCH ORGANISMŮ, Acta Oeconomica Pragensis. Roč 16. č. 3. 2008.

- [23] EVIN, Emil; SEMJON, Vladimír: PRODUCTIVITY INCREASE OF ASSEMBLY LINE BY YAMAZUMI BALANCING THE ASSEMBLY STATIONS, *Transfer inovací* 13/2009 str. 73-77.
- [24] REKIEK, B.; DE Lit, P.; DELCHAMBRE, A.: EVOLUTIONARY APPROACH TO DESIGN ASSEMBLY LINES, Chapter 16, *Université Libre de Bruxelles, CAD/CAM department*
- [25] WING, To Ka: AN EVOLUTIONARY APPROACH FOR THE RECONFIGURATION OF AN ASSEMBLY-LINE SYSTEMS, *Department of Manufacturing Engineering and Engineering Management, City University of Hong Kong, February 2003*
- [26] FALKENAUER, Emanuel: LINE BALANCING IN THE REAL WORLD, *International Conference on Product Lifecycle Management, Optimal Desing, PLM-SP1 – 2005 Processings. Pp 360-370*
- [27] AMEN, Matthias: HEURISTIC METHODS FOR COST-ORIENTED ASSEMBLY LINE BALANCING, *International journal of production economics, 0925-5273/00/\$-see front matter c 2000 Elsevier Science B.V., PII: S0925-5273(99)00095-X, Received 17 March 1998; accepted 21 September 1998*
- [28] HÅKANSSON, Johan; Skoog, Emil; Eriksson, Kristina: A REVIEW OF ASSEMBLY LINE BALANCING AND SEQUENCING INCLUDING LINE LAYOUTS; *University West Department of Engineering Science, 461 86 Trollhättan*
- [29] PYO, T.S.: IMPLEMENTATION AND LINE BALANCING OF ASSEMBLY LINE OF ABS MOTOR FOR IMPROVEMENT OF ASSEMBLY PRODUCTIVITY,
- [30] SUWANNARONGSRI, Supaporn, PUANGDOWNREONG, Deacha: OPTIMAL ASSEMBLY LINE BALANCING USING TABU SEARCH WITH PARTIAL RANDOM PERMUTATION TECHNIQUE, *International Journal of Management Science and Engineering Management, Vol. 3 (2008) No. 1, pp. 3-18*
- [31] GAMBERINI, R., GRASSI, A., REGATTIERI, A.; A MULTIPLE SINGLE-PASS HEURISTIC ALGORITHM FOR THE STOCHASTIC ASSEMBLY LINE RE-BALANCING PROBLEM, *19th International Conference on Production Research*
- [32] BOYSEN, N., FLIEDNER, M., SCHOLL, A.; A CLASSIFICATION OF ASSEMBLY LINE BALANCING PROBLEMS, *European Journal of Operational Research, in press. 12/2006*
- [33] DENNIS, P., LEAN PRODUCTION SIMPLIFIED. *Productivity press, New York, USA 2002, 170p.*
- [34] SUWANNARONGSRI, S., PUANGDOWNREONG, D.: OPTIMAL ASSEMBLY LINE BALANCING USING TABU SEARCH WITH PARTIAL RANDOM PERMUTATION TECHNIQUE, *ISSN 1750-9653, England, UK International Journal of Management Science and Engineering Management, Vol. 3 (2008) No. 1, pp. 3-18*
- [35] MILDORF, Lukáš: ŠTÍHLÁ VÝROBA V PROSTŘEDÍ DODAVATELŮ AUTOMOBILOVÉHO PRŮMYSLU, *TRW CARR S.R.O., Stará Boleslav, Lektorovala: Doc. Ing. Darja Noskievičová, CSc.*
- [36] BUCHIN, Yossi; MEDELLER, Russell; LIU, Qi: ASSEMBLY SYSTEM FACILITY DESIGN, *IIE Transactions; Jan2006, Vol. 38 Issue 1, p67-79, 13p, ISSN: 0740817X, DOI: 10.1080/07408170500208370*
- [37] *Slovník cizích slov Vydal Encyklopedický dům, spol. s.r.o., 2 doplněné vydání 1996, ISBN 80-90-1647-8-1*
- [38] PRECÍK, Vratislav: PRŮMYSLOVÁ LOGISTIKA; *Nakladatelství ČVUT 2006; ISBN 80-01-03449-6*
- [39] HORVÁTH, Gejza: METODIKA HODNOCENÍ LOGISTICKÝCH INOVACÍ VE VÝROBNÍM PODNIKU; *Fakulta výrobních technologií a managementu UJEP v Ústí nad Labem, horvath@fvtm.ujep.cz*
- [40] HORVÁTH, Gejza; ŠRAJER, VLADIMÍR: VLIV LAYOUTU NA KONKURENCESCHOPNOST PODNIKU. In: *Finance a výkonnost firem ve vědě, výuce a praxi, 2009. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Tribun EU s.r.o., ISBN 978-80-7318-798-9*

