



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

ANALÝZA MATERIÁLOVÉHO TOKU A PRŮBĚHU ZÁSOB MEZI VÝROBNÍMI ÚSEKY

ANALYSIS OF MATERIAL FLOW AND LEVEL OF INVENTORY BETWEEN PRODUCTION
SECTIONS IN TIME

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Tomáš Lanzendörfer

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. David Hloušek

BRNO 2020

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student: **Tomáš Lanzendörfer**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Stavba strojů a zařízení
Vedoucí práce: **Ing. David Hloušek**
Akademický rok: 2019/20

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

Analýza materiálového toku a průběhu zásob mezi výrobními úseky

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Vypracování rešeršního přehledu způsobů řízení zásob a konceptů technického řešení skladů s ohledem na vybrané charakteristiky materiálového toku.

Pojednání o důležitých provozních parametrech výrobních úseků a jejich vlivu na tyto vybrané charakteristiky materiálového toku.

Pro jednotlivé způsoby řízení zásob a koncepty technického řešení skladů vytvoření počítačových simulačních modelů skladu mezi výstupním a vstupním výrobním úsekem, jejichž provozní parametry bude možné měnit.

Sestavení matice experimentů, v rámci kterých bude možnost logicky měnit hodnoty parametrů modelů výrobních úseků i koncepty uspořádání mezilehlého skladu.

Provedení analýzy vlivu parametrů simulačních modelů na pojednávané charakteristiky materiálového toku.

Cíle bakalářské práce:

Rešeršní přehled způsobů řízení zásob. Kritická rešerše konceptů technického řešení skladů s ohledem na pohyb materiálu.

Přehled charakteristik materiálového toku, zhodnocení vlivu řízení zásob a uspořádání skladu na jejich hodnoty.

Vytvoření počítačových simulačních modelů výrobních úseků a mezilehlého skladu.

Provedení simulačních experimentů dle navržené matice experimentů, dle které budou testovány různé varianty parametrů simulačních modelů.

Analýza vlivu parametrů simulačních modelů na vybrané charakteristiky materiálového toku.

Seznam doporučené literatury:

BANGSOW, Steffen. Use cases of discrete event simulation: appliance and research. 1st ed. New York: Springer, 2012, p. cm. ISBN 978-364-2287-763.

BANKS, Jerry, CARSON II, Barry L. NELSON a David M. NICOL. Discrete-event system simulation. Upper Saddle River, N.J.: Pearson Education, Inc., 2009. ISBN 978-013-8150-372.

BAYER, Johann. Simulation in der Automobilproduktion. Springer, 2003. ISBN 35-404-4192-1.

KÜHN, Wolfgang. Digitale Fabrik. München [u.a.]: Hanser, 2006. ISBN 978-344-6406-193

NOCHE, Bernd a WENZEL. Marktspiegel Simulationstechnik in Produktion und Logistik. Köln: TUV Rheinland, 1991. ISBN 38-858-5746-4.

BRACHT, Uwe a Dieter GECKLER. Digitale Fabrik Methoden und Praxisbeispiele: Methoden und Praxisbeispiele. 1. Aufl. Berlin: Springer, 2009. ISBN 978-354-0889-731.

WENZEL, Sigrid a Matthias WEIß. Qualitätskriterien für die Simulation in Produktion und Logistik Planung und Durchführung von Simulationsstudien. Berlin, Heidelberg, 2008. ISBN 978-354-0352-761

ZEIGLER, Bernard P. Theory of modelling and simulation. New York: Wiley, c1976, xxii, 435 p. ISBN 04-719-8152-4.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

Tato práce se zabývá analýzou materiálového toku mezi výrobními úseky propojenými mezilehlým skladem. První část práce je soustředěna na podrobný rozbor logistiky a teorie zásob. Druhá část je zaměřena na tvorbu simulačního modelu. Simulace jsou prováděny v prostředí programu Tecnomatix Plant Simulation, vyvíjeným společností Siemens. V závěru práce je provedeno zhodnocení analýz.

KLÍČOVÁ SLOVA

logistika, skladování, sklad, materiálový tok, řízení zásob, Plant Simulation, výrobní úsek, mezisklad, analýza, SimTalk, model, simulace, dopravník, Just in time, JIT, montáž

ABSTRACT

The bachelor's thesis deals with an analysis of material flow between manufacturing sectors connected by an intervening storage. The first part is focused on detailed analysis of logistics and inventory theory. The second part is focused on a simulation model creation. The simulations are realized in Tecnomatix Plant Simulation software, developed by the Siemens company. At the end of the thesis there is a conclusion of the analyses.

KEYWORDS

logistics, storage, warehouse, material flow, stock management, Plant Simulation, manufacturing sector, intervening storage, analysis, SimTalk, model, simulation, conveyor, Just in time, JIT, assembly

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

LANZENDÖRFER, Tomáš. *Analýza materiálového toku a průběhu zásob mezi výrobními úseky*. Brno, 2020. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. 66 s. Vedoucí bakalářské práce David Hloušek.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Davida Hlouška a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 22. června 2020

.....

Tomáš Lanzendörfer

PODĚKOVÁNÍ

Touto cestou bych chtěl poděkovat všem blízkým, přátelům i celé rodině za psychickou podporu nejen při tvorbě této práce, ale i při celém dosavadním studiu. Dále bych chtěl velice poděkovat Ing. Jiřímu Hloskovi, Ph.D. za cenné rady při programování v Plant Simulationu a v poslední řadě děkuji samozřejmě i mému vedoucímu práce Ing. Davidu Hlouškovi za možnost pod jeho vedením zpracovat tuto práci.

OBSAH

Úvod	10
1 Teorie zásob.....	11
1.1 Základní pojmy	11
1.1.1 Kusová výroba.....	11
1.1.2 Sériová výroba.....	11
1.1.3 Logistika	11
1.1.4 Logistický řetězec.....	11
1.2 Důvody udržování zásob	12
1.2.1 Efekty plynoucí z rozsahu výroby	12
1.2.2 Vyrovnávání nabídky a poptávky.....	12
1.2.3 Specializace výroby	13
1.2.4 Ochrana před nepředvídanými událostmi.....	13
1.2.5 Nárazník mezi články řetězce.....	13
1.3 Typy zásob.....	14
1.3.1 Běžné zásoby	14
1.3.2 Zásoby na cestě.....	14
1.3.3 Pojistné zásoby	15
1.3.4 Spekulativní zásoby	16
1.3.5 Sezónní zásoby	17
1.3.6 Mrtvé zásoby	17
1.4 Řízení zásob.....	17
1.4.1 Rozdělení řízení zásob.....	17
1.4.2 Způsoby doplňování a úbytku zásob	18
1.4.3 Metody skladování zásob	18
1.4.4 Metody řízení zásob.....	19
1.5 Koncepty technického řešení skladů.....	21
1.5.1 Konvenční paletové regály	21
1.5.2 Vjezdové regály	21
1.5.3 Průjezdové regály	22
1.5.4 Spádové regály	22
1.5.5 Zatlačovací regály.....	23
1.5.6 Mobilní regály	23
1.5.7 Konzolové (stromečkové) regály.....	24
1.5.8 Mezaninový systém	24
1.5.9 Automatické skladovací systémy	25

1.5.10	Dopravník	25
2	Simulace materiálového toku	26
2.1	Tecnomatix Plant Simulation.....	26
2.1.1	Základní prvky použité v modelu.....	26
2.2	Představení simulačního modelu	32
2.3	Přehled zkoumaných charakteristik materiálového toku	32
2.4	Důležité provozní parametry výrobních úseků.....	32
2.4.1	Směnový režim	33
2.4.2	Pojistné zásoby	33
2.4.3	Rychlost dopravníků.....	34
2.4.4	Překládací rychlost manipulačních robotů	34
2.4.5	Sekvence	34
2.4.6	Prostoje	34
2.5	Simulační model JIT	35
2.5.1	Montáž.....	35
2.5.2	Mezisklad	39
2.5.3	Lakovna	40
2.5.4	Sušárna	40
2.5.5	O simulaci.....	41
2.5.6	Stanovení optimálních pojistných zásob před montážními stanicemi.....	41
2.5.7	Stanovení optimálních pojistných zásob u vstupních zásobníků	42
2.5.8	Stanovení optimálního objednávacího množství.....	43
2.5.9	Stanovení kapacit zásobníků	44
2.5.10	Analýza vlivu zmetkovitosti montáže	45
2.5.11	Analýza vlivu směnového režimu	48
2.5.12	Analýza vlivu kapacity meziskladu.....	51
2.5.13	Analýza vlivu poruchovosti a délky oprav	53
2.5.14	Analýza vlivu zpoždění dodávek.....	54
2.5.15	Analýza vlivu rychlosti manipulačních robotů.....	55
2.5.16	Analýza vlivu rychlosti dopravníků	57
	Závěr.....	59
	Použité informační zdroje.....	60
	Seznam použitých zkratk a symbolů	62
	Seznam obrázků.....	63
	Seznam tabulek.....	65
	Seznam příloh.....	66

ÚVOD

Hlavní náplní této práce bude provedení analýzy materiálového toku ve výrobě složené ze dvou výrobních úseků a meziskladu.

Celý úsek bude vytvořen v simulačním programu Tecnomatix Plant Simulation, za použití jednoduchých modelových prvků. V případě nutnosti specifikace konkrétního chování bude použit programovací jazyk SimTalk.

Model bude představovat obecnou výrobní linku, která poslouží jako zdroj simulačních dat, ze kterých lze podle následné analýzy vyvodit zjevné, i na první pohled méně zjevné závislosti mezi výrobními parametry a charakteristikami materiálového toku. Výsledky analýz lze poté uplatnit v reálném provozu a dosahovat na jejich základě cílených úprav pro zlepšování efektivity a využitelnosti všech dostupných prostředků.

Pro lepší pochopení problematiky a uvedení do tématu následuje z počátku detailnější pohled na logistiku a teorii zásob.

1 TEORIE ZÁSOB

1.1 ZÁKLADNÍ POJMY

Pro snadnější pochopení celé problematiky budou v následujících podkapitolách shrnuty všechny důležité základní pojmy.

1.1.1 KUSOVÁ VÝROBA

Většinou se jedná o výrobu tzv. na zakázku. Vyrábí se jednotlivé (většinou unikátní) výrobky dle požadavků zákazníka. [1]

1.1.2 SÉRIOVÁ VÝROBA

Výroba je specializována na jeden konkrétní výrobek, který je následně vyráběn ve větším počtu, tj. v sérii. Sériová výroba může být:

- Velkosériová – série obsahuje stovky až tisíce kusů
- Malosériová – menší počet kusů v sérii, ovšem stále výhodnější než výroba kusová [1]

1.1.3 LOGISTIKA

Logistika je jedna z hlavních nákladových položek podniku. Je nutným prostředkem k prodeji jakéhokoliv výrobku. Zabezpečuje, aby výrobek dorazil včas, na správné místo a ve správném stavu, aby bylo možné uskutečnit jeho prodej. [2]

1.1.4 LOGISTICKÝ ŘETĚZEC

Logistický řetězec zabezpečuje pohyb materiálu, informací, případně osob ve výrobních a oběhových procesech. Pohyb je uskutečňován pomocí manipulačních, dopravních a pomocných prostředků. Jeho součástí jsou toky materiálové a informační, případně energetické. [3]

1.2 DŮVODY UDRŽOVÁNÍ ZÁSOB

Hlavní úlohy udržovaných zásob jsou následující:

- Dosahování efektů (úspor) plynoucích z rozsahu výroby
- Vyrovnávají poptávku a nabídku
- Umožňují specializaci výroby
- Ochrana před nepředvídanými událostmi
- Nárazník mezi články řetězce

1.2.1 EFEKTY PLYNOUCÍ Z ROZSAHU VÝROBY

Pokud je strategie podniku vyrábět převážně ve velkých sériích, dochází k méně častému přestavování výrobních linek a náklady na výrobu jednotky se tímto snižují. Velkosériová výroba má ovšem za následek potřebu udržovat větší zásoby, aby se podnik vyhnul vyčerpání zásob vedoucímu k poklesu obchodních příležitostí, jelikož dané výrobky jsou vyráběny méně často. Následkem je zvýšení skladovacích nákladů.

V případě malosériové výroby jsou udržované zásoby minimální, čímž jsou značně sníženy skladovací náklady, ovšem oproti výrobě velkosériové dochází k častější přestavbě výrobních linek a zvyšování nákladů s tím spojených. Čas potřebný k přestavbě linek je pro firmu časem nevýrobním, tedy ztrátovým. Navíc nově sestavená linka nepracuje zpočátku se svou největší možnou efektivitou a k seřizování a doladování dochází až v průběhu procesu.

Dalším aspektem spojeným s rozsahem výroby je vliv objednávaného množství jednotek. Podnik má možnost realizovat úspory objednávaným zvýšeným množstvím jednotek a může mít pro takové rozhodnutí několik důvodů.

- Dodavatel nabízí množstevní slevy při objednávce nad určitý počet kusů
- Snižování přepravních nákladů na jednotku zboží (použití dopravního prostředku s výhodnějším přepravním tarifem, nebo efektivnější využití přepravní plochy)
- Snižování potřebné administrativy, a tím i nákladů s tím spojených

Podnik by měl v každém případě zvážit, zda dosažené úspory spojené s objednávaným velkým množstvím jednotek převyšují zvýšené skladovací náklady. [4]

1.2.2 VYROVNÁVÁNÍ NABÍDKY A POPTÁVKY

Zásadní roli hraje sezónnost surovin, nebo i celého výrobku, a s tím spojené výkyvy v nabídce i poptávce. Například výrobce zabývající se konzervací jahod bude pravděpodobně nejvíce vyrábět v létě, kdy probíhá jejich sklizeň. Nabídka bude v tomto období nejspíše značně převyšovat poptávku a bude nutné udržovat zvýšené zásoby. Je to ale nezbytným krokem pro udržení nabídky i po zbytek roku.

Druhým případem je situace, kdy sezónnosti podléhá celý výrobek. Například výrobce specializující se na výrobu zahradní techniky většinou pocítuje zvýšenou poptávku a prodej v letním období. Pokud by chtěl tento podnik svou výrobu přizpůsobovat přímo aktuální poptávce a být schopen uspokojit 100% poptávky, bylo by potřebné razantně zvýšit objem

výroby právě v období léta, což by vedlo ke zvýšeným nákladům a velké fluktuaci pracovní síly, jelikož v zimním období by tento podnik téměř nic nevyráběl. Z tohoto důvodu je efektivnější udržovat výrobu na přibližně stejné hladině po celý rok a mimo sezónu vyrábět převážně do zásob, kterými následně bude podnik schopen v hlavní sezóně vyrovnat zvýšenou poptávku. [4]

1.2.3 SPECIALIZACE VÝROBY

Jednotlivé výrobní závody jsou specializovány na výrobu konkrétního výrobku, což má za následek snížení nákladů na výrobu jednoho kusu, neboť není nutná častá přestavba výrobních linek. Hotové výrobky z jednotlivých specializovaných závodů jsou svázeny do sběrných skladů, kde jsou následně kombinovány podle zákaznických objednávek. Úspory plynoucí z delších výrobních sérií převyšují náklady této dodatečné manipulace. [4]

1.2.4 OCHRANA PŘED NEPŘEDVÍDANÝMI UDÁLOSTMI

Podnik se může pojistit proti vyčerpání zásob nákupem zvýšeného množství surovin a udržovat je následně ve svých skladových zásobách. Dojde sice ke zvýšení skladovacích nákladů, podnik je ale schopen vypořádat se s nestandardními situacemi, jakými jsou například náhlý prudký nárůst poptávky, nebo naopak předpokládá v blízké době nárůst cen surovin, případně jejich nedostatek. Ve všech případech, bez ohledu na důvod držení zvýšených zásob, by měl podnik porovnávat náklady způsobené držením těchto nadbytečných zásob s náklady, které díky tomuto kroku ušetřil. [4]

1.2.5 NÁRAZNÍK MEZI ČLÁNKY ŘETĚZCE

Jednotlivé články dodavatelského řetězce jsou od sebe většinou odděleny geograficky a dochází k pohybům materiálu, či samotného výrobku, z bodu A do bodu B. Aby bylo dosahováno vysoké efektivity, je nutné mít potřebný materiál, či výrobek ve správný čas na správném místě. Dosahováno je toho tím, že každý článek v řetězci udržuje pojistnou zásobu potřebného produktu, která slouží jako tzv. „nárazník“ proti případně vzniklému problému například nevčasnému dodáním.

Dodavatelský řetězec s jeho jednotlivými články a vzájemnými vztahy může vypadat následovně:

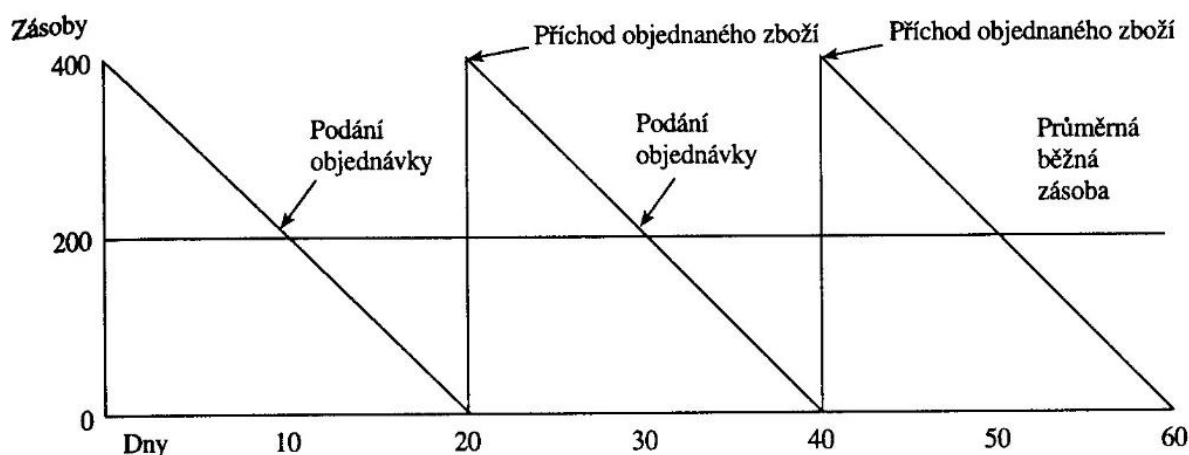
- Dodavatel – oddělení nákupu
- Oddělení nákupu – výroba
- Výroba – marketing
- Marketing – distribuce
- Distribuce – prostředník (velkoobchod, maloobchod)
- Prostředník – spotřebitel [4]

1.3 TYPY ZÁSOB

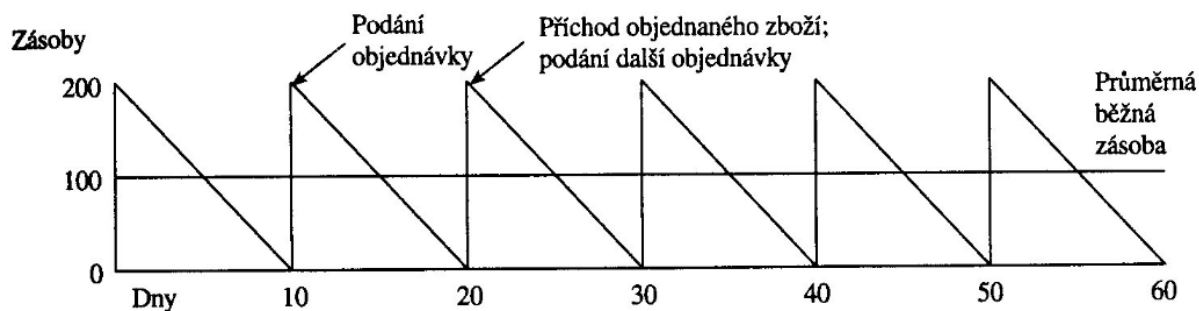
1.3.1 BĚŽNÉ ZÁSoby

Jsou k dispozici pro pokrytí prodaných nebo ve výrobě spotřebovaných zásob. Mohou být označovány i jako zásoby cyklické, jelikož prodej i výroba se neustále, tj. cyklicky, opakují. Množství běžných zásob je podnik schopen určit za předpokladu, že dokáže předpovědět, nebo zná velikost poptávky a dobu doplnění zásob. Pokud by tedy poptávka i celková doba doplnění zásob byly konstantní a známé, podnik by nepotřeboval udržovat žádné další zásoby, kromě těch běžných. [4]

Jako příklad lze uvést situaci, kdy denní prodej daného výrobku činí konstantně 20 jednotek a celková doba doplnění zásob je vždy 10 dní. [4]



Obrázek 1: Objednací množství 400 jednotek [4]



Obrázek 2: Objednací množství 200 jednotek [4]

1.3.2 ZÁSoby NA CESTĚ

Do této kategorie spadají veškeré položky, které se nacházejí na cestě z jedné lokality do druhé. Lze je považovat za součást běžných zásob. Při výpočtu skladovacích nákladů by se měly zásoby na cestě zahrnout k místu své expedice, jelikož nejsou dostupné z hlediska prodeje, použití ani další dodávky. [4]

1.3.3 POJISTNÉ ZÁSObY

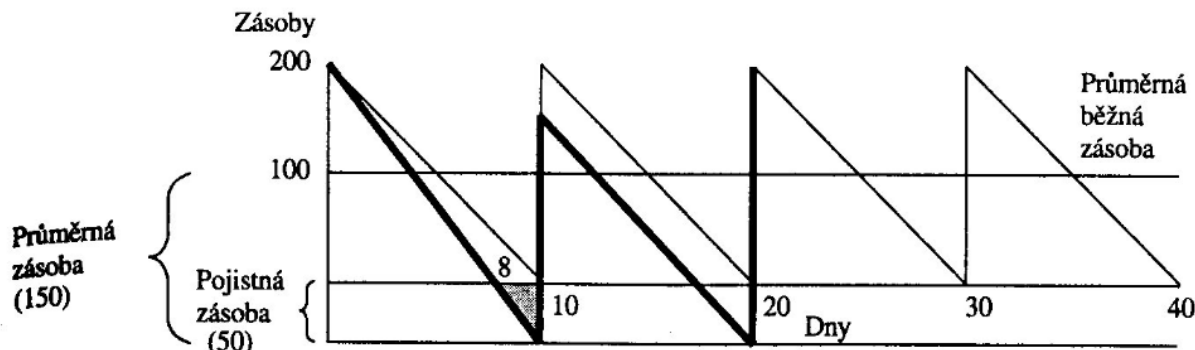
Podnik ve většině případů udržuje mimo běžné (cyklické) zásoby i zásoby pojistné, jelikož velikost poptávky ani celková doba doplnění zásob v praxi nebývají vždy konstantní a známé. Průměrná zásoba položky s proměnlivou poptávkou a celkovou dobou doplnění zásob se rovná polovině objednaného množství plus pojistná zásoba. [4]

Jednotlivé kombinace variabilit a jejich vliv na stav zásob budou detailně popsány a vysvětleny na jednoduchých příkladech v následujících podkapitolách. Při všech scénářích bude počítáno s hodnotami z kapitoly 2.1; tedy standardně denní poptávka dosahuje 20 jednotek a celková doba dodání činí 10 dní.

STAV ZÁSOb PŘI KONSTANTNÍ DOBĚ DOPLNĚNÍ ZÁSOb A VARIABILNÍ POPTÁVKOU

Poptávka v tomto případě stoupla na 25 jednotek, namísto předpokládaných 20 jednotek, a pokud by podnik nebyl na tuto situaci připraven, skladové zásoby by byly vyčerpány již 8. den ($200 / 25 = 8$). Následně by podnik nebyl schopen uspokojovat po dobu 2 dnů žádnou poptávku, jelikož zásoby jsou doplněny vždy 10. den.