- [41] HORVÁTH, Gejza: LOGISTIKA VE VÝROBNÍM PODNIKU, Plzeň: ZČU v Plzni, 2007. ISBN 978-80-7043-634-9
- [42] KOZEL, Petr: Hodnocení zlepšení výrobních linek po re-designu nebo optimalizace, 13. Ročník - MOPP 2011. ISBN 978-80-261-0060-7
- [43] KOZEL, Petr; HORVÁTH, Gejza: PŘÍSPĚVEK K HODNOCENÍ KVALITY MONTÁŽNÍ LINKY, Strojírenská Technologie, červen 2012, číslo 3, ročník XVII, Vydává Univerzita J. E. Purkyně v Ústí n. Labem, Fakulta výrobních technologií a managementu, ISSN 1211 - 4162
- [44] FOTR, Jiří; Švecová, Lenka, a kolektiv: MANAŽERSKÉ ROZHODOVÁNÍ postupy, metody a nástroje, Vydalo nakladatelství Ekopress, s.r.o., K mostu 124, Praha 4, II. Vydání – 2010, ISBN 978-80-86929-59-0

Seznam internetových zdrojů

- [45] <http://blog.softeu.cz/prednasky/2007/jbpm/co-to-je-proces.html>; 09/2011
- [46] www.mmspektrum.com; 08/2011
- [47] <http://www.goldratt.cz>; 05/2010
- [48] <http://cs.wikipedia.org>; 05/2011
- [49] <http://www.assembly-line-balancing.de>; 01/2011
- [50] <http://www.chaloupka-kvalita.cz>; 02/2010
- [51] <http://cs.wikipedia.org/wiki/>; 06/2010
- [52] <http://encyklopedie.vseved.cz/teorie+front>; 12/2009
- [53] <http://www.systemonline.cz/rizeni-vyroby/komplexni-optimalizace-vyroby-s-planovanim-a-rozvrhovanim-asprova.htm>; 09/2010
- [54] http://www.kip.zcu.cz/kursy/svt/eb/prum_eng/index.html: Průmyslové Inženýrství a Řízení Výroby, ENCYCLOPEDIA BRITANICA, Překlad: Jiří Vacek, Plzeň 1999; 03/2011
- [55] <http://e-api.cz/article/69775.stihle-vyrobní-systemy-8211-princip-8222-best-of-best-8220-/>; 04/2010
- [56] <http://www.showa.cz/?pg=vyrobek&lg=cze>; 05/2012

Přílohy:

Seznam publikovaných i nepublikovaných prací, včetně prací vzniklých v rámci studia jednotlivých předmětů:

Metodický postup kvantifikace ploch

Postup při počítání ploch pomocí Microsoft Excel.

- Vytvoření tabulky, která obsahuje buňky:

Buňka 1	název
Buňka 2	hodnota a barva pro lepší vizualizaci
Buňka 3	suma (obsahuje vzorec = COUNTIF (sledovaný layout; odkaz na buňku 2)
Buňka 4	Přepočet buněk na plošnou míru.

Buňka 1	Buňka 2	Buňka 3	Buňka 4
P _{VZ} - Výrobní zařízení		= COUNTIF (Oblast výpočtu; Buňka 2)	=Buňka 3 * koeficient přepočtu na plošnou míru)
P _V - Pohyb operátora		= COUNTIF (Oblast výpočtu; Buňka 2)	=Buňka 3 * koeficient přepočtu na plošnou míru)
P _S - Skladování		= COUNTIF (Oblast výpočtu; Buňka 2)	=Buňka 3 * koeficient přepočtu na plošnou míru)
P _T - Transport		= COUNTIF (Oblast výpočtu; Buňka 2)	=Buňka 3 * koeficient přepočtu na plošnou míru)
P _K - Kontrola		= COUNTIF (Oblast výpočtu; Buňka 2)	=Buňka 3 * koeficient přepočtu na plošnou míru)
P _{TE} - Technologie		= COUNTIF (Oblast výpočtu; Buňka 2)	=Buňka 3 * koeficient přepočtu na plošnou míru)
P _T - Technická		= COUNTIF (Oblast výpočtu; Buňka 2)	=Buňka 3 * koeficient přepočtu na plošnou míru)
P _O - Ostatní		= COUNTIF (Oblast výpočtu; Buňka 2)	=Buňka 3 * koeficient přepočtu na plošnou míru)
P _N - Bez účelu		= COUNTIF (Oblast výpočtu; Buňka 2)	=Buňka 3 * koeficient přepočtu na plošnou míru)
P _U - Uspořené místo		= COUNTIF (Oblast výpočtu; Buňka 2)	=Buňka 3 * koeficient přepočtu na plošnou míru)

Tabulka 21 Předpis pro zakreslování ploch [vlastní zdroj]

- Přenesení podkladu layoutu do Excelu.

Uložený layout v podobě obrázku je funkcí *Rozložení stránky – Vzhled stránky - pozadí*, přenesen do aktuálního listu v Excelu. Takto připravený Excel-ovský sešit slouží pro snadnější zakreslení ploch a díky širokému používání Excelu je to způsob jednoduše aplikovatelný v podnicích. Na Obr. 31 je znázorněn layout spolu s tabulkou, ve které jsou automaticky započítávány velikosti označených ploch. Pro lepší orientaci je použito barevné rozlišení. Na Obr. 32, Obr. 32, Obr. 33, Obr. 34, Obr. 35, Obr. 36, Obr. 37 je znázorněn postup, jak dochází k přiřazení jednotlivých ploch z tabulky do layoutu. Postupně se celý layout zamaluje barvami. Tím je nadefinovaná každá plocha a přiřazena k dané skupině.

Obr. 32 – znázorněné pracovní plochy (stoly)

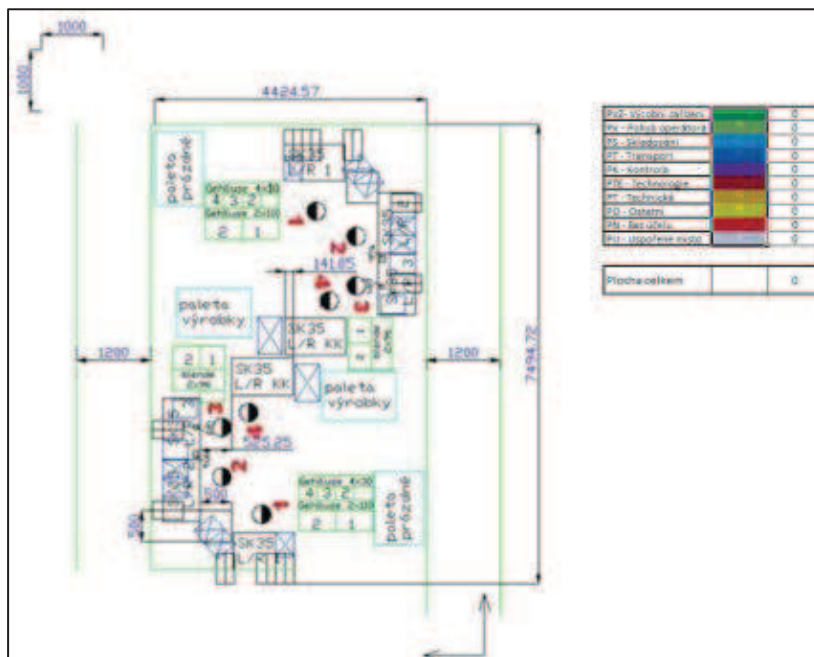
Obr. 33 – graficky zvýrazněny plochy pohybu zaměstnanců využívané pro standardní práci.

Obr. 34 – znázornění ploch pro uložení a skladování materiálu (dopravníky, plochy pro palety, zásobníky apod.).