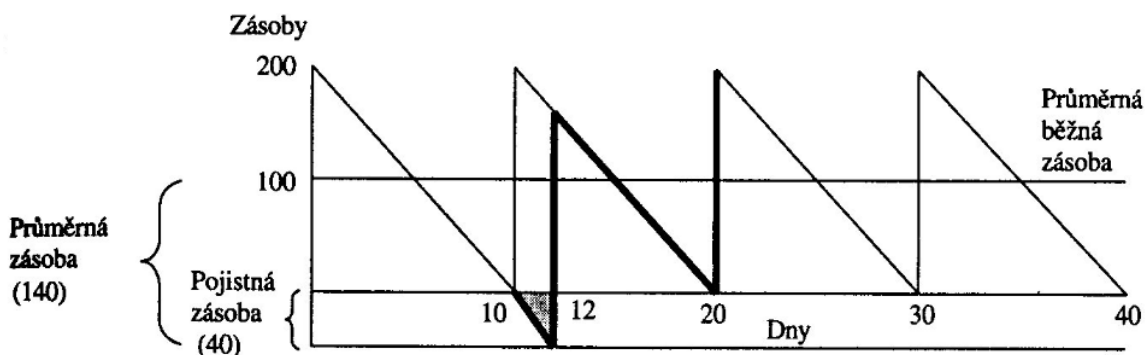
Pokud by management byl schopen prognózovat maximální odchylku denní poptávky +/- 5 jednotek, pak by pojistná zásoba potřebná pro pokrytí tohoto nejextrémnějšího případu činila 50 jednotek. Průměrná zásoba by tedy musela být udržována na hladině 150 jednotek, tj. polovina z objednaného množství, činící 100 jednotek a 50 jednotek pojistných zásob. [4]



Obrázek 3: Stav zásob při variabilní poptávce [4]

STAV ZÁSOb PŘI KONSTANTNÍ POPTÁVCE A VARIABILNÍ DOBOU DOPLNĚNÍ ZÁSOb

Denní poptávka dosahuje konstantně 20 jednotek, ovšem doba dodání zásob se může měnit až o 2 dny. V lepším, ale méně častém případě by zásoby byly doplněny o 2 dny dříve a těsně před doplněním by ve skladových zásobách ještě stále zbývalo 40 jednotek. Skladová zásoba by se tedy po naskladnění navýšila na 240 jednotek. Mnohem pravděpodobnější a častější situace je ale úplně opačná, tj. že doba doplnění zásob stoupne z 10 na 12 dní. Podnik musí tedy disponovat pojistnou zásobou činící 40 jednotek, aby byl schopen až do 12. dne uspokojovat poptávku. Průměrná hladina zásob by tedy činila 140 jednotek, tj. polovina z objednaného množství, činící 100 jednotek a 40 jednotek pojistných zásob. [4]

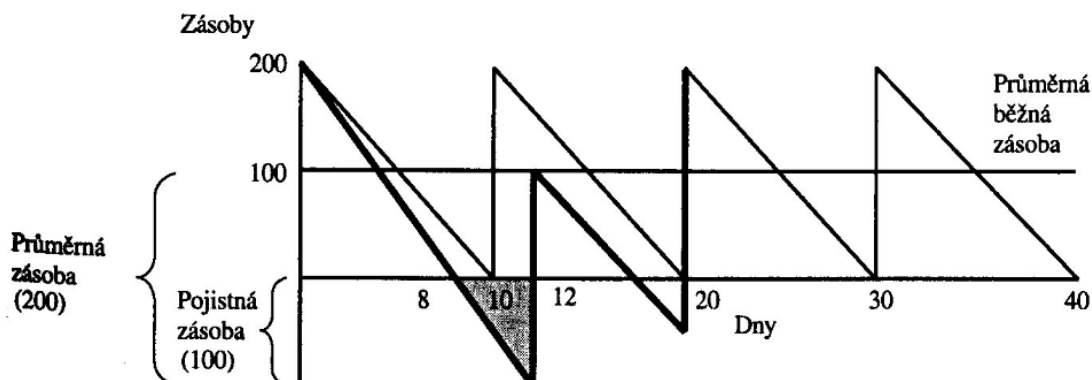


Obrázek 4: Stav zásob při variabilní době doplnění zásob [4]

STAV ZÁSOb PŘI VARIABILNÍ POPTÁVCE I DOBĚ DOPLNĚNÍ ZÁSOb

V praxi se v drtivé většině případů setkáváme spíše s variabilní poptávkou i dobou doplnění zásob. Prognózování je jen zřídka natolik přesné, aby předpovědělo poptávku, která je navíc jen málokdy konstantní. Ani při samotném transportu zboží nemůže dopravce předvídat nestandardní situace, jako například dopravní zácpy a technické závady. Podnik tedy musí být na tyto situace připraven a přizpůsobit tomu i velikost svých pojistných zásob.

Vyskytla se tedy situace, kdy denní poptávka přesáhla předpovídaných 20 jednotek a nově činí jednotek 25. Zároveň se dodávka zboží opozdí o 2 dny. Běžné zásoby, činící 200 jednotek, jsou vyčerpány za 8 dní a do 12. dne, než dorazí objednané zboží, potřebuje podnik pro uspokojení poptávky dalších 100 jednotek ($4 \times 25 = 100$). Průměrná udržovaná skladová zásoba tedy musí dosahovat 200 jednotek, tj. polovina z objednaného množství, činící 100 jednotek a 100 jednotek pojistných zásob. [4]



Obrázek 5: Stav zásob při variabilní poptávce i době doplnění zásob [4]

1.3.4 SPEKULATIVNÍ ZÁSObY

Jsou na skladě udržovány z jiných důvodů, než pro uspokojování běžné poptávky. Příkladem takových důvodů může být nákup zvýšeného množství zásob za účelem získání množstevních slev, nebo management podniku předpovídá v blízké době nedostatek dané suroviny na trhu, případně velký nárůst cen. [4]

1.3.5 SEZÓNŇNÍ ZÁSoby

Do této kategorie spadají zásoby, které podnik naskladní před specifickým obdobím pro daný výrobek. Příkladem můžou být zemědělské stroje i nástroje, případně oděvy a obuv. [4]

1.3.6 MRTVÉ ZÁSoby

Zahrnují takové položky, po kterých již dlouhou dobu nebyla zaznamenána žádná poptávka. Pro podnik je taková skladová položka ztrátová, jelikož nepřináší žádný zisk a zabírá skladovací prostor. Proto je tendence podniků se těchto zásob zbavovat, mnohdy za snížené ceny. [4]

1.4 ŘÍZENÍ ZÁSOB

„Zásoby jsou velkou a nákladnou investicí. Kvalitnějším řízením zásob v podniku lze docílit zlepšení cash-flow podniku i návratnost investic.“ [4]

Zásoby mohou představovat velkou, nezanedbatelnou část jmění výrobních i obchodních firem. V případě obchodních firem mohou zásoby představovat i více než 50% celkového jmění. [4] Jejich velký nadbytek může snižovat rentabilitu podniku, jelikož čistý zisk je snížen o náklady spojené s jejich údržbou. Hrají tedy velmi důležitou roli, je důležité jim správně rozumět a dokázat je adekvátně řídit.

1.4.1 ROZDĚLENÍ ŘÍZENÍ ZÁSOB

OPERATIVNÍ ŘÍZENÍ ZÁSOB

Operativní řízení zásob zahrnuje samotné pořizování a udržování konkrétních zásob v takovém počtu, stavu, struktuře a na takové úrovni, které požadují interní a externí spotřebitelé, za co možná nejmenší vynaložené náklady. [2]

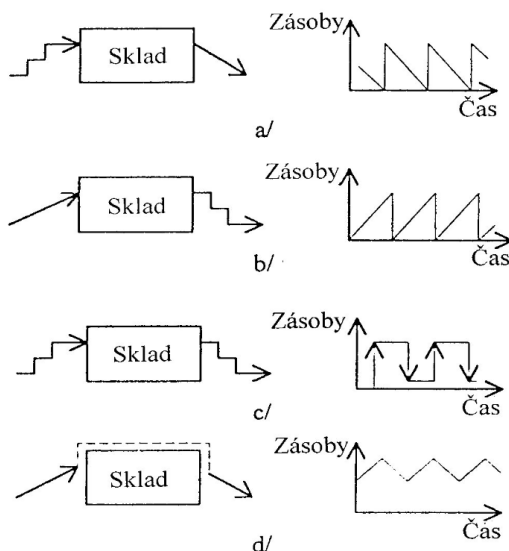
STRATEGICKÉ ŘÍZENÍ ZÁSOB

Podstatou strategického řízení zásob je rozhodování o výši uvolněných finančních prostředků, které může firma dlouhodobě vyčlenit na financování zásob. [2]

1.4.2 ZPŮSOBY DOPLŇOVÁNÍ A ÚBYTKU ZÁSOb

Podle charakteristiky toku materiálu na vstupu a na výstupu lze doplňování a úbytek zásob kategorizovat následovně:

- Postupné doplňování – plynulý úbytek
- Plynulé doplňování – postupný úbytek
- Postupné doplňování – postupný úbytek
- Plynulé doplňování – plynulý úbytek [2]



Obrázek 6: Doplňování a úbytek zásob [2]

1.4.3 METODY SKLADOVÁNÍ ZÁSOb

FIFO (FIRST-IN, FIRST-OUT)

Jak již z názvu vyplývá, jedná se o strategii, kdy nejstarší naskladněná jednotka odchází ze skladu jako první. Položky jsou na skladě udržovány v pořadí, ve kterém byly naskladněny. Tato strategie může být použita dle rozvah plánování z několika důvodů, ovšem nejvíce se nabízí při práci s produkty s omezenou trvanlivostí. [5]

LIFO (LAST-IN, FIRST-OUT)

Jako první odchází ze skladu nejnovější položka, tedy ta, která byla naskladněna jako poslední. Tato metoda není příliš optimální, jelikož může docházet k zastarávání položek, uložených „hlouběji“ ve skladu. Je tedy vhodné se jí vyhnout a použít jinou metodu, například již zmiňované FIFO. V některých případech se ale metodě LIFO vyhnout nelze, nebo jen velmi obtížně. Může to být dáno typologií skladu, případně typem skladovaného materiálu. Typickými položkami skladovanými metodou LIFO jsou drobné kusové součástky skladované v krabicích / přepravkách (například šrouby) nebo partikulární materiál skladovaný ve velkých hromadách (například písek nebo uhlí). [5]

1.4.4 METODY ŘÍZENÍ ZÁSOB

JUST IN TIME (JIT)

Cílem systému JIT je co nejvíce minimalizovat zásoby, zlepšit kvalitu výrobků, zvýšit efektivitu a poskytovat co nejlepší zákaznický servis. Pojistné zásoby jsou považovány za nepotřebné, jelikož jejich udržování vyžaduje neustálý výdej finančních prostředků, které jsou tímto systémem chápány jako ztrátové. Velmi vysoké nároky jsou kladeny hlavně na dodavatele, aby zboží bylo vždy dodáno včas a v co nejvyšší kvalitě. Důležitým faktorem je tedy i geografická poloha dodavatelů, jelikož přeprava na větší vzdálenosti má větší riziko v kolísání doby dodání. [6] Snaha podniků je tedy udržovat dlouhodobé vztahy s menším počtem dopravců, s co možná nejkratší geografickou, tj. dopravní, vzdáleností.

Jelikož JIT dokáže přinášet podnikům mnoho benefitů plynoucích hlavně z velkých úspor na skladovacích nákladech, stává se ve světě velice často využívaným systémem. Mezi nejúspěšnější celosvětové společnosti fungující na filozofii JIT spadají např. Toyota, Apple, Dell nebo McDonald's. [7]

KANBAN

Kanban je velice užitečným nástrojem pro efektivní fungování systému JIT. Název kanban má kořeny v Japonsku, z japonštiny „kanban“ = karta, štítek. Systém je tedy založen na jakýchsi kartách, které poskytují určitou informaci – signál. Na těchto kartách jsou obsaženy veškeré informace potřebné k řízení daného procesu (název položky, počet kusů, výdejní místo, místo určení, datum plnění, atd.). Tyto karty putují podnikem s příslušným zbožím. Jakmile je zboží odebráno – putuje dále v logistickém řetězci, příslušná kanbanová karta je od jednotky (například kontejneru) oddělena a je odeslána do předcházejícího stanoviště v zásobovacím řetězci, čímž je předána informace, že je potřeba položku náležící dané kartě doplnit. [6]

JUST IN SEQUENCE (JIS)

JIS je ve své podstatě nejvyšší formou systému JIT, řízenou výkonnými informačními systémy. Díly jsou dodavatelem zásobovány přímo k montážní lince v přesně definovaném čase, množství i pořadí. Tento systém je využíván převážně u dílů s velkými rozměry nebo s velkou variabilitou parametrů (barva, výbava, tvar). [8]

JUST IN CASE (JIC)

JIC je svým fungováním naprosto odlišná od myšlenky JIT. Jedná se o starší logistickou strategii, kde je kladen větší důraz na předcházení nedostatku zboží a tudíž jsou skladové zásoby udržovány na vyšších hladinách. Důsledkem jsou ovšem vyšší skladovací náklady. I dnes je ale tato strategie u některých podniků používána, zejména pak u těch s těžkou predikcí poptávky. Trendem dnešní doby je ale postupný přechod k systémům JIT. [9]

KAIZEN

Název tohoto systému je odvozen z japonštiny, kde *kai* = *změna* a *zen* = *dobrý*. Kaizen je tedy postaven na neustálém zlepšování k lepšímu. Ke zlepšování nedochází však žádnými razantními inovačními skoky, nýbrž neustálým zdokonalováním i těch nejdrobnějších detailů. Pomocí nejrůznějších analýz, grafů a tabulek je zpracováván celý proces a jsou hledána místa možných inovací. Hlavní předností kaizenu je to, že podněty ke zlepšování mohou být podávány každým zaměstnancem firmy. Podnět je zanalyzován, porovnán s existujícím řešením a v případě vzniku benefitů následně zaveden do procesu. [10]

POKA YOKE

Název opět pochází z japonštiny a lze jej přeložit jako *chybo-vzdorný*. Obvykle se jedná o zařízení nebo mechanismus, který při výrobě či montáži snižuje šanci provést operaci chybně. Může se jednat například o přípravek, určený ke vzájemné montáži dvou dílů, který svou konstrukcí či funkcí zabraňuje operátorovi smontovat díly do nesprávné konfigurace. Může se také jednat o elektronický prvek, který svou funkcí zajišťuje při montáži dodržení správného pořadí dílů či zamezuje použití špatné součástky. [11]

ABC ANALÝZA

ABC analýza je založena na filozofii tzv. Paretova zákona, který mimo jiné říká, že 80% celkového zisku tvoří pouze 20% položek. Sortiment je tedy rozdělen do několika skupin, zpravidla A,B,C. Ve skupině A je zařazeno 20% těch jevů, výrobků a zákazníků, které podniku přinášejí největší zisk (již zmíněných cca 80%) a je jim věnována největší pozornost a vysoká úroveň zákaznického servisu. Do skupiny B spadá 15% jevů, položek a zákazníků, které přinášejí zhruba 15% zisku. Zbytek je zařazen do skupiny C. V logistice se někdy objevuje i skupina D, do které se řadí ty zásoby, které leží na skladě déle než rok. [4]

CROSS – DOCKING

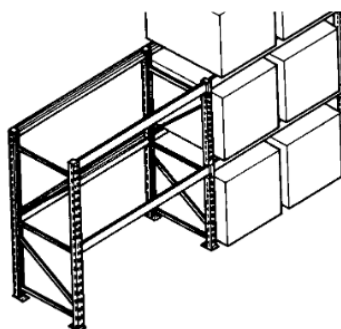
Cross-docking, česky označován jako průtokový sklad, je založen na principu okamžitého překládání zboží, kdy sklady neslouží k typickému uskladňování, nýbrž se z nich stávají tzv. distribuční směšovací centra. Jejich podstata spočívá v tom, že přivezené zboží z více firemních závodů, případně od více dodavatelů, je zde rozdělováno na potřebná množství a spojováno do jednotlivých zásilek určených pro jednoho zákazníka. Důraz je zde kladen na rychlost a plynulý průtok zboží skladem. [4]

1.5 KONCEPTY TECHNICKÉHO ŘEŠENÍ SKLADŮ

Skladovací prostory je žádoucí přizpůsobovat materiálovému toku, aby bylo dosahováno co nejplynulejšího a nejefektivnějšího průchodu materiálu skladem. Každé technické řešení má své výhody i nevýhody, odlišné pro různé parametry materiálového toku. V této kapitole je pojednáno o několika technických řešeních se stručným popisem a doporučením, v jakých případech je vhodné je začlenit do skladovacího systému.

1.5.1 KONVENČNÍ PALETOVÉ REGÁLY

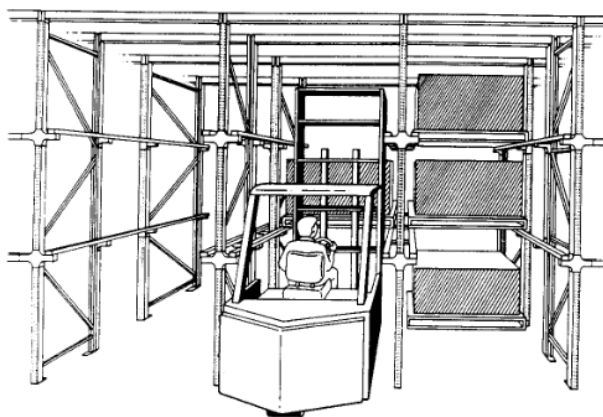
Jedná se o nejpoužívanější technické řešení skladování paletizovaného materiálu. Konstrukce je velice jednoduchá, složená z ocelových profilů. V nejnižším patře může být obsluhován klasickým paletovým vozíkem, vyšších pater lze dosahovat například vysokozdvižným vozíkem. Výhodou je velká rozměrová variabilita a přizpůsobivost skladovacímu prostoru, a poměrně snadná kontrola zboží, jelikož z čelní strany je přístupná každá uskladněná paleta. [12]



Obrázek 7: Konstrukce konvenčního paletového regálu [12]

1.5.2 VJEZDOVÉ REGÁLY

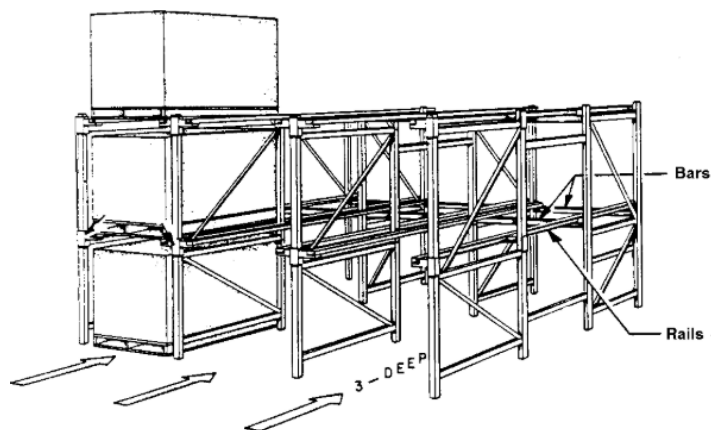
Nosná konstrukce je sestavená z ocelových profilů. V každé řadě je vždy na každé straně, pro každé patro upevněna nosná lyžina, na kterou se ukládají palety. Výhodou tohoto konceptu je odstranění uliček mezi regály, a tudíž je zde dosaženo velké úspory místa. Nevýhodou je nepraktický přístup k zadnějším paletám, jelikož systém funguje na principu LIFO. Je tedy žádoucí jednotlivé řady používat pro stejný materiál. [12]



Obrázek 8: Konstrukce vjezdového regálu [12]

1.5.3 PRŮJEZDOVÉ REGÁLY

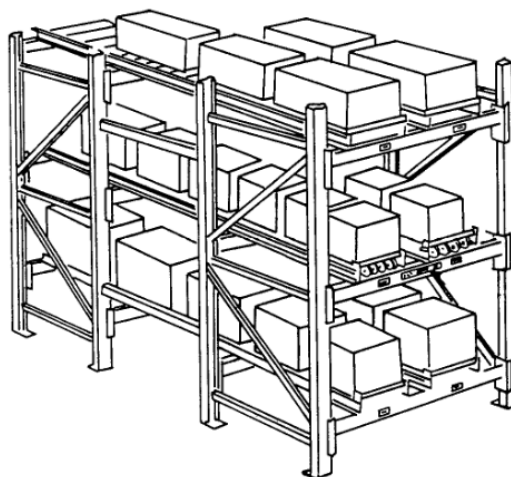
Průjezdové regály jsou konstrukčně velice podobné těm vjezdovým. Jak už ale z názvu vyplývá, je zde umožněn průjezd materiálu „skrz“ a je přístupný z obou stran. V tomto případě se tedy jedná o systém skladování FIFO. [12]



Obrázek 9: Konstrukce průjezdového regálu [12]

1.5.4 SPÁDOVÉ REGÁLY

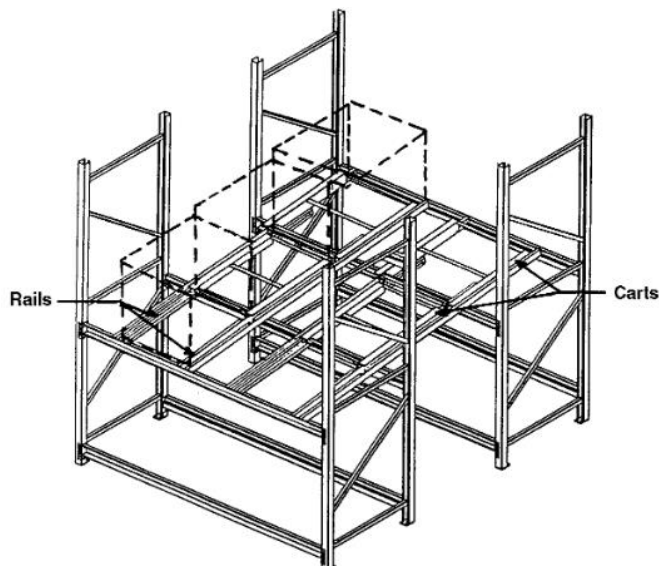
Konstrukce má zabudovaný válečkový systém, který umožňuje, díky lehkému sklonu a gravitaci posun palet kontrolovanou rychlostí až na opačný konec regálu. Systém funguje na principu FIFO a je používán převážně na materiál balený do krabic, ale může být použit i pro lehčí palety. [12]



Obrázek 10: Konstrukce spádového regálu [12]

1.5.5 ZATLAČOVACÍ REGÁLY

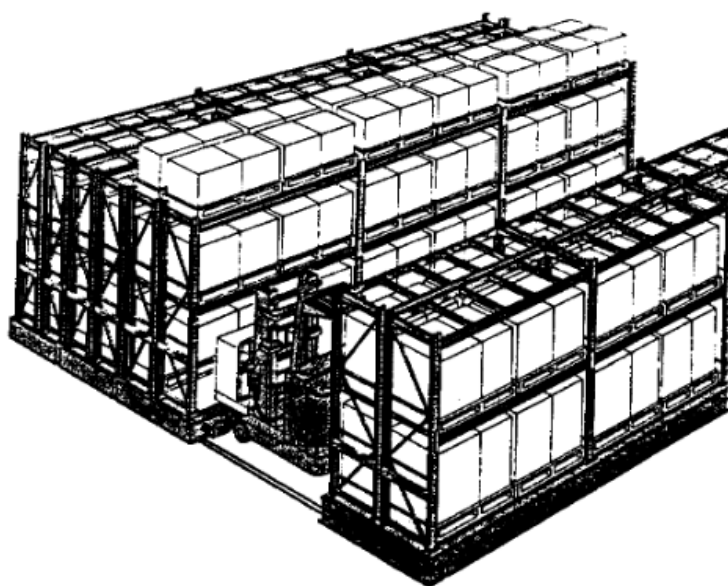
Zatlačovací regály umožňují umístit až 4 palety do hloubky úrovně, z čehož plyne velká úspora prostoru. Systém funguje na principu LIFO, tudíž je vhodné za sebe umísťovat do jednotlivých úrovní stejný druh materiálu, aby nedocházelo k problémům s dosažitelností. [12]



Obrázek 11: Konstrukce zatlačovacího regálu [12]

1.5.6 MOBILNÍ REGÁLY

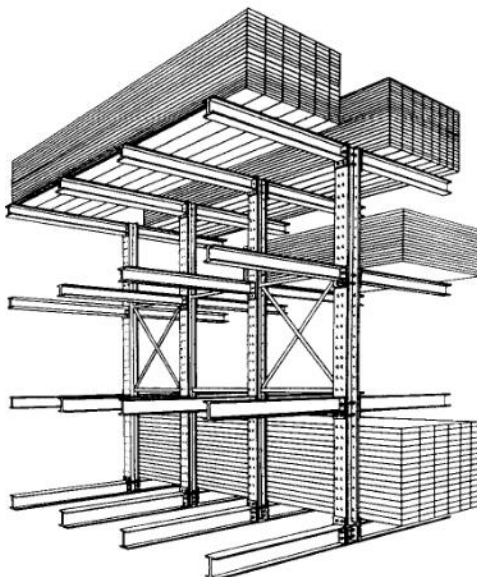
Jedná se ve své podstatě o klasickou nosníkovou konstrukci, určenou ke skladování například paletizovaných materiálů, vylepšenou o mobilní základnu, díky které jsou celé řady schopny pojíždět po kolejničích a řadit se těsně za sebe. Tento systém odstraňuje trvalé přístupové uličky a vytváří je vždy odsunutím příslušné řady jen tam, kde je vyžadována manipulace. [12]



Obrázek 12: Konstrukce mobilních regálů [12]