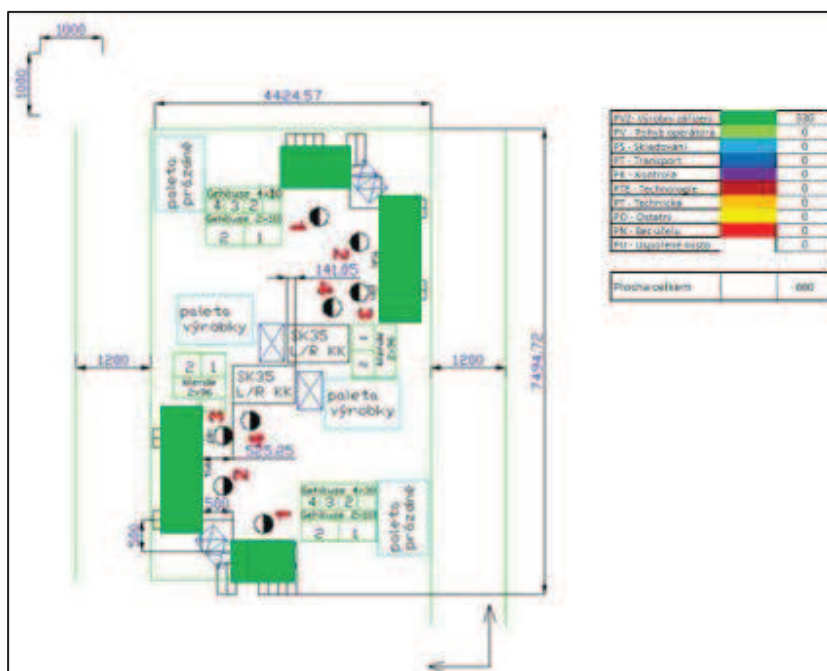
Obr. 35 – kontrolní pracoviště a zařízení

Obr. 36 – ostatní plochy, které korespondují s popisem v kapitole 6

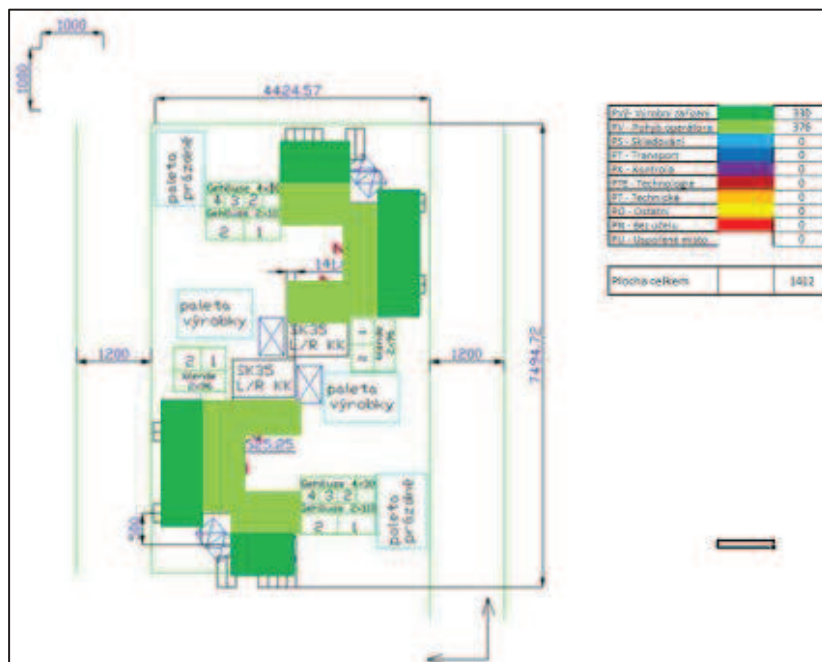
Obr. 37 – Doplnění zbývajících nevyplněných míst v layoutu jako nevyužitých prostorů.