1.5.7 KONZOLOVÉ (STROMEČKOVÉ) REGÁLY

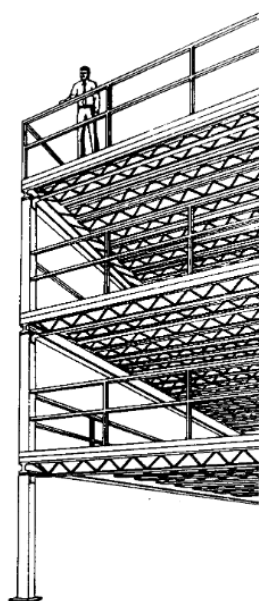
System stromečkových regálů je určen pro skladování velmi dlouhých nákladů, kam lze zařadit například kovové profily, lišty, trubky, dřevěná prkna, aj. [12]



Obrázek 13: Konstrukce stromečkového regálu [12]

1.5.8 MEZANINOVÝ SYSTÉM

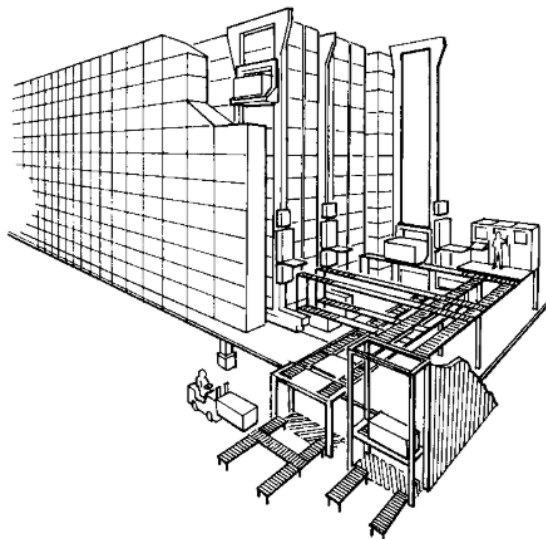
Mezaninový, tj. mezipatrový systém, slouží k efektivnímu znásobování skladovací plochy. System je velice variabilní a každý zákazník si jej může sestavit dle vlastních prostorových dispozic a požadavků. Sestavený systém je možné jednoduše rozložit, v případě potřeby jej lze i rozšířit. [12]



Obrázek 14: Konstrukce mezaninového systému [12]

1.5.9 AUTOMATICKÉ SKLADOVACÍ SYSTÉMY

Automatizace skladovacího procesu přináší nespočet výhod. Manipulace s materiálem je rychlejší, přesnější a zároveň koordinovaná v rámci celého skladu. Manipulaci provádí automatizované regálové zakladače společně s vysokozdvíhnými výtahy, operujícími ve výškách až nad 30 metrů. Takovéto sklady mohou mít buďto jednoduchou, nebo dvojitou hloubku pro ještě lepší využití kapacity skladu. [12]

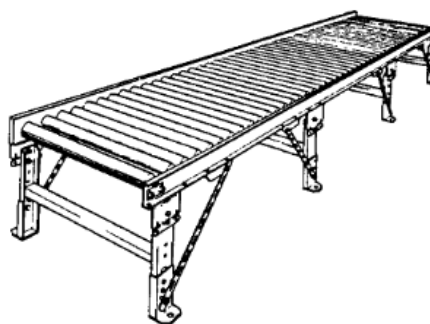


Obrázek 15: Konstrukce automatizovaného skladovacího systému [12]

1.5.10 DOPRAVNÍK

Již ze samotného názvu vyplývá jeho hlavní funkce – doprava. Běžně je využíván ať už ve výrobních, či nevýrobních sektorech právě k dopravě materiálu „z bodu A do bodu B“. Mezi nejčastěji používané dopravníky v automatizovaném průmyslu patří mimo jiné válečkové a pásové. Právě tyto druhy dopravníků budou následně použity v simulačním modelu. Dopravní rychlost pásových dopravníků se pohybuje ve většině běžných použití do 1 m/s. Válečkové dopravníky využívají o trochu menší dopravní rychlost, většinou pohybující se do 0,5 m/s. Jejich použití se liší dle přepravovaného materiálu. [13]

Dopravník lze ale chápat i jako speciální formu meziskladu využívaného převážně při strategii JIT.

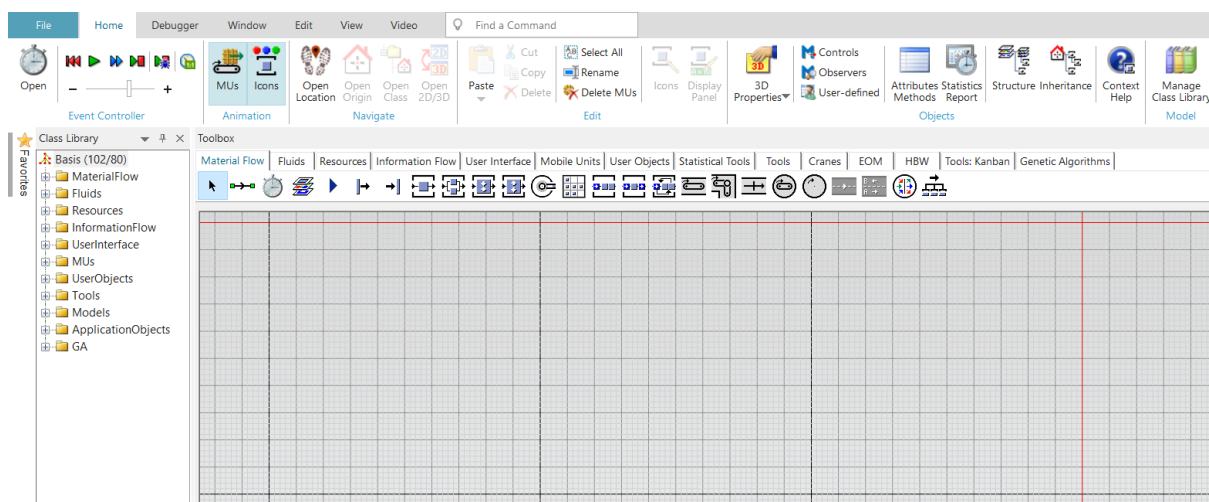


Obrázek 16: Válečkový dopravník [14]

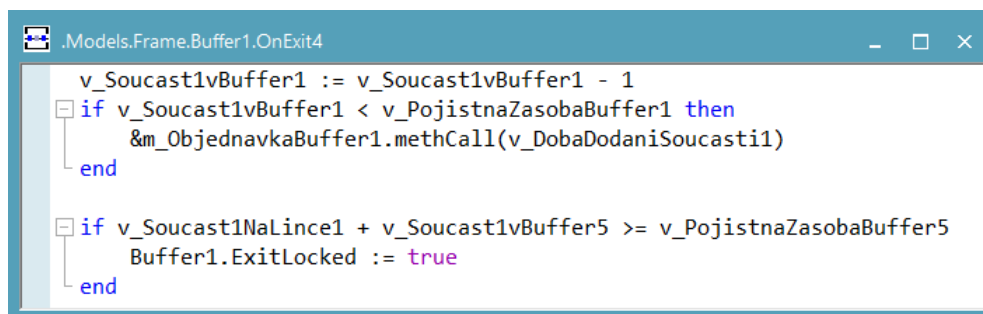
2 SIMULACE MATERIÁLOVÉHO TOKU

2.1 TECNOMATIX PLANT SIMULATION

Tecnomatix Plant Simulation je efektivním softwarovým nástrojem pro modelování a simulování výrobních a logistických systémů. V jeho prostředí lze vytvářet specifické scénáře a následně pak optimalizovat jejich jednotlivé části, nebo přímo celé výrobní či logistické celky. K dispozici je široká škála prvků, které jsou k nalezení v integrované knihovně softwaru. Ovládání a definování fungování všech prvků je postaveno na programovacím jazyku SimTalk. [15]



Obrázek 17: Prostředí softwaru Plant Simulation



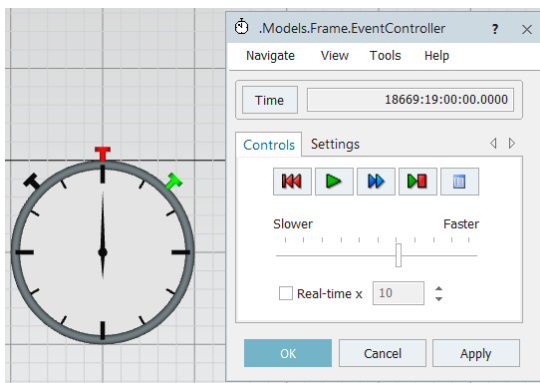
Obrázek 18: Ukázka programovacího jazyka SimTalk z vlastního modelu

2.1.1 ZÁKLADNÍ PRVKY POUŽITÉ V MODELU

Celý software obsahuje širokou škálu prvků, od dopravníků, pracovních stanic, zásobníků až po pracovníky a například i jejich pracovní směny. Následuje krátké představení těch nejzákladnějších použitých ve vlastním modelu.

EVENT CONTROLLER

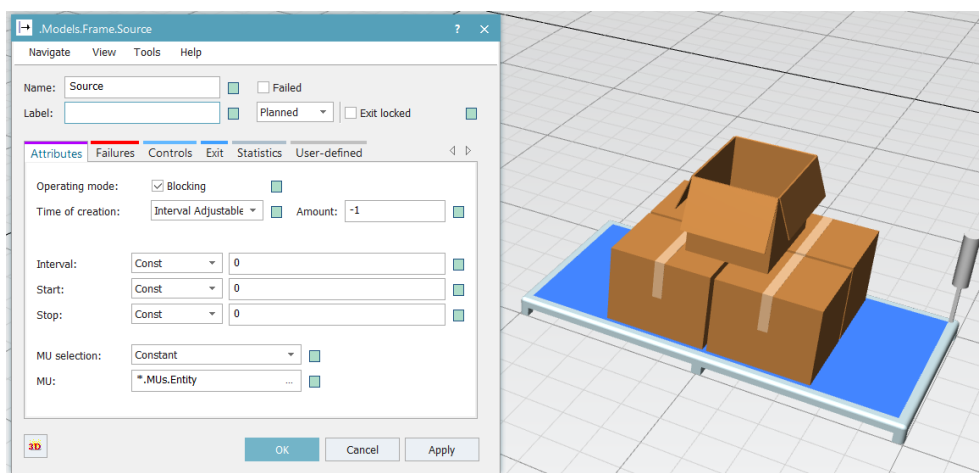
Nezbytným prvkem pro každý model, který chceme simulovat, je *EventController*. Slouží k nastavení parametrů simulace, tzn. například doby jejího trvání nebo rychlosti.



Obrázek 19: *EventController*

SOURCE

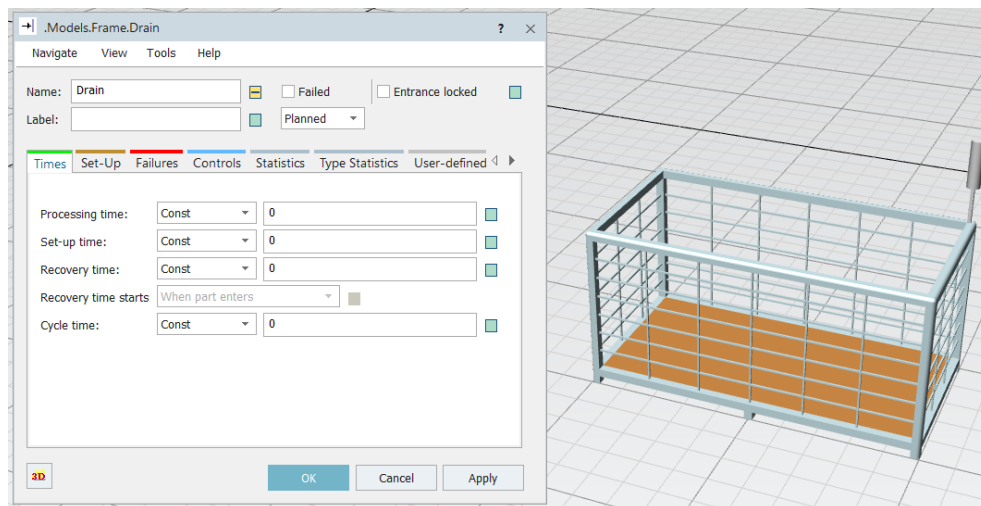
Source je prvek generující objekty, tzv. *MU*, s nimiž je manipulováno (palety, součásti,...). Lze parametrizovat jeho funkce, jako například interval generování nebo typ generovaného *MU*. Umisťuje se většinou na začátek úseku, odkud zásobuje celý zbytek řetězce.



Obrázek 20: *Source*

DRAIN

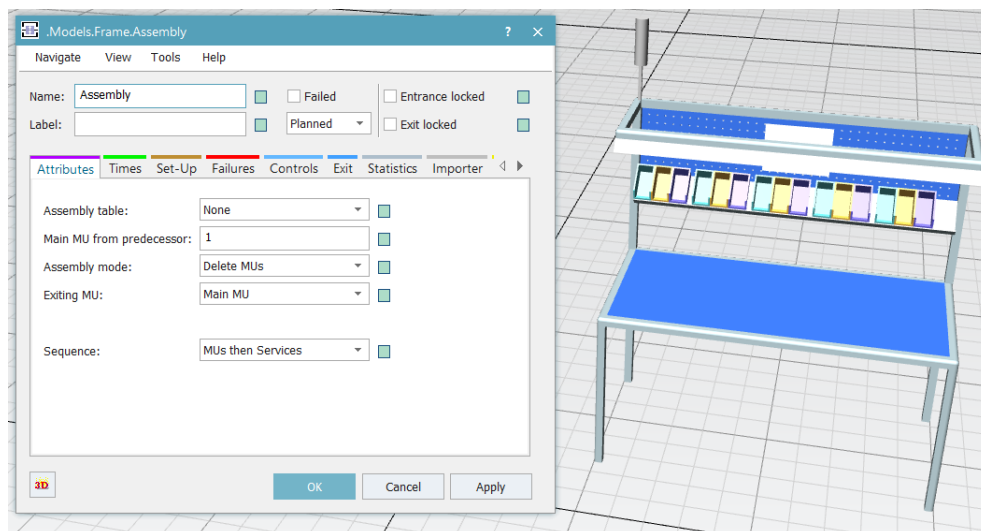
Drain je prvek opačného fungování oproti prvku *Source*. Většinou se umísťuje na konec řetězce a odebírá ze systému součásti.



Obrázek 21: Drain

ASSEMBLY

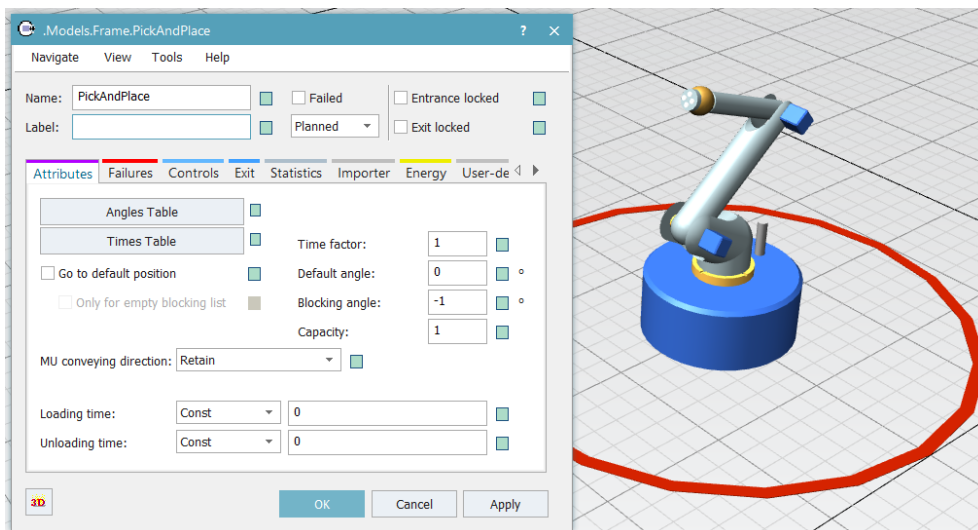
Assembly je prvek reprezentující převážně montážní stanoviště, kde je skládáno dohromady více součástí (*MU*). Je možné parametrizovat například počet potřebných dílů ke složení, jejich uspořádání, nebo dobu pracovní operace.



Obrázek 22: Assembly

PICK AND PLACE

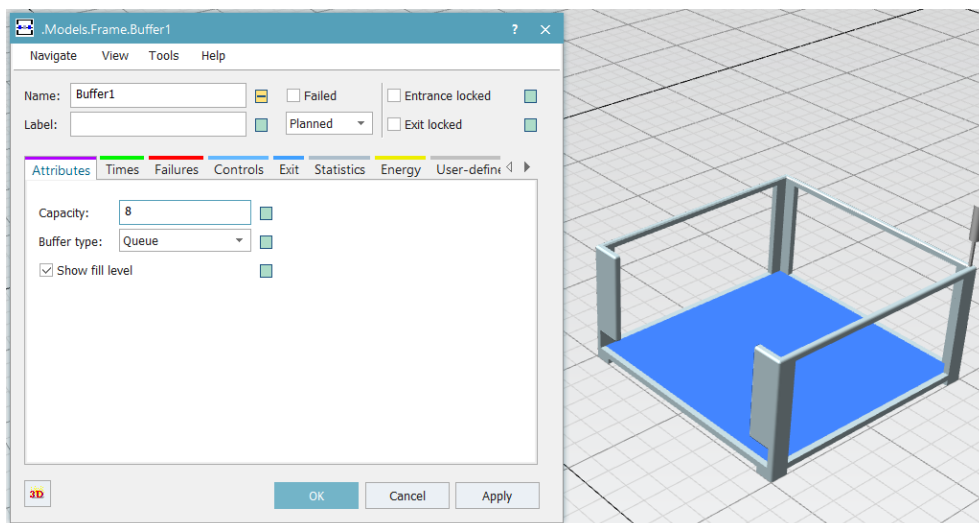
PickAndPlace je prvek reprezentující manipulačního robota, sloužícího k přemísťování dílů. Parametrizovat lze například jeho rychlost nebo rozsah pohybu.



Obrázek 23: *PickAndPlace*

BUFFER

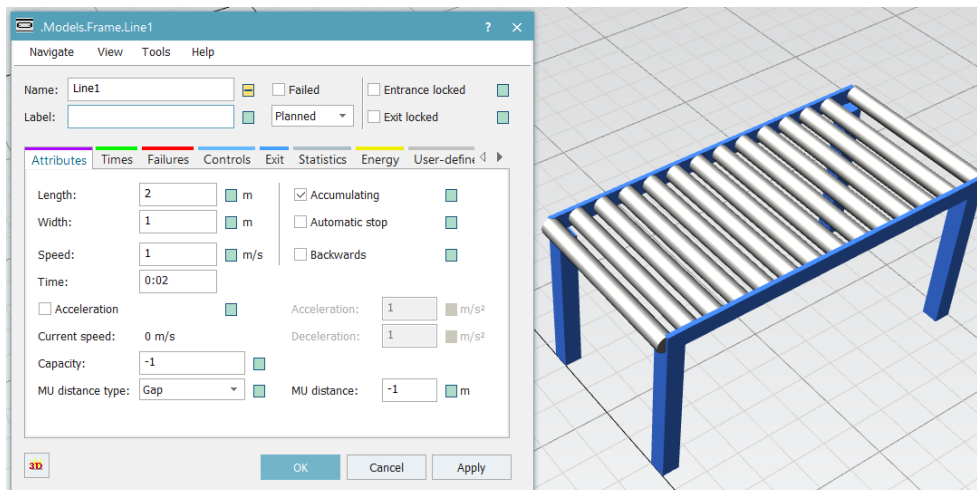
Buffer je zásobník schopný akumulovat v sobě díly. Lze například volit systém ukládání (FIFO, LIFO), nebo parametrizovat jeho kapacitu.



Obrázek 24: *Buffer*

LINE

Line je prvek reprezentující dopravník. Lze u něj parametrizovat například jeho rozměry (délka, šířka, výška), dopravní rychlost, typ (válečkový, pásový,..) a je možné jej vybavit i senzory, s jejichž pomocí lze řídit dopravu.

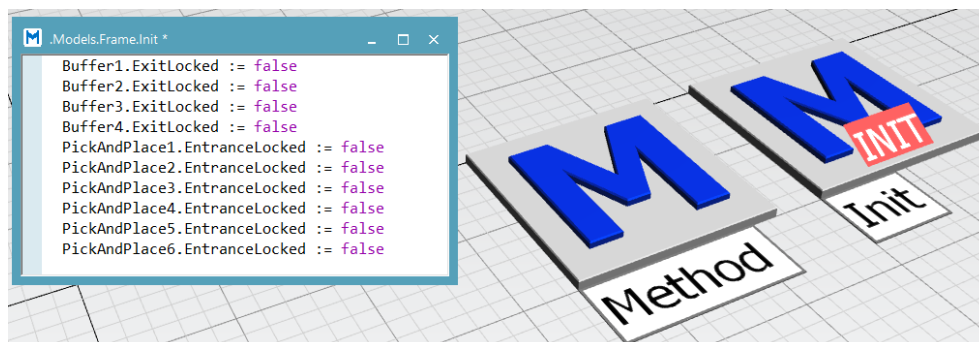


Obrázek 25: Line

METHOD

Method, dále již metoda, je prvek umožňující s pomocí programovacího jazyka *SimTalk* programovat funkce prakticky všech dalších objektů, případně scénářů. Okamžik jejího spuštění musí být definován přiřazením k patřičnému prvku v modelu. Například může být metoda přiřazena k výstupu z montážního stanoviště, a tudíž bude spuštěna vždy, když dané stanoviště opustí díl.

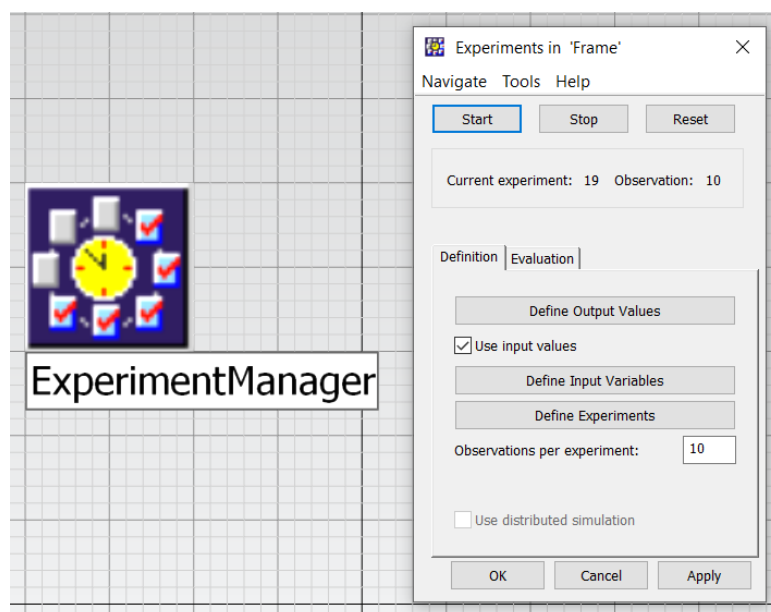
Přejmenováním metody na „Init“ dojde k její transformaci na speciální formu metody, která je aktivována vždy na začátku simulace.



Obrázek 26: Method

EXPERIMENT MANAGER

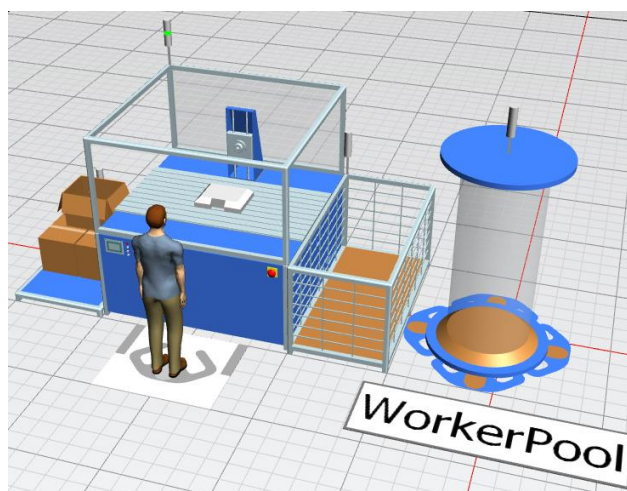
Prvek *ExperimentManager* je užitečným nástrojem pro provádění velkého počtu experimentů na simulačním modelu. V jeho prostředí lze specifikovat parametry, jejichž hodnoty mají být měněny. Experiment manager je schopen v případě změny více parametrů generovat všechny možné kombinace v nadefinovaném rozsahu. V průběhu simulací jsou monitorovány uživatelem specifikované charakteristiky a jsou zapisovány do paměti. Výstupem je souhrnný protokol, kde jsou v tabulkách i graficky znázorněny výsledky.



Obrázek 27: *ExperimentManager*

WORKER

S pomocí prvku *Worker* lze zapojit do simulace i přítomnost pracovníků, kteří obsluhují pracovní stanoviště. Jejich pohyb lze sledovat a analyzovat. K zařazení pracovníků do modelu je potřebný mimo jiné i prvek *WorkerPool*, odkud pracovníci přicházejí ke stanovištím.



Obrázek 28: *Worker a WorkerPool*

2.2 PŘEDSTAVENÍ SIMULAČNÍHO MODELU

Vytvořený simulační model představuje tři smyšlené (obecné) úseky výroby, na kterých bude následně prováděna analýza materiálového toku, tj. nacházení závislostí mezi výrobními parametry a charakteristikami materiálového toku.

Vstupním úsekem je montáž, kde jsou dohromady skládány jednotlivé součásti vstupující do modelu. Za montáží leží mezisklad, ze kterého díly odebírá úsek výstupní – lakovna, která je doplněna ještě o sušárnu. Detailnější pohled na jednotlivé úseky bude popsán v následujících kapitolách.



Obrázek 29: Zjednodušené schéma úseků výroby

2.3 PŘEHLED ZKOUMANÝCH CHARAKTERISTIK MATERIÁLOVÉHO TOKU

Na výrobní úseky bývají od výrobců kladeny konkrétní požadavky, mezi které se řadí například co nejkratší doba průchodu materiálu, co nejvyšší, nebo případně požadovaná míra výrobního taktu, vysoká kvalita, malá zmetkovitost aj., a to za co možná nejmenší vynaložené náklady. Dále může být sledována míra zaplnění meziskladu, interval mezi vstupy a odběry z meziskladu, vytíženost pracovišť, velikost produkce apod. Požadavky se mohou lišit podnik od podniku, případně i vnitropodnikově v jednotlivých výrobních úsecích. Níže je vypsán přehled těch nejdůležitějších, z výše zmiňovaných charakteristik.

- Produkce (za hodinu, směnu, den)
- Výrobní takt
- Doba průchodu (meziskladem / celou výrobou)
- Vytíženost pracovišť
- Obsazenost meziskladu

2.4 DŮLEŽITÉ PROVOZNÍ PARAMETRY VÝROBNÍCH ÚSEKŮ

Výše zmiňované charakteristiky materiálového toku jsou zkoumány a následně vyhodnocovány. Jejich hodnoty jsou mnohdy přímo či nepřímo závislé na provozních parametrech výrobních úseků, mezi které lze zařadit například směnový režim, prostoje, velikost pojistných zásob, rychlost dopravníků, sekvenci aj. V následujících podkapitolách bude pojednáno o některých z nich.

2.4.1 SMĚNOVÝ REŽIM

„Vnitřní cirkadiánní rytmus určuje, jak bdělí a čilí se lidé cítí v určité hodiny, a to ovlivňuje jejich pracovní výkon. Lidé pracují nejlépe, když je jejich vnitřní aktivita vysoká, a nejhůře, když je nízká. V normálním režimu práce ve dne a spánku v noci je jejich biorytmus přirozeně aktivní v pracovní době a ztlumený v noci. Tento režim je obecně vzato nejlepší pro pracovní výkon a také pro bezpečnost. Při méně kvalitním pracovním výkonu se mohou stát chyby a může dojít k nehodám a úrazům.

Během noční směny člověk pracuje v době, kdy je jeho biorytmus utlumený, a spí v době přirozené aktivity. To znamená, že se snaží zůstat aktivní a čilý v době utlumeného biorytmu. Obecně to není vhodná doba pro dobrý pracovní výkon.

Je ovlivněna koncentrace a fyzická aktivita, a pokud se ještě přidá nedostatek spánku, pak je negativní vliv na výkon dvojnásobný. Statistiky chyb a úrazů v různých denních dobách zaznamenávají jejich zvýšený výskyt v noci, právě tehdy, kdy je biorytmus utlumený.“ [16]

Lze tedy říci, že předpokladem při směnovém režimu je, že při nočních směnách bude docházet v důsledku nižší pozornosti k vyšší chybovosti a zmetkovitosti než při směnách denních. S tím ve spojitosti bude teoreticky docházet i k častějším prostojům, jelikož je vyšší šance, že vinou pracovníka dojde k poruše obsluhovaného stroje.

Další předpoklad, který je spjat se směnovým režimem, je zvyšování, respektive snižování objemu celkové produkce v závislosti na aplikovaném směnovém režimu. Zákon udává, že je zaměstnavatel povinen zaměstnanci poskytnout nejdéle po 6 hodinách nepřetržité práce 30minutovou přestávku. [17] V tomto modelu je uvažována následující struktura přestávek.

- 2směnný provoz (12hodinové směny): 2krát 30minutová přestávka
- 3směnný provoz (8hodinové směny): 1krát 30minutová přestávka, 1krát 15minutová přestávka

Krátkou úvahou lze dojít k rovnici: *více směn = více přestávek = delší nevýrobní doba*. Lze tedy předpokládat, že při třisměnném provozu bude za 24 hodin vyrobeno méně výrobků, než při provozu dvousměnném. Snahou plánování výroby a předmětem zkoumání je však dosažení takového chodu, kdy bude před začátkem přestávky v meziskladu taková zásoba, aby během ní nedošlo k vyčerpání všech kusů, a tím k prostojům.

2.4.2 POJISTNÉ ZÁSoby

Velikost pojistných zásob v meziskladu, případně v zásobnících u jednotlivých pracovišť, hraje důležitou roli v celém chodu výrobního úseku. Vyšší pojistné zásoby znamenají „větší jistotu“, tzn. že součást bude vždy k dispozici, ovšem za cenu vyšších skladovacích nákladů a potřebných prostor. Naopak při nízké (nedostatečné) hladině pojistných zásob je předpoklad, že bude docházet k prostojům, tzn. k neoptimálnímu vytížení pracovišť, jelikož součást nebude k dispozici vždy, když bude potřeba, a s tím zároveň bude klesat i celková produkce. Proto je klíčové nalézt takovou ideální hladinu pojistné zásoby, kdy nebude docházet ani k prostojům kvůli absenci součásti, ani ke zbytečnému hromadění, které už nepřináší vyšší vytíženost pracovišť, ani vyšší produkci.

Dalším předpokladem je, že při nízké hladině pojistné zásoby bude velmi krátká doba průchodu meziskladem, jelikož teoreticky bude docházet k situacím, kdy součást projede meziskladem „přímo“, tzn. že nedojde ani k jejímu zastavení (zaskladnění), jelikož bude požadována ihned v dalším článku výrobního řetězce. Naopak při vyšších hladinách pojistné zásoby je předpokládáno, že součást v meziskladu stráví delší dobu.

2.4.3 RYCHLOST DOPRAVNÍKŮ

Předpokladem je korelace mezi rychlostí dopravníků a dobou průchodu materiálu výrobním úsekem. Dále bude zkoumána závislost vytíženosti pracovišť na rychlosti dopravníků. Předpokladem je, že příliš nízká dopravní rychlost bude mít za následek snižování vytíženosti pracovišť, jelikož nemusí dojít ke včasnému dopravení součásti na požadované místo. Naopak příliš velká dopravní rychlost může v praxi způsobovat nadměrnou spotřebu energie. Je proto klíčové nalézt takovou optimální rychlost, kdy bude docházet ke včasnému dopravování součástí a zároveň nebude přílišná spotřeba energie.

2.4.4 PŘEKLÁDACÍ RYCHLOST MANIPULAČNÍCH ROBOTŮ

Jelikož jsou pro funkci překládky materiálu mezi zásobníky a dopravníky použity manipulační roboty, je nezbytné zkoumat i jejich vliv (především rychlost pohybu) na chod celé výroby. Rychlejší manipulační pohyb má za následek rychlejší dopravení součásti mezi zásobníky a tudíž je předpokládáno, že by tato skutečnost mohla ovlivnit i objem celkové denní produkce.

2.4.5 SEKVENCE

Do výroby lze součásti dávkovat i sekvenčně, tzn. v dané posloupnosti. Použití sekvenčního dávkování se jeví užitečnější právě tehdy, kdy by hlavní materiálový tok výrobního úseku probíhal pouze na jedné lince, kde by se díly řadily právě v pořadí objednávek a každá z nich by mohla mít odlišné požadavky (např. na barvu).

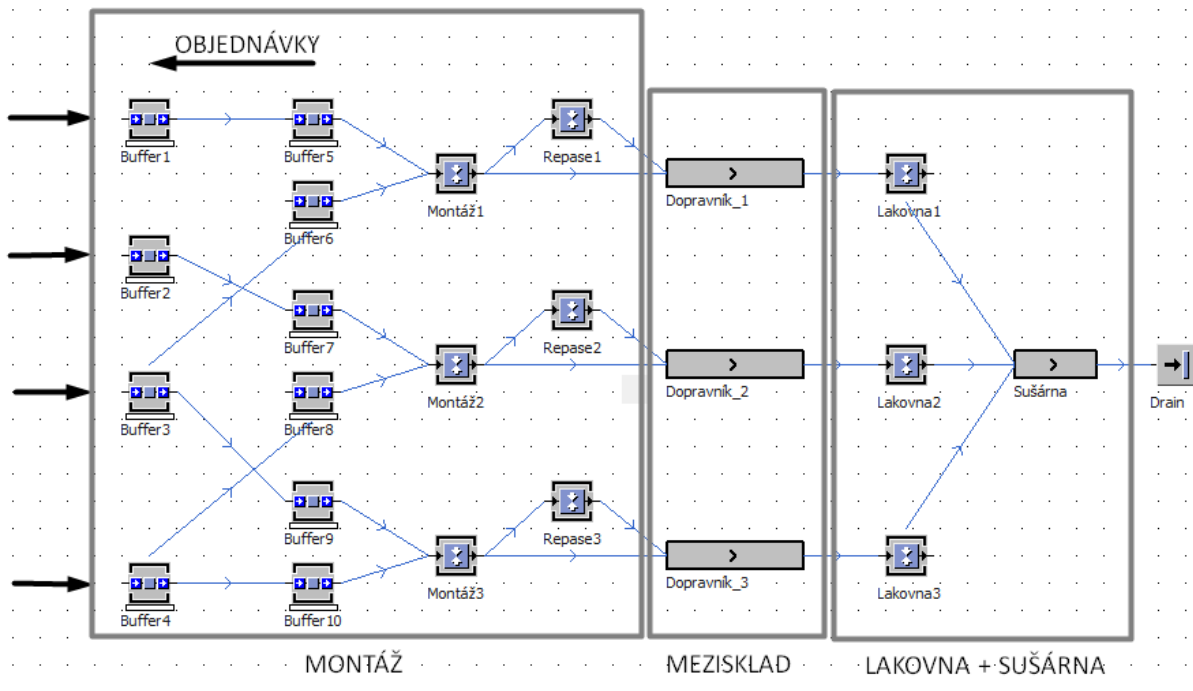
2.4.6 PROSTOJE

Mezi prostoje lze řadit například odstávky výrobních stanovišť z důvodu poruchy. Dle závažnosti poruchy, nebo komplikovanosti seřízení se odvíjí i doba servisní operace. V simulačním modelu je pracováno s průměrnou dobou opravy (MTTR) a standardně je nastavena její délka na 1 minutu. Předpokladem je, že navyšování této doby bude mít velký vliv na celkovou denní produkci a vytíženost stanovišť.

2.5 SIMULAČNÍ MODEL JIT

V tomto modelu je montážní úsek nastaven tak, aby byly objednávky, a tedy i dodávky, řízeny na základě aktuální potřeby. Zároveň tento model disponuje meziskladem složeným pouze z dopravníků. Tyto dopravníky plní v řetězci výroby dvě funkce – dopravní a akumulční. Nahrazují „klasickou“ koncepci skladu (např. regálového).

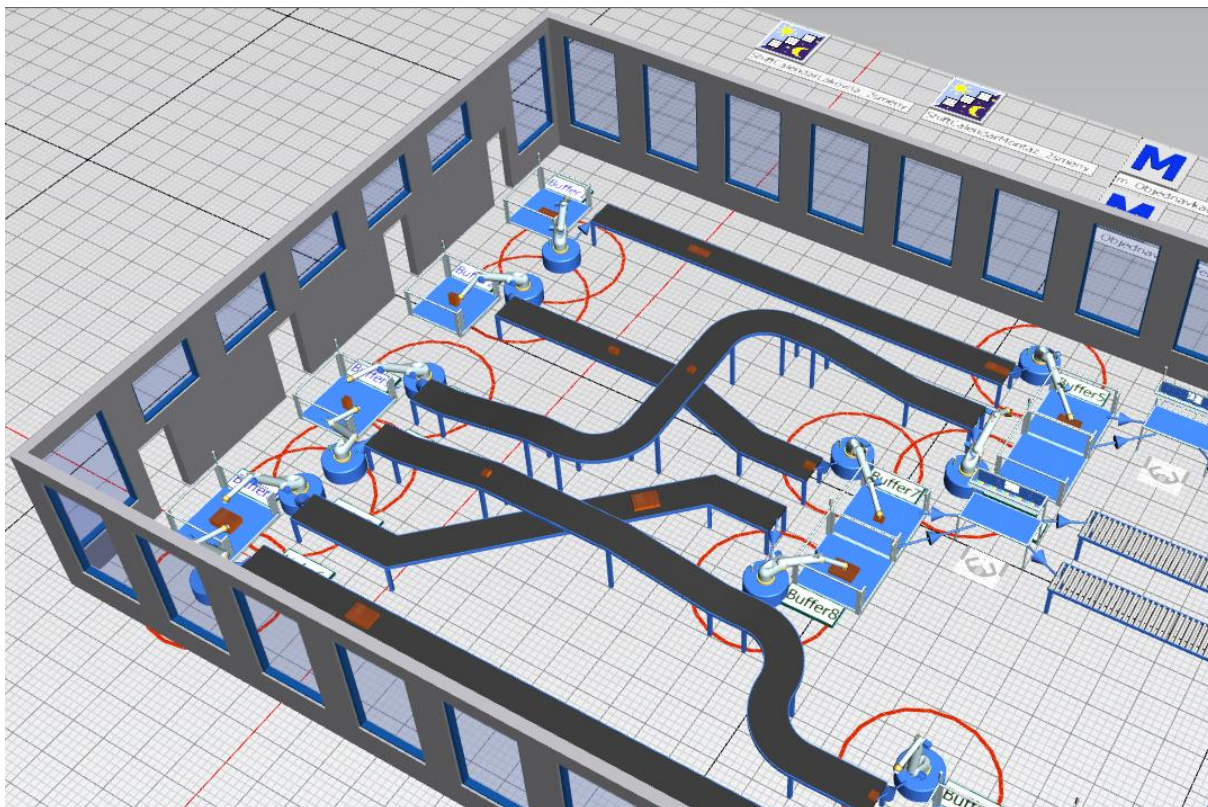
Níže na obr. 30 jsou výrobní úseky zobrazeny schematicky. „Reálný“ pohled na celou výrobní linku v prostředí Plant Simulation je v příloze I.



Obrázek 30: Zjednodušené logistické schéma modelu JIT

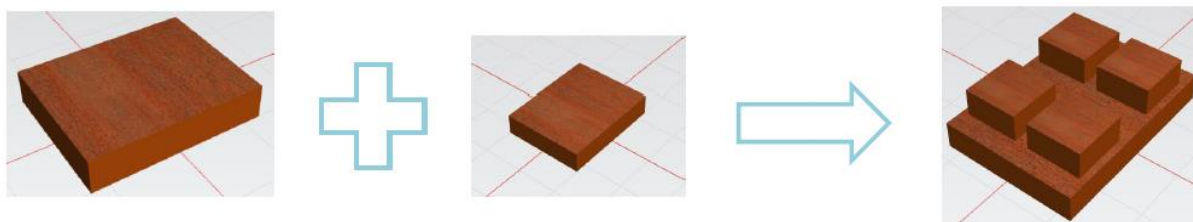
2.5.1 MONTÁŽ

V počátku plánování byly použity na vstupu prvky *Source*, které měly za úkol úsek zásobovat díly. Nicméně po několika úvahách byl pro větší variabilitu následné analýzy prvek *Source* nahrazen metodou, která součásti (*Soucast1* až *Soucast4*) generuje přímo do zásobníků (*Buffer1* až *Buffer4*). Tedy *Soucast1* do *Buffer1*, *Soucast2* do *Buffer2*, atd.



Obrázek 31: Pohled na vstupní úsek

Ze vstupních zásobníků jsou pomocí manipulačních robotů (prvek *PickAndPlace*) součásti přemísťovány na dopravníky, které tyto 4 typy součástí přepraví k následujícím 6 zásobníkům (*Buffer5* až *Buffer10*), kam jsou následně uloženy opět manipulačními roboty. Z těchto zásobníků jsou již součásti odebírány montážními stanicemi (*Montaz1*, *Montaz2* a *Montaz3*), kde jsou kompletovány.



Obrázek 32: Schématické znázornění montáže

Pro grafiku součástí byly použity jednoduché tvary (kvádry), které jsou v softwaru Plant Simulation k dispozici. Pro grafické znázornění montáže a materiálového toku je toto řešení dostačující, jelikož vyráběný díl není v této práci předmětem zkoumání. V praxi je tento simulační model možno využít pro již konkrétní výrobek, který bude procházet podobným výrobním řetězcem (montáž → mezisklad → lakovna).

PROGRAMOVÁNÍ MONTÁŽNÍHO ÚSEKU – INIT METODA

Nejprve bylo nezbytné pomocí programovacího jazyku *SimTalk* napsat *init* metodu, která vždy při spuštění simulace vygeneruje součásti do vstupních zásobníků. Použit byl cyklus „while-do“, který naplní patřičný zásobník součástmi až po nastavenou pojistnou hladinu (oblast D na obr. 33). Zároveň je vždy při vygenerování jednoho kusu navýšena proměnná počítající aktuální počet kusů v zásobníku. Dále *init* metoda obsahuje pojistné příkazy, které zabezpečují, že při každém startu simulace budou otevřeny vstupy a výstupy prvků, u kterých se tyto parametry v průběhu mění (oblast B a C na obr. 33). Na závěr lze ještě zmínit příkazy, které mažou data z tabulky zaznamenávající simulační data (oblast A na obr. 33).

```

.Models.Frame.init *
Tab_DobaPruchodu1.delete({0,1}..{*,*})
Tab_DobaPruchodu2.delete({0,1}..{*,*})
Tab_DobaPruchodu3.delete({0,1}..{*,*}) A

Buffer1.ExitLocked := false
Buffer2.ExitLocked := false
Buffer3.ExitLocked := false
Buffer4.ExitLocked := false B

PickAndPlace1.EntranceLocked := false
PickAndPlace2.EntranceLocked := false
PickAndPlace3.EntranceLocked := false
PickAndPlace4.EntranceLocked := false
PickAndPlace5.EntranceLocked := false
PickAndPlace6.EntranceLocked := false C

while v_Soucast1vBuffer1 < v_pojistnaZasobaBuffer1
.MUs.Soucast1.create(Buffer1)
v_Soucast1vBuffer1 := v_Soucast1vBuffer1 + 1
end

while v_Soucast2vBuffer2 < v_pojistnaZasobaBuffer2
.MUs.Soucast2.create(Buffer2)
v_Soucast2vBuffer2 := v_Soucast2vBuffer2 + 1
end

while v_Soucast3vBuffer3 < v_pojistnaZasobaBuffer3
.MUs.Soucast3.create(Buffer3)
v_Soucast3vBuffer3 := v_Soucast3vBuffer3 + 1
end

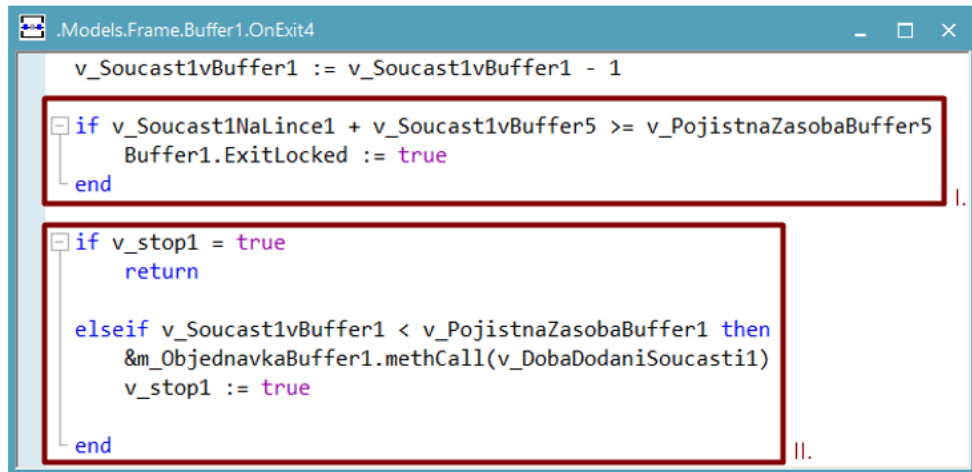
while v_Soucast4vBuffer4 < v_pojistnaZasobaBuffer4
.MUs.Soucast4.create(Buffer4)
v_Soucast4vBuffer4 := v_Soucast4vBuffer4 + 1
end D

```

Obrázek 33: Init metoda simulačního modelu

PROGRAMOVÁNÍ MONTÁŽNÍHO ÚSEKU – VSTUPNÍ ZÁSOBNÍKY

Metoda přiřazená vstupnímu zásobníku (*Buffer1* až *Buffer4*) kontroluje dávkování součástí na dopravník (oblast I. na obr. 34) a zároveň vysílá v případě poklesu zásob pod pojistnou hladinu signál objednávky do předchozího článku logistického řetězce (oblast II. na obr. 34), který již není součástí tohoto simulačního modelu. Metoda je přiřazena k výstupu ze zásobníku, a je tedy spouštěna vždy, když jej opustí součást.



```

.Models.Frame.Buffer1.OnExit4
v_Soucast1vBuffer1 := v_Soucast1vBuffer1 - 1

I.
if v_Soucast1NaLince1 + v_Soucast1vBuffer5 >= v_PojistnaZasobaBuffer5
  Buffer1.ExitLocked := true
end

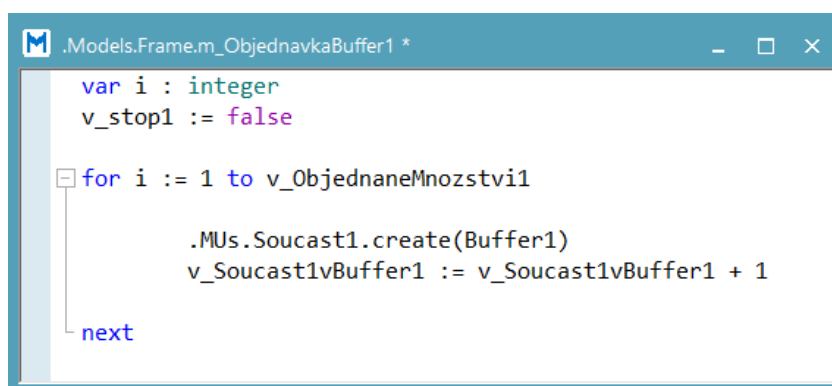
II.
if v_stop1 = true
  return

elseif v_Soucast1vBuffer1 < v_PojistnaZasobaBuffer1 then
  &m_ObjednavkaBuffer1.methCall(v_DobaDodaniSoucasti1)
  v_stop1 := true
end

```

Obrázek 34: Metoda na jednom ze vstupních zásobníků

Vždy, když je vyslán signál objednávky a objednávka je zpracovávána (dobu zpracování definuje proměnná *v_DobaDodaniSoucasti*, kterou lze měnit), je uvedena do pravdivého tvrzení proměnná *v_stop* a během tohoto stavu zásobník nemůže vyslat další objednávku. Jakmile uplyne doba zpracování objednávky (*v_DobaDodaniSoucasti*), je do příslušného vstupního bufferu vygenerováno určené množství součástí, které je definováno proměnnou *v_ObjednaneMnozstvi*. Při vykonání tohoto úkonu je uvedena do nepravdivého tvrzení proměnná *v_stop*, tzn. že je možno opět v případě potřeby vyslat další signál objednávky.



```

.Models.Frame.m_ObjednavkaBuffer1 *
var i : integer
v_stop1 := false

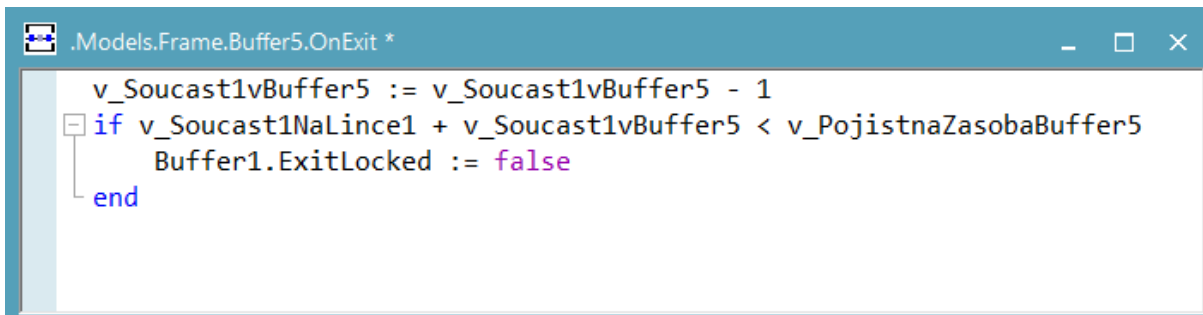
for i := 1 to v_ObjednaneMnozstvi1
  .MUs.Soucast1.create(Buffer1)
  v_Soucast1vBuffer1 := v_Soucast1vBuffer1 + 1
next