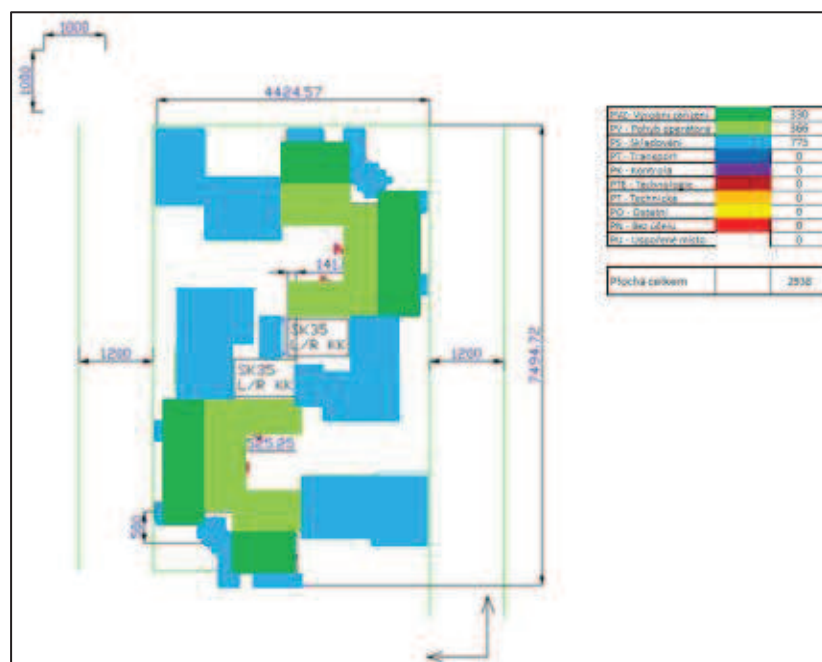
Obr. 31 Layout montážní linky [vlastní zdroj]



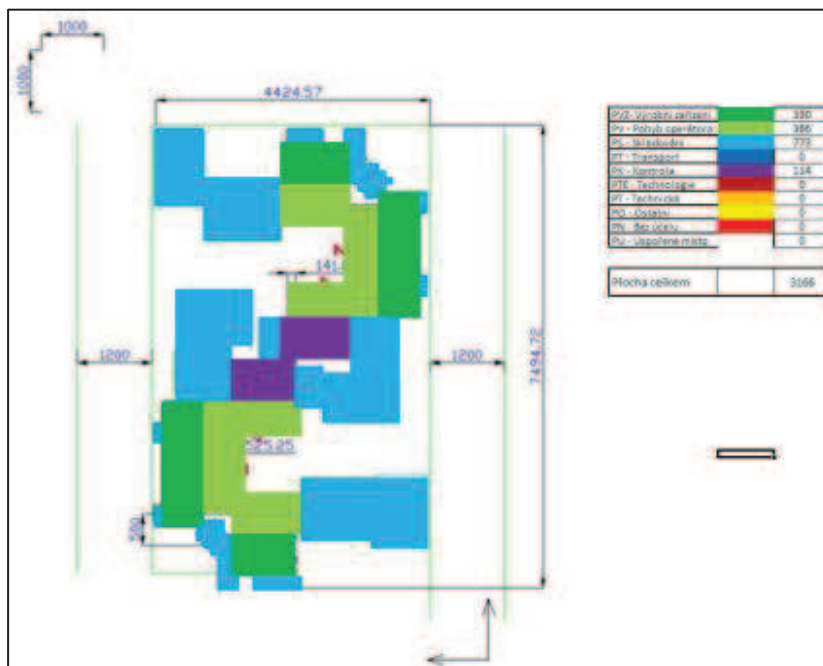
Obr. 32 Pracovní prostor [vlastní zdroj]