```

Obrázek 35: Objednávková metoda generující součásti

PROGRAMOVÁNÍ MONTÁŽNÍHO ÚSEKU – ZÁSOBNÍKY PŘED MONTÁŽNÍ STANICÍ

V poslední řadě je potřeba zajistit, aby při poklesu zásob v zásobníku před montážní stanicí (*Buffer5* až *Buffer10*) pod pojistnou hladinu došlo k otevření výstupu ze vstupního zásobníku na začátku úseku (*Buffer1* až *Buffer4*).



```

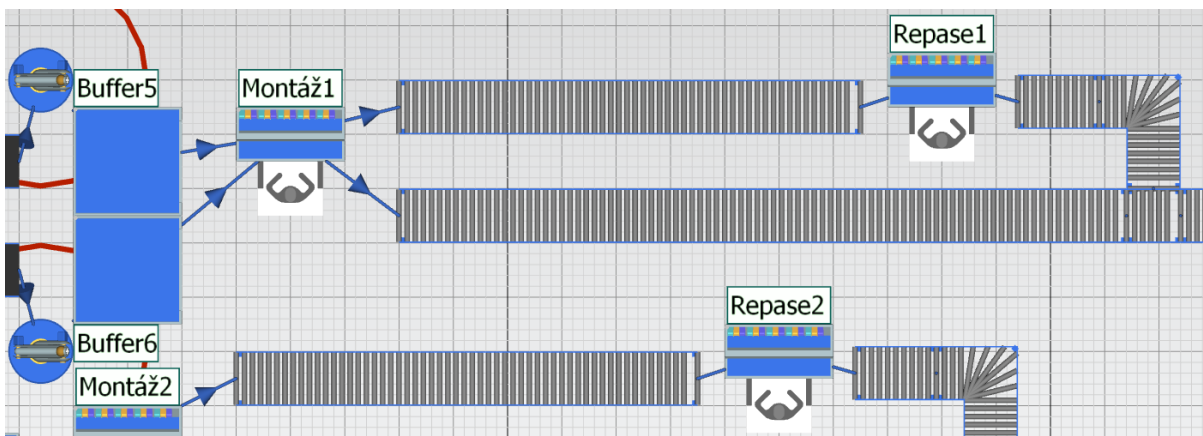
.Models.Frame.Buffer5.OnExit *
v_Soucast1vBuffer5 := v_Soucast1vBuffer5 - 1
if v_Soucast1NaLince1 + v_Soucast1vBuffer5 < v_PojistnaZasobaBuffer5
  Buffer1.ExitLocked := false
end

```

Obrázek 36: Metoda na výstupu zásobníku před montážní stanicí

MONTÁŽNÍ STANICE

Nyní následuje již samotná montážní stanice, kde jsou dohromady montovány jednotlivé součásti. Doba montážní operace je nastavena na 1,5 minuty. Jelikož běžnou součástí reálné výroby je i určitý poměr zmetkovitosti, je zde za každou montážní stanicí připojeno i repasovací stanoviště (*Repase1*, *Repase2* a *Repase3*), kam putují zmetkové součásti z montážního stanoviště. Doba repase je 1 minuta. Procento zmetkovitosti je nastaveno na 5 % a jeho změnou a vlivem na jiné charakteristiky se bude zabývat následná simulace.



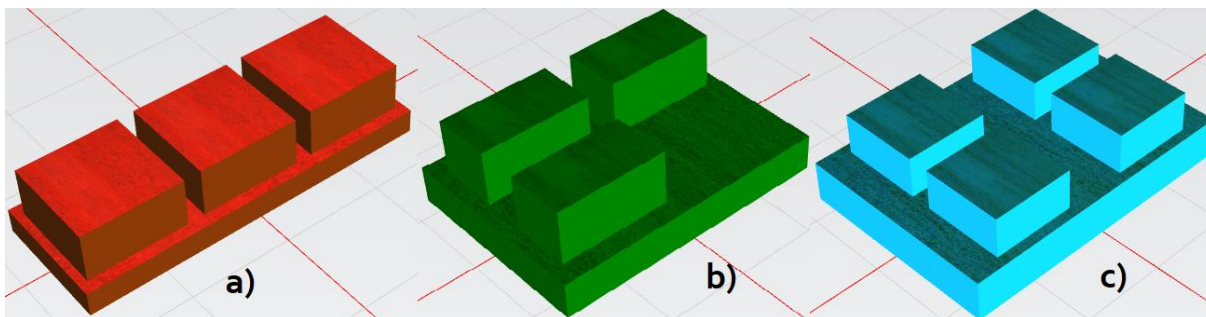
Obrázek 37: Repasovací stanoviště za montáží

2.5.2 MEZISKLAD

Mezi montážním úsekem a lakovnou má své místo mezisklad, tj. prostor, kde dochází k akumulaci součástí. Jak již bylo zmíněno, v případě tohoto modelu není žádané dlouhodobé skladování, tudíž pro ušetření manipulačních časů dostačuje pro akumulaci funkci válečkový dopravník. Kapacita tohoto meziskladu je tedy přímo udávána délkou dopravníků.

2.5.3 LAKOVNA

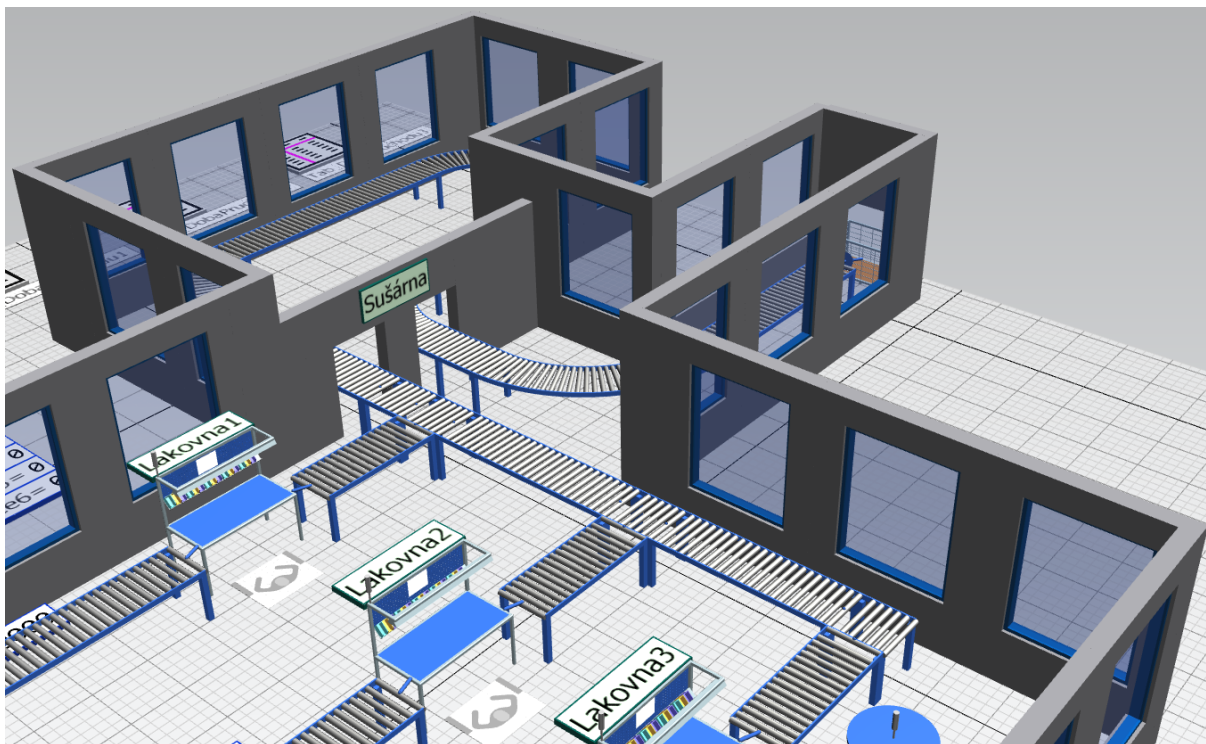
V lakovně dochází k barvení součástí. Výstupem jsou *polovýrobek1* (obr. 38a), *polovýrobek2* (obr. 38b) a *polovýrobek3* (obr. 38c).



Obrázek 38: Grafický vzhled polovýrobků

2.5.4 SUŠÁRNA

Za lakovnou následuje sušárna, kde dochází při malé dopravní rychlosti na válečkových dopravnících k zasychání barvy. Poté v modelu následuje již jen *Drain*, který polovýrobky odebírá z linky a zaznamenává statistiky.



Obrázek 39: Pohled na lakovnu se sušárnou

2.5.5 O SIMULACI

Pro simulace s průběžnou změnou parametrů byl použit prvek *ExperimentManager*. Pro všechny následující simulace byla použita simulační doba 1 den. Ze všeho nejdříve musely být stanoveny pro správné fungování modelu JIT optimální hladiny pojistných zásob ve všech zásobnících. Jelikož parametrizaci podléhá 10 zásobníků a počet možných kombinací by byl příliš velký a taková simulace by vyžadovala příliš dlouhou dobu a velký výpočetní výkon, bylo postupováno po částech.

2.5.6 STANOVENÍ OPTIMÁLNÍCH POJISTNÝCH ZÁSOB PŘED MONTÁŽNÍMI STANICEMI

Nejdříve byly stanoveny pojistné zásoby u zásobníků před montážními stanicemi (*Buffer5* až *Buffer10*). Ostatní parametry, jako pojistné hladiny vstupních zásobníků, velikost objednávkového množství a kapacity všech zásobníků, byly nastaveny dostatečně vysoko, aby nijak negativně neovlivňovaly sledované charakteristiky.

Okrajové podmínky:

- Pojistná zásoba vstupních zásobníků *Buffer1* až *Buffer4* nastavena na 30 ks
- Objednávkové množství všech součástí nastaveno na 30 ks
- Neomezeně velká kapacita u všech zásobníků
- Doba zpracování objednávky stanovena na 5 minut

Provedeny byly 4 simulační kola s počtem kombinací 729, 729, 1152 a 729, kde v každém z kol byly postupně měněny rozsahy testovaných pojistných hladin v závislosti na výsledcích simulačního kola předešlého. V jednotlivých kolech byla každá kombinace (experiment) simulována dvakrát a zapsána byla průměrná hodnota. Celkový rozsah testovaných hodnot vyobrazuje tab. 1. Čistý simulační čas činil dohromady 51 minut.

Tabulka 1: Rozsah testovaných pojistných zásob

	Pojistná zásoba buffer5 [ks]	Pojistná zásoba buffer6 [ks]	Pojistná zásoba buffer7 [ks]	Pojistná zásoba buffer8 [ks]	Pojistná zásoba buffer9 [ks]	Pojistná zásoba buffer10 [ks]
Spodní hranice	1	1	1	1	1	1
Horní hranice	7	12	8	7	15	13

Ze všech simulačních kol byla stanovena neoptimalnější kombinace zvýrazněná v tab. 2. Je patrné, že i při zvyšování některých pojistných hladin již nedochází k nárůstu celkové denní produkce, a tedy není žádoucí se k těmto zvýšeným hodnotám přiklánět.

Tabulka 2: Souhrn výsledků pojistných zásob pro Buffer5 až Buffer10

	Pojistná zásoba buffer5 [ks]	Pojistná zásoba buffer6 [ks]	Pojistná zásoba buffer7 [ks]	Pojistná zásoba buffer8 [ks]	Pojistná zásoba buffer9 [ks]	Pojistná zásoba buffer10 [ks]	Celková denní produkce [ks]	Čekání montáž1 [%]	Čekání montáž2 [%]	Čekání montáž3 [%]
Exp 001	3	10	6	4	13	9	2415	9,77	9,53	10,54
Exp 002	3	10	6	4	13	10	2415	9,77	9,50	10,54
Exp 003	3	10	6	4	13	11	2415	9,77	9,50	10,54
Exp 011	3	10	6	5	13	10	2415	9,77	9,50	10,54
Exp 012	3	10	6	5	13	11	2415	9,77	9,50	10,54
Exp 021	3	10	6	6	13	11	2415	9,77	9,50	10,54
Exp 089	3	11	6	4	15	10	2415	9,80	9,52	10,41
Exp 090	3	11	6	4	15	11	2415	9,80	9,52	10,41
Exp 099	3	11	6	5	15	11	2415	9,80	9,52	10,41
Exp 152	3	11	8	5	15	10	2415	9,78	9,32	10,48

2.5.7 STANOVENÍ OPTIMÁLNÍCH POJISTNÝCH ZÁSOB U VSTUPNÍCH ZÁSOBNÍKŮ

Postupováno zde bylo analogicky dle stanovování pojistných hladin před montážními stanicemi v předešlé kapitole.

Okrajové podmínky:

- Pojistná zásoba *Buffer5* až *Buffer10* nastavena na optimální hladinu dle tab. 2
- Objednací množství všech součástí nastaveno na 30 ks
- Neomezeně velká kapacita u všech zásobníků
- Doba zpracování objednávky stanovena na 5 minut

Provedeny byly 2 simulační kola s počtem kombinací 2401 a 275. Každá kombinace (experiment) byla simulována dvakrát a zapsána byla průměrná hodnota. Celkový rozsah testovaných hodnot zobrazuje tab. 3. Čistý simulační čas činil dohromady 42 minut.

Tabulka 3: Rozsah testovaných pojistných zásob

	Pojistná zásoba buffer1 [ks]	Pojistná zásoba buffer2 [ks]	Pojistná zásoba buffer3 [ks]	Pojistná zásoba buffer4 [ks]
Spodní hranice	3	8	8	4
Horní hranice	20	20	30	20

Na první pohled vycházela jako nejvýhodnější kombinace z experimentu s označením *Exp 050*, jelikož bylo dosaženo nejvyšší celkové denní produkce. Z výsledků v tab. 4 je patrné, že celkovou denní produkci ovlivňuje nadále již téměř jen pojistná zásoba zásobníku *Buffer3*. Navyšování pojistné hladiny tohoto zásobníku ovšem ovlivňovalo celkovou denní produkci jen velmi decentně, a proto byla jako optimální zvolena zvýrazněná kombinace *Exp 004*.

Tabulka 4: Souhrn výsledků pojistných zásob pro *Buffer1* až *Buffer4*

	Pojistná zásoba buffer1 [ks]	Pojistná zásoba buffer2 [ks]	Pojistná zásoba buffer3 [ks]	Pojistná zásoba buffer4 [ks]	Celková denní produkce [ks]	Čekání montáž1 [%]	Čekání montáž2 [%]	Čekání montáž3 [%]
Exp 050	4	12	29	8	2417	9,48	9,49	10,18
Exp 105	5	12	29	8	2417	9,48	9,49	10,18
Exp 024	4	12	24	7	2416	9,58	9,53	10,29
Exp 029	4	12	25	7	2416	9,52	9,53	10,25
Exp 043	4	12	28	6	2416	9,51	9,55	10,30
Exp 030	4	12	25	8	2415.5	9,50	9,53	10,25
Exp 040	4	12	27	8	2415.5	9,52	9,63	10,31
Exp 045	4	12	28	8	2415.5	9,57	9,53	10,29
Exp 004	4	12	20	7	2415	9,77	9,53	10,54
Exp 005	4	12	20	8	2415	9,77	9,53	10,54
Exp 013	4	12	22	6	2415	9,60	9,57	10,41
Exp 015	4	12	22	8	2415	9,60	9,57	10,41

2.5.8 STANOVENÍ OPTIMÁLNÍHO OBJEDNACÍHO MNOŽSTVÍ

Okrajové podmínky:

- Pojistná zásoba *Buffer5* až *Buffer10* nastavena na optimální hladinu dle tab. 2
- Pojistná zásoba *Buffer1* až *Buffer4* nastavena na optimální hladinu dle tab. 4
- Neomezeně velká kapacita u všech zásobníků
- Doba zpracování objednávky stanovena na 5 minut

Po nastavení optimálních pojistných hladin všech zásobníků bylo analyzováno objednávací množství součástí, které přichází do vstupních zásobníků. Provedeny byly 3 simulační kola s počtem kombinací 1296, 2401 a 24. Každá kombinace (experiment) byla simulována dvakrát a zapsána byla průměrná hodnota. Celkový rozsah testovaných hodnot zobrazuje tab. 5. Čistý simulační čas činil dohromady 65 minut.

Tabulka 5: Rozsah testovaných pojistných zásob

	Objednané množství buffer1	Objednané množství buffer2	Objednané množství buffer3	Objednané množství buffer4
Spodní hranice	3	5	5	5
Horní hranice	30	30	32	30

Po prvním simulačním kole vycházelo pro všechny výhodné kombinace pro zásobník *Buffer3* objednávací množství 30, což byla do té doby maximální nastavovaná hodnota. Bylo proto nezbytné ověřit, zda navýšení této hodnoty nebude mít pozitivní vliv na celkovou denní produkci. Následné simulační kolo s navýšenou horní hranicí ovšem ukázalo, že další navyšování této hodnoty již nemá žádné pozitivní benefity, jelikož se mezi těmi nejvýhodnějšími kombinacemi neobjevila tato navýšená hodnota ani jednou. Nejoptimálnější kombinace je zvýrazněna v souhrnné tab. 6.

Tabulka 6: Souhrnná tabulka výsledků objednávacího množství

	Objednané množství buffer1 [ks]	Objednané množství buffer2 [ks]	Objednané množství buffer3 [ks]	Objednané množství buffer4 [ks]	Celková denní produkce [ks]	Čekání montáž1 [%]	Čekání montáž2 [%]	Čekání montáž3 [%]
Exp 0372	4	14	30	9	2415	9,77	9,53	10,54
Exp 0374	4	14	30	11	2415	9,77	9,53	10,54
Exp 0378	4	14	30	15	2415	9,77	9,53	10,54
Exp 0392	4	14	32	15	2415	9,75	9,53	10,46
Exp 0435	4	15	32	9	2415	9,73	9,52	10,44
Exp 0439	4	15	32	13	2415	9,75	9,53	10,46
Exp 0441	4	15	32	15	2415	9,73	9,52	10,44
Exp 0470	4	16	30	9	2415	9,77	9,53	10,54
Exp 19	4	14	30	9	2415	9,77	9,53	10,54
Exp 12	4	12	30	10	2414.5	9,80	9,53	10,53

2.5.9 STANOVENÍ KAPACIT ZÁSObNÍKŮ

V poslední řadě bylo potřebné podle získaných parametrů stanovit kapacity (velikosti) jednotlivých zásobníků.

Okrajové podmínky:

- Pojistná zásoba *Buffer5* až *Buffer10* nastavena na optimální hladinu dle tab. 2
- Pojistná zásoba *Buffer1* až *Buffer4* nastavena na optimální hladinu dle tab. 4
- Hodnoty objednávacího množství nastaveny na optimální hladinu dle tab. 6
- Doba zpracování objednávky stanovena na 5 minut

S nastavenými parametry podle okrajových podmínek bylo provedeno 100 simulací. Zjištěna byla průměrná, maximální i minimální hodnota maximální hladiny zásob u každého zásobníku a podle těchto hodnot byla stanovena kapacita (velikost) každého z nich. Hodnoty jsou vyobrazeny v tab. 7.

Tabulka 7: Hodnoty kapacit všech zásobníků

Maximální hladina zásob [ks]	Buffer1	Buffer2	Buffer3	Buffer4	Buffer5	Buffer6	Buffer7	Buffer8	Buffer9	Buffer10
MIN	6	20	37	11	4	11	7	5	14	10
MAX	7	25	49	15	4	11	7	5	14	10
Průměr	6,78	23,71	45,81	14,13	4	11	7	5	14	10
Zvolená kapacita	8	26	50	16	5	12	8	6	15	10

2.5.10 ANALÝZA VLIVU ZMETKOVITOSTI MONTÁŽE

Jedním ze sledovaných parametrů byla zmetkovitost montážního stanoviště, resp. vliv tohoto parametru na materiálový tok. Bylo provedeno 11 simulací v rozsahu zmetkovitosti 0-10 %, kdy během každé simulace proběhlo 100 pozorování. Výsledné hodnoty jsou zapsány v příloze II.

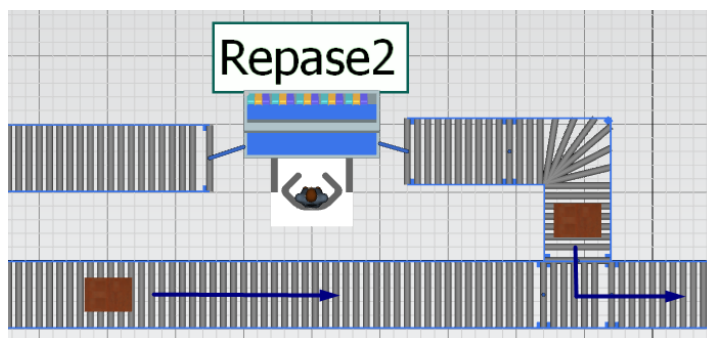
Z výsledků je patrné, že nárůst zmetkovitosti montáže neměl **zásadní** vliv na žádnou z monitorovaných charakteristik. Se zvyšováním zmetkovitosti docházelo pouze k mírnému nárůstu průměrné doby průchodu jak výrobou, tak i meziskladem. Výčet těchto dílčích výsledků z přílohy II. vyobrazuje souhrnná tab. 8. Grafické znázornění nárůstu zachycuje obr. 41.

Tabulka 8: Výsledky analýzy vlivu zmetkovitosti montáže

Zmetkovitost montáž [%]	Průměrná doba průchodu výrobou [min:s]	Průměrná doba průchodu meziskladem (dopravník 1) [min:s]	Průměrná doba průchodu meziskladem (dopravník 2) [min:s]	Průměrná doba průchodu meziskladem (dopravník 3) [min:s]
0%	26:28	08:09	06:24	06:59
1%	26:35	08:12	06:30	07:06
2%	26:42	08:22	06:39	07:05
3%	26:46	08:19	06:41	07:17
4%	26:52	08:32	06:45	07:17
5%	27:01	08:41	06:45	07:31
6%	27:02	08:40	06:52	07:24
7%	27:05	08:35	06:58	07:28
8%	27:05	08:40	06:51	07:31
9%	27:10	08:49	06:51	07:33
10%	27:11	08:44	07:00	07:30

Lehký nárůst průměrné doby průchodu je zapříčiněn situacemi, kdy se součást vystupující z repasovací stanice připojí zpět na „hlavní“ dopravník, kde se v tom okamžiku relativně blízce potkává se součástí putující přímo z montáže. V takovém případě do meziskladu putují 2 součásti s kratším rozstupem, než je tomu při posloupnosti, kdy 2 po sobě montované součásti putují z montážní stanice přímo do meziskladu. Důsledkem je následné čekání 2. jdoucí součásti před lakovnou a tím je navyšována průměrná doba průchodu meziskladem.

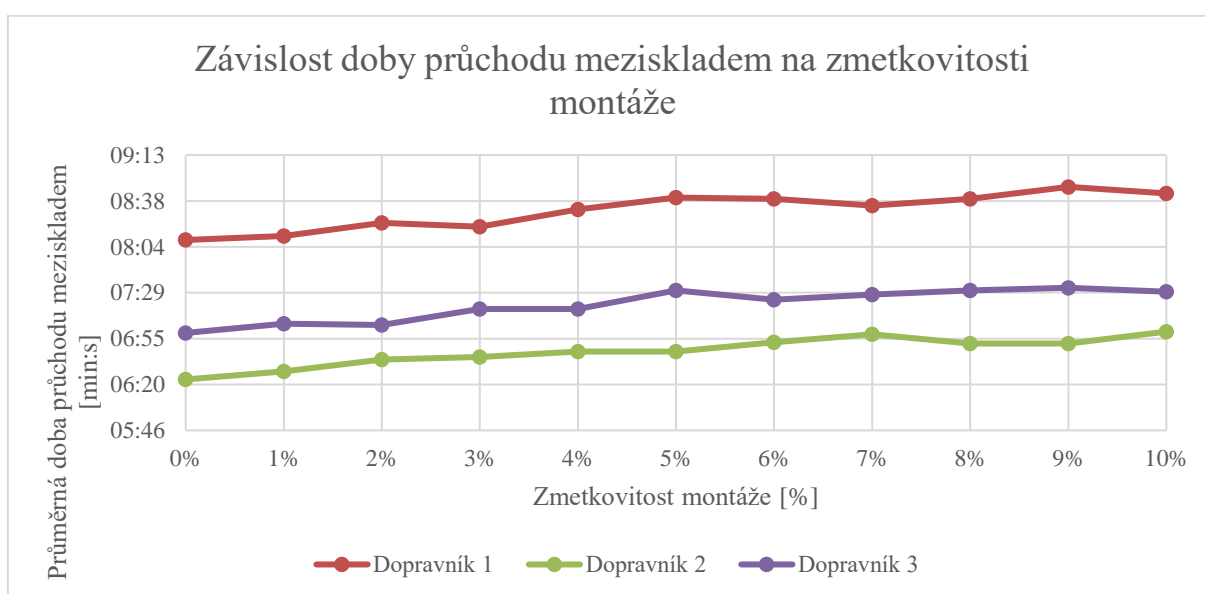
Samozřejmě s nárůstem zmetkovitosti, a tedy i častějším putování součástí do repasovací stanice, se tato situace stává častěji. Situace je zachycena na obr. 40.



Obrázek 40: Situace prodlužující dobu průchodu meziskladem

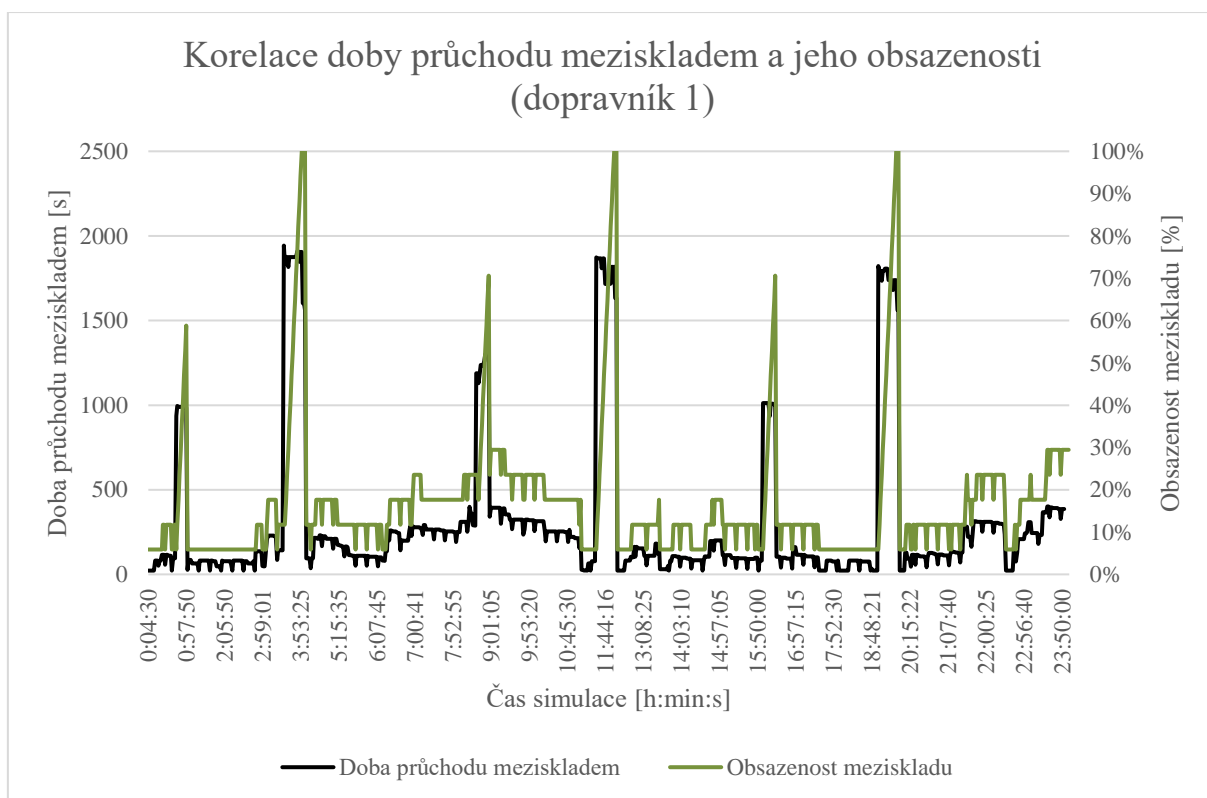
Parametry modelu jsou vždy v počátku nastaveny na následující hodnoty a měněn je pouze zkoumaný parametr. Zmetkovitost montáže je při dalších analýzách nastavena na 5 %.

- Rychlost pásových dopravníků v úseku montáže (*Linka1 až Linka6*, viz příloha I): 1 m/s
- Rychlost válečkových dopravníků v sušárně: 0,15 m/s
- Rychlost všech ostatních válečkových dopravníků: 0,5 m/s
- Poruchovost robotů, montážního stanoviště, repase a lakovny: 5 %, MTTR: 1 min
- Manipulační čas (z dopravníku do bufferu a opačně): 6 s
- 3směnný provoz:
 - 1krát 30minutová a 1krát 15minutová přestávka
 - první má přestávku lakovna, hned po jejím skončení má přestávku montáž
- Kapacita (délka) meziskladu (dopravníků): 11,9 m
- Operační časy:
 - montáž 0:01:30
 - repase 0:01:00
 - lakování 0:01:30



Obrázek 41: Graf závislosti doby průchodu meziskladem na zmetkovitosti montáže

Na obr. 42 lze pozorovat vzájemnou korelaci doby průchodu meziskladem a jeho obsazenosti v průběhu simulačního času. S nárůstem zaplnění meziskladu roste i doba průchodu, což je pro použitý typ meziskladu (dopravník) typické. Jedná se o systém FIFO, takže v případě vyššího zaplnění dopravníku čekají nově vstupující součásti na odběr všech součástí před nimi. Zároveň si lze na grafu všimnout 3 lokálních (kolem časů 1:00:00, 9:00:00 a 16:00:00) a 3 globálních extrémů (kolem časů 4:00:00, 12:00:00 a 19:00:00). Jsou to období malých 15minutových a velkých 30minutových přestávek, kdy neprobíhá výroba a dochází tedy ke hromadění součástí v meziskladu. Během velkých přestávek dochází i ke krátkodobému zaplnění meziskladu na 100 %, což by v případě zavádění úprav ve výrobě a zvětšování objemu výroby mohlo způsobovat prostoje. V takovém případě by bylo jedním z možných řešení zvýšit kapacitu meziskladu, tzn. prodloužit trasu dopravníků. V aktuálním konceptu ale toto krátkodobé naplnění meziskladu na 100 % s sebou nepřináší žádná negativa, jelikož před dopravníky v meziskladu je ještě minimálně jedenkrát tak dlouhý úsek dopravníků, které by případně nadměrné množství byly krátkodobě schopny pojmout. Detailnější pohled na tuto problematiku zachycuje kapitola 2.4.12.



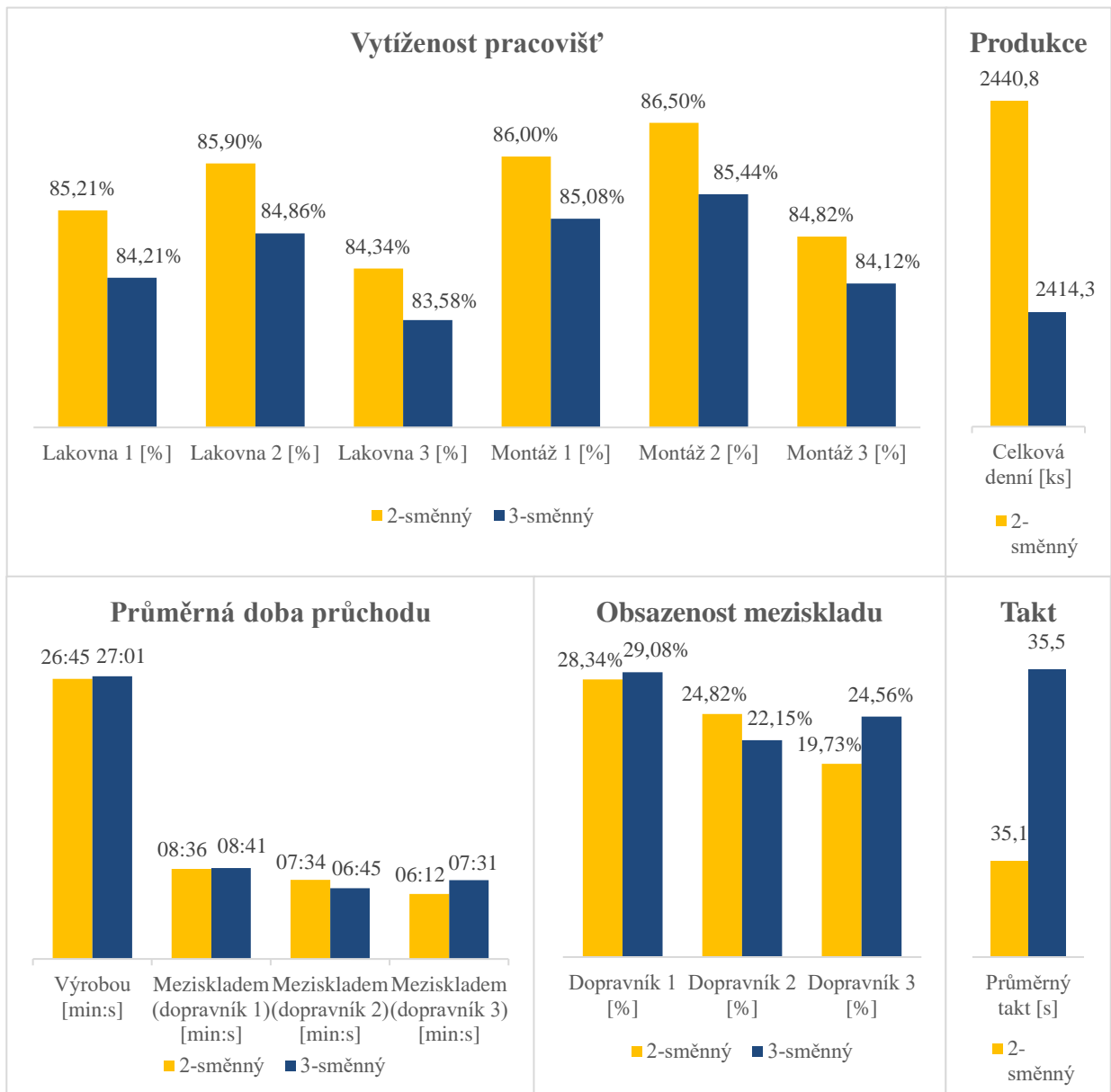
Obrázek 42: Korelace doby průchodu meziskladem a jeho obsazenosti

2.5.11 ANALÝZA VLIVU SMĚNOVÉHO REŽIMU

Dalším zkoumaným artiklem byl vliv směnového režimu. Porovnáván byl režim dvousměnný a třísměnný. Jejich struktura vypadá následovně:

- třísměnný provoz:
 - Délka směny 8 hodin
 - 2 přestávky, z toho 1krát 15minutová a 1krát 30minutová
- dvousměnný provoz:
 - Délka směny 12 hodin
 - 2 přestávky, z toho obě 30minutové

Vyhodnocována byla celková denní produkce, průměrný takt výroby, průměrná doba průchodu výrobou a meziskladem, průměrná obsazenost meziskladu a využitost jednotlivých stanovišť. U každé simulace bylo provedeno 100 pozorování. Porovnání směn zachycuje obr. 43.



Obrázek 43: Porovnání směnových režimů

Z výsledků je patrné, že dvousměnný provoz dosahuje vyšší denní produkce a vyššího využití pracovišť, neboť za dobu 24 hodin proběhne méně přestávek, než v případě režimu třisměnném, a tedy je i nižší nevýrobní doba. Z vyšší denní produkce vyplývá i kratší průměrný výstupní interval mezi jednotlivými výrobky, tzn. nižší hodnota výrobního taktu. Vyšší podíl přestávek u třisměnného provozu má za následek vyšší průměrnou obsazenost meziskladu, neboť tam součásti stráví déle času.

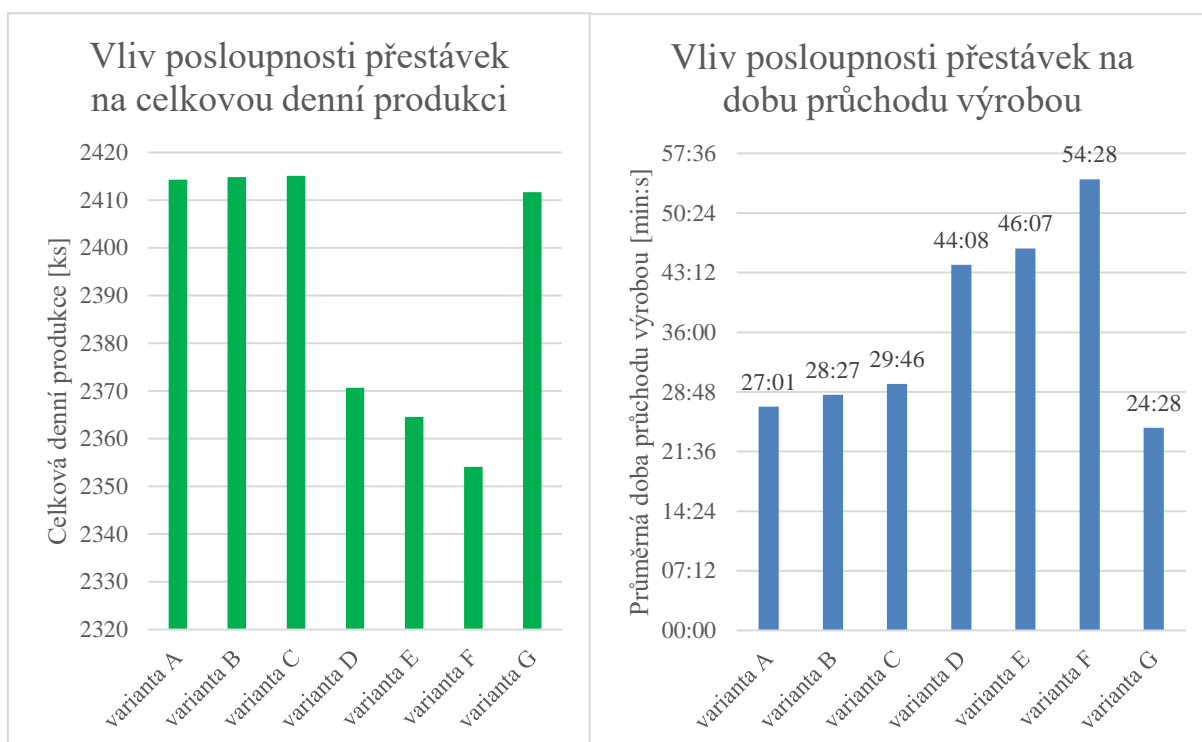
Dále byly testovány v rámci třisměnného provozu odlišné koncepty přestávek, tzn. jejich posloupnost v rámci navazujících výrobních úseků. Testované varianty byly následující:

- Varianta A: první má přestávku lakovna, montáž hned po skončení přestávky v lakovně
- Varianta B: první má přestávku lakovna, montáž 15 minut po skončení přestávky v lakovně
- Varianta C: první má přestávku lakovna, montáž 30 minut po skončení přestávky v lakovně
- Varianta D: první má přestávku montáž, lakovna hned po skončení přestávky v montáži
- Varianta E: první má přestávku montáž, lakovna 15 minut po skončení přestávky v montáži
- Varianta F: první má přestávku montáž, lakovna 30 minut po skončení přestávky v montáži
- Varianta G: lakovna i montáž mají přestávku ve stejnou dobu

Tabulka 9: Výsledky analýzy posloupnosti přestávek

	varianta A	varianta B	varianta C	varianta D	varianta E	varianta F	varianta G
Celková denní produkce [ks]	2414,3	2414,8	2415,1	2370,7	2364,6	2354,1	2411,7
Průměrný takt [s]	35,5	35,5	35,5	36,2	36,3	36,4	35,6
Průměrná doba průchodu výrobou [min:s]	27:01	28:27	29:46	44:08	46:07	54:28	24:28
Vytíženost Lakovna1 [%]	84,21	84,30	84,33	82,72	82,55	82,17	84,20
Vytíženost Lakovna2 [%]	84,86	84,81	84,88	83,31	83,04	82,55	84,83
Vytíženost Lakovna3 [%]	83,58	83,63	83,56	82,11	81,91	81,71	83,37
Vytíženost Montáž1 [%]	85,08	85,06	85,10	84,97	84,97	84,97	84,97
Vytíženost Montáž2 [%]	85,44	85,38	85,48	85,41	85,41	85,41	85,41
Vytíženost Montáž3 [%]	84,12	84,16	84,10	83,98	83,98	83,98	83,98
Průměrná doba průchodu meziskladem (dopravník 1) [min:s]	08:41	09:32	10:47	22:58	23:13	24:23	06:09
Průměrná doba průchodu meziskladem (dopravník 2) [min:s]	06:45	08:20	09:43	23:16	23:47	24:57	04:37
Průměrná doba průchodu meziskladem (dopravník 3) [min:s]	07:31	08:19	09:10	22:12	22:59	24:12	05:02
Průměrná obsazenost meziskladu1 [%]	29,08	31,89	36,33	81,64	81,43	83,14	23,73
Průměrná obsazenost meziskladu2 [%]	22,15	27,73	32,90	83,09	83,45	84,70	18,47
Průměrná obsazenost meziskladu3 [%]	24,56	27,49	30,70	79,16	80,70	82,47	19,66

Z výsledků lze vyčíst, že podle dosažené celkové denní produkce dopadly nejlépe, poměrně identicky, varianty A, B, C a G, přičemž varianta G má z nich produkci nejmenší (ovšem rozdíl lze považovat za zanedbatelný). Varianta G však předčila všechny ostatní varianty velmi razantně v krátkosti doby průchodu meziskladem i celou výrobou. I průměrná obsazenost meziskladu je u této varianty nejnižší. Vytíženost pracovních stanovišť je u zmíněných variant prakticky totožná a liší se většinou pouze v řádu setin procent. Lze tedy konstatovat, že varianta G s konceptem přestávek, kdy má lakovna i montáž přestávku v totožný čas, vychází pro výrobu v tomto modelu nejvýhodněji, jelikož je zde teoreticky možné použití meziskladu s menší kapacitou (tomuto problému se bude věnovat kapitola 2.4.12). Nejhůře dopadla varianta F, která byla nejhorší ve všech měřených parametrech.



Obrázek 44: Vliv posloupnosti přestávek na produkci a dobu průchodu výrobou

2.5.12 ANALÝZA VLIVU KAPACITY MEZISKLADU

Jelikož se dosavadní analýzy věnovaly modelu se strukturou přestávek „varianta A“ (viz kapitola 2.4.11), tak na tomto konceptu budou postaveny i následující analýzy. Pouze pro zajímavost bude ve druhé části této kapitoly podrobena analýze i „varianta G“.

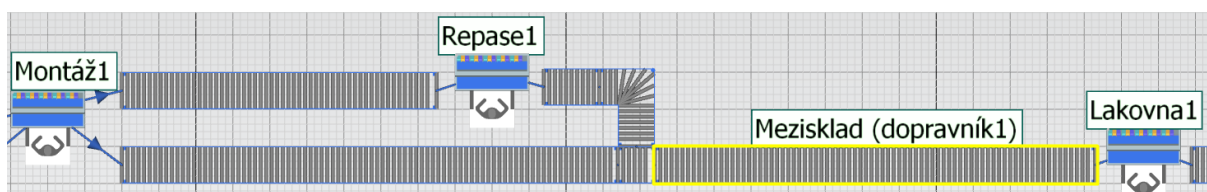
„VARIANTA A“

Nejprve tedy k první zmiňované variantě. Zkoumaným prvkem byla délka (kapacita) dopravníků v meziskladu. Simulacím podlehlo 14 variant délek v rozsahu 6,3 až 15,4 metru. Každá simulace obsahovala 10 pozorování. Hodnoty délek dopravníků jsou násobky délky přepravované součásti (v metrech) ve směru pohybu. Naměřené hodnoty jsou znázorněny v tab. 10.

Tabulka 10: Naměřené hodnoty při parametrizaci délky dopravníků

Délka dopravníků v meziskladu [m]	Průměrná doba průchodu výrobou [min:s]	Průměrná doba průchodu meziskladem (doprav. 1) [min:s]	Průměrná doba průchodu meziskladem (doprav. 2) [min:s]	Průměrná doba průchodu meziskladem (doprav. 3) [min:s]	Doba blokace (doprav. 1) [s]	Doba blokace (doprav. 2) [s]	Doba blokace (doprav. 3) [s]
6,3	26:56	07:06	05:56	06:08	24,8	0	31,3
7,0	27:00	07:27	06:07	06:25	16,0	0	22,4
7,7	27:01	07:45	06:18	06:39	0	0	13,5
8,4	27:03	08:00	06:27	06:51	0	0	4,7
9,1	27:04	08:13	06:35	07:01	0	0	0
9,8	27:06	08:23	06:42	07:10	0	0	0
10,5	27:07	08:31	06:48	07:17	0	0	0
11,2	27:09	08:38	06:54	07:24	0	0	0
11,9	27:11	08:44	06:59	07:29	0	0	0
12,6	27:12	08:49	07:03	07:34	0	0	0
13,3	27:14	08:53	07:07	07:38	0	0	0
14,0	27:15	08:57	07:10	07:41	0	0	0
14,7	27:17	09:00	07:12	07:44	0	0	0
15,4	27:18	09:03	07:14	07:46	0	0	0

Změna délek dopravníků v meziskladu má samozřejmě přímý vliv na dobu průchodu součásti, jelikož se mění dráha, kterou součást musí urazit. Důležitějším parametrem je však v tuto chvíli doba blokace montážní stanice, neboť to je primární ukazatel toho, jaká minimální délka dopravníku musí být použita. K blokaci dochází tehdy, když je dopravník plný a pracovník u montážního stanoviště na něj nemůže položit díl.



Obrázek 45: Pohled na linku mezi montáží a lakovnou

Ve výsledcích v tab. 10 je patrné, že se již od délky 8,4 metru začíná vyskytovat, byť jen velmi krátká, doba blokace, kdy montážní stanice „stojí“, tzn. nepracuje a čeká až se dopravník uvolní, a bude moci díl poslat dále. V tomto případě je doba blokace součet čekacích dob za 24 hodin provozu, takže pokud se zamyslíme nad 4,7 sekundovým prostojem, tak kvůli takové hodnotě by v reálné situaci nejspíše k zásadním zásahům do výroby přistupováno nebylo. Tento parametr je však nutno sledovat a analyzovat obezřetně, jelikož při jeho vyšších hodnotách by ztráty na zisku mohly být již zjevné.

„VARIANTA G“

Dále byla provedena analýza délek dopravníků u již dříve zmiňované „varianty G“ z kapitoly 2.4.11, jelikož došlo ke zjištění, že by zde mohl být prostor ke zmenšování kapacity meziskladu, aniž by byla ovlivněna celková denní produkce. Monitorována byla celková doba blokace za 24 hodin simulace na výstupu z montážních stanišť.

Z výsledků měření zachycených v tab. 11 je zřejmé, že při změně délky dopravníků v meziskladu nedochází k žádné blokaci. Je tedy patrné, že i dopravník vedoucí od montáže k meziskladu je schopen pojmout ve „špičkách“ nashromážděné součásti a ve své podstatě zde délka dopravníků v meziskladu nehraje roli. Naměřené hodnoty se ovšem vztahují k nastavenému MTTR na 1 minutu a zajisté by bylo dosahováno jiných výsledků, kdyby průměrná délka oprav trvala déle. Tomuto problému bude věnována kapitola 2.4.13.