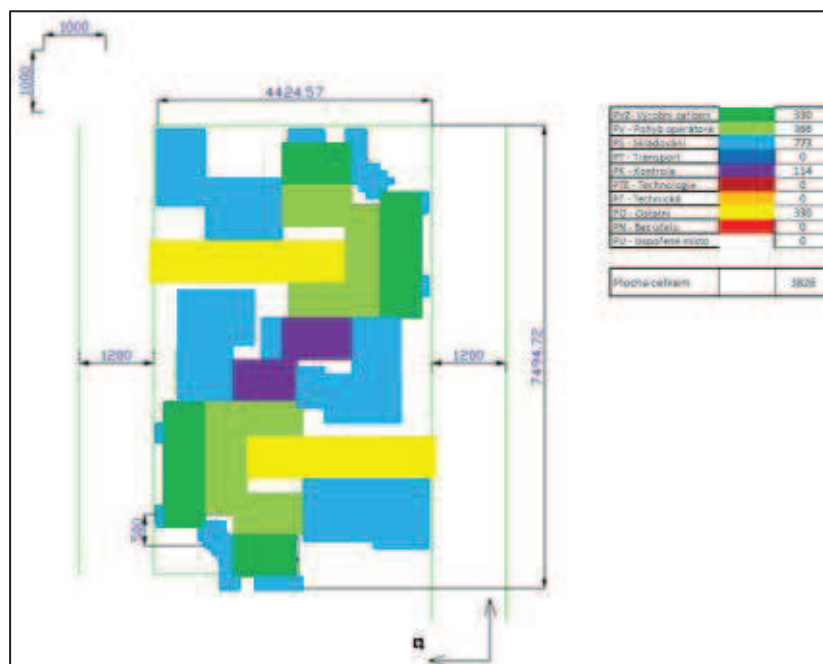
Obr. 33 Prostor pohybu pracovníků [vlastní zdroj]



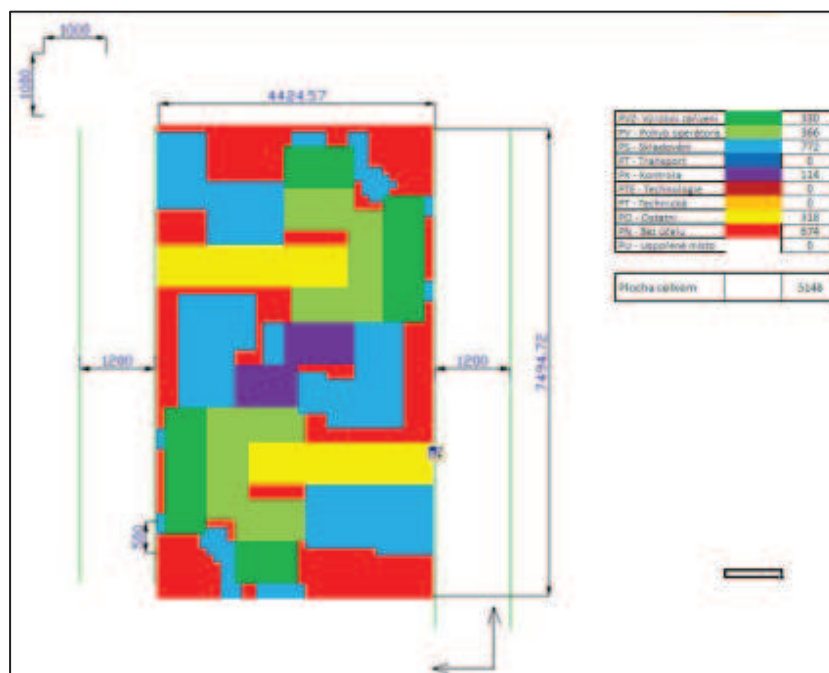
Obr. 34 Skladovací prostory [vlastní zdroj]



Obr. 35 Kontrola [vlastní zdroj]



Obr. 36 Únikové prostory – Ostatní [vlastní zdroj]



Obr. 37 Plochy bez účelu [vlastní zdroj]

- Kvantifikace ploch

Přenesením obsahu buňky 2 do prostoru, kde se nachází v layoutu (podklad) plocha odpovídající specifikaci (Buňka 1). Po vyplnění všech buněk v layoutu příslušnými barvami je kompletně doplněna tabulka obsahující velikosti dílčích ploch.

Mechanismus výpočtu ploch viz příloha: str.: I0; název: Metodický postup kvantifikace ploch

- Vyhodnocení

Výsledkem je tabulka, která předkládá rozdělení ploch výrobního systému, kdy jednotlivé plochy jsou již vyjádřené v jednotkách [m²].

		m ²
PVZ - Výrobní zařízení		2,13
PV - Pohyb operátora		2,36
PS - Skladování		4,97
PT - Transport		
PK - Kontrola		0,73
PTE - Technologie		
PT - Technická		
PO - Ostatní		2,05
PN - Bez účelu		4,34
PU - Uspořené místo		
Plocha celkem		33,15

Tabulka 22 Suma ploch [vlastní zdroj]

Výsledky hodnocení kvality linek