Tabulka 11: Doba blokace v závislosti na kapacitě meziskladu

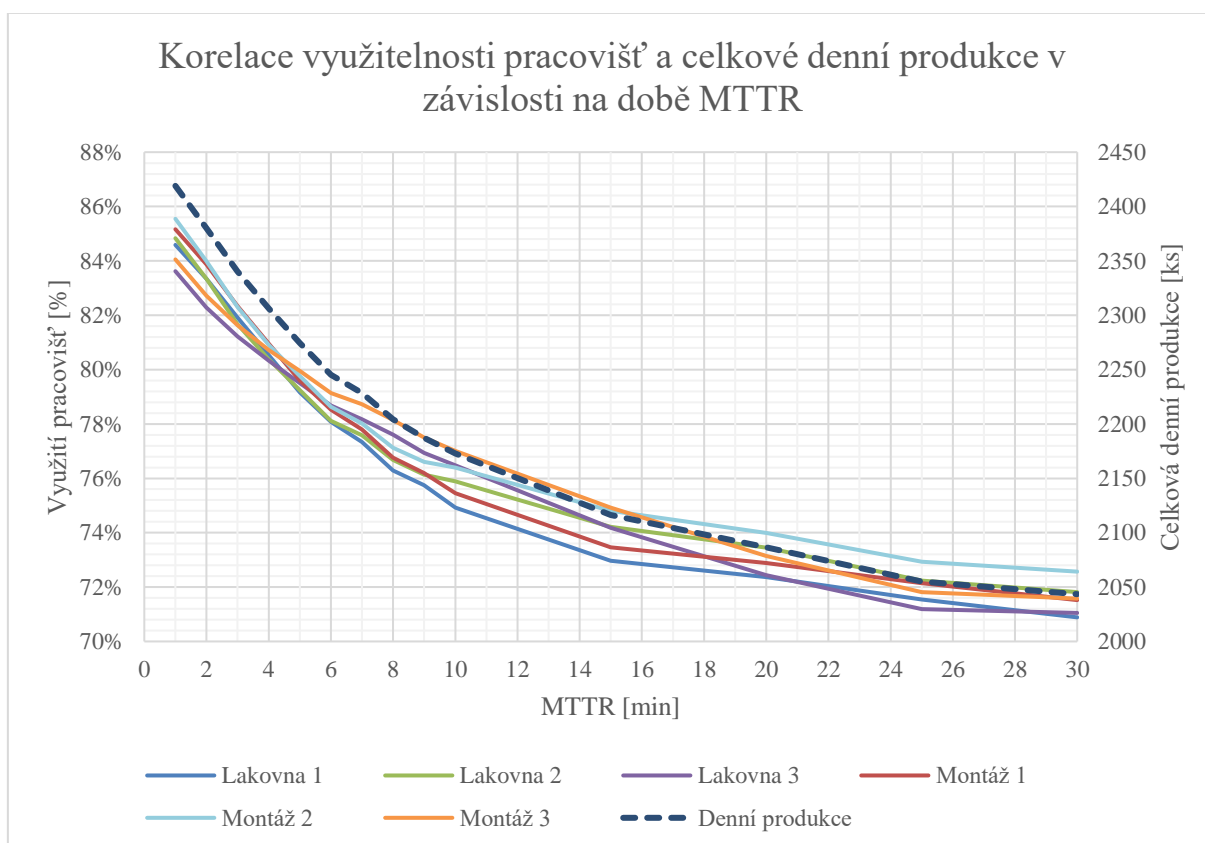
Délka dopravníků v meziskladu [m]	Celková denní produkce [ks]	Doba blokace (dopravník 1)	Doba blokace (dopravník 2)	Doba blokace (dopravník 3)
11.9	2411,7	0	0	0
8.4	2411,8	0	0	0
4.9	2412	0	0	0
1.4	2412,2	0	0	0

2.5.13 ANALÝZA VLIVU PORUCHOVOSTI A DÉLKY OPRAV

Výsledky analýzy „varianty G“ z tab. 11 v předešlé kapitole jasně ukázaly, že v případě MTTR stanoveného na 1 minutu nemá délka (kapacita) meziskladu na materiálový tok žádný vliv. Co se ovšem bude dít, když doba MTTR bude narůstat? Pro zodpovězení této otázky byla provedena analýza tohoto parametru. Analýze byl podroben rozsah MTTR 1 až 30 minut, kdy pro každou z hodnot bylo pro dosažení co nejpřesnějších výsledků provedeno 100 pozorování. Parametr MTTR byl měněn současně u všech pracovních stanic i robotů v modelu. Výsledky jsou zachyceny v příloze III.

Pro analyzovanou délku dopravníků 11,9 m se první hodnoty blokace výstupu z montáže začaly objevovat při průměrné době oprav 7 minut. V takovém případě je už potřebné zvažovat možné úpravy ve výrobě, či v kapacitě meziskladu.

S nárůstem MTTR dochází také k poklesu efektivního využití stanovišť. Tato závislost je znázorněna na obr. 46. Z výsledků je patrné, že do 10 minut MTTR klesá s každou minutou využitelnost zhruba o 1 %, dále již je pokles mírnější. S využitím pracovišť koreluje hodnota celkové denní produkce, pro kterou opět platí, že od 10. minuty MTTR dochází k mírnění strmosti křivky a ovlivnění produkce už není tak velké.



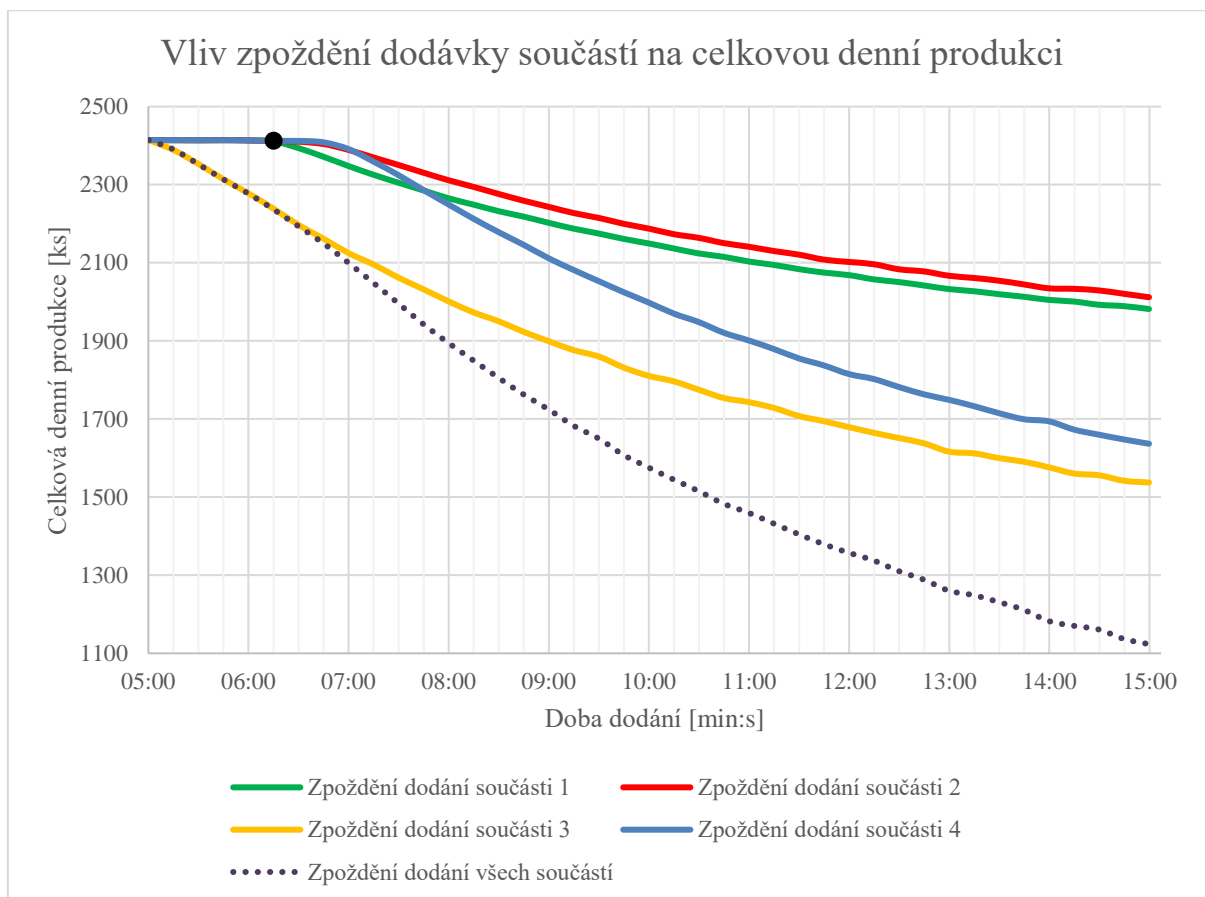
Obrázek 46: Graf korelace využitelnosti pracovišť a denní produkce

2.5.14 ANALÝZA VLIVU ZPOŽDĚNÍ DODÁVEK

Jedním z nejdůležitějších faktorů, nejen při řízení zásob JIT, je právě včasnost dodávek. Dostatek či nedostatek součástí má totiž zásadní vliv na dosaženou produkci a s tím spojený finanční zisk.

Testována byla doba dodání v rozmezí od standardně nastavených 5 minut po 15 minut a sledovaným parametrem byla právě hodnota celkové denní produkce. Každá simulace obsahovala 10 pozorování.

Provedená analýza ukázala rozdíly mezi „důležitostí“ jednotlivých součástí ve výrobním procesu. Výsledky jsou zapsány v příloze IV. a vliv jejich zpoždění je zachycen na obr. 47. Nejméně strmé křivky, tedy nejmenší vliv na produkci, měly *součást1* a *součást2*. Naopak znatelněji se na produkci projevilo zpoždění *součásti3* a *součásti4*. Má to i své opodstatnění, a to sice, že obě tyto součásti jsou využívány pro více než jedno montážní stanoviště (lze vidět například na obr. 30, kap. 2.5). Logicky největší vliv na produkci mělo poté zpoždění všech součástí současně.

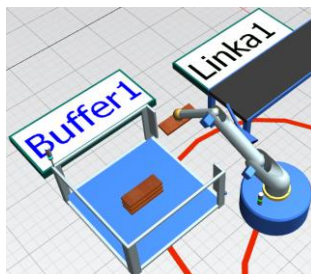


Obrázek 47: Graf vlivu zpoždění objednávek na produkci

V grafu si lze všimnout oblasti, kde jsou křivky pro *součást1*, *součást2* a *součást4* ploché. Pro každou z těchto součástí zde platí, že doba dodání může být prodloužena až na 6 minut a 15 vteřin, aniž by byl ovlivněn objem produkce. Tento bod je v grafu zvýrazněn. Pro *součást1* a *součást2* lze tuto dobu ještě lehce prodloužit.

2.5.15 ANALÝZA VLIVU RYCHLOSTI MANIPULAČNÍCH ROBOTŮ

Analýze byly podrobeny i manipulační roboty umístěné na samotném začátku výrobní linky tohoto modelu. Jelikož má jejich rychlost manipulace se součástmi přímý vliv na takt dávkování součástí dále do výroby, zkoumaným parametrem byla právě zmiňovaná rychlost robotů.



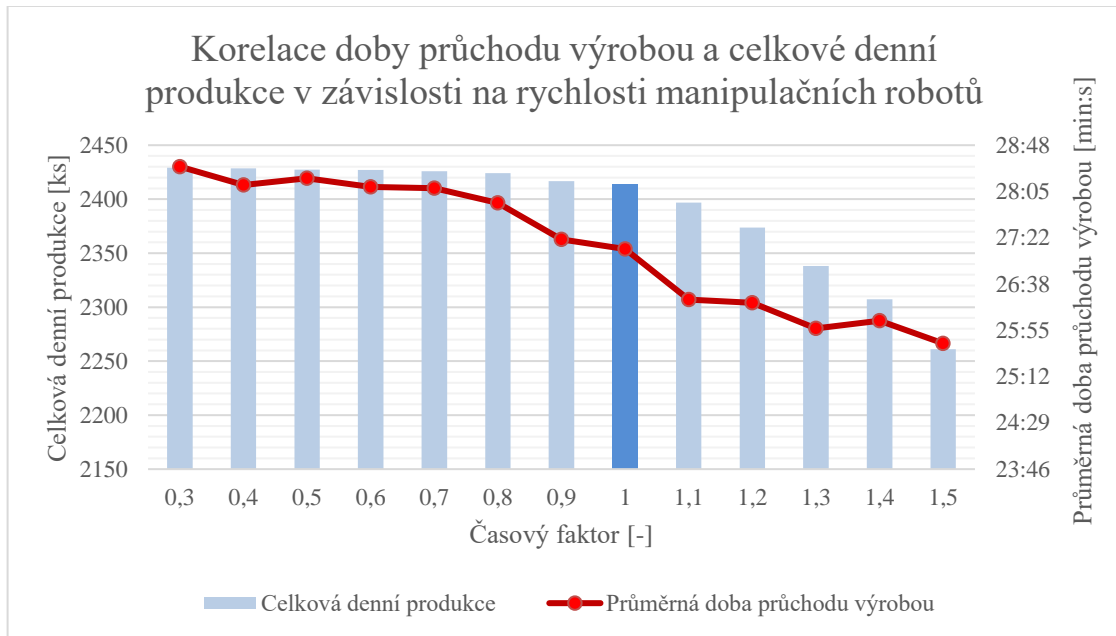
Obrázek 48: Manipulace robotu

Manipulační čas, tedy doba přemístění součásti ze zásobníku na dopravník (a opačně), je zde nepřímo reprezentována tzv. *časovým faktorem*. Časový faktor je ve své podstatě bezrozměrný koeficient, kterým je násobena standardní (nastavená) doba překládky. Výsledná hodnota je skutečný čas překládky. Standardní doba překládky byla doposud stanovena na 6 sekund (viz kap. 2.5.10). Testovány byly hodnoty časového faktoru v rozmezí 0,3 až 1,5, tedy doba překládky 1,8 až 9 sekund. Vzdálenost manipulační dráhy, tj. vzdálenost mezi místem uchopení a místem položení, je 2,5 metru. Každá simulace obsahovala 10 pozorování.

Tabulka 12: Výsledky analýzy časového faktoru robotů

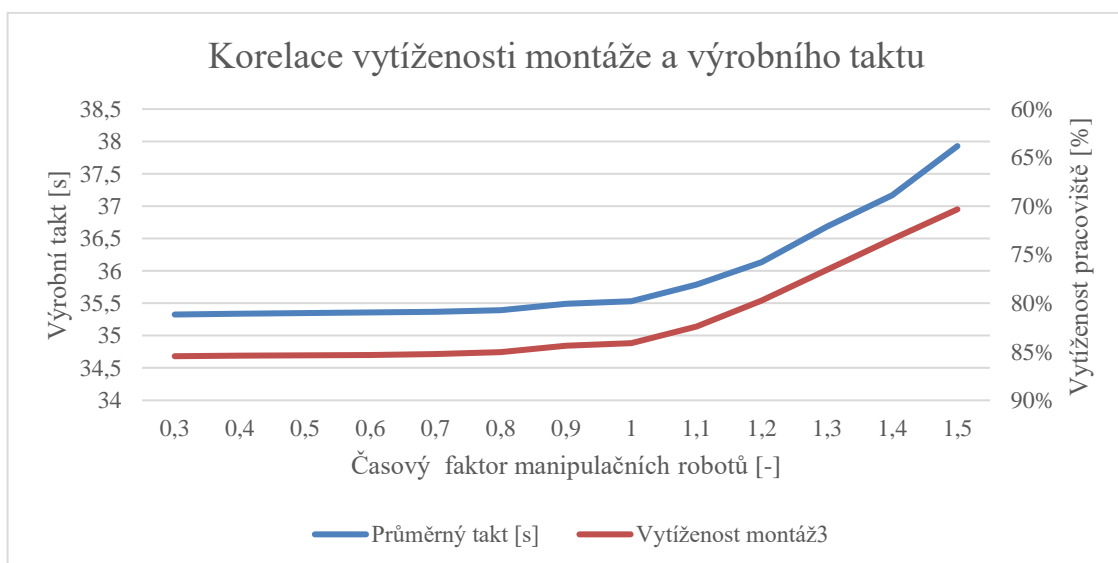
Časový faktor robotů [-]	Celková denní produkce [ks]	Průměrný takt [s]	Průměrná doba průchodu výrobou [min:s]	Vytiženost Montáž1 [%]	Vytiženost Montáž2 [%]	Vytiženost Montáž3 [%]	Průměrná doba průchodu mezikladem1 [min:s]	Průměrná doba průchodu mezikladem2 [min:s]	Průměrná doba průchodu mezikladem3 [min:s]	Průměrná obsazenost mezikladu (dopravník 1) [%]	Průměrná obsazenost mezikladu (dopravník 2) [%]	Průměrná obsazenost mezikladu (dopravník 3) [%]
0,3	2429,2	35,3	28:28	85,74	85,68	85,46	10:13	07:21	10:01	34,46	24,22	33,29
0,4	2428,5	35,3	28:11	85,69	85,66	85,40	10:00	07:19	09:51	33,69	24,04	32,70
0,5	2427,5	35,3	28:17	85,64	85,63	85,36	10:01	07:17	09:50	33,78	23,83	32,63
0,6	2427	35,4	28:09	85,62	85,62	85,32	09:48	07:16	09:42	33,07	23,86	32,08
0,7	2425,8	35,4	28:08	85,62	85,58	85,22	09:55	07:15	09:30	33,40	23,83	31,48
0,8	2424	35,4	27:54	85,53	85,57	85,03	09:39	07:14	09:06	32,47	23,73	30,15
0,9	2416,7	35,5	27:20	85,30	85,49	84,39	09:13	06:58	07:43	30,98	22,82	25,29
1,0	2414,2	35,5	27:11	85,08	85,44	84,12	08:44	06:59	07:29	29,19	22,89	24,43
1,1	2396,7	35,8	26:24	84,80	85,40	82,40	08:17	06:52	05:09	27,58	22,52	16,42
1,2	2373,6	36,1	26:21	85,01	85,37	79,72	08:51	06:50	04:18	29,62	22,39	13,69
1,3	2338	36,7	25:57	84,52	85,07	76,57	07:34	06:29	03:48	25,06	21,09	12,11
1,4	2307,4	37,2	26:04	84,47	85,01	73,39	07:25	06:25	03:26	24,43	20,91	11,01
1,5	2261,1	37,9	25:43	84,12	83,39	70,33	06:44	05:05	03:12	22,01	16,26	10,47

Z výsledků analýzy je patrné, že roboty s dosavadními parametry (časový faktor = 1) mohou být považovány za slabé místo výroby, jelikož jejich urychlení přináší mírné navýšení objemu denní produkce. S nárůstem celkové denní produkce ovšem narůstá i průměrná doba průchodu výrobou, což je důsledkem toho, že rychlejší roboty rychleji naplní zásobníky před montáží a součásti tam poté stráví delší dobu. Vzájemná korelace je zachycena na obr. 49.



Obrázek 49: Korelace doby průchodu výrobou a celkové denní produkce

Dále byla vypořádována korelace vytiženosti *montáže3* a výrobního taktu na výstupu ze sušárny. Závislost je znázorněna na obr. 50. Z naměřených hodnot z tab. 12 lze vyčíst, že při zpomalování manipulačních robotů nejvíce klesá vytiženost právě *montáže3* a souvisle s tím roste i hodnota výrobního taktu. Nastávají situace, kdy *montáž3* nedostává včas součásti pro svou výrobní činnost a dochází ke krátkodobým prostojům. Z montáže pak součásti odcházejí v delším intervalu a důsledkem je právě navyšování výrobního taktu na konci úseku.



Obrázek 50: Graf korelace vytiženosti montáže a výrobního taktu

2.5.16 ANALÝZA VLIVU RYCHLOSTI DOPRAVNÍKŮ

Posledním analyzovaným parametrem byla rychlost dopravníků. Nejdříve byla provedena analýza pásových dopravníků v třídící části před montáží. Testována byla dopravní rychlost 0,5 až 1 m/s, kde pro každou variantu bylo provedeno 10 pozorování. Horní hranice dopravní rychlosti byla stanovena podle kap. 1.5.10. Naměřené hodnoty v tab. 13 poměrně jasně ukazují, že snižování dopravní rychlosti pásových dopravníků nemá žádný **zásadní** vliv jak na denní produkci (dochází pouze k velmi mírnému poklesu této hodnoty), tak ani na žádnou další z monitorovaných charakteristik.

Tabulka 13: Výsledky analýzy rychlosti pásových dopravníků

Rychlost pásových dopravníků [m/s]	Celková denní produkce [ks]	Průměrný takt [s]	Vytíženost Montáž1 [%]	Vytíženost Montáž2 [%]	Vytíženost Montáž3 [%]
1	2411,5	35,5	85,08	85,44	84,12
0,9	2409,6	35,6	84,83	85,45	84,14
0,8	2409,2	35,6	84,94	85,43	84,04
0,7	2409,2	35,6	84,98	85,38	84,08
0,6	2407	35,6	84,99	85,37	83,77
0,5	2407,5	35,6	84,85	85,31	84,01

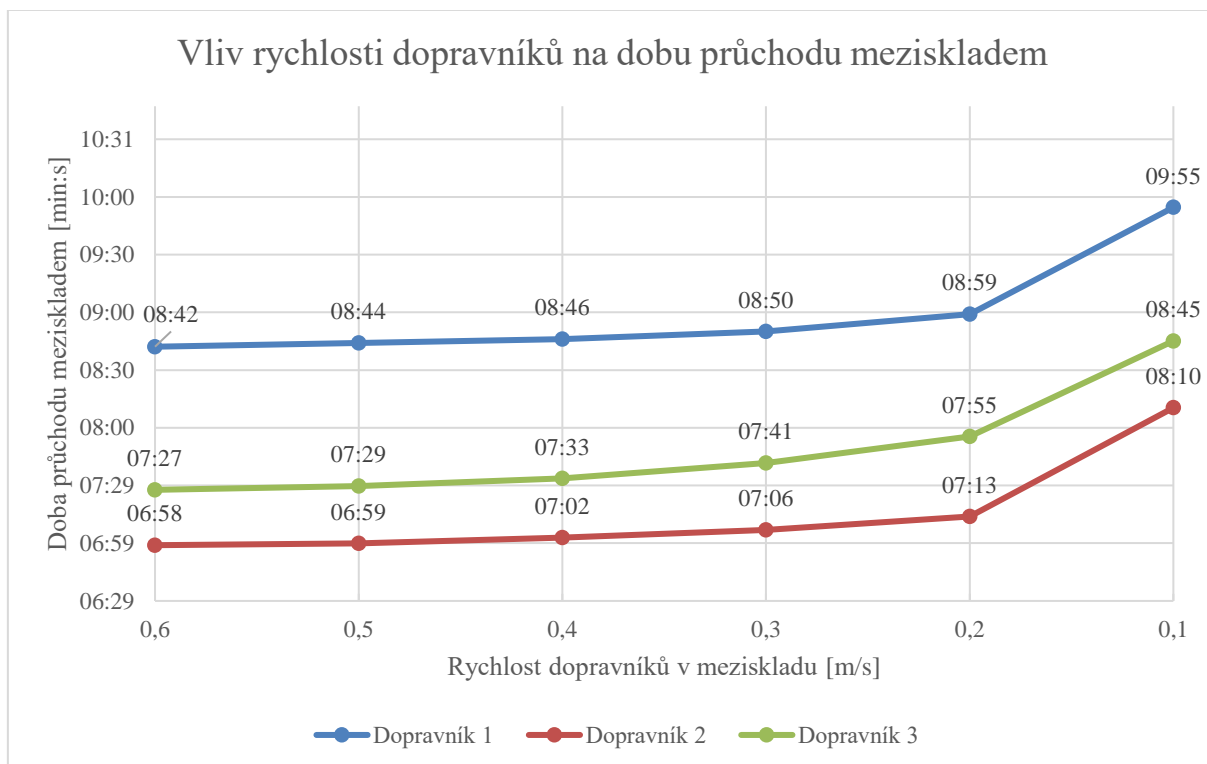
Následně byla provedena analýza válečkových dopravníků v meziskladu a sledovaným parametrem byla primárně doba průchodu. Testována byla dopravní rychlost 0,1 až 0,6 m/s, kde pro každou variantu bylo provedeno 10 pozorování. Horní hranice dopravní rychlosti opět stanovena podle kap. 1.5.10.

Stejně jako v případě pásových dopravníků neměla změna dopravní rychlosti žádný **zásadní** dopad na denní produkci ani takt výroby. Vliv na průměrnou dobu průchodu meziskladem je zachycen na obr. 51.

Tabulka 14: Výsledky analýzy rychlosti válečkových dopravníků

Rychlost válečkových dopravníků v meziskladu [m/s]	Celková denní produkce [ks]	Průměrný takt [s]	Průměrná doba průchodu meziskladem (dopravník 1) [min:s]	Průměrná doba průchodu meziskladem (dopravník 2) [min:s]	Průměrná doba průchodu meziskladem (dopravník 3) [min:s]
0,6	2411,8	35,5	08:42	06:58	07:27
0,5	2411,5	35,5	08:44	06:59	07:29
0,4	2411,2	35,5	08:46	07:02	07:33
0,3	2410,7	35,5	08:50	07:06	07:41
0,2	2409,7	35,5	08:59	07:13	07:55
0,1	2405,3	35,5	09:55	08:10	08:45

Z grafu lze vyčíst, že zásadněji začíná být doba průchodu ovlivněna až při poklesu dopravní rychlosti pod 0,2 m/s, což je relativně daleká hodnota od používaných 0,5 m/s. V případě optimalizace výroby a snižování nadbytečných nákladů za energie lze na základě této analýzy redukovat v meziskladu rychlost dopravníků bez negativních dopadů na produkci a efektivitu výroby.



Obrázek 51: Vliv rychlosti dopravníků na dobu průchodu meziskladem

ZÁVĚR

V počátku práce byl vypracován detailní rozbor teorie zásob. Nejprve byly představeny základní pojmy pro snadnější uvedení čtenáře do rozebírané problematiky. Následně bylo pojednáno převážně o typech zásob a o důvodech jejich udržování. Byl proveden rozbor metod řízení zásob a v závěru došlo k nastínění přehledu několika konceptů technického řešení skladů.

Druhá část práce byla nejprve věnována představení samotného simulačního programu, byly uvedeny zkoumané provozní parametry a charakteristiky materiálového toku a následně došlo ke tvorbě simulačního modelu. Stěžejním bodem pak bylo rozhodnutí, na které metodě řízení zásob bude systém postaven. Na základě poznatků o metodách řízení zásob z první části práce byl následně vyhodnocen jako nejperspektivnější a nejvhodnější systém pro analýzu JIT, jelikož právě u něj je v praxi stěžejní správné nastavení, aby byl schopen přinášet jeho potenciální benefity. Z tohoto důvodu bylo nutné provést adekvátní naprogramování všech potřebných částí modelu podle této filozofie.

Dále se druhá část práce věnovala analýzám vytvořeného modelu. Nejprve došlo v návaznosti na výsledcích simulací k nastavení optimálních parametrů modelu, mezi které se řadily např. optimální pojistné hladiny zásobníků nebo velikost objednaného množství. Poté byly zkoumány vlivy zmetkovitosti montáže, směnového režimu, kapacity meziskladu, poruchovosti a délky oprav, zpoždování dodávek, rychlosti manipulačních robotů a na závěr rychlosti dopravníků.

Výsledky analýz přinesly několik korelačních závislostí, mezi které se řadily např. korelace doby průchodu meziskladem a jeho obsazenosti, využitelnosti pracovišť a celkové denní produkce, doby průchodu výrobou a celkové denní produkce, nebo vytíženosti pracovišť a výrobního taktu.

Porovnány byly dvousměnné a třisměnné provozy a následně i struktury jejich přestávek. Nejlépe dopadla varianta, kdy navazující výrobní úseky měly přestávku ve stejnou dobu.

Analýza zmetkovitosti montáže poukázala na situace, díky kterým docházelo při zvyšování relativního počtu zmetků k delšímu průchodu součástí meziskladem.

Analýza kapacity meziskladu zase prokázala, že nastavená kapacita je dostačující a nedochází k dlouhodobému přeplňování a tím k blokaci materiálového toku. Při následném zmenšování kapacity meziskladu docházelo při nižších hodnotách ke krátkodobému přeplňování a bylo poukázáno na důležitost sledování tohoto parametru.

Analýza zpoždování dodávek odhalila, že mírné zpoždování *součásti1*, *součásti2* a *součásti4* neovlivní žádným způsobem chod zbytku výroby, zatímco u *součásti3* byla dochvilnost dodávek nezbytná.

Analýza rychlosti manipulace robotů prokázala, že manipulační roboty jsou s dosavadní konfigurací slabým místem výroby a optimalizace jejich rychlosti může přivést řadu benefitů.

A v poslední řadě, při analýze rychlosti dopravníků v meziskladu byla objevena možnost snižování jejich rychlosti až na méně než poloviční hodnotu oproti dosavadní, aniž by docházelo k negativním vlivům na průchod meziskladem.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] Výroba - přehled. *Cotu* [online]. Praha: cotu, 2018 [cit. 2020-05-18]. Dostupné z: <http://cotu.cz/blog/56/vyroba-prehled>
- [2] BIGOŠ, Peter. *Materiálové toky a logistika II: logistika výrobných a technických systémov*. V Košiciach: Technická univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta, 2005. ISBN 80-8073-263-9.
- [3] *Logistický management* [online]. Olomouc: Chytilová, 2018 [cit. 2020-05-18]. Dostupné z: <http://www.edulam.cz/wp-content/uploads/2018/11/Logistick%C3%BD-management.pdf>
- [4] LAMBERT, Douglas a Lisa ELLRAM. *Logistika: příkladové studie, řízení zásob, přeprava a skladování, balení zboží*. Vyd. 1. Praha: Computer Press, 2000. Business books (Computer Press). ISBN 80-7226-221-1.
- [5] Dodací sekvence FIFO, LIFO a jiné. *Průmyslové Inženýrství.cz* [online]. Olomouc: Roser, 2020 [cit. 2020-05-18]. Dostupné z: <https://www.prumysloveinzenyrstvi.cz/dodaci-sekvence-fifo-lifo-a-jine/>
- [6] Systémy Just-In-Time a Kanban v rámci distribučních procesů. *QMprofi* [online]. Praha: Němec, 2008 [cit. 2020-05-18]. Dostupné z: <https://www.qmprofi.cz/33/systemy-just-in-time-a-kanban-v-ramci-distribucnich-procesu-uniqueidmRRWSbk196FNf8-jVUh4Ekdwy8o5kOgdQ3H1DpzoZOkMO6VlftQMFg/?query=syst%E9my%20just%20in%20time&serp=1>
- [7] Just-in-time in the Real World of Inventory Management. *Unleashed* [online]. United Kingdom: Melanie Chan, 2019 [cit. 2020-06-21]. Dostupné z: <https://www.unleashedsoftware.com/blog/just-time-real-world-inventory-management>
- [8] PRECLÍK, Vratislav. *Průmyslová logistika*. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2006. ISBN 80-010-3449-6.
- [9] Just in Case (JIC). *Investopedia* [online]. New York: Will Kenton, 2019 [cit. 2020-06-20]. Dostupné z: <https://www.investopedia.com/terms/j/jic.asp>
- [10] Kaizen. *Svět produktivity* [online]. Prostějov: Marek, 2012 [cit. 2020-05-18]. Dostupné z: <https://www.svetproduktivity.cz/slovník/Kaizen.htm>
- [11] Poka Yoke. *ManagementMania* [online]. Wilmington: ManagementMania, 2019 [cit. 2020-05-18]. Dostupné z: <https://managementmania.com/cs/poka-yoke>

- [12] Storage Equipment. *MHE Taxonomy* [online]. North Carolina: Kay, 1999 [cit. 2020-05-18]. Dostupné z: <https://people.engr.ncsu.edu/kay/mhetax/StorEq/>
- [13] Dopravníkové systémy v průmyslu. *Automatizace.hw.cz* [online]. Praha: Vojáček, 2016 [cit. 2020-06-02]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/dopravnikove-systemy-v-prumyslu-2-dil.html>
- [14] Conveyors. *MHE Taxonomy* [online]. North Carolina: Kay, 1999 [cit. 2020-05-19]. Dostupné z: <https://people.engr.ncsu.edu/kay/mhetax/TransEq/Conv/index.htm>
- [15] Plant Simulation. *Siemens* [online]. Mnichov: Siemens, c1996-2020 [cit. 2020-06-08]. Dostupné z: <https://www.plm.automation.siemens.com/store/en-us/trial/plant-simulation.html?>
- [16] Vliv směnného provozu na zdraví. *Ucebna.net* [online]. Brno: Dvořák, 2007 [cit. 2020-05-23]. Dostupné z: <https://ucebna.net/mod/resource/view.php?id=113>
- [17] ČESKO. § 88 odst. 1 zákona č. 262/2006 Sb., zákoník práce. In: *Zákony pro lidi.cz* [online]. © AION CS 2010-2020 [cit. 24. 5. 2020]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2006-262#p88-1>.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Cash-flow	Peněžní tok
<i>FIFO</i>	First-in, first-out (první dovnitř, první ven), logika skladování
JIC	Just in case (nepřekládá se), metoda řízení zásob
JIS	Just in sequence (nepřekládá se), metoda řízení zásob
<i>JIT</i>	Just in time („právě včas“), metoda řízení zásob
<i>LIFO</i>	Last-in, last out (poslední dovnitř, první ven), logika skladování
<i>MTTR</i>	Mean time to repair (střední doba opravy)
MU	Mobile unit (mobilní jednotka)

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Objednací množství 400 jednotek [4]	14
Obrázek 2: Objednací množství 200 jednotek [4]	14
Obrázek 3: Stav zásob při variabilní poptávce [4]	15
Obrázek 4: Stav zásob při variabilní době doplnění zásob [4]	16
Obrázek 5: Stav zásob při variabilní poptávce i době doplnění zásob [4]	16
Obrázek 6: Doplnování a úbytek zásob [2]	18
Obrázek 7: Konstrukce konvenčního paletového regálu [12]	21
Obrázek 8: Konstrukce vjezdového regálu [12]	21
Obrázek 9: Konstrukce průjezdového regálu [12]	22
Obrázek 10: Konstrukce spádového regálu [12]	22
Obrázek 11: Konstrukce zatlačovacího regálu [12]	23
Obrázek 12: Konstrukce mobilních regálů [12]	23
Obrázek 13: Konstrukce stromečkového regálu [12]	24
Obrázek 14: Konstrukce mezaninového systému [12]	24
Obrázek 15: Konstrukce automatizovaného skladovacího systému [12]	25
Obrázek 16: Válečkový dopravník [14]	25
Obrázek 17: Prostředí softwaru Plant Simulation	26
Obrázek 18: Ukázka programovacího jazyka SimTalk z vlastního modelu	26
Obrázek 19: EventController	27
Obrázek 20: Source	27
Obrázek 21: Drain	28
Obrázek 22: Assembly	28
Obrázek 23: PickAndPlace	29
Obrázek 24: Buffer	29
Obrázek 25: Line	30
Obrázek 26: Method	30
Obrázek 27: ExperimentManager	31
Obrázek 28: Worker a WorkerPool	31
Obrázek 29: Zjednodušené schéma úseků výroby	32
Obrázek 30: Zjednodušené logistické schéma modelu JIT	35
Obrázek 31: Pohled na vstupní úsek	36
Obrázek 32: Schématické znázornění montáže	36
Obrázek 33: Init metoda simulačního modelu	37
Obrázek 34: Metoda na jednom ze vstupních zásobníků	38
Obrázek 35: Objednávková metoda generující součásti	38
Obrázek 36: Metoda na výstupu zásobníku před montážní stanicí	39
Obrázek 37: Repasovací stanoviště za montáží	39
Obrázek 38: Grafický vzhled polovýrobníků	40
Obrázek 39: Pohled na lakovnu se sušárnou	40
Obrázek 40: Situace prodlužující dobu průchodu meziskladem	46
Obrázek 41: Graf závislosti doby průchodu meziskladem na zmetkovitosti montáže	46
Obrázek 42: Korelace doby průchodu meziskladem a jeho obsazeností	47
Obrázek 43: Porovnání směnových režimů	48
Obrázek 44: Vliv posloupnosti přestávek na produkci a dobu průchodu výrobou	50
Obrázek 45: Pohled na linku mezi montáží a lakovnou	51
Obrázek 46: Graf korelace využitelnosti pracovišť a denní produkce	53
Obrázek 47: Graf vlivu zpoždění objednávek na produkci	54

Obrázek 48: Manipulace robotu	55
Obrázek 49: Korelace doby průchodu výrobou a celkové denní produkce.....	56
Obrázek 50: Graf korelace vytíženosti montáže a výrobního taktu	56
Obrázek 51: Vliv rychlosti dopravníků na dobu průchodu meziklad	58

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Rozsah testovaných pojistných zásob	41
Tabulka 2: Souhrn výsledků pojistných zásob pro Buffer5 až Buffer10	42
Tabulka 3: Rozsah testovaných pojistných zásob	42
Tabulka 4: Souhrn výsledků pojistných zásob pro Buffer1 až Buffer4	43
Tabulka 5: Rozsah testovaných pojistných zásob	43
Tabulka 6: Souhrnná tabulka výsledků objednáčích množství	44
Tabulka 7: Hodnoty kapacit všech zásobníků	45
Tabulka 8: Výsledky analýzy vlivu zmetkovitosti montáže.....	45
Tabulka 9: Výsledky analýzy posloupnosti přestávek	49
Tabulka 10: Naměřené hodnoty při parametrizaci délky dopravníků	51
Tabulka 11: Doba blokace v závislosti na kapacitě mezikladu	52
Tabulka 12: Výsledky analýzy časového faktoru robotů	55
Tabulka 13: Výsledky analýzy rychlosti pásových dopravníků.....	57
Tabulka 14: Výsledky analýzy rychlosti válečkových dopravníků.....	57

SEZNAM PŘÍLOH

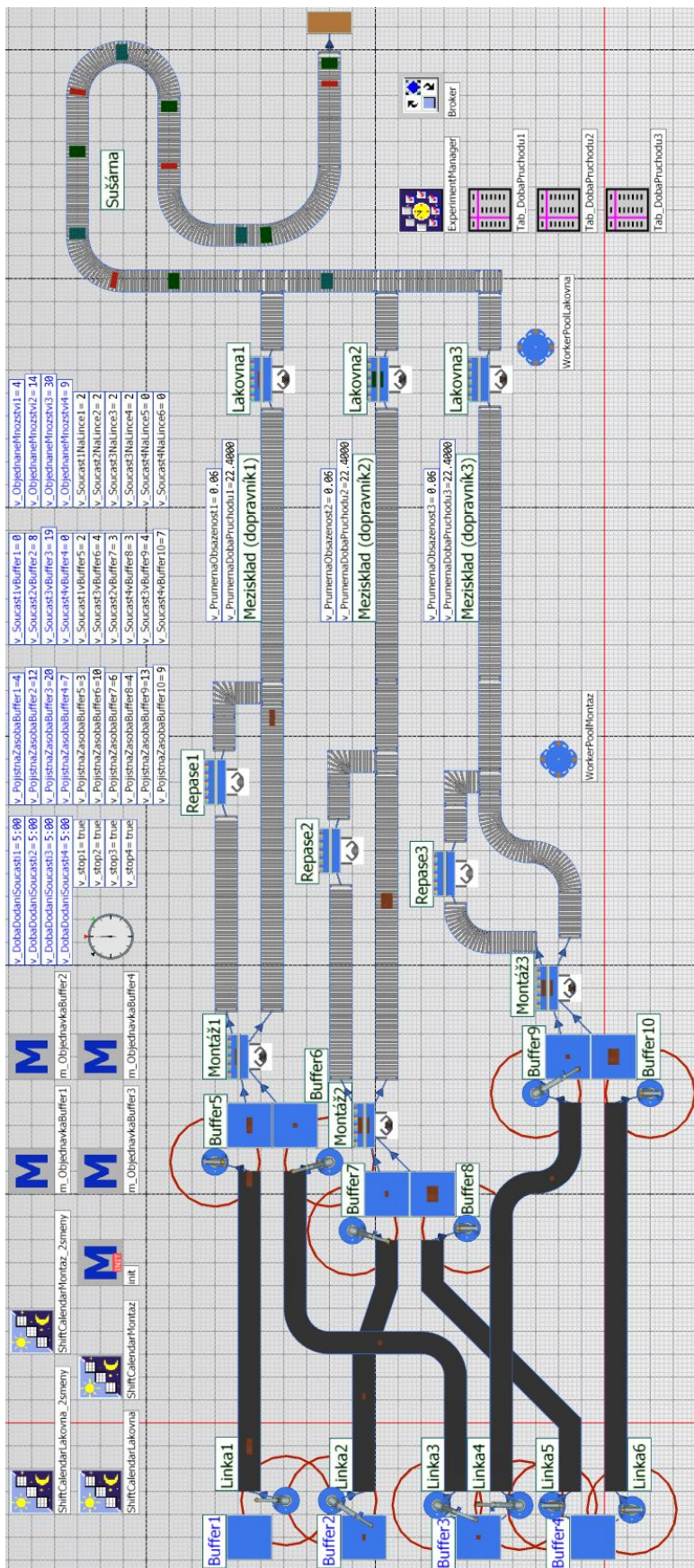
Příloha I. – Celá výrobní linka v Plant Simulation

Příloha II. – Tabulka analýzy zmetkovitosti montáže

Příloha III. – Tabulka analýzy MTTR

Příloha IV. - Tabulka analýzy doby dodání

PŘÍLOHA I. – CELÁ VÝROBNÍ LINKA V PLANT SIMULATION



PŘÍLOHA II. – TABULKA ANALÝZY ZMETKOVITOSTI MONTÁŽE

Zmetkovitost montáž	0%	1%	2%	3%	4%	5%	6%	7%	8%	9%	10%
Celková Produkce [ks]	2415,3	2415,1	2414,9	2414,9	2414,5	2414,3	2414,4	2414,5	2414,1	2414,3	2414,2
Průměrný takt [s]	35,5	35,5	35,5	35,5	35,5	35,5	35,5	35,5	35,5	35,5	35,5
Prům. doba průchodu výrobou [min:s]	26:28	26:35	26:42	26:46	26:52	27:01	27:02	27:05	27:05	27:10	27:11
Vytíženost Lakovna1 [%]	84,26	84,26	84,23	84,25	84,23	84,21	84,22	84,23	84,22	84,20	84,21
Vytíženost Lakovna2 [%]	84,92	84,91	84,90	84,89	84,88	84,86	84,89	84,88	84,88	84,88	84,87
Vytíženost Lakovna3 [%]	83,62	83,61	83,60	83,60	83,60	83,58	83,57	83,58	83,58	83,58	83,58
Prům. doba průchodu meziskladem (dopravník 1) [min:s]	08:09	08:12	08:22	08:19	08:32	08:41	08:40	08:35	08:40	08:49	08:44
Prům. doba průchodu meziskladem (dopravník 2) [min:s]	06:24	06:30	06:39	06:41	06:45	06:45	06:52	06:58	06:51	06:51	07:00
Prům. doba průchodu meziskladem (dopravník 3) [min:s]	06:59	07:06	07:05	07:17	07:17	07:31	07:24	07:28	07:31	07:33	07:30
Prům. obsazenost meziskladu (dopravník 1) [%]	27,40	27,61	28,11	27,88	28,51	29,08	29,00	28,63	28,85	29,47	29,19
Prům. obsazenost meziskladu (dopravník 2) [%]	21,06	21,36	21,83	21,94	22,17	22,15	22,47	22,83	22,43	22,37	22,89
Prům. obsazenost meziskladu (dopravník 3) [%]	22,92	23,27	23,15	23,83	23,83	24,56	24,22	24,28	24,58	24,61	24,43

PŘÍLOHA III. – TABULKA ANALÝZY MTTR

MTTR [min:s]	Celková produkce [ks]	Průměrný takt [s]	Doba blokace (dopravník 1) [s]	Doba blokace (dopravník 2) [s]	Doba blokace (dopravník 3) [s]	Průměrná doba průchodu výrobou [min:s]	Průměrná doba průchodu meziskladem (dopravník 1) [min:s]	Průměrná doba průchodu meziskladem (dopravník 2) [min:s]	Průměrná doba průchodu meziskladem (dopravník 3) [min:s]
01:00	2419	35,5	0	0	0	24:07	5:40	6:56	4:03
02:00	2380,1	36,1	0	0	0	25:49	5:37	6:12	4:19
03:00	2340,4	36,7	0	0	0	26:30	5:01	5:38	4:26
04:00	2306,3	37,2	0	0	0	27:20	5:03	5:18	4:46
05:00	2274,3	37,7	0	0	0	28:22	5:10	5:34	5:37
06:00	2245,1	38,2	0	0	0	28:48	5:18	5:27	5:34
07:00	2228,4	38,5	0	0	32,9	29:25	5:10	5:32	6:08
08:00	2204,4	38,9	0	0	0	30:00	5:22	5:47	6:06
09:00	2187,4	39,2	20,6	0	0,3	30:25	5:45	5:53	6:25
10:00	2172,7	39,5	15,9	0	29,9	30:51	5:48	6:24	6:22
15:00	2116,2	40,6	29,2	27,3	106,9	31:41	6:01	6:35	6:46
20:00	2086,6	41,2	101,1	91,1	109,9	32:32	6:49	6:45	6:29
25:00	2055,1	41,8	188,8	150,7	150,1	33:01	7:07	6:44	6:20
30:00	2043,5	42,1	375,5	212,3	298,8	33:40	6:56	6:53	6:49
MTTR [min:s]	Vytíženost Lakovna1 [%]	Vytíženost Lakovna2 [%]	Vytíženost Lakovna3 [%]	Vytíženost Montáž1 [%]	Vytíženost Montáž2 [%]	Vytíženost Montáž3 [%]	Průměrná obsazenost meziskladu (dopravník 1) [%]	Průměrná obsazenost meziskladu (dopravník 2) [%]	Průměrná obsazenost meziskladu (dopravník 3) [%]
01:00	84,59	84,83	83,62	85,16	85,55	84,05	21,97	26,28	16,47
02:00	83,34	83,34	82,28	83,87	83,99	82,72	21,64	23,52	17,21
03:00	81,91	81,67	81,22	82,34	82,30	81,64	19,49	21,41	17,55
04:00	80,53	80,38	80,33	80,95	80,91	80,72	19,30	20,13	18,54
05:00	79,16	79,25	79,50	79,60	79,77	79,96	19,55	20,76	21,06
06:00	78,07	78,11	78,68	78,53	78,63	79,13	19,82	20,36	20,86
07:00	77,33	77,58	78,18	77,80	78,02	78,73	19,31	20,46	22,47
08:00	76,29	76,68	77,61	76,76	77,13	78,14	19,68	21,00	22,46
09:00	75,75	76,14	76,94	76,19	76,61	77,51	20,67	21,42	23,34
10:00	74,93	75,89	76,48	75,46	76,40	77,01	20,78	22,82	23,08
15:00	72,96	74,21	74,18	73,46	74,81	74,93	21,14	23,18	23,77
20:00	72,37	73,45	72,44	72,89	73,99	73,15	23,28	23,38	22,79
25:00	71,55	72,24	71,19	72,15	72,93	71,81	24,03	23,08	22,11
30:00	70,89	71,82	71,05	71,52	72,57	71,58	22,86	23,56	23,27

PŘÍLOHA IV. - TABULKA ANALÝZY DOBY DODÁNÍ

Doba dodání [min:s]	Celková denní produkce [ks]				
	Zpoždění všech součástí	Zpoždění součásti 1	Zpoždění součásti 2	Zpoždění součásti 3	Zpoždění součásti 4
05:00	2414,2	2414,2	2414,2	2414,2	2414,2
05:15	2390,1	2414,1	2414,1	2388,7	2414,1
05:30	2351,9	2413,8	2413,7	2352,6	2414,0
05:45	2313,2	2414,2	2414,1	2313,6	2413,9
06:00	2276,8	2413,5	2413,4	2277,6	2413,4
06:15	2236,4	2411,0	2411,6	2238,2	2412,1
06:30	2193,0	2393,5	2410,1	2196,8	2412,1
06:45	2149,3	2371,3	2404,1	2161,5	2408,4
07:00	2099,4	2347,6	2388,9	2124,6	2391,0
07:15	2047,9	2325,2	2369,5	2095,4	2358,8
07:30	1995,3	2304,8	2350,3	2061,7	2324,1
07:45	1942,0	2285,1	2330,5	2031,8	2285,9
08:00	1894,2	2265,0	2311,3	2001,0	2249,1
08:15	1849,3	2248,8	2294,3	1972,8	2212,5
08:30	1805,1	2232,1	2276,2	1950,2	2178,3
08:45	1762,4	2218,2	2258,9	1923,1	2145,8
09:00	1724,2	2202,3	2243,2	1899,1	2111,5
09:15	1682,3	2187,3	2227,3	1876,3	2081,4
09:30	1649,8	2174,9	2214,9	1859,9	2052,9
09:45	1607,6	2161,1	2199,8	1831,7	2024,6
10:00	1575,5	2149,4	2187,6	1810,4	1998,1
10:15	1544,7	2136,7	2173,3	1796,4	1969,9
10:30	1515,1	2123,9	2163,8	1774,8	1948,1
10:45	1482,8	2115,2	2150,4	1753,7	1920,8
11:00	1459,5	2103,3	2141,1	1743,2	1901,1
11:15	1432,1	2094,6	2130,1	1728,4	1879,2
11:30	1404,7	2083,8	2120,9	1707,7	1855,2
11:45	1379,2	2074,9	2108,1	1694,3	1837,2
12:00	1357,4	2068,5	2102,2	1679,2	1815,1
12:15	1337,5	2057,5	2096,3	1664,6	1802,3
12:30	1310,3	2050,7	2083,4	1651,3	1781,9
12:45	1288,6	2041,9	2077,9	1637,7	1763,2
13:00	1260,2	2032,7	2066,8	1616,4	1749,1
13:15	1248,7	2027,2	2061,2	1612,1	1732,9
13:30	1231,1	2019,6	2054,1	1599,9	1714,9
13:45	1211,1	2013,0	2044,6	1590,5	1699,4
14:00	1182,4	2005,0	2034,6	1576,2	1694,1
14:15	1170,3	2000,8	2033,3	1560,4	1672,9
14:30	1160,9	1992,5	2029,2	1555,9	1659,8
14:45	1136,7	1989,0	2020,6	1541,9	1647,6
15:00	1123,4	1981,7	2011,8	1537,4	1636,